ستون column

ستون به یک عضو بتنی گفته می‌شود که:

1) تحت اثر نیروی فشار قرار داشته باشد.

2) طول مهار نشدهٔ آن حداقل سه برابر کوچکترین بعد مقطع باشد.

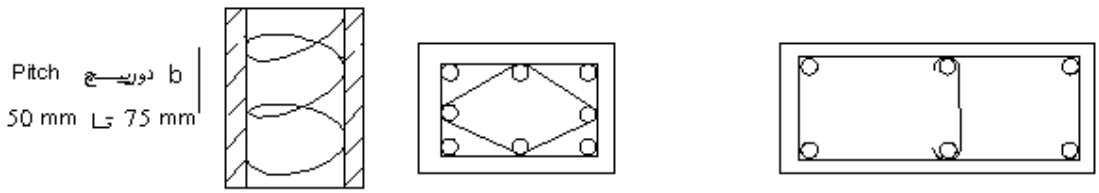
3) در آن فولاد گذاری شده باشد و مسلح باشد.

انواع ستونها

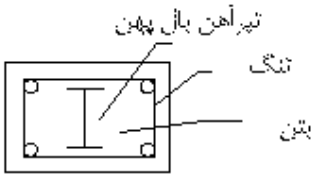
1- ستون تنگدار Tied column

2- ستون‌های دور پیچ Spiral column

3- ستونهای مرکب composite cogumn



1,2 3



×× یکی از راههای عملی محاسبه این ستونها در نظر نگرفتن جان تیرآهن و در نظر گـرفتن یـک ستون بتنی که و As و بالها c در بالا و پایین آن داریم

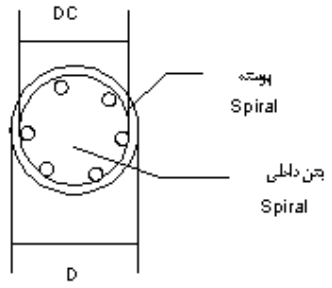
Copyright by:www.Afshinsalari.com

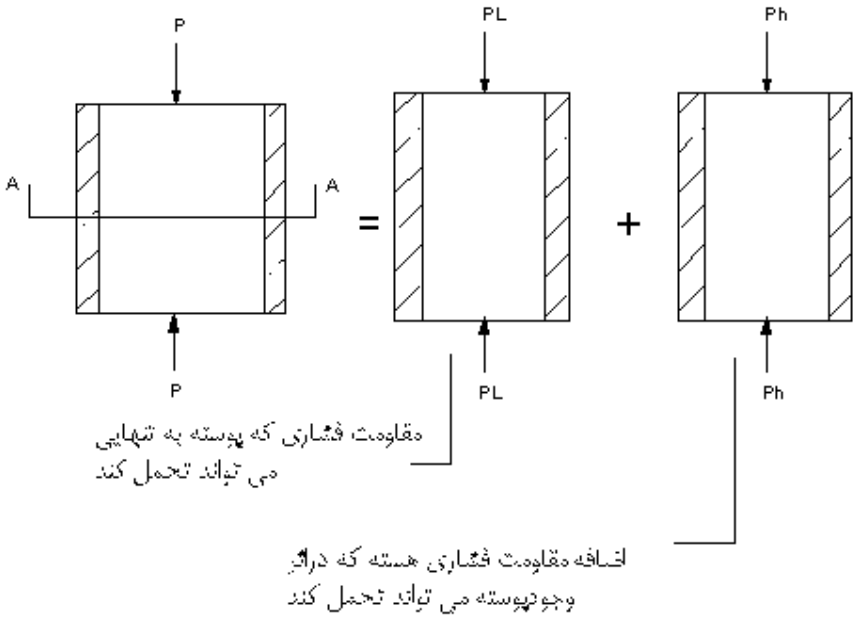
رفتار آرماتورهای دور پیچ در ستونها

اضافه کار شارژی هسته

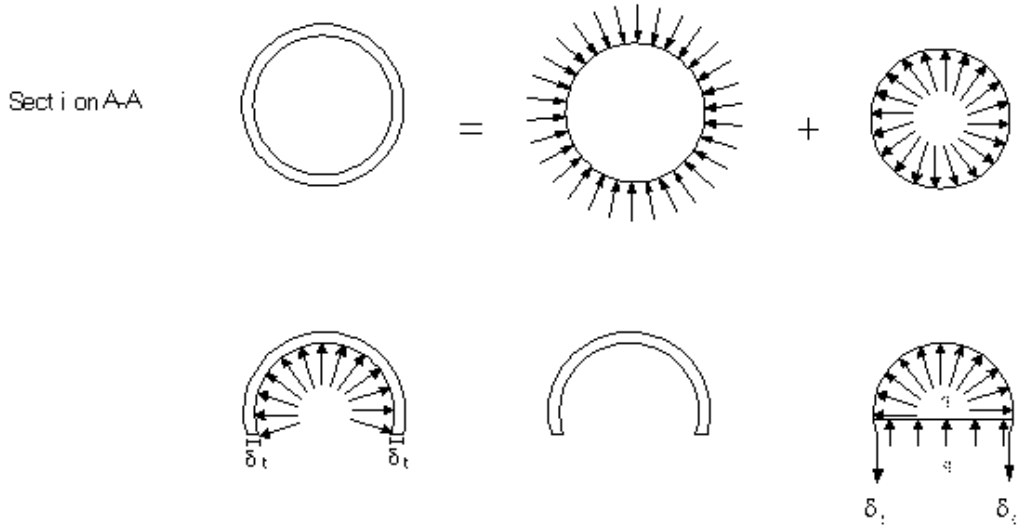
Ph = اضافه مقاومت فشاری دهنده که در اثر وجود مقاومتهای نمی تواند تحمل کند

PL مقاومت فشاری که پوسته به تنهایی می تواند تحمل کند





Copyright by:www.Afshinsalari.com



$$1)\ \frac{2qr = 2\delta_t t}{\delta = \frac{qr}{t}} \Rightarrow \delta_t t = qr$$

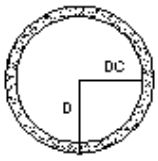
$$2)q=\frac{qh}{A_C}\times K$$

$$1,2) \Rightarrow qh = \frac{1}{k}\times\frac{t}{r}A_c\delta$$

$$AC=\frac{\pi}{4}D^2{}_c \qquad , \qquad r=\frac{D_c}{2}$$

$$\Rightarrow Ph = \frac{1}{2k}\pi D_C t\delta$$

Ph :اضافه مقاومت فشاری که پوسته به تنهایی می تواند تحمل کند



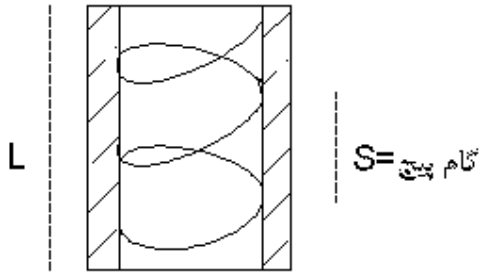
$$PL = \pi D_C t\delta$$

PL :مقاومت فشاری که پوسته به تنهائی می تواند تحمل کند

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$\Rightarrow ph = \frac{1}{2k} pl$ که : $k = 0.25$ $\Rightarrow ph \le 2pl$

یعنی می‌تواند از 0.25 کوچکتر نیز باشد



$$\rho_s = \frac{v_{s\rho}}{v_c}$$

$$\left.\begin{aligned} v_{s\rho} &= \frac{L}{s} \times \pi D_c A_b \\ v_c &= \frac{\pi}{4} D^2{}_c l \end{aligned}\right\} \Rightarrow \rho_S = \frac{4A_b}{D_c.S}$$

تعداد پیچ: $\frac{L}{S}$

A_b = مساحت مقطع نوار دور پیچ

Dc = قطر هسته بتن

S = گام دور پیچ

مقاومت دورپیچ در واحد طول= $\rho_s \cdot A_c \cdot f_{sy}$

1) افزایش مقاومت در اثر دورپیچ= $2\rho_s . A_c . f_{sy}$

2) مقاومت فشاری مربوط به پوسته= $0.85 f'_c(A_g - A_C)$

مساحت کل=Ag

Copyright by:www.Afshinsalari.com

مساحت هسته=Ac

$1 \cong 2$

$$2Ps.Ac.fsy = 0.85 f_c'(A_g - A_c) \Rightarrow \rho_s = 0.425(\frac{A_g}{A_c} - 1) \times \frac{f_c'}{f_{sy}}$$

رابطهٔ آیین نامه‌ای $\rho_s = 0.45(\frac{A_g}{A_c} - 1) \times \frac{f_c'}{f_{sy}}$

وظائف تنگ‌ها و دورپیچ‌ها در ستون‌ها

1- نگهداری آرماتورهای هرامی در موقعیت واقعی بهنگام بتن ریزی ← سهولت در عملیات اجرایی

2- جلوگیری از کمانش آرماتورهای طولی

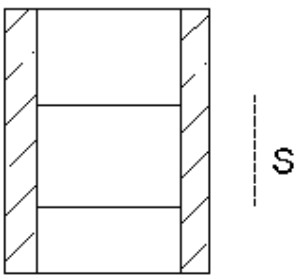
3- فراهم آوردن محصوریت confinement برای بتن هسته مرکزی ← کاهش تغییرشکلهای درازمدت.

4- تحمل نیروهای برشی وارد بر ستون

ضوابط مربوط به تنگ‌ها و(ACI)

1- برای آرماتورهای طولی کوچکتر از $\Phi 32$ بایستی حداقل از تنگ $\Phi 10$ استفاده شود. برای آرماتورهای طولی بزرگتر از $\Phi 32$ بایستی حداقل از تنگ $\Phi 12$ استفاده گردد.

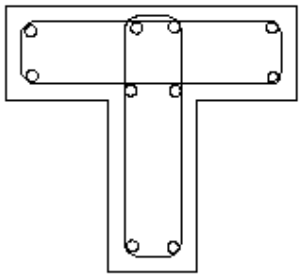
2- حداکثر فاصله تنگ‌ها



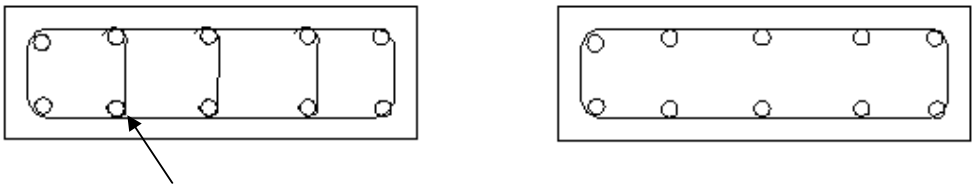
Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$S_{\max} = \min \begin{cases} 16d_b \rightarrow \text{طولي} & \text{آرماتور} \quad \text{قطر} \\ 48d_s \\ \text{بعدستون} & \text{حداقل} \end{cases}$$

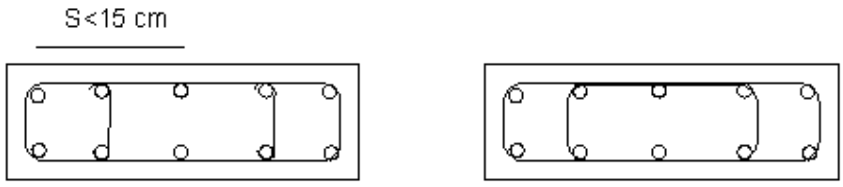
3- کلیه آرماتورهای واقع در گوشه‌ها باید توسط تنگ‌ها مهار شود



4- فاصلهٔ آرماتورهای غیر گوشه‌ای مهار نشده نباید از 15cm تجاوز کند.



5- آرماتورهای طولی حداقل بایستی بصورت یک در میان مهار شود.

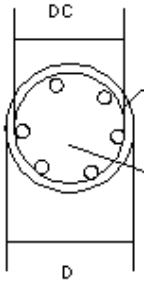


ضوابط دورپیچ‌ها: spiraly

1- آرماتورهای دورپیچ نباید از Φ 10 کوچکتر باشد (تنها جایی که آیین‌نامه استفاده از آرماتورهای ساده را مجاز دانسته در تنگ‌ها دورپیچ‌ها)

Copyright by:www.Afshinsalari.com

2- حداقل گام دورپیچ:



$$S\max = \min\begin{cases} 75mm \\ \frac{1}{6}dc \rightarrow \text{بتن} \quad \text{مرکزي} \quad \text{هسته} \quad \text{قطر} \end{cases}$$

3- حداقل گام دورپیچ:

$$S_{\min} = 2.5cm$$

$$P_s = 0.45(\frac{Ag}{Ac} - 1)\frac{f'_C}{f_y} \quad , \quad P_S = \frac{A_s P}{A_c}$$

بنا به تعریف: $\rho_s = \frac{V_s\ ??}{V_c} \Rightarrow \rho_s = \frac{4A_b}{d_c S}$

A_b سطح مقطع آرماتور دور پیچ

d_c قطر هسته بتنی

S گام دورپیچ

V_s حجم میلگرد ودورپیچ دریک حلقه

A_g سطح مقطع کل ستون بتنی

A_c سطح مقطع هسته بتنی

ضرائب باربری ستونها:

مشابه آیین‌نامه مشخص می‌شود

$1.4DL + 1.7LL$

$0.75(1.4DL + 1.7LL + 1.7w)$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

ضریب کاهش ظرفیت

$\phi=0.7$ برای ستون‌های تنگدار

$\phi=0.75$ برای ستون‌های دورپیچ

نکته: چون در ستون spiral ترم آخر رابطه P_n یعنی $K_s \quad F_s \quad A_{sp}$ c وجود دارد امّا ما آن را کنار گذاشته‌ایم پس ضریب ϕ نسبت به ستونهای تنگدار افزایش دارد.

$$Pn = k_c f'_c A_c + f_y A_{st} + k_s \overbrace{f_{sy}}^{0} A_{sp}$$

دلایل کوچک‌تر بودن ϕ در ستونها

1) اثر بتن در مقاومت ستونها به مراتب بزرگتر از اثر بتن در تیرها و رفتار خمش می‌باشد و چون روی بتن کمتری داریم پس از ϕ کوچکتر استفاده می‌شود.

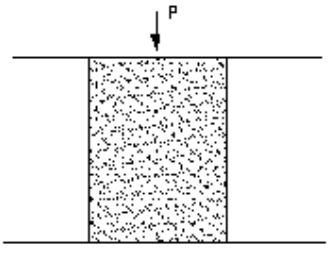
2)وجود امکان کمانش آرماتورهای طولی

3) چون خراب شدن ستون خسارت بزرگتری ایجاد می‌کند پس بایستی طرح ستونها با ضریب اطمینان بزرگتر (کوچکترϕ) انجام شود.

ستونهای کوتاه تحت اثر بار محوری فشاری

$$P_n = k_c . f'_c (A_c - A_{st}) + f_y . A_{st} + k_s f_{sy} A_{sp}$$

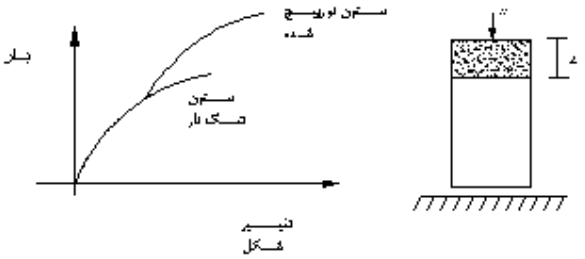
A_{st} : سطح مقطع فولادهای طولی



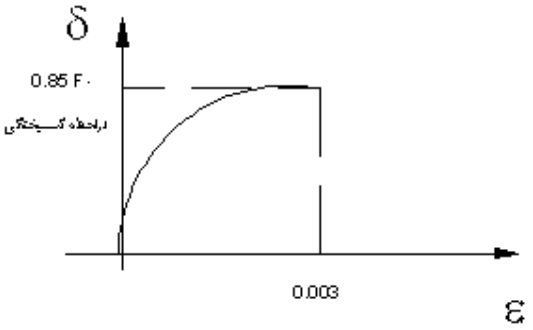
Copyright by:www.Afshinsalari.com

A_c : سطح مقطع کل

A_{sp} : سطح مقطع دورپیچ‌ها



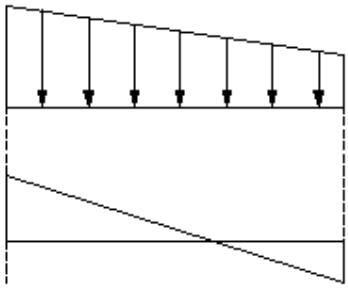
قسمت سوم رابطه بالا در مورد ستونهای دورپیچ می‌باشد



درمورد ستونهای تنگ داروجود ندارد

(بار محوری+ لنگر خارجی یا بار محوری+ خروج از مرکزیت)= نیروی محوری ناخالص (تنش در بتن

در حالی که نیروی محوری خالص نداشته باشیم)



Copyright by:www.Afshinsalari.com

مرکز پلاستیک: plastic center

نقطه‌ای است که اگر نیروی محوری بر آن نقطه وارد شود در تمام سطح مقطع ستون مقدار تغییر فرم نسبی در حالت زوال نهائی برابر شود و یا اگر به هنگام زوال ستون وضعیت کرنش یکنواخت 0.003 در کل مقطع وجود داشته باشد. نقطه اثر سیستم نیروهای حاصل از تنش‌های بتن و فولاد را مرکز پلاستیک مقطع گوییم.

نکته: 1- در صورتیکه آرماتورگذاری و شکل ستون متقارن باشد مرکز هندسی بر مرکز پلاستیک قرار دارد.

2- مرکز پلاستیک یک مقطع هیچ ربطی به بارگذاری ندارد یعنی به مشخصات خود مقطع فولاد و بتن بستگی دارد پس جمله مرکز پلاستیک برای بارگذاری شکل روبرو طراحی کنید غلط می باشد.

$$p_{n_\circ} = 0.85 f_c'(A_g - A_{st}) + A_{st}.f_y \qquad \rho g = \frac{A_{st}}{A_g}$$

$$p_{n_\circ} = A_g\left[0.85 f_c'(1-\rho g) + \rho g.f_y\right]$$

$$p_{n_\circ} = A_g\left[0.85 f_c' + \rho g(f_y - 0.85 f_c')\right]$$

P_n: برای ستون‌های دورپیچ و تنگدار هر دو

$$P_{n_\circ} \approx A_g\left[0.85 f_c' + f_y.\rho g\right]$$

ولی: ضریب کاهش ظرفیت برای هر دو نوع ستون متفاوت است.

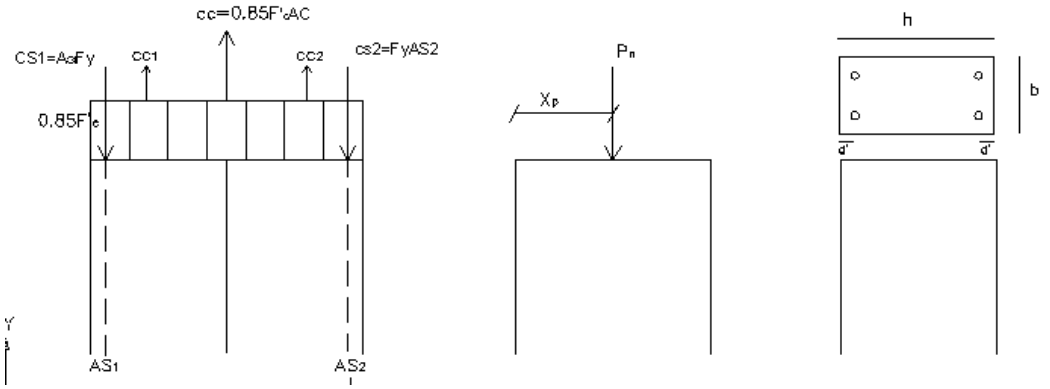
Copyright by:www.Afshinsalari.com

$P_{u_0} = \Phi P_{n_0}$

برای تنگ دار $\rightarrow \Phi = 0.7$

برای دورپیچ $\rightarrow \Phi = 0.75$

محاسبه مرکز پلاستیک Plastic center



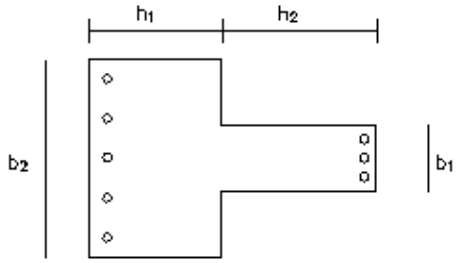
$$P_n = c_{s_1} + c_{s_2} + c_c$$

$$x_P . P_n = c_c \, h/2 + c_{s_1} d' + c_{s_2} (h - d')$$

نکته: مبدأ اندازه‌گیری خروج از مرکزیت فاصله نقطه مورد نظر از مرکز پلاستیک می باشد

مثال:

مطلوبست محاسبه مرکز پلاستیک شکل زیر:

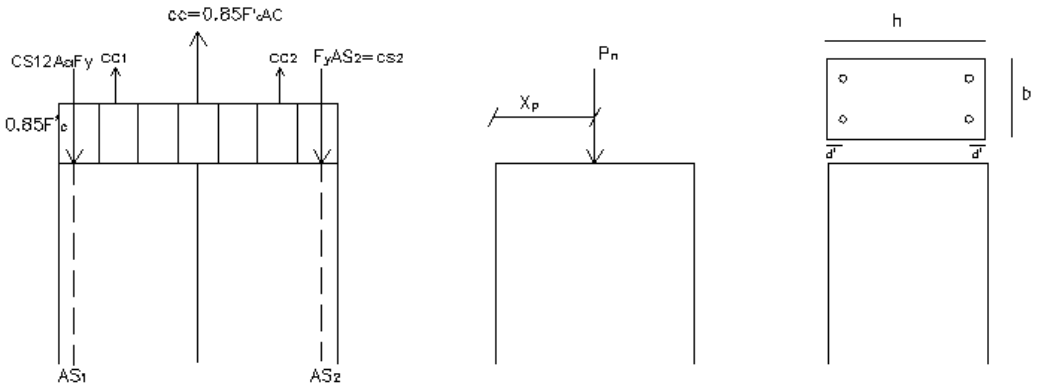


Copyright by:www.Afsh

$$P_n = c_{c1} + c_{c2} + c_{s1} + c_{s2}$$

$$x_p . p_n = c_{s1} d' + c_{c1} \frac{h_1}{2} + c_{c2}(h_1 + \frac{h_2}{2}) + c_{s2}(h_1 + h_2 - d')$$

$$c_c = .85 f_c' . A_c$$



$$c_{c1} = 0.85 f_c' b_1 h_1$$

$$c_{c2} = 0.85 f_c' b_2 h_2$$

$$c_{s1} = A_{s1} f_y$$

$$c_{s2} = A_{s2} f_y$$

مثال قبل را با مشخصات زیر حل نمایید

حل:

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$h_2 = h_1 = 30cm$

$b_1 = 50cm \ , b_2 = 20cm$

$A_{s1} = 5\Phi 20$

$A_{s2} = 3\Phi 20$

چون شکل در جهت y تقارن دارد لذا داریم:

$y_c = 25cm$

$c_{s_1} = A_{s1} f_y = 5 \times 3.14 \times 4000 = 62800kg$

$f'_c = 200 \, kg/cm^2$ $\qquad$ $c_{s_2} = A_{s_2} f_y = 3 \times 3.14 \times 4000 = 37680kg$

$f_y = 4000 \, kg/cm^2$ $\qquad$ $c_{c_1} = 0.85 f'_c \times b_1 \times h_1 = 0.85 \times 200 \times 30 \times 50 = 255000kg$

$c_{c_2} = 0.85 f'_c \times b_2 \times h_2 = 0.85 \times 200 \times 30 \times 20 = 102000kg$

$P_{n_\circ} = c_{s_1} + c_{s_2} + c_{c_1} + c_{c_2} \Rightarrow \qquad x_p . P_{n_\circ} = c_{s_1} \times 5 + c_{s_2} \times 55 + c_{c_1} \times 15 + c_{c_2} \times 45 \Rightarrow$

$$x_p = \frac{10801400}{457480} = 23.6cm \ ***$$

$y_c = 25cm \ ***$

(پس اگر بار در این نقطه وارد شود بار محوری خالص است و اگر وارد نشود بار محوری خالص نیست و خروج از مرکزیت دارد)

Copyright by:www.Afshinsalari.com

مثال:

$$\begin{cases} f'c = 200\,kg/cm^2 \\ fy = 3500\,kg/cm^2 \\ \text{cover} = 5cm \end{cases}$$

$$civen: A_s = 4\Phi 26 = 4\left(\frac{\pi \times 2.6^2}{4}\right) = 21.24cm$$

$$A_s = 21.24cm^2$$

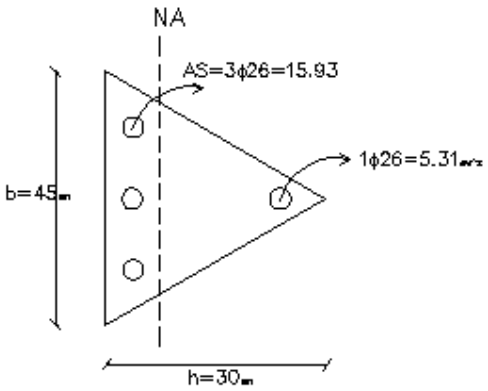
$$\text{Re}9: xp = \text{پلاستیک} \qquad \text{مرکز}$$

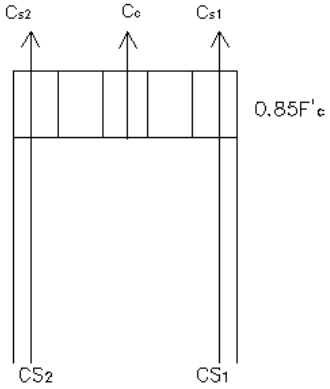
$$C_c = 0.85 f'_c[\frac{45\times 30}{2}]\times 10^{-3} = 114.75ton$$

$$\frac{45}{30} = \frac{x}{20} \Rightarrow x = 30cm$$

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

$$c_{c_1} = 0.85 f'_c\left(\frac{20\times 30}{2}\right)\times 10^{-3} = 51ton$$





$$c_{s_1} = A_{s_1} \times f_y = 5.31\times 3500\times 10^{-3} = 18.59ton$$

$$c_{s_2} = A_{s_2} \times f_y = 15.93\times 3500\times 10^{-3} = 55.76ton$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$P_n = c_{c_1} + c_{c_2} + c_{s_1} + c_{s_2} = 51 + 63.75 + 18.59 + 55.76 = 180.1ton$$

$$P_n = c_c + c_{s_1} + c_{s_2} = 114.75 + 18.59 + 55.76 = 180ton$$

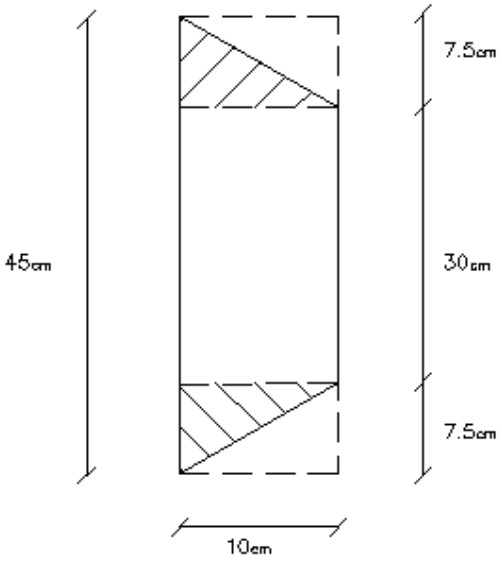
$$P_n \times xn = c_{c_1}(10 + \frac{1}{3} \times 20) + c_{c_2}(\alpha) + c_{s_1}(30 - 5) + c_{s_2}(5cm)$$

$$x_p = 10.22$$

$$P_n.x_n = c_c \times (\frac{1}{3} \times 30) + c_{s_1} \times (30 - 5) + c_{s_2} \times 5$$

$$x_p = 10.51$$

$$\bar{x} = \frac{(30 \times 10)(5) + 2(7.5 \times 10)/2\left(\frac{1}{3} \times 10\right)}{(30 \times 10) + 2(7.5 \times 10)/2} = 3.89cmcm$$



از معادلهٔ فوق x_n و مرکز پلاستیک بدست می‌آید.

روش دوم:

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$c_c = 0.85 f'_c A_c = 0.85 \times 200 \times 30 \times {45}/{2} = 114.75t$$

$$P_n = 114.75 + 18.59 + 55.76 = 189.1t$$

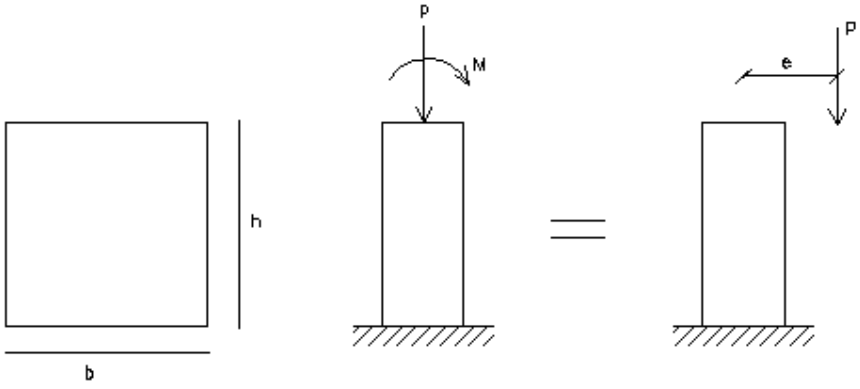
$$P_n . x_n = 189.1 \times \frac{30}{3} + c_{s_1} \times (30 - 5) + c_{s_2}(5)$$

$$xn = 13.93$$

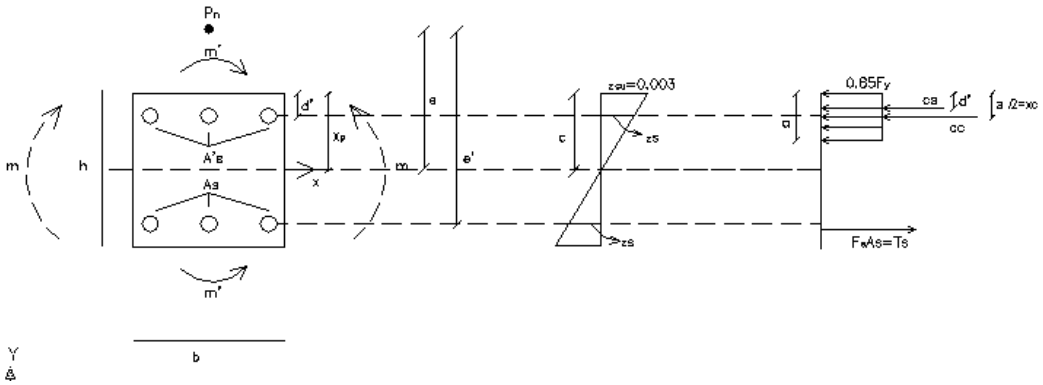
نکته: چون هنگامی که مرکز پلاستیک را بدست می‌آوریم نیروی محوری فشاری در روی خود مقطع وارد می‌شود می‌توان گفت که مرکز پلاستیک جسم همان خروج از مرکزیت آن می‌باشد.

ستون با مقطع مستطیلی تحت اثر نیروی محوری و لنگر خمش

چون مقطع تحت اثر لنگر خمش می‌باشد پس در اثر لنگر خمش فشار و کشش در مقطع ایجاد می‌شود.



Copyright by:www.Afshinsalari.com



×× اگر برای $A's = As$ مقطع مستطیلی بود $\Leftarrow x_p = \frac{h}{2}$ (بعبارتی مقطع متقارن بود)

$$e' = e - x_p + d \qquad A_s = A'_s \xrightarrow{\text{مقطع مستطیلی}}$$

$$e' = e + d - h/2 \Rightarrow e = e' - \frac{(d - d')}{2} \rightarrow \text{متقارن} \quad \text{مقاطع} \quad \text{تمام} \quad \text{برا}$$

$$e' = \left(e - \frac{h}{2} + d\right) = \left(e - \left(\frac{h - 2d}{\frac{d}{2}}\right) = \frac{\overbrace{h - d}^{d'} - d}{2} - \frac{d' - d}{2}\right)$$

هدف: تعیین Pn یا e:

نکته1: لنگر خمش m در اثر نیروی خروج از مرکزیت P_n بوجود می‌آید به عبارت دیگر خمش حول محور اگر نیروی محوری P_n در نقطه 2 اثر می‌کرد جهت خمش فرق می‌کرد یعنی پایین در فشار بالا در کشش

Copyright by:www.Afshinsalari.com

نکته2: لنگر خمش M' در صورتی بوجود می‌آید که نیروی P_n درست ??? مقطع وارد می‌شود

یعنی اثر این نیرو و جهت خمش و در نتیجه لنگر اما اگر نیروی در طرف چپ مقطع

وارد می‌شد داشتیم جهت خمش و در نتیجه لنگر

1- معادلات تعادل

$$1)P_n = c_c + c_s - T_s$$

قرار دارد: $+c_s \ , +c_c$

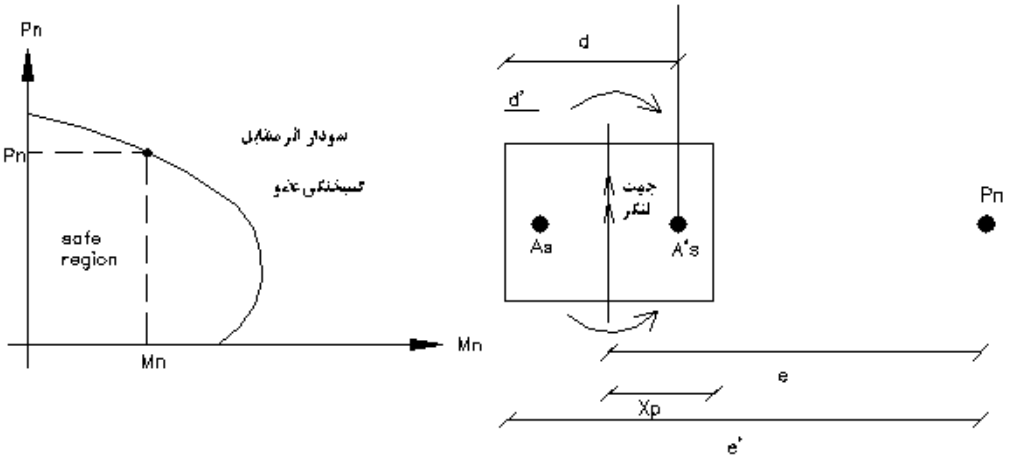
t_s:اگر نیروی کششی باشد (+)واگرفشاری باشد(-)

مقطع مستطیلی: $c_c = 0.85 f'_c ab$ $\qquad c_s = f_s A'_s$ $\qquad T_s = A_s f_s$

$$2)P_n.e' = c_c(d - \frac{\overset{x_c}{\overbrace{a}}}{2}) + c_s(d - d')$$

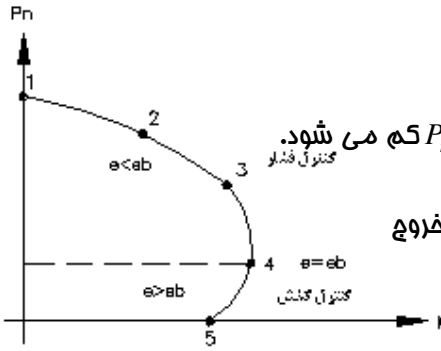
Copyright by:www.Afshinsalari.com

نمودار اثر متقابل ستونها: Interaction Oiagram



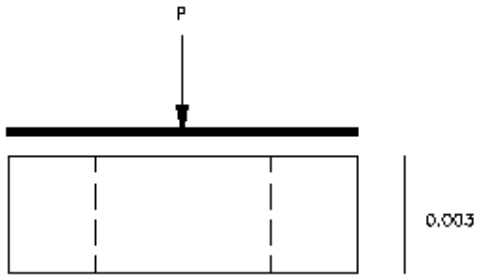
نمودار اثر متقابل:

نموداری است که هر نقطه روی آن بیان کننده مقادیری ازm و P است که بـه ازاء آن سـتون درآستانه زوال قرار می گیرد.



نکته :با افزایش خروج ازمرکزیت وافزایش لنگر مقدار P_n کم می شود.

هرچه از طرف نقطه 1 به طرف نقطه 5 می رویم مقدار خروج ازمرکزیت زیاد مقدار لنگر زیاد ومقدار P_n کم می شود



=فولاد وبتن هردوتحت فشار

نقطه 1

Copyright by:www.Afshinsalari.com

بارمحوری خالص ΦP_n

زوال کششی : Fension Failure

اگر فولاد کشش ،تحت تنش کششی قرار گرفته و به حد جاری شدن رسیده است (درکشش)

$$e < e_b \qquad c > c_b \qquad \varepsilon_s > \varepsilon_y$$

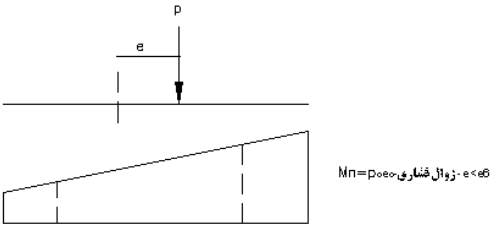
زوال فشاری: Compresion Failure

فولاد کششی به جاری شدن درکشش نرسیده باشد

$$e > e_b \qquad c < c_b \qquad \varepsilon'_s > \varepsilon_y$$

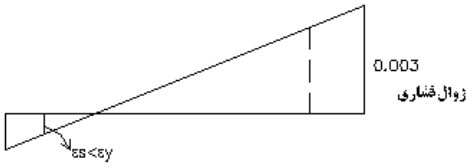
نکته :هرچه e **بزرگترشود** C**کوچکتر می شود.**

نقطه 2: $e < e_b$ **-زوال فشاری-** $M_n = P_0 e_0$

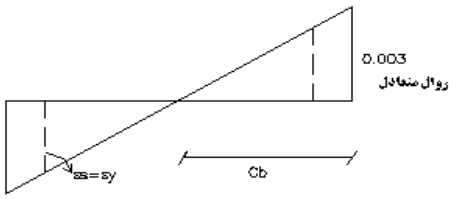


بار مقدار کمی خروج ازمرکزیت دارد

نقطه 3:



نقطه 4



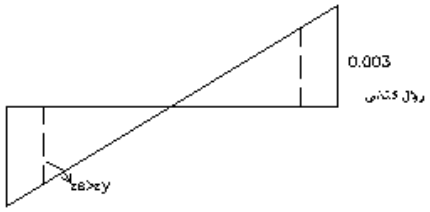
$$P_n = 0.85 f'_c ab + c_c + T_s$$

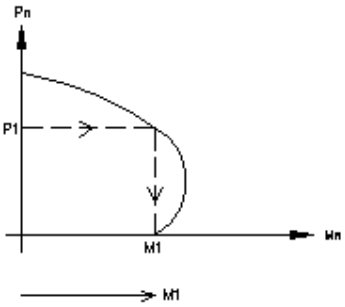
Copyright by:www.Afshinsalari.com

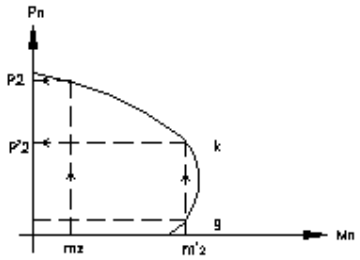
× نقطهٔ 4: m_b تنها مکانی است که می‌تواند ستون همراه با P_n تحمل کند یعنی اگر به ستونی $m = m_b$ وارد شود فقط به ازاء یک P_b، ستون می‌تواند $m_b + \rho_b$ را تحمل کند علت: چون به ازای های دیگر نقطه در خارج منحنی قرار خواهد گرفت.

زمانی که بتن به کرنش 0.003 رسید ε_y ازحد جاری شدن گذشته است.

نقطه 5:







به ازاء $m = m_2 \Rightarrow 0 < P < P_2$

به ازاء $m = m_2' \Rightarrow g < P < K$

به ازاء $P = P_1 \Rightarrow 0 < m < m_1$

ستون قادر به تحمل m_2, m_1 خواهد بود

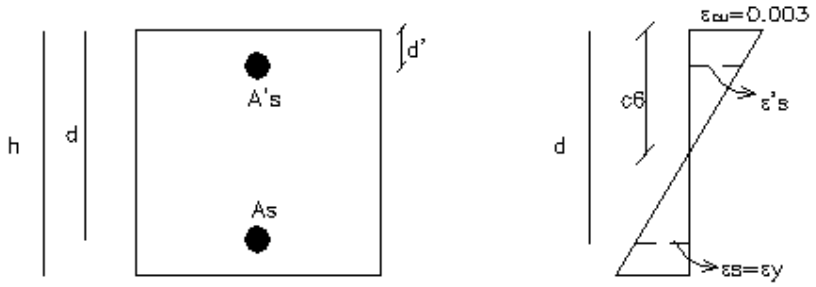
ستون قادر به تحمل PوM مربوطه خواهد بود

×× اگر طراحی بدست ما باشد اقتصادی تراست که طراحی را به روش زوال فشاری طراحی نمائیم.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

زوال متعادل برای مقاطع مستطیلی: Balance failure

در این حالت همزمان به رسیدن تغییر شکل نسبی بتن 0.003 فولاد کششی هم به حد تسلیم کششی می‌رسد و یا در ستون حالتی است که در آن همزمان با خرد شدن بتن و کرنش بتن به 0.003 رسیده (پایین‌ترین فولاد کششی در کشش خود به حد تسلیم برسد و در فشار به حد تسلیم برسد قبول نیست)



فرض A's=As

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{\varepsilon_s} \quad ,\varepsilon_{cu} = 0.003 \quad :\text{که} \qquad \frac{c_b}{\varepsilon_{cu}} = \frac{d-c_b}{\varepsilon_y} \qquad \frac{c_b}{d-c_b} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_y}$$

$$\frac{c_b}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_y} \quad \Rightarrow c_b = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_y}\times d \Rightarrow c_b = (\frac{6000}{6000+f_y})d$$

$$\begin{cases} \dfrac{\varepsilon'_s}{c_b-d'} = \dfrac{\varepsilon_{cu}}{c_b} \\ c_b = \dfrac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_y}\times d \end{cases} \Rightarrow \varepsilon'_s = \frac{c_b-d'}{c_b}\times\varepsilon_{cu}$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

نکته: اگرفولادن فشاري به حد تسليم رسيده باشد $f_s' = f_y$

نکته: اگر فولاد فشاري به حد تسليم نرسيده باشد $f_s' = E_s \varepsilon_s$

$$P_n b = c_c + c_s - Ts \qquad a_b = B_1 = cbalance$$
$$= 0.85 f_c' a_b b + f_s' A_s' - f_y A_s$$

بنا به تعریف حالت بالانس: $f_y = \varepsilon_y - \mathrm{E}_y$

حالتی که فولاد به حد تسلیم نرسیده باشد: $P_n b = 0.85 f_c' a_b . b + A_s f_y (1 - \frac{\varepsilon_s'}{\varepsilon_y})$

حالتی که فولاد فشاری به حد تسلیم رسیده باشد : $P_n . b = 0.85 f_c' a_b . b$

بدلیل تغییر کردن : AC **تغییر پیدا می‌کند** $\mathrm{C_C}$ **برای مقاطع دیگر:**

$$e_b' - P_n b = c_c (d - {a_b}/{2}) + c_s (d - d')$$

براي مقاطع غير مستطيل عبارات فوق ($d - \frac{a_b}{2}$) تغيير خواهد نمود)

$$e_b' = e_b - (\frac{d - d'}{2}) \quad , \quad e_b = e_b' + \left(\frac{d - d'}{2}\right)$$
$$m_n b = e_b . P_n b$$

××× اگر در مسئله‌ای با هر نوع بارگذاری دلیلی ندارد c_b **و سایر مشخصات را از فرمولهای بالانس بدست آوریم و باید از راه‌حل کلی، بدست آیند و حالتهای بالانسی برای کنترل مسائل استفاده خواهد شد.**

Copyright by:www.Afshinsalari.com

فرمولهای تقریبی (برای مقاطع مستطیلی)

$$e_b \approx (0.2 + 0.77\rho_t \mu)h$$

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{bd} \qquad \mu = \frac{f_y}{0.85 f_c'}$$

$$A_{st} = A_s + A_s' = 2A_s$$

$$P_{n_\circ} = 0.85 f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

استفاده از اندیس ◦ علاوه بر n

بر این مبنا قرار دارد که این ظرفیت ایمنی نهایی مربوط به حالتی است که m=0 باشد.

حالت کلی زوال متعادل برای مقاطع مستطیلی $A_s \neq A_s'$

1) مقادیر c_b و a_b را حساب کنید.

$$c_b = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y}.d \qquad a_b = B.c_b$$

or

$$c_b = \frac{6000}{6000 + f_y}.d$$

2) مقادیر زیر را حساب کنید.

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} - (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y)\frac{d'}{d} \qquad or \qquad \varepsilon_s' = \varepsilon_{cu}\left(\frac{c - d'}{c}\right)$$

$f_s' = E_s \varepsilon_s' \le f_y \Rightarrow$ می‌نماییم فرض $f_s' = f_y$ اینصورت در غیر

3) مقادیر c_c و c_s و T را حساب کنید.

$$c_c = 0.85 f_c'.a_b.b$$
$$c_s = A_s'.f_s' \quad , \quad T_s = A_s f_y$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

4) مقادیر P_nb و e'_b را حساب کنید.

$$P_nb = c_c + c_s - t_s$$
$$P_nb.e'_b = c_c\left(d - \frac{a_b}{2}\right) + c_s(d - d')$$

اگر فولاد فشاری و کششی متقارن باشند بعبارتی دیگر مرکز پلاستیک در وسط قرار گرفته باشد.

$$e'_b = e_b \Rightarrow m_nb$$
$$e = e' - (\frac{d - d'}{2})$$

$$m_nb = P_nb \times e_b$$

ویا

$$P_nb.e_b = m_nb = c_c\left(xp - {a_b}/{2}\right) + c_s(xp - d') + T_s(d - xp)$$

مثال:

$$cieven: \ f'_c = 200\,{kg}/{cm^2} \quad , \quad f_y = 3000\,{kg}/{cm^2}$$

$$\text{Re}: \ e_b = ?, m_nb = ?, P_nb = ?$$

$$c_b = \frac{0.003}{0.005 + 0.0015} \times 39 = 26cm \qquad , a_b = 0.85c_b = 0.85 \times 26$$

$$a_b = 22cm$$

$$\varepsilon'_s = 0.003\left(\frac{26 - 6}{26}\right) = 0.0023 > \varepsilon_y = 0.0015$$

$$f'_s = f_y = 3000\,{kg}/{cm^2}$$

$$f_s = f_y = 3000\,{kg}/{cm^2} \leftarrow \text{بالانس} \qquad \text{حالت} \qquad \text{تعریف} \qquad \text{بنابه}$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$c_c = 0.85 f_c' a_b b = -0.85 \times 200 \times 22 \times 35 = 130900 kg$$

$$c_s = T_s = A_s f_y = 9.92 \times 3000 = 28260 kg$$

$$P_n b = c_c + cs - T_s = 130900 = 130.9 \quad ton$$

$$e_b' . P_n b = c_c (d - \frac{a}{2}) + c_s (d - d')$$

$$e_b' \times 130.9 = 130.9 \left(39 - \frac{22}{2} \right) + 28.26(39 - 6) \Rightarrow e_b' = 35 cm$$

بعلت تقارن فولادهای فشاری و کششی مرکزی پلاستیک در وسط قرار خواهد گرفت.

$$e_b = e_b' - \frac{1}{2}(d - d') = 18.5 cm$$

$$m_n b = P_n b \times e_b = 18.5 \times 130.9$$

حل به روش فرمول تقریبی:

$$\mu = \frac{f_y}{0.85 f_c'} = 17.647 \qquad \rho_t = \frac{A_{st}}{bd} = \frac{2 \times 9.42}{35 \times 39} = 0.0138$$

$$e_b \approx (0.2 + 0.77 P_t . \mu) h = 17.44 cm$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

نکته بسیار مهم:

برای بدست آوردن مرکز پلاستیک یک مقطع باید فرض کرد که کل مقطع در فشار می‌باشد یعنی کل میلگردها فشاری هستند به عنوان مثال برای مثال بالا داریم:

$$c_c = 0.85 f_c' A_c = 0.85 \times 200 \times 35 \times 45 = 267750$$

$$c_{s_1} = c_{s_2} = A_s . f_y = 9.92 \times 3000 = 28260$$

$$P_n = c_c + c_{s_1} + c_{s_2} = 267750 + 2 \times 28260 = 296010$$

$$x_b = \frac{267750 \times 22.5 + 28260 \times b + 28260 \times 45 - 6}{296010} \Rightarrow x_b = 22.5cm$$

خروج از مرکزیت حداقل

ظرفیت تحت نیروی محوری خالص $P_{n_\circ} = 0.85 f_c' A_c + A_s f_y$

$$e_{\min} = \max \begin{cases} 2.5cm \\ 0.1h \end{cases} \quad \text{تنگدار} \quad \text{ستونهاي} \quad \text{براي}$$

$$e_{\min} = \max \begin{cases} 0.05h \\ 2.5cm \end{cases} \quad \text{دورپيچ} \quad \text{ستونهاي} \quad \text{براي}$$

$$p + m = p.e_{\min}$$

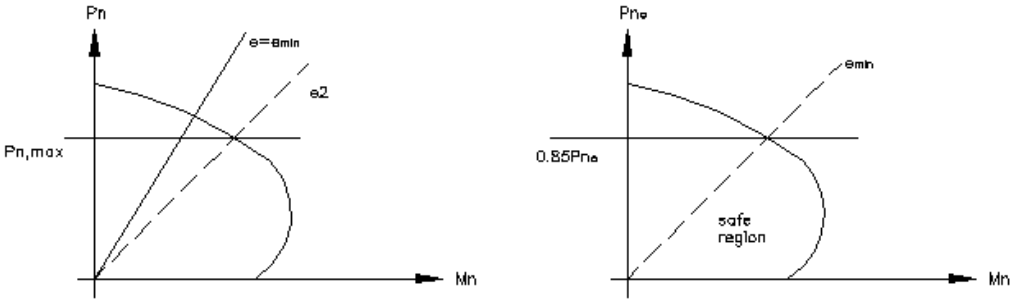
Copyright by:www.Afshinsalari.com

طبق آیین‌نامهٔ ACI:

1) $e_{\min} = 1.5 + 0.003h \rightarrow cm$ حسب بر

$P_{n,\max} = 0.8P_{n_\circ}$ تنگدار ستونهاي براي

$P_{n,\max} = 0.85P_{n_\circ}$ دورپيچ ستونهاي براي

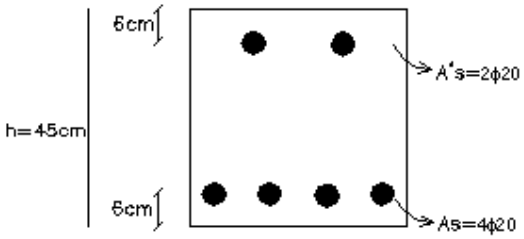


$$P_{n_\circ} = 0.85 f'_c A_c + A_s f_y$$

که:

$$A_c = A_g - A_{st} \approx A_g$$

نکته: بدلیل واقع شدن $P_{n,\max}$ در ناحیه فشاری لذا تنها کنترل رابطه $P_{n,\max}$ برای ناحیه فشاری $e < e_b$ الزامی است و در ناحیه زوال کشش لازم نیست (کنترل لازم نیست)



Copyright by:www.Afshinsalari.com

$cieven: f_c' = 200^{kg}/_{cm^2}$ $\qquad f_y = 3000^{kg}/_{cm^2}$

$A_s' = 6.28$, $\qquad A_s = 12.56cm^2$

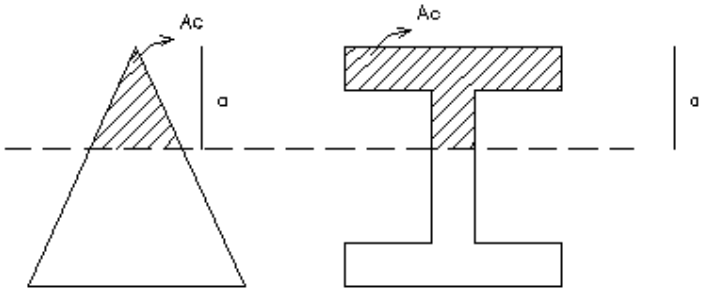
$\text{Re}9: m_n b = ?, P_n b = ?$

حل:

$$c_b = \frac{0.003(39)}{0.003+0.0015} = 26cm \qquad , a_b = B_c.c_b = 0.85\times 26 = 22.1cm$$

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu} - (\varepsilon_u + \varepsilon_y)\times\frac{d'}{d} = 0.00231 > \varepsilon_y \Rightarrow f_s' = f_y = 3000\frac{kg}{cm^2}$$

بنا به تعریف حالت بالانس $f_s = f_y \Leftarrow$



$$c_c = 0.85 f_c' \overbrace{A_c}^{a_b.b} = 131500kg$$

$$c_s = A_s' f_y = 6.28\times 3000 = 18850kg$$

$$T_s = A_s f_y = 12.56\times 3000 = 37700kg$$

$$P_{nb} = c_c + c_s - T_s = 112650$$

اگر مقطع متقارن بود $c_c = T_s (A_s = A_S')$ بوده ودر نتیجه داریم $P_{nb} = c_c$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

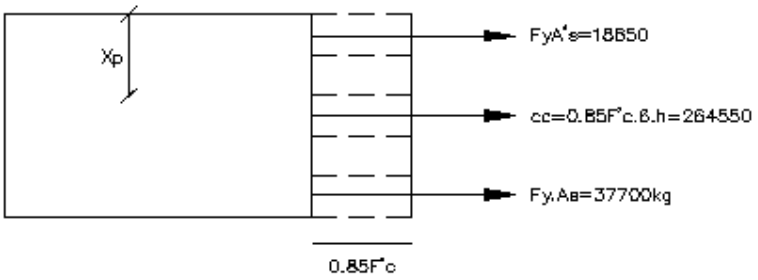
$$e'_b - P_{nb} = c_c\left(d - \frac{a}{2}\right) + c_s(d - d') \Rightarrow e'_b = 38.1cm$$

فاصله مرکز ثقل بتون تنش فشاري تا فولاد کششي $= \left(d - \frac{a}{3}\right)$

درحالت $: e = e'_b - d + x_p = 38.1 - 39 + 22.5$ مقطع نامتقارن

راه حل کلی بدست آوردن x_p :

برای هر نوع مقطع



$$x_p = \frac{c_c \cdot \frac{h}{2} + c_s.d' + T_s.d}{c_c + c_s + T_s} = 23.5cm$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

شرح کلی مسائل طراحی ستونها

A-1- حالت اول، آنالیز ستونها:

$Given: A'_s, A_s, b, h, d, d', f_y, f'_c, e$

$\text{Re}9: P_u = ؟$ کند تحمل میتواند ستون که نیرویی مقدار

× مقدار e_b را پیدا کنید(خروج از مرکزیت در حالت بالانس)

و با مقدار e داده شده مقایسه کنید

$e < e_b \Rightarrow$ فشاري زوال $\rightarrow 2$

$e > eb \Rightarrow$ كششي زوال $\rightarrow 3$

2- اگر $e < e_{balance}$ باشد در اینصورت زوال فشاری خواهیم داشت

روش I: حل یک معادلهٔ درجه IIIبرای P_n

روشII:استفاده از روش سعی و خطا

روشIII : استفاده از نمودارهای اثر متقابل و یا جداول آماده

روشIV: استفاده از فرمولهای تقریبی و تخمینی

روشV: استفاده از دورنیابی خطی بین P_{n_b}, P_{n_0}

3- اگر $e > e_{balance}$ باشد در این صورت زوال کششی خواهیم داشت.

روشI : حل یک معادلهٔ درجهٔ II برای P_n

روشII : استفاده از روش سعی و خطا

روشIII : استفاده از نمودارهای اثر متقابل و یا جداول آماده

Copyright by:www.Afshinsalari.com

A-2- حالت دوم: مسائل مربوط به طراحی ستونها:

$$Given: P_u, m_u, f'_c, f_y$$

نوع اول:

$$\text{Re}9 = b, h, d, A'_s, A_s$$

$$Given: P_u, m_u, f'_c, f_y, b, h$$

نوع دوم:

$$\text{Re}9: A_s, A'_s$$

آنالیز زوال کششی (برای مقاطع مستطیلی) (روشI) $e > e_b$

حالت اول: As-A′s (مقطع متقارن)

$$1) P_n = c_c + c_s - T_s$$

×که c_c و c_s نامعلوم است ولی چون زوال کششی است پس ($f_s = f_y$) بنابراین T_s معلـوم و برابر $T_s = A_s f_y$

با فرض تسلیم شدن فولاد فشاری:

$$c_s = A'_s f_y = A_s f_y = T_s$$

$$P_n = c_c$$

$$P_n . e' = c_c (d - a/2) + c_s (d - d')$$

2)

$$P_n = c_c = 0.85 f'_c . ab \Rightarrow a = P_n / 0.85 f'_c . b$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$e'.P_n = P_n(d - \underbrace{\frac{P_n}{107 f_c' b}}_{2\times(0.85 f_c' b)}) + A_s f_y (d - d') \Rightarrow$$

$$\alpha..P_n^2 + \beta - P_n + \gamma = 0 \qquad P_n = \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha}$$

$$P_n = 0.85 f_c' \times bd\left[\left(1 - \frac{e'}{d}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d}\right)^2 + 2\rho\mu\left(1 - \frac{d'}{d}\right)}\right] \qquad (A)\ \text{رابطه } \underline{1} \times\times$$

×××: فرمول فوق زمانی صادق است که فرض فولاد فشاری به حد تسلیم رسیده مقبول باشد که این فرض یعنی جاری شدن فولاد فشاری باید کنترل گردد.

$$\underbrace{\rho = \frac{A_s}{bd}}_{\rho_g = \frac{A_s}{bh}} \quad , \quad \underbrace{\mu = \frac{f_y}{0.85 f_c'}}_{effictive\ strength\ ratio}$$

3)کنترل جاری شدن فولاد فشاری:

موقعیت تار خمش $P_n = 0.85 f_c'.ab \quad \Rightarrow \quad a = ok \quad \Rightarrow c = \frac{a}{\beta} = ok$

$$c \to \varepsilon_s' = ok \qquad \varepsilon_s' > \varepsilon_y \ \ ok \qquad , \qquad \varepsilon_s' < \varepsilon_y \qquad Notgood$$

اگر فرض جاری شدن $\varepsilon_s' < \varepsilon_y$ فولاد فشاری اشتباه بود و فرمول A قابل قبول نبود و مسئله را باید از اول و از روش سعی و خطا دنبال نمود (با c کوچکتر از c حالت قبل)

مقایسه e با e مسئله $c \ \ ok \to P_n = c_c = ok \ \to e' \ \ ok \to e \ \ ok \Rightarrow$ فرض

هر جا که e بدست آمده تقریباً مساوی e مسئله شد کار تمام است.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

بطور خلاصه:

1) با استفاده از رابطه (1) مقدار P_n را بدست می‌آوریم

2) مقادیرa,c را به دست می‌آوریم $c = {a}/{\beta_1}$, $a = {P_n}/{0.85 f_c' b}$

3) مقدار ε_s' را بدست می‌آوریم

$$\varepsilon_s' = \left(\frac{c - d'}{c}\right).\varepsilon_{cu}$$

4) اگر $\varepsilon_s' < \varepsilon_y$ جواب مرحله (1) درست است

اگر $\varepsilon_s' < \varepsilon_y$ جواب مرحله (1) غلط بوده و جواب صحیح باید از روش سعی و خطا بدست آید.

حالت دوم: $A_s \neq A_s'$ (مقطع نامتقارن باشد)

$$P_n = 0.85 f_c' bd\left[\rho_u - \rho'\mu' + \left(1 - \frac{e'}{d}\right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d}\right)^2 + 2\left[\frac{e'}{d}\left(\rho_\mu - \rho'_{\mu'}\right) + \rho'_{u'}\left(1 - \frac{d'}{d}\right)\right]}\right]$$

این فرمول فقط برای مقاطع مستطیلی نامتقارن و $A_s \neq A_s'$ صادق است.

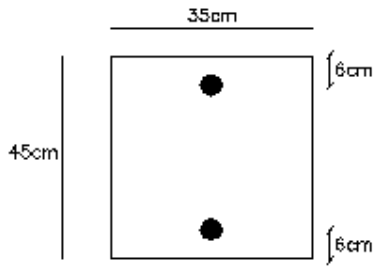
×× و با فرض اینکه فولاد فشاری تسلیم شده باشد که باید طبق روش قبل کنترل شود

$$\mu' = \mu - 1$$

که :

$$\mu = \frac{f_y}{0.85 f_c'} \quad , \quad \rho = \frac{A_s}{bd}, \quad \rho' = {A_s}/{bd}$$

مثال:



Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$Given: A_s = A'_s = 3\Phi 20 \quad , \quad f'_c = 200\frac{kg}{cm^2}$$

$$f_y = 3000\ \frac{kg}{cm^2} \quad , \quad e = 30cm$$

$$\text{Re}9: \quad P_u = ?$$

زوال کششی $e > e_b$ $\quad e = 30 > e_b = 18.5 \Rightarrow \quad , \quad e_b = 18.5cm \Rightarrow$ از مسئله قبل

$$e = e' - \left(\frac{d - d'}{2}\right), \Rightarrow e' = 30 + 16.5 = 46.5cm$$

$$\frac{e'}{d} = 1.192 \quad , \quad 1 - e'/d = -0.102$$

$$\mu = f_y / 0.85 f'_c = 17.65 \qquad \rho = A_s / bd = 0.0069$$

$$P_u = 0.122$$

از جایگذاری در فرمول1

$$P_n = 0.85 \times 200 \times 35 \times 30 \times [+0.192 + \sqrt{(-0.192)^2 + 2 \times 0.122(1 - \frac{6}{?})}$$

$$P_n = 69.85ton \rightarrow \frac{69.85 \times 10^3}{0.85 \times 200 \times 35} = 11.74cm \rightarrow c = 13.8 \rightarrow \varepsilon'_s > \varepsilon_y \qquad ok$$

$$P_u = \Phi P_n = 0.7 \times 69.85 = 48.9ton$$

چون در ناحیه زوال کششی می‌باشیم لذا باید ضریب کاهش ظرفیت اعمال شود داریم:

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$(P_{u)_{,\lim}} = \min\begin{cases}\Phi P_n b = 0.7\times 130.9 = 91.63 ton \\ \\ 0.1 f'_c A_g = 0.1\times 200\times 45\times 35 = 31.5 ton\end{cases} \Rightarrow (P_u)_{\lim} = 31.5\ ton$$

$$(P_u) = 48.9 ton > (P_u)_{\lim} = 31.5 ton \Rightarrow \Phi = 0.7 \quad ok \quad \Rightarrow P_u = 48.9 ton$$

$$P_n = 0.85 f'_c.a.b \Rightarrow a = {P_n}/{0.85 f'_c b} = \frac{69.85\times 10^3}{0.85\times 200\times 35} = 11.74 cm$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = {11.74}/{0.85} = 13.8 cm$$

$$\varepsilon'_s = \varepsilon'_{cu}\left(\frac{c-d'}{c}\right) = 0.0017 > \varepsilon_y = 0.0015$$

کنترل جاری شدن فولاد فشاری:

پس فولاد فشاری به تسلیم رسیده و جواب مسئله صحیح می‌باشد.

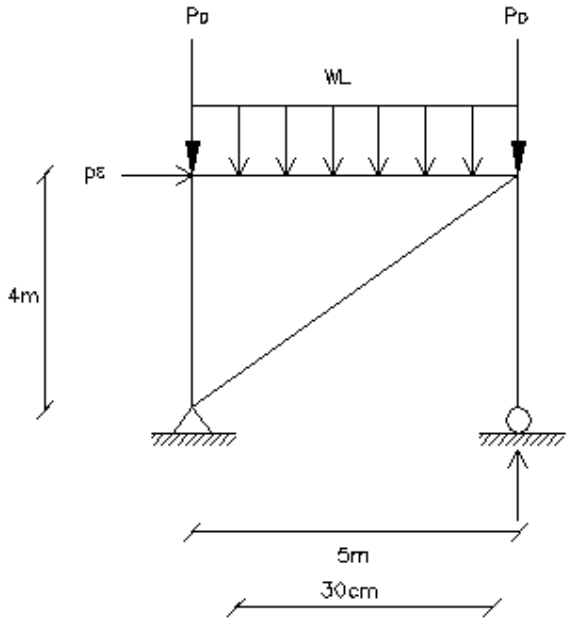
$P_E = 50 ton$

$P_D = 40 ton$

$w_l = 12\ \frac{t}{m}$

$F_D = P_D = 40 ton$

$F_L = \frac{1}{2}\times 12\times 5 = 30 ton$



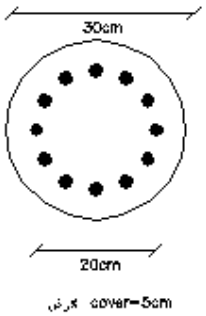
Copyright by:www.Afshinsalari.com

ممان گیری حول نقطه A: $F_E = 0.8P_E = 60ton$

pd

$$F_u = \max\begin{cases} 1.4F_D + 1.7F_L = 107 \\ 0.75(1.4F_D + 1.7F_l + 1.87F_E) = 136.35t \end{cases}$$

$$F_u = 136.35ton$$



$$P_{n_0} = 0.85f_c'A_g + A_s f_y$$

$$P_{n_{\max}} = 0.85f_c'A_g + A_s f_y$$

$$P_{n\max} = 0.85P_{n_0}$$

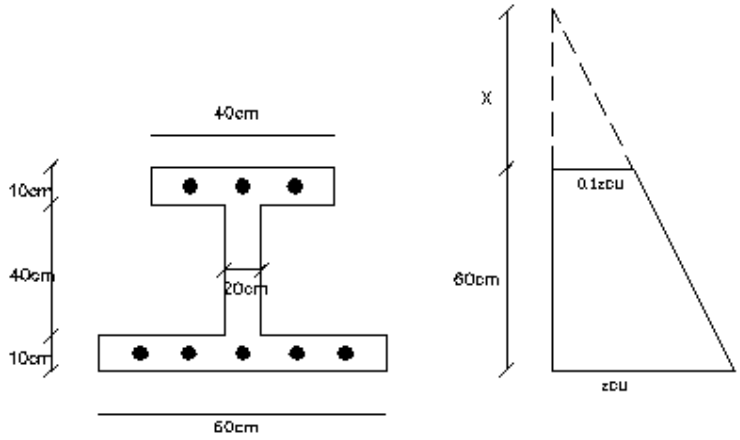
$$f_u = 0.75P_{n_{\max}} = 0.75\times 0.85\times\left(0.85f_c'A_g + A_s f_y\right)$$

مثال:

سطح مقابل داده شده است مطلوبست محاسبه

1) $M_n \max$ 2) لنگر و نیروی قابل تحمل برای مقطع

Copyright by:www.Afshinsalari.com



$$\frac{\varepsilon_{cu}}{60+x}=\frac{0.1\varepsilon_{cu}}{x}\Rightarrow x=\text{معلوم}\quad=6.54$$

$$c=x+66.66$$

$$\rightarrow c_b=\frac{0.003}{0.003+\varepsilon_y}\times d \qquad P_n b.e_b=c_c$$

تغییر ظرفیت برای مقادیر کوچک نیروی محوری:

1) ستون تنگ‌دار $(\Phi P_n)_{\lim}=P_{u_{\lim}}=\min\begin{cases}0.1f_c'A_g\\ \Phi P_n b\end{cases}$

اگر P_u بدست آمده از $P_{u_{\lim}}$ کمتر بود ضریب افزایش ظرفیت را اعمال نمائیم.

برای ستون تنگ‌دار :

$$if\quad P_u<P_{u_{\lim}}\Rightarrow\Phi=0.9-0.2\frac{\frac{P_u}{\Phi P_n}}{P_{u_{\lim}}}$$

$$if\quad P_u<P_{u_{\lim}}\Rightarrow\Phi=0.9-0.2\frac{P_u}{P_{u_{\lim}}}$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

2) ستون دورپیچ

$$P_{u_{\lim}} = \min \begin{cases} 0.05 f_c' A_g \\ \Phi P_n b \end{cases}$$

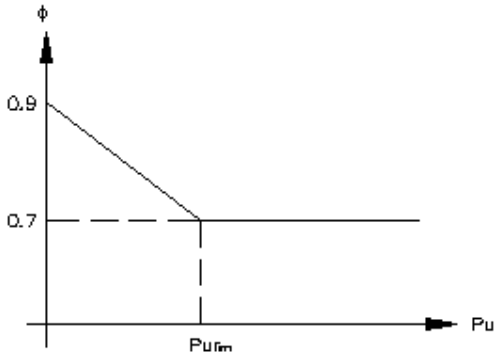
$$if \quad P_u < P_{u_{\lim}} \Rightarrow \Phi = 0.9 - 0.15 \frac{P_u}{P_{u_{\lim}}}$$

فرمولهای فوق با استفاده از تناسب می باشند

$P_{u_{\lim}} \rightarrow 0.75$

$0 \rightarrow 0.9$

$P_u \rightarrow ?$



(حالت زوال کششی) P_n, m_n

$$P_u = \Phi P_n \quad , \quad m_u = \Phi m_n$$

$o.k \quad P_u > P_{u_{\lim}} \xrightarrow{\text{کنترل}} \text{حل} \rightarrow \text{می‌کنیم} \quad \Phi = 0.07 : \text{فرض} \quad \text{اولیه}$

$$if \quad P_u < P_{u_{\lim}} \Rightarrow \Phi = 0.9 - 0.2\Phi \frac{P_n}{P_{u_{\lim}}}$$

نکته: هیچگاه ضریب کاهش ظرفیت در داخل ناحیه زوال فشاری نخواهد افتاد بدلیل اینکه $P_{u_{\lim}} = \Phi P_n b$ یعنی همیشه مقدار کاهش ظرفیت از منطقه $P_n b$ شروع می‌شود.

نکته: ضریب خروج از مرکزیت حداقل در ناحیه زوال کششی هیچگاه اتفاق نمی‌افتد.

خلاصه مطلب:

در زوال کششی مقدار P_n, m_n را محاسبه کرده‌ایم مقدار P_u, m_u چقدر است.ص346

1) مقدار ϕ را بر (0.7 یا 0.75) انتخاب می‌کنیم و بر حسب نوع تنگ یا دورپیچ (فرض اولیه)

Copyright by:www.Afshinsalari.com

2) P_u را حساب کنید.

$$\begin{cases} P_u = 0.7P_n & \text{ستون تنگدار} \\ P_u = 0.75P_n & \text{ستون دورپیچ} \end{cases}$$

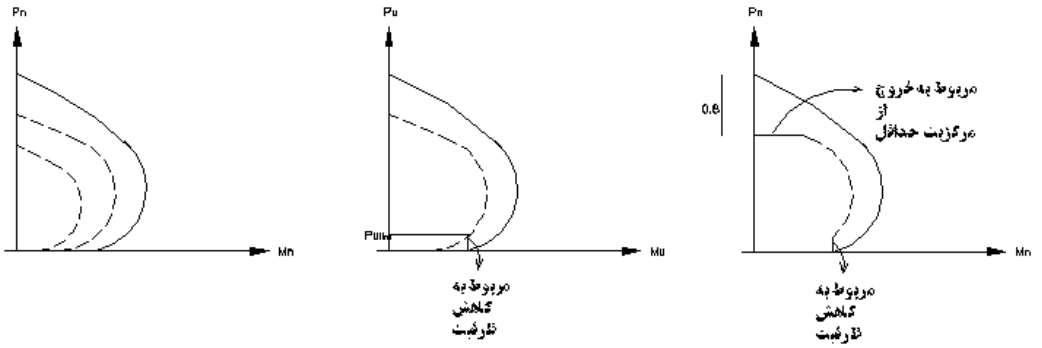
که $P_{u_{\lim}} = \min\begin{cases} 0.1f'_cA_g \\ \Phi P_n b \end{cases}$

3) مقدار $P_{u_{\lim}}$ را حساب کنید.

$$if \quad P_u = 0.7P_n > P_{u_{\lim}} \Rightarrow \Phi = 0.7 \quad ok$$

$$if \quad P_u = 0.7P_n < P_{u_{\lim}} \Rightarrow \Phi = 0.9 - 0.2\frac{\Phi P_n}{P_{u_{\lim}}}$$

منحنی طراحی ستونها:



چون در ناحیه زوال کششی هستیم و مقدارPناچیز می‌شود لذا ضریب کاهش ظرفیت لازم است.فرض می‌شود که هنگام رسیدن به مقاومت اصلی ستون آرماتور فشاری تسلیم شده باشد این فرض در اغلب موارد صحیح است، اما به هر حال پس از پایان محاسبه در هر مسئله صحت این فرض باید کنترل شود.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

زوال فشاری: comeresi pressure

1) مقادیر تنش در فولاد را بدست آورید:

$$f_s = \varepsilon_s - \varepsilon_{cu}\left(\frac{d-c}{c}\right) \le f_y \begin{cases} f_s & \text{فشار} - \\ & \text{کشش} - \end{cases}$$

$$f'_s = \varepsilon_s.\varepsilon_{cu}\left(\frac{c-d'}{c}\right) \le f_y \begin{cases} f'_s & \text{فشار} + \\ & \text{کشش} - \end{cases}$$

2) مقادیر T_s, c_s, c_c راحساب کنید.

$$c_c = 0.85 f'_c \overbrace{\beta_1.c.b}^{a}$$

$\beta_1.c.b =$ مساحت بلوک فشار

$$T_s = A_s f_s \quad , \quad c_s = A'_s f'_s$$

3) مقادیر P_n و $e'P_n$ نوشته شود.

$$P_n = c_c + c_s - T$$

$$e'.P_n = c_c\left(d - \frac{a}{2}\right) + c_s(d-d')$$

4) معادلهٔ زیر را تشکیل دهید:

$$e'(c_c + c_s - T) = c_c\left(d - \frac{\beta_1 c}{2}\right) + c_s(d-d')$$

از معادلهٔ بالا- یک معادله درIII حسبc و یا یک معادلهٔ درجه II حسب c_c

× معادلهٔ درجهIII فقط برای مقاطع مستطیلی است.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

× اول باید فرض کرد که $f_s' = f_y$ بشود که یک معادلهٔ درجه سوم می‌شود وگرنه بجای f_s' همان رابطه (1) را باید گذاشت که در این حالت درجهٔ معادله بالاتری رو n

× امکان ندارد $f_s > f_y$ بشود چون زوال فشاری می‌باشد بعبارتی دیگر f_s همیشه از f_y کوچکتر است. و اگر در زوال فشاری $f_s > f_y$ بشود به مفهوم زوال کششی می‌باشد پس در محاسبات اشتباهی رخ داده است.

×بعبارتی دیگر با وجود اینکه زوال فشاری است با اینحال جاری شدن فولاد فشاری به صورت فرض تلقی می‌شود که در انتها بایستی کنترل شود.

در صورت مستطیل بودن مقطع معادلهٔ درجه III که از رابطه 4 حاصل می‌شود (برحسب c به صورت زیر می‌باشد.

$$-0.85f_c'\frac{\beta^2}{2}bc^3+0.85f_c'b\beta(d-e')c^2+(A_s'f_y(d-d')-e'A_s'f_y-e'A_sE_s-\varepsilon_{cu})c$$

$$+e'A_s.E_s.\varepsilon_{cu}.d=0$$

که با حل معادله درجه سوم بالا بر حسب c_c و c پیدا می‌شود.

5) کنترل کنید که فولاد فشاری تسلیم شده باشد. اگر فولاد فشاری تسلیم نشده باشد در رابطه 4 بایستی به جای fy $E_s\varepsilon_{cu}\left(\frac{c-d'}{c}\right)$ قرار داده شود.

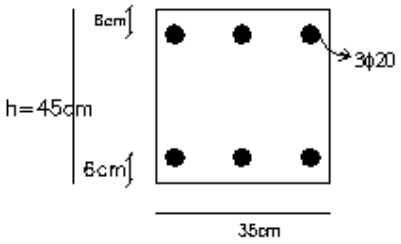
Copyright by:www.Afshinsalari.com

6) کنترل کنید که فولاد کششی در فشار تسلیم نشده باشد. اگر فولاد کششی در فشار تسلیم شده باشد و رابطه بالا به جای $E_s\varepsilon_{cu}\left(\frac{d-c}{c}\right)$ مقدار fy- قرار دهید (علامت منفی به خاطر این است که در فشار تسلیم شده)

مثال:

$$Given: f'_c = 200\ \tfrac{kg}{cm^2}\ ,\ f_y = 3000\ \tfrac{kg}{cm^2}\ ,\quad e = 10cm$$

$$R_e 9: P_n, m_n = ?\quad ,\quad P_u, m_u = ?$$



حل:

$e = 10cm < e_b = 18.5cm \rightarrow$ فشاري زوال , $e_b = 18.5cm$ **از مسئله قبل**

بافرض جاری شدن فولاد فشاری $f'_s = f_y$

$$e' = e + \left(\frac{d-d'}{2}\right) = 26.5cm \quad ,\quad c_c = 0.85 f'_c a.b = 0.85\times 200\times \beta\times c\times 35$$

$$c_c = 505\beta_1 c \qquad ok$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$c_s = A_s' f_y = 28260kg$$

$$F_s = A_s f_s = A_s.E_s.\varepsilon_s = A_s.E_s.\varepsilon_{cu}(\frac{d-c}{c}) = 56520(\frac{39-c}{c})$$

$$P_n.e' = c_c(d-\tfrac{d}{2}) + c_s(d-d') \Rightarrow P_n = c_c + c_s - T_s$$

$$(c_c + c_s - T_s)e' = c_c(d-\tfrac{a}{2}) + c_s(d-d') \Rightarrow$$

$$26.5(28260 + 505\beta_1 c - 56520(\frac{39-c}{c})) = 5058c(39 - \tfrac{.085}{2}\times c) + 28260\times 33$$

$$\Rightarrow c^3 - 29.4c^2 + 611.36c - 27176.14 = 0 \Rightarrow c = 34.5cm$$

توجه:باید $c > c_b$

کنترل جاری شدن فولاد فشاری وکششی

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_{cu}(\frac{c-d'}{c}) = 0.00245 > \varepsilon_y = 0.0015 \quad ok$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_{cu}(\frac{d-c}{c}) = 3.91\times 10^{-4} < \varepsilon_y = 0.0015 \quad ok$$

$$c_c = 177.5 \quad ton \quad , \quad c_s = 28.26 \quad ton \quad , \quad T_s = 7.37 \quad ton$$

$$P_n = c_c + c_s - T_s = 195.4 \Rightarrow m_n = e.P_n = 0.1\times 195.4 = 19.547 \quad ton.m$$

$$P_u = 0.7\times 195.4 \quad ton = 136.8ton$$

$$m_u = 0.7\times 19.54 = 13.678 \quad ton.m$$

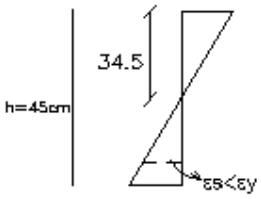
$$(P_u)_{\max} = 0.8\Phi P_{n_0} = 0.8(0.85 f_c' bh + A_s f_y) = 0.8\times 324.27\times 0.7$$

$$= 0.8\times 0.7\times 324.27 = 181.6 \quad ton > 136.8 \quad ok$$

$$(P_u)_{\max} \geq P_u$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

نکته:دراینجا احتیاجی به کنترل جاری شدن فولاد کششی نیست چون طبق نمودار فولاد کششی درناحیه کششی می افتد پس جاری نمی شود.



روش سعی و خطا برای آنالیز ستونها

معلومات: $....e, f_y, f'_c, d, d', b, h, A'_s, A_s$

مجهولات: m_u, P_u

1)یک مقدار برای c فرض می‌شود و اگر زوال فشاری باشد $c > c_b$

و اگر زوال کششی باشد $c < c_b$

مقدار a را بدست می‌آوریم $a_1 = \beta_1 c$

1) مقادیر ε_s , ε'_s را حساب کنید.

$$\varepsilon_s = 0.003\frac{(d-c)}{c} \quad , \quad \varepsilon'_s = 0.003\frac{(c-d')}{c}$$

3) مقادیر تنش در فولاد را حساب کنید.

$$f_s < -f_y \Rightarrow f_s = -f_y \quad , \quad -f_y \le f_s = E_s\varepsilon_s \le f_y$$

$$f'_s < -f_y \Rightarrow f'_s = -f_y \quad , \quad -f_y \le f'_s = E_s\varepsilon'_s \le f_y$$ ← این حالت هیچوقت اتفاق

نمی‌افتد زیرا هیچگاه فولاد فشاری در کشش قرار نمی‌گیرد. (-)فشاری (+)کششی

4) مقادیر $T_s.c_s, c_c$ را محاسبه کنید

$$c_c = 0.85 f'_c \underbrace{a.b}_{A_c}$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

درمقاطع غیرمستطیلی فرض می کند $A_c =$ و $a = \beta_1 c$

$$c_s = A'_s . f'_s$$

$$T_s = A_s f_y$$

5) مقادیر P_n را حساب کنید.

لنگرگیری حول میلگردهای کششی $e'.P'_n = c_c\left(d - \frac{a}{2}\right) + c_s(d - d')$

6) مقدار جدید c را حساب کنید.

c جدید مقدار $c_c = 0.85 - f'_c.ab \Rightarrow P_n = c_c + c_s - t_s$

$$a_2 = \frac{P_n - c_s + t_s}{0.85 f'_c b} \Rightarrow c = \frac{a}{\beta_1}$$

×× اگر اختلاف c ها کم بود، c بدست آمده درست است در غیر اینصورت c را دوباره بدست می‌آوریم. اگر جواب نداد می‌توان با a_2 بدست آمده مراحل قبل را تکرار کرد (بهترین راه حل) و یا اینکه با توجه به a_2, a_1 یک a جدید انتخاب کنیم.

اگر $a_0 < a_1 < a_2 \rightarrow a_2$ بعدی $> a_2$

اگر $a_0 > a_1 > a_2 \rightarrow a_2$ بعدی $< a_2$

و یا

اگر $P'_n > P_n \Rightarrow c_{انتخابی}$ > بوده $\Rightarrow$ c< انتخاب می‌شود $\Rightarrow$ مرحله (2)

اگر $P'_n < P_n \Rightarrow c_{انتخابی}$ < بوده $\Rightarrow$ c> انتخاب می‌شود $\Rightarrow$ مرحله (2)

Copyright by:www.Afshinsalari.com

مرحله (7) اگر $P_n' \approx P_n \Rightarrow \ ok$

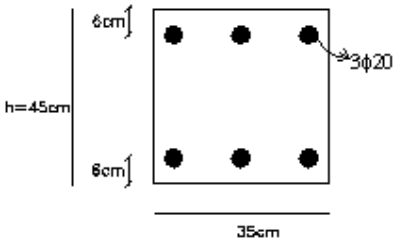
(7

لنگرگیری حول مرکزپلاستیک $m_n = c_c(x_p - \frac{a}{2}) + c_s(x_p - d') + t_s(d - x_p)$

لنگرگیری حول میلگردکششی $P_n.e' = c_c(d - \frac{a}{2}) + c_s(d - d')$

$$e = e' - d + x_p \ , \ m_n = P_n.e$$

مثال:



$Given: f_c' = 200 \ \frac{kg}{cm^2} \ , \ f_y = 3000 \ \frac{kg}{cm^2} \ , \ e = 10cm$

$\text{Re}: \ P_n = ?$

$e_b = 18.5cm \ , \ e = 10 < e_b = 18.5$

از مسئله قبل:

$$e' = e + \left(\frac{d - d'}{2}\right) = 26.5cm$$

مرحلهٔ اول

حدس c=30cm $\Rightarrow \varepsilon_s' = 0.0024 > \varepsilon_y \Rightarrow f_s' = f_y = 3000 \ kg/cm^2$

a=25.5cm

$$\varepsilon_s = 0.0009 < \varepsilon_y \Rightarrow f_s = E_s.\varepsilon_s = 0.0009 \times 2 \times 10^6 = 1800 \ kg/cm^2$$

$$c_c = 0.85 f_c' a.b = 0.85 \times 200 \times 35 \times 25.5 = 151725kg$$

$$c_s = A_s' f_y = 28260kg \ , \ T_s = A_s.f_s = 16956kg$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$P_n = \frac{\left|151725\left(39 - 25.5/2\right) + 28260(30-6)\right|}{26.5} \Rightarrow Pn = 185475kg$$

$$a = \frac{P_n - c_s + T_s}{0.85 f_c'.b} = 29.3 \Rightarrow c = \frac{a}{\beta_1} = 29.3/0.85 = 34.4cm$$

نکته: فرض کنید با c_1 محاسبات را شروع کرده‌ای و بعد از یکبار محاسبه c_2 را به دست آورید.

الف) اگر زوال فشاری داشته باشیم مقدار جدید c_1 انتخابی خارج از فاصلهٔ c_1 , c_2 می‌باشد.

ب) اگر زوال کششی داشته باشیم c انتخابی ما بین c_1 و c_2 می‌باشد.

قبل از ورود به منفی‌های اثر متقابل ابتدا باید m_{n_b} , m_{n_0}را به دست آورید.

$m_n' > m_{n_b} \Rightarrow$ مسئله جواب ندارد

1) $m_n' < m_{n_0} \Rightarrow$ مسئله یک جواب دارد

2) $m_{n_0} < m_n' < m_{n_b} \Rightarrow$ مسئله در جواب Pn_1

Pn_1<Pn_2 دارد Pn_2,

$m_n = m_{n_b} \Rightarrow$ مسئله یک جواب خیلی ناپایدار دارد

$$P_{n_1} < P_n < P_{n_2}$$

در طول عمر ستون هیچگاه نباید P از Pn_1 کوچکتر از Pn_2 بزرگتر شود.

$$Given: m_{n_0}$$

$$\mathrm{Re} = P_n$$

1- یک مقدار برای c حدس می‌زنیم

Copyright by:www.Afshinsalari.com

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

-2

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

$$f_y \le f_s = E_s\varepsilon_s \le f_y$$

-3

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

$$T = A_s f_s \qquad c_s = A'_s f'_s \quad , \quad c_c = 0.85 f'_c a.b$$

-4

5- از معادله تعادل لنگر حول مرکز پلاستیک استفاده کنید.

$$m'_n = c_c\left(x_p - a/2\right) + c_s\left(x_p - d'\right) + T_s\left(d - x_p\right)$$

ابتدا xp را یا با استفاده از فرض اینکه کل مقطع در فشار است و یا با توجه به تقارن مقطع بدست می‌آوریم.

اگر در وضعیت 1 باشیم (برای بزرگتر کردن P باید c بزرگتر شود)

$m'_n > m_{n_b} \Rightarrow$ c بزرگتر انتخاب می‌شود

$m'_n < m_n$ c کوچکتر انتخاب می‌شود

$m'_n = m_n \Rightarrow$ به مرحله بعد می‌رویم (6)

اگر در وضعیت 2 باشیم

اگر بخواهیم Pn_1 را حساب کنیم

$m'_n > m_n \Rightarrow$ c کوچکتر انتخاب می‌کنیم

$m'_n < m_n \Rightarrow$ c بزرگتر انتخاب می‌کنیم

$m'_n = m_n \Rightarrow$ به مرحله 6 می‌رویم

اگر بخواهیم Pn_2 را حساب کنیم.

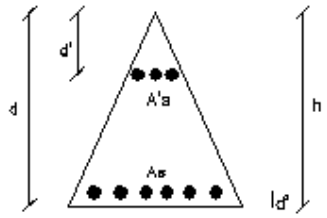
Copyright by:www.Afshinsalari.com

مطابق حالت 1 عمل می‌کنیم.

6- $P_n = c_c + c_s - T_s$

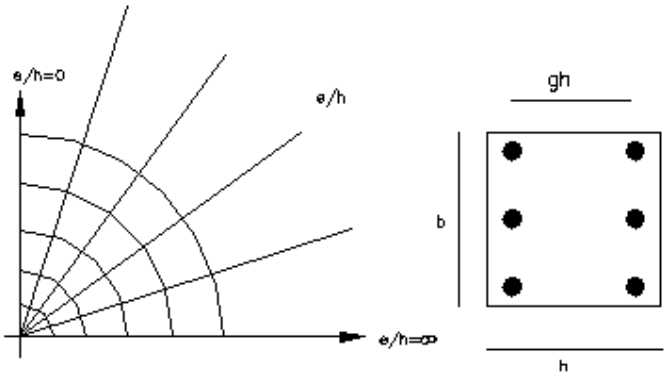
تمرین:

روشهای ارائه شده در 3 حالت برای سعی و خطا برای مقطع زیر را بدست آورید.



Copyright by:www.Afshinsalari.com

استفاده از نمودارهای اثر متقابل:



بسته به مقادیر: f'_c, f_y, g

این نمودارهای اثر متـــــقابل

که در کتاب طاحونی رسم شده

فقط تا $f_y = 4200 \, kg/cm^2$ $f'_c = 280$ قابل استفاده می‌باشند.

$$\mu = f_y / 0.85 f'_c \quad , \quad \rho = \frac{A_{st}}{b.h} \quad , \quad k\frac{e}{h} = \frac{Pu.e}{\Phi f_i \left(\frac{bh}{A_g}\right).h} = \frac{m_n}{f_i.A_g.h} \quad , \quad A_{st} = A_s + A'_s$$

اطلاعات داده شده	مجمولات
آنالیز P_n, ρ	e, m
آنالیز m, ρ	e, P

f_y, f'_c, g, b, h برای همگی داده شده است.

طراحی	
ρ, m	ρ
e, m	ρ
e, p	ρ

حالت 1: P_n, ρ معلوم و e,m مجهول هستند.

1- منحنی اثر متقابل که سازگاری با مقادیر g, f_y, f'_c و آرایش فولاد گذاری باشد را پیدا کنید.

2- منحنی اثر متقابل مربوط به درصد فولاد (ρ) را پیدا کنید.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

3- مقدار k را حساب کنید $k = P_n / f_c'.b.h$ و آنرا روی محور قائم مشخص کنید. از آنجا یک خط افقی رسم کنید تا منحنی اثر متقابل را قطع کند از محل تقاطع یک خط قائم رسم کنید تا محور ke/h را قطع کند و مقدار ke/h را قرائت کنید.

4- مقدار m_n را محاسبه کنید.

فرمولهای تقریبی و تخمینی برای زوال فشاری مقاطع مستطیل

$$P_n = \frac{A_s f_y}{\frac{e}{d-d'} + 0.5} + \frac{bh.f_c'}{\frac{3eh}{d^2} + 1.18} \quad , \quad A_s' = A_s \quad , \quad e = 0$$

سطح‌مقطع فولاد فشاري ياكششي $A_s =$

دورنیابی خطی برای حالت زوال فشاری

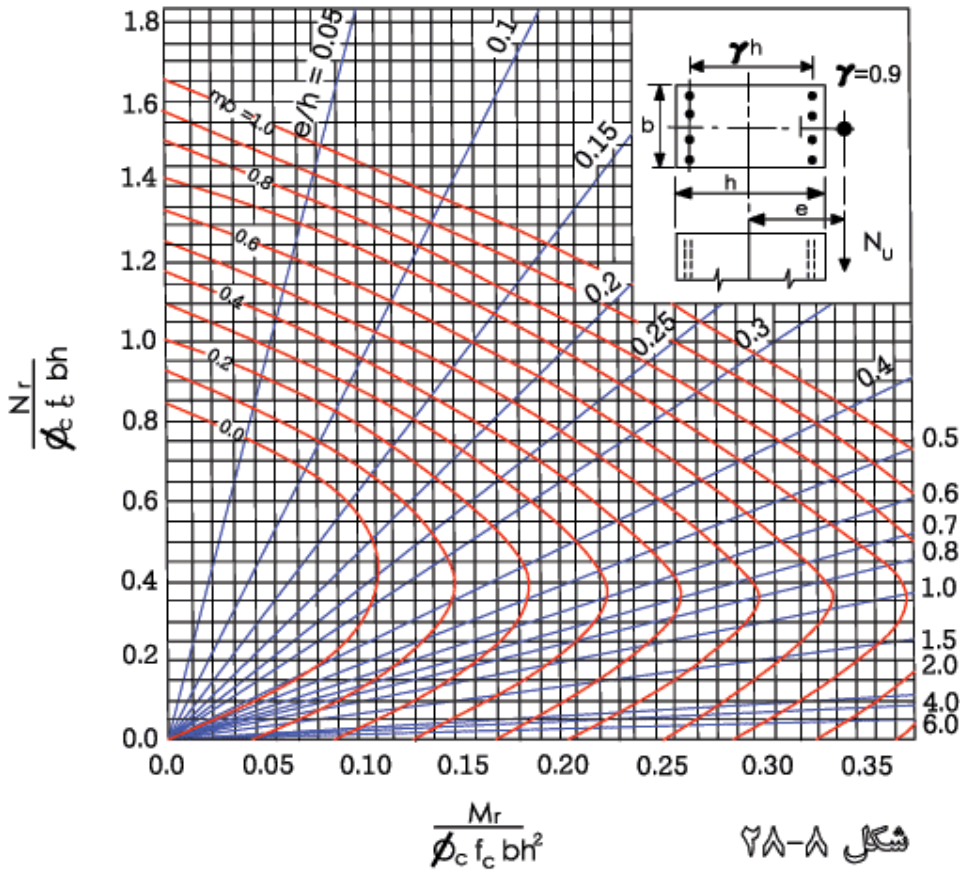
$$P_n = \frac{P_{n_o}}{1 + \left(\frac{P_{n_o}}{P_{nb}} - 1\right)\frac{e}{e_b}}$$

$$c_b \approx (0.2 + 0.77\rho_t.\mu)h$$

$$\rho_t = A_{st}/bh \quad , \quad \mu = f_y/0.85f_c'$$

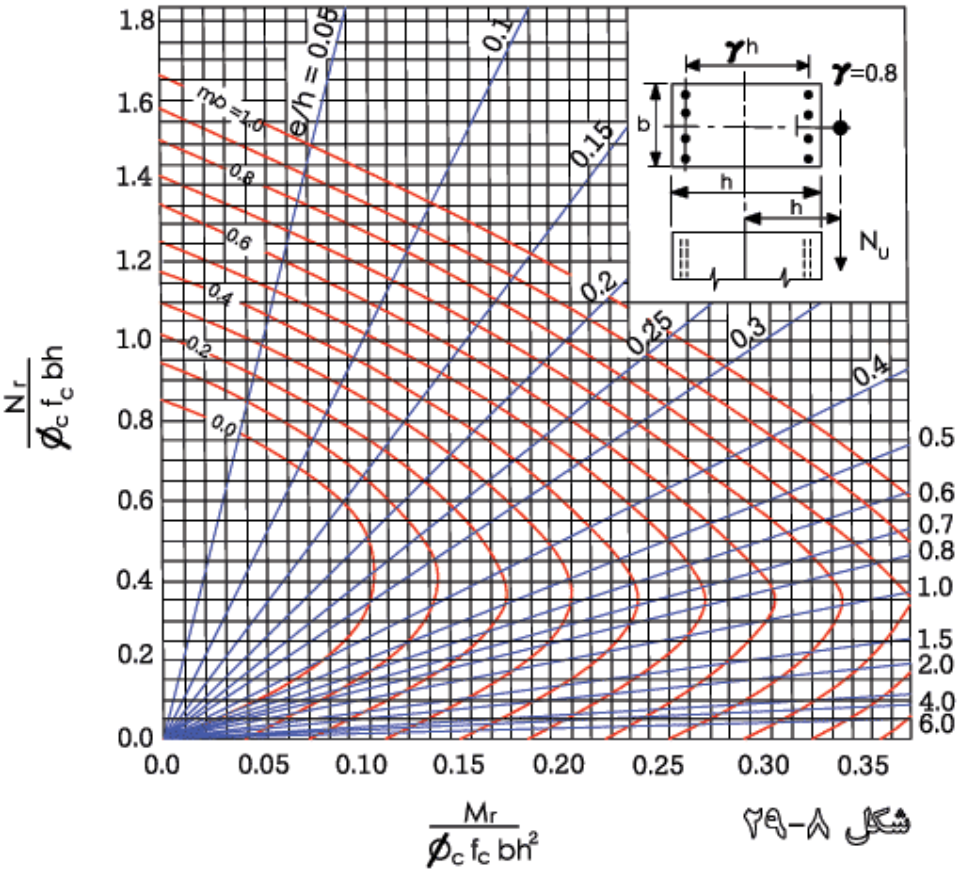
Copyright by:www.Afshinsalari.com

اشکال ۸-۲۸ الی ۸-۳۹ نشان دهنده نمودارهای اندرکنش طراحی برای سه نوع ستون مختلف (ستون مستطیل با فولادگذاری دردو طرف و ستون مستطیل با فولاد گذاری در چهار طرف وستون دایره

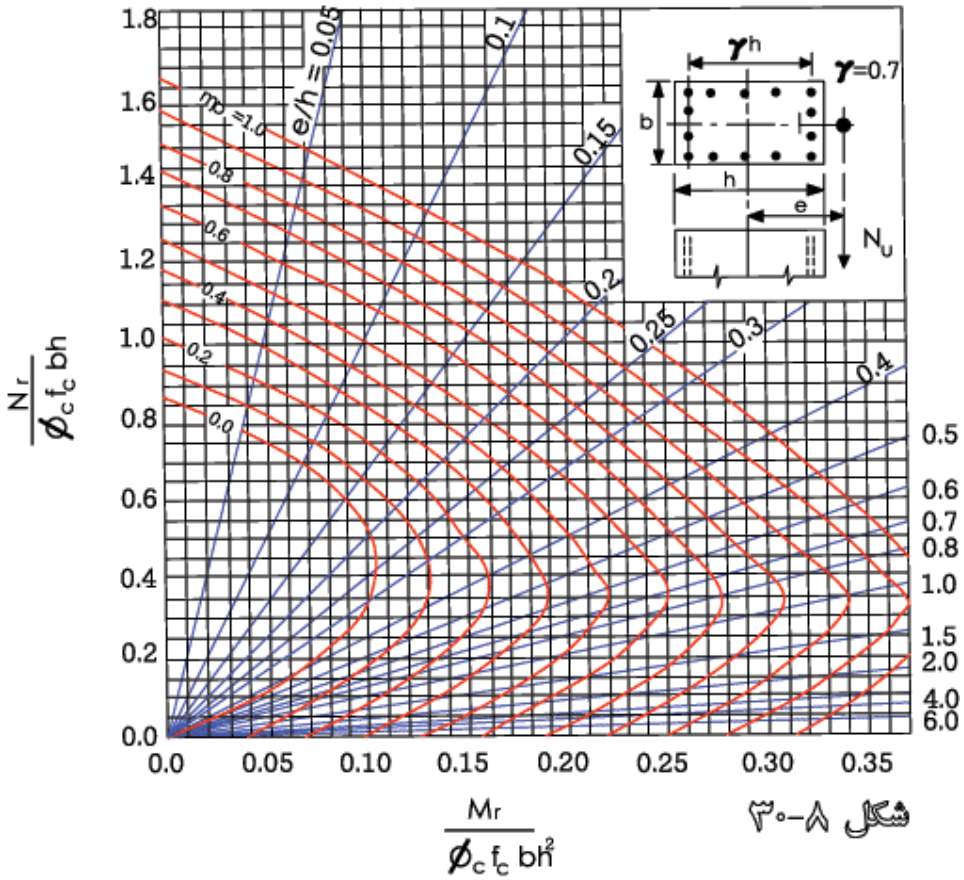


شکل ۸-۲۸

Copyright by:www.Afshinsalari.com

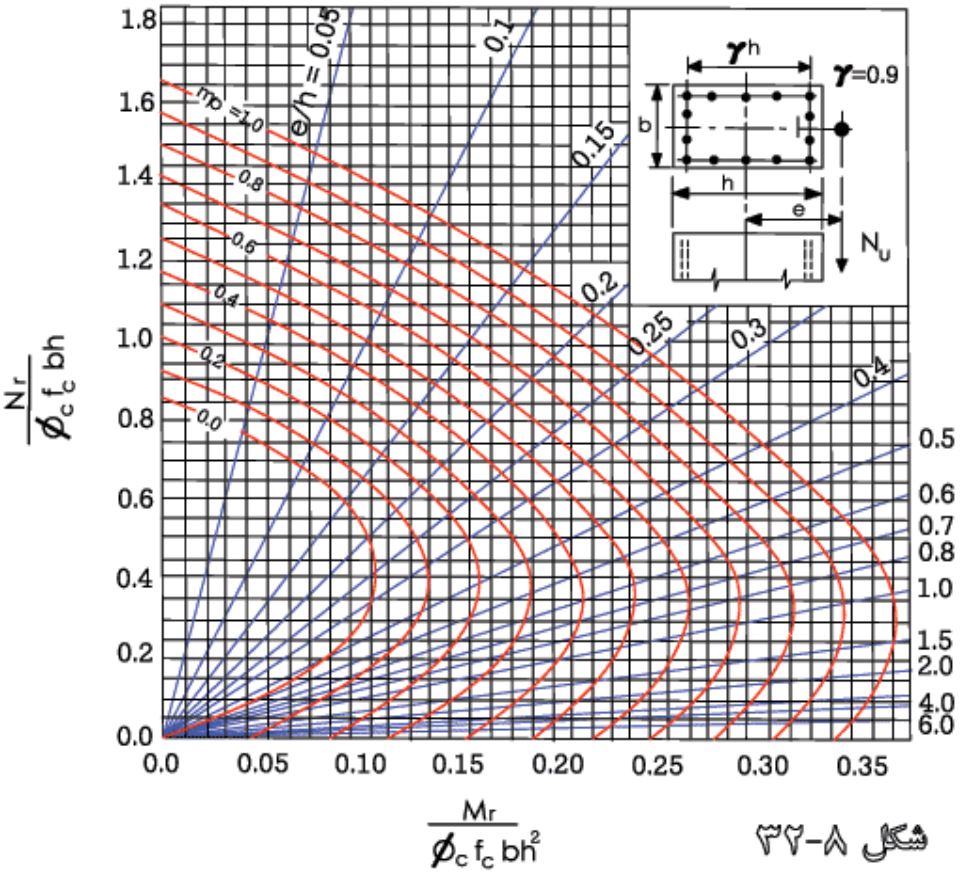


شکل ۸-۲۹

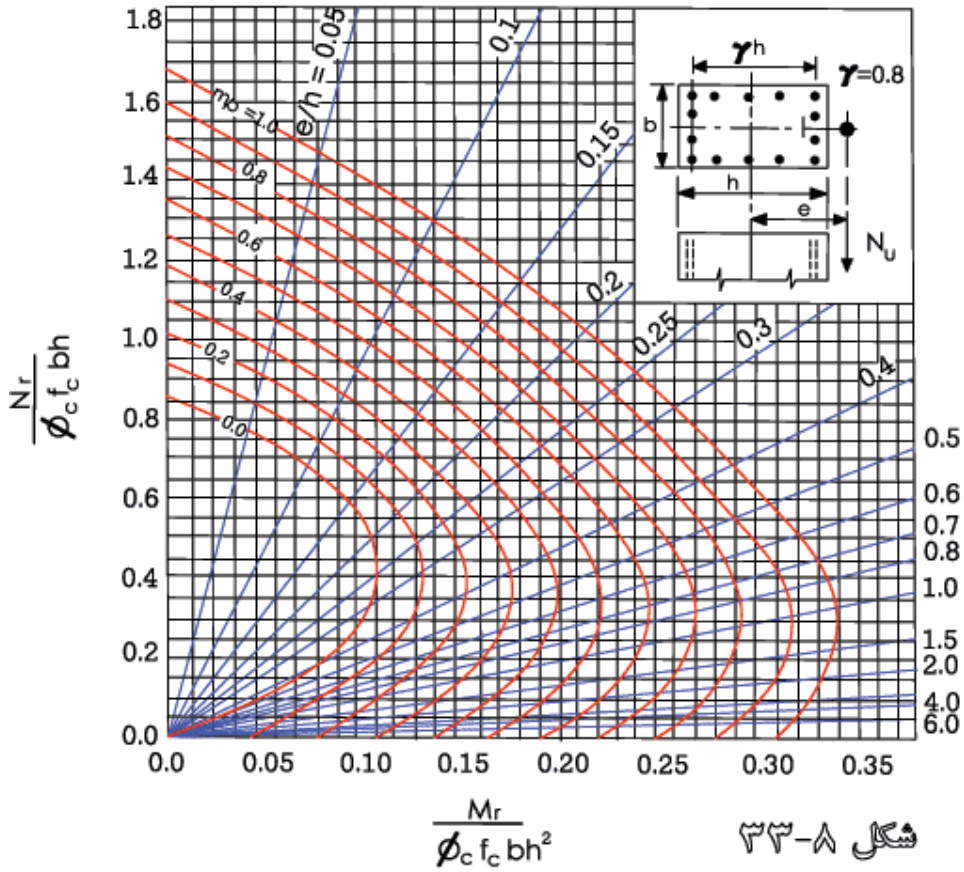


شکل ۸-۳۰

Copyright by:www.Afshinsalari.com

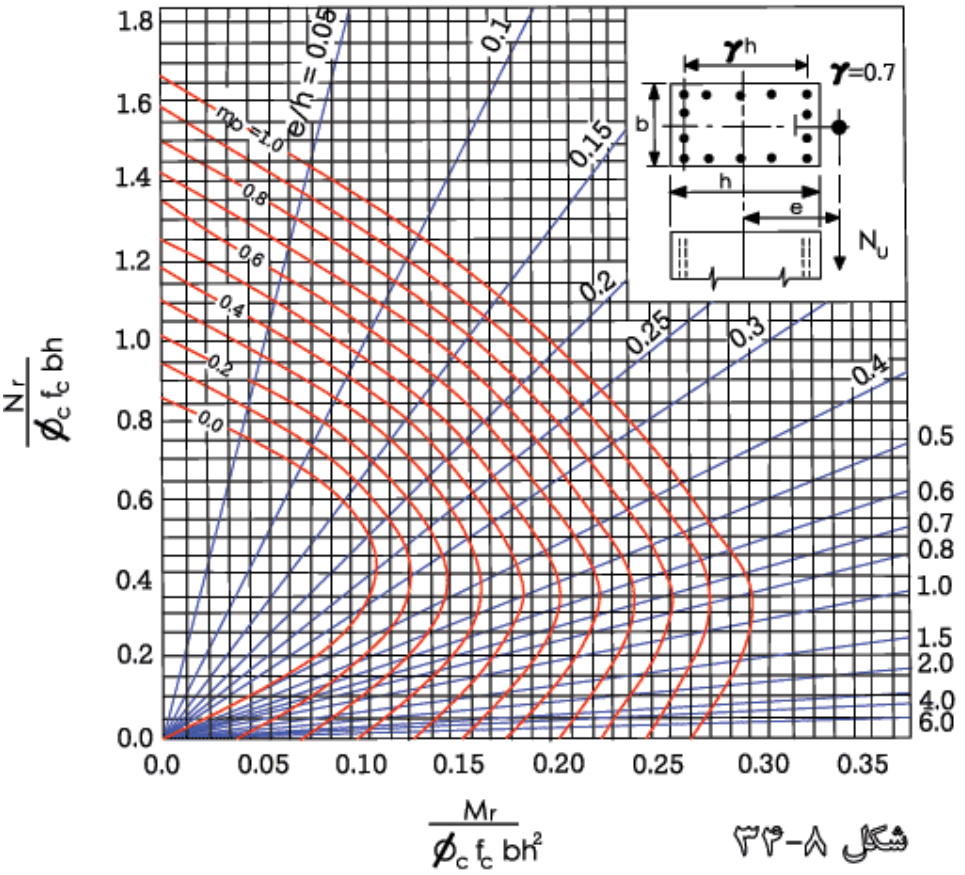


شکل ۸-۳۲

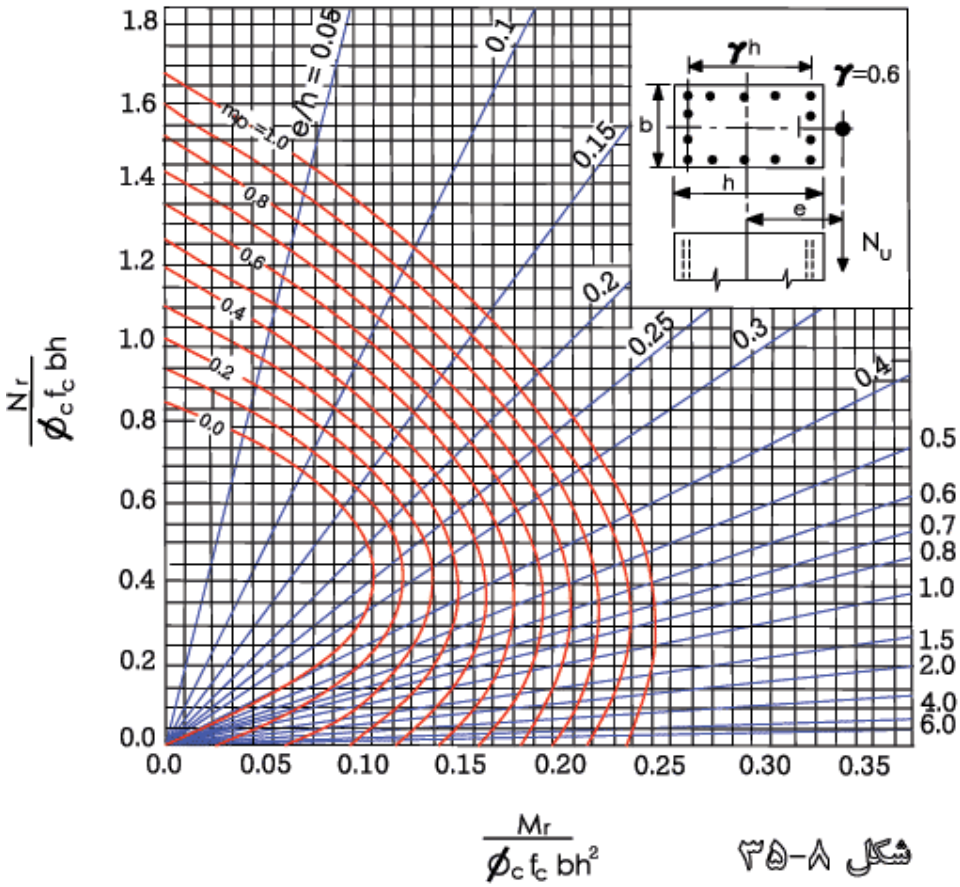


شکل ۸-۳۳

Copyright by:www.Afshinsalari.com

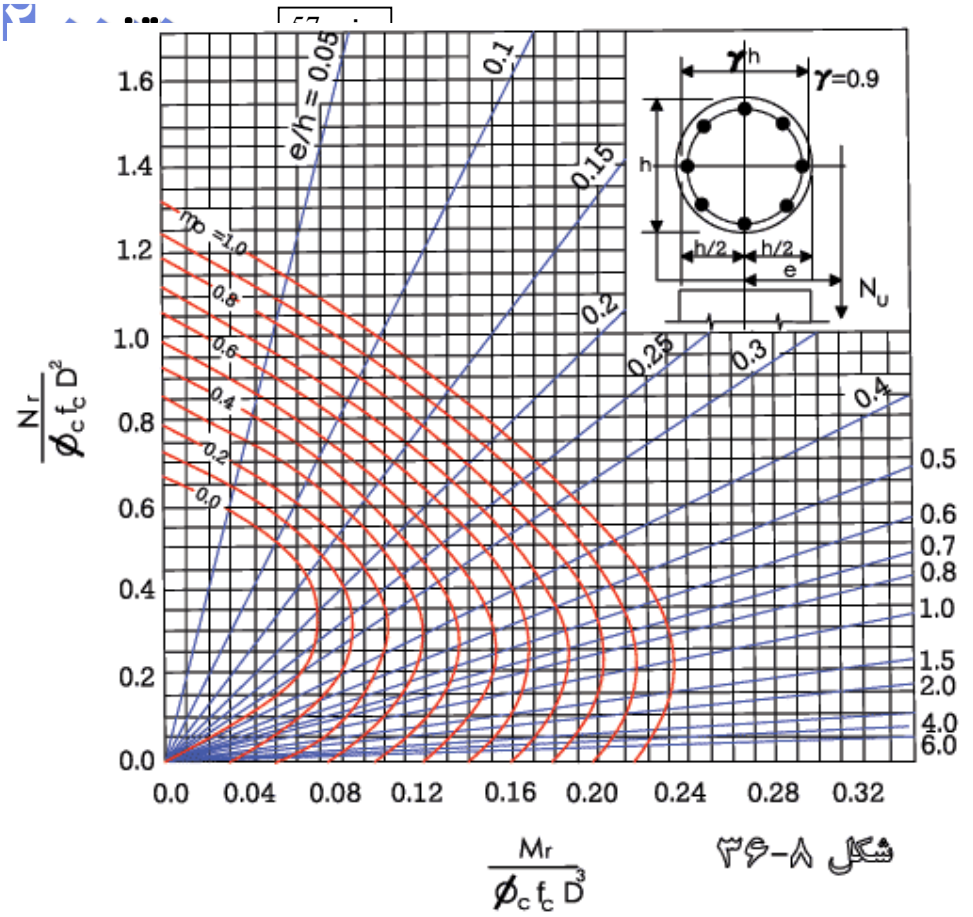


شکل ۸-۳۴

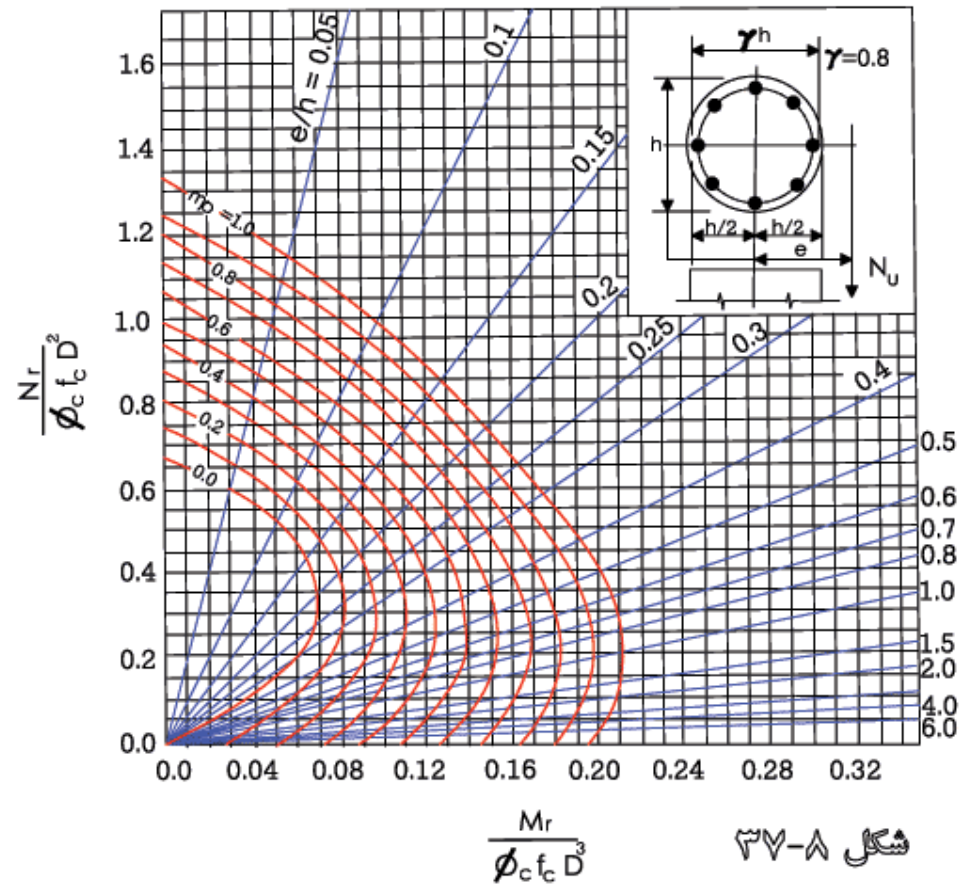


شکل ۸-۳۵

Copyright by:www.Afshinsalari.com

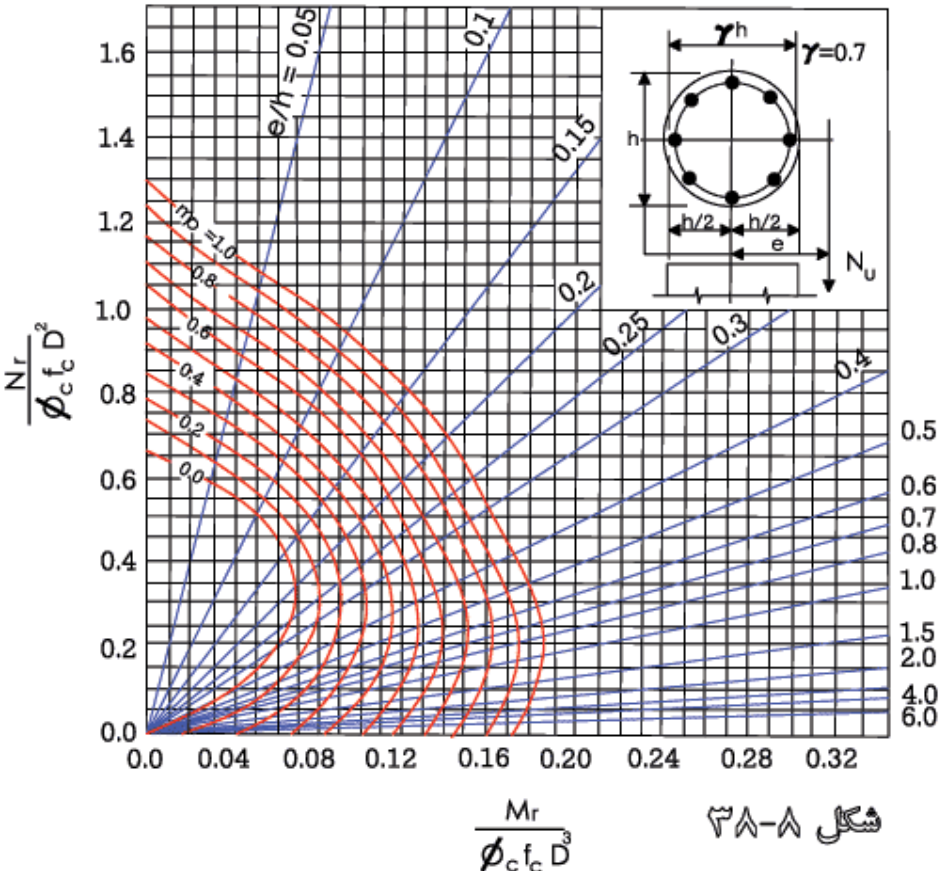


شکل ۸-۳۶

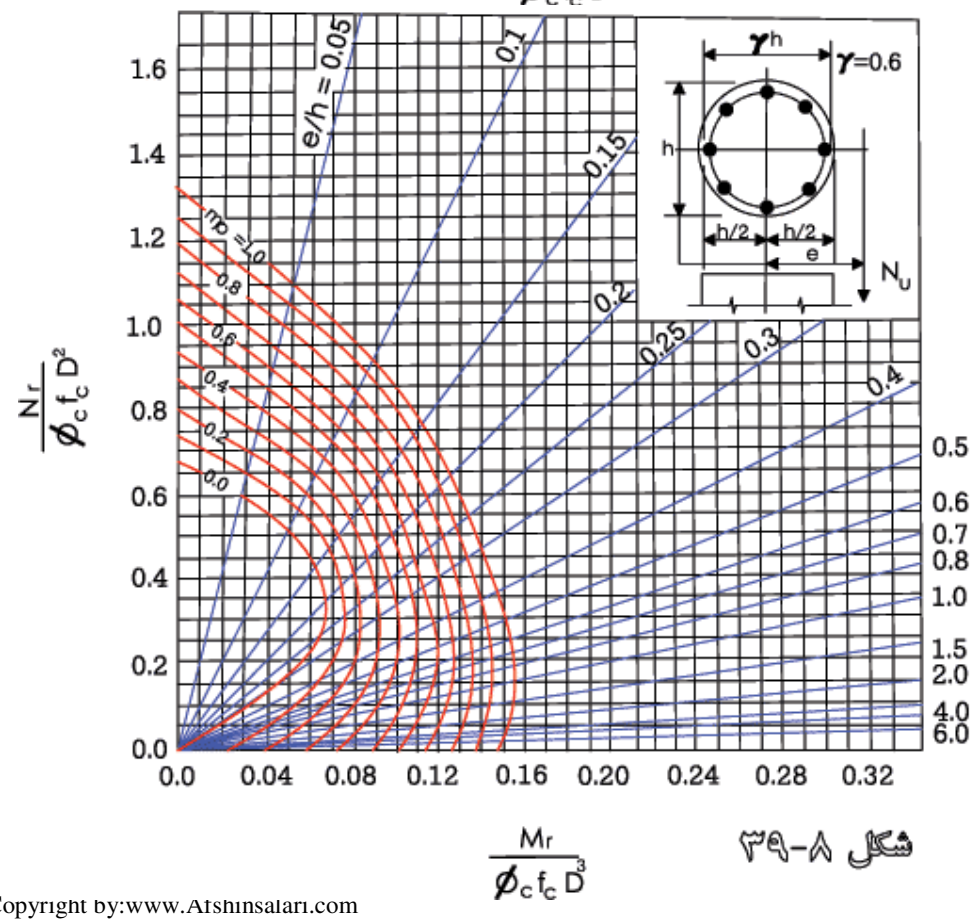


شکل ۸-۳۷

Copyright by:www.Afshinsalari.com



شکل ۸-۳۸



شکل ۸-۳۹

Copyright by:www.Afshinsalari.com

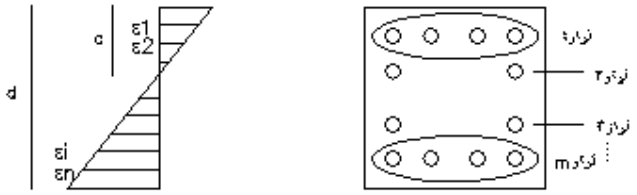
آنالیز بتون با آرماتورهای میانی

$$known: e, b, h, A_s, A_s' \qquad unknown: P_n$$

راه حل اول:

از روش سعی و خطا مسئله را می توان حل کرد.

1) فرض c_1



مرحلهٔ 1

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{c} = \frac{\varepsilon_i}{c - d_i} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_i = \varepsilon_{cu} \frac{c - d_i}{c}$$

مرحلهٔ2

$$f_{s_i} = \varepsilon_i E_s \qquad -f_y < \varepsilon_i E_s < f_y$$

مرحلهٔ3 $a = \beta_1 c$, $C_C = 0.85 \times f_c' \overbrace{a.b}^{=A_c}$ نیروی فشاری مربوط به بلوک فشاری بتن

$$c_{s_i} = A_{s_i} f_{s_i}$$

$$P_n = c_c + \sum_{i=1}^{n} c_{s_i} \text{ ازقبل داشتیم} \Rightarrow P_n = \infty + c_s + -T_s$$

مرحلهٔ 4

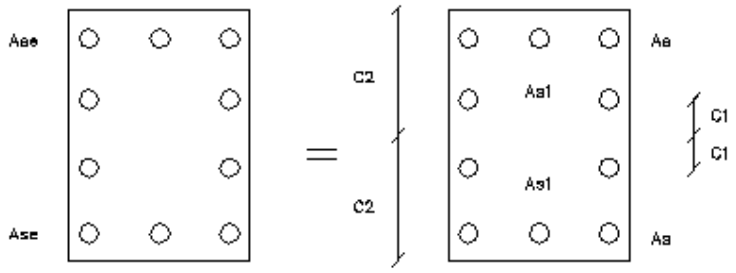
$$e' = \frac{c_c (d - \frac{a}{2}) + \sum_{i=1}^{n-1} c_{s_i} (d_n - d_i)}{P_n}$$

مرحلهٔ 5:مقدار e رابراساس e' محاسبه کنید

Copyright by:www.Afshinsalari.com

××مقدار حاصل را با e داده شده در مسئله مقایسه می‌کنیم اگر اختلاف کوچک بود مسئله تمام است وگرنه باید یک c جدید انتخاب شود و مراحل 1 تا 3 تکرار شود.

راه حل دوم:

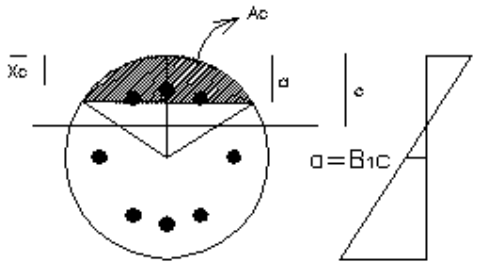


که: $A_{se} = A_s + A_s \times \frac{c_1}{c_2}$

به مثال (7-6) (ص300) کتاب کی‌نیا مراجعه شود.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

آنالیز ستون‌های دایره‌ای



روش اول: سعی و خطا:

$$c_c = 0.85 f_c' A_c$$

$$Ac = Ok$$

$$csi = Ok$$

$$P_n = c_c + \sum_{i+1}^{n} c_{s_i}$$

$$e' = \frac{c_c (d_n - \bar{x}_c) + \Sigma o}{P_n}$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{R-a}{a}\right)$$

$$A_c = \left(\frac{R^2\theta}{2} - \frac{1}{2} R^2 \sin\theta\cos\theta\right)\times 2$$

$$A_c = R^2(\theta - 2\sin\theta\cos\theta)$$

تفاوت این روش درمقطع دایره ای با مقطع مستطیلی :محاسبه $\bar{x}_c$

روش دوم: روش تقریبی

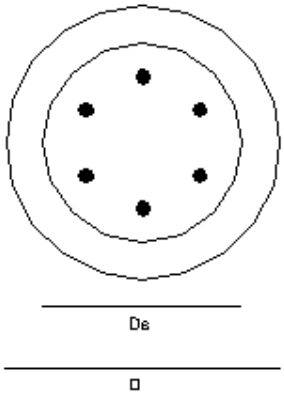
زوال کششی $P_n = 0.85 f_c' D^2 \left[\sqrt{\left(\frac{0.85e}{D}\right) - (0.38)^2 - \frac{\rho_t \mu D_s}{2.5D}} - \left(\frac{0.85e}{D} - 0.38\right)\right]$

$-\mu = f_y \big/ 0.85 f_c'$

$-\rho_t = \frac{A_{st}(\text{کل مقطع})}{A_g}$

$-e = \frac{m_n}{P_n} = \text{داده‌است}$

صورت‌مسئله



Copyright by:www.Afshinsalari.com

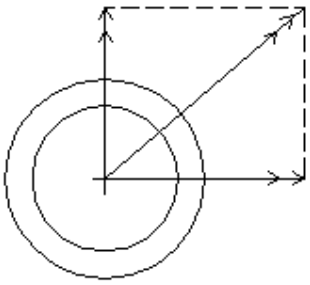
$$P_n = \frac{A_{st} f_y}{\frac{3e}{D_s}+1} + \frac{A_g f_c'}{\frac{9.6D_c}{0.8D+0.67D_s}+1.18}$$

$$e_{balance} \approx (0.24 + 0.3\rho_t \mu)D$$

روش سوم:

استفاده از نمودارهای اثر متقابل

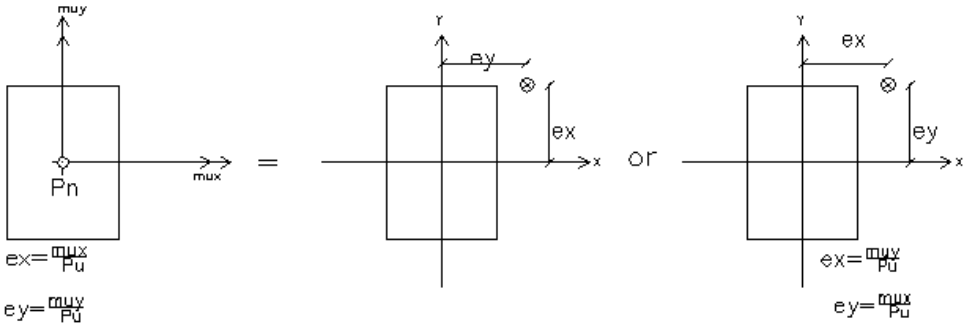
ستون تحت اثر خمش دو محوره



حالت اول: ستون دایره‌ای

$$m_n = \sqrt{mu^2{}_x + m_u{}^2{}_y}$$

حالت دوم: مقطع غیر دایره‌ای



Copyright by:www.Afshinsalari.com

رابطه برسلر Bresler

$$\frac{1}{P_{n_{xy}}} = \frac{1}{P_{n_x}} + \frac{1}{P_{n_y}} - \frac{1}{P_{n_0}}$$

$P_{n_{xy}}$: ظرفیت (نیروی محوری) ستون تحت اثر خمش دومحوره

P_n : ظرفیت ستون تحت اثر خمش یک محوره وقتی ey=0 باشد. $P_{n_x} > P_n$

P_{n_y} : ظرفیت ستون تحت اثر خمش یک محوره وقتی $e_x = 0$ باشد.

P_{n_0} : ظرفیت ستون تحت اثر نیروی محوری خالص $e_x, e_y = 0$

$$P_{n_\circ} = 0.85 f_c' A_g + A_s f_y$$

محدودیت فرمول Bresler

شرط $P_u \geq 0.1 f_c' A_g$

بعبارتی در روش برسلر برای بدست آوردن فولادهای مقطع از همان ابتدا بروش سعی و خطا حاصل می‌شود.

اگر $P_u \leq 0.1 f_c' A_g$

بار محوری کنار گذاشته می‌شود.

با کنار گذاشتن بار محوری روش دوم این است که یکبار فولادهای لازم برای M_{ux} را جداگانه حساب نمائیم و یکبار فولادهای لازم برای M_{uy} را جداگانه حساب نمائیم و سپس مقدار فوق را با هم جمع نمائیم که غیر اقتصادی است.

$$\frac{mu_x}{\Phi mn_{x_\circ}} + \frac{mu_y}{\Phi mn_{y_\circ}} \leq 1$$

mu_{x_0} = ظرفیت خمش در جهت x بدون نیروی محوری

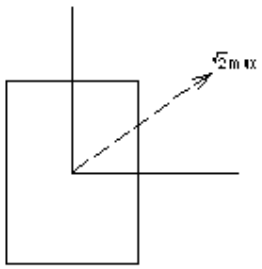
Copyright by:www.Afshinsalari.com

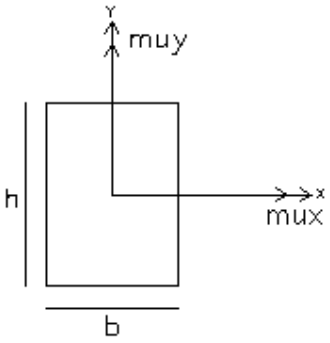
$m_{n_{y0}}$ = ظرفیت خمش در جهت y بدون نیروی محوری

نکات:

1) اگر $\frac{mu_x}{mu_y} \approx 1 \rightarrow$ توصیه می‌شود مقطع دایره‌ای یا مربعی انتخاب نمائیم $(mu_x \approx mu_y)$

و مقطع نیز تحت اثر خمش یک محوره قرار دارد





2) اگر $\frac{mu_x}{mu_y} \neq 1 \Rightarrow \frac{b}{n} = \frac{mu_y}{mu_x}$

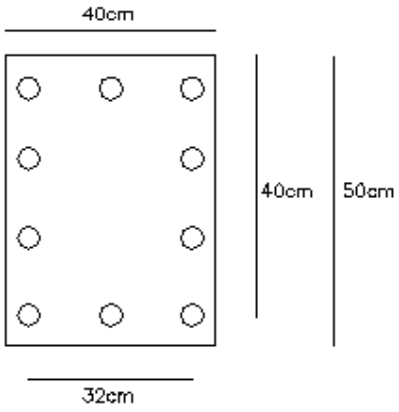
مثال:

Given :

$mu_x = 21.56 \quad ton.m$

$mu_y = 23.52 \quad ton.m$

$fy = 4200 \, kg/cm^2 \qquad f'_c = 280 \, kg/cm^2$



Re 9 :

$P_u = ?$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

الف)

خمش حول محور(x)

$$\rightarrow\rightarrow \qquad b=40cm \quad , \quad h=50cm \quad , \quad \gamma(g)=\frac{40}{50}=\frac{h-2d'}{h}=0.8$$

با صرفنظر کردن از فولادهای میانی:

$$k=\frac{P_{u_x}}{\Phi f_c' b h^2}=0.725 \qquad \Rightarrow P_{u_x}=284.2ton$$

$$P_{n_x}=\frac{P_{u_x}}{\phi}=406ton$$

ب)

خمش حول محورyها

$$b=50cm \quad , \quad h=40cm \quad , \quad \gamma=\frac{32}{40}=0.8$$

چون $\gamma=0.8$ در نمودارها وجود دارد می‌توان از نمودارهای موجود در کتاب طاحونی استفاده نمود.

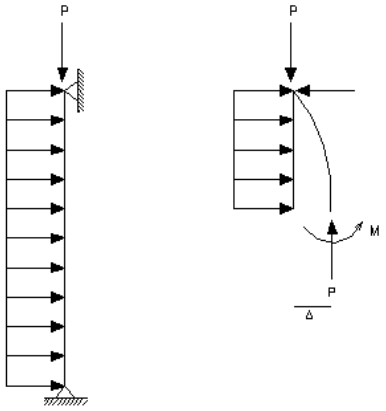
با صرفنظر کردن از فولادهای میانی $\rho\mu=0.268$, $\rho=\frac{8\Phi 22}{40\times 50}=0.0152$

$$\frac{\overbrace{P_{u_y}.e}^{mu_y}}{\Phi f_c' b h^2}=\frac{23.52\times 1.5}{0.7\times 280\times 50\times 40^2}=0.15$$

از روی منفی اثر متقابل $\Rightarrow$ $k=\frac{P_{u_y}}{\Phi f_c' b h}=0.65 \Rightarrow P_{u_y}=254.8ton$, $P_{n_y}=P_{u_y}/\Phi=364ton$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

رفتار ستون‌های لاغر و ستون بلند



$$m = \delta m_0$$

$$\delta \geq 1$$

ضریب تشدید لنگر: $\delta = \dfrac{1}{1-\dfrac{\rho}{1-\frac{\rho}{P_{cr}}}}$ ، $P_{cr} = \dfrac{\pi^2 EI}{L^2}$

$$m_c = m_m.\delta$$

$$\delta = \frac{c_m}{1-\dfrac{P_u}{\Phi P_{cr}}}$$

m_c: لنگر تشدید یافته

m_m: لنگر حاصل از آنالیز پلاستیک خطی(جدا از بار محوری)

ϕ : ضریب کاهش ظرفیت

P_u: بار محوری نمایی ستون

P_{cr}: بار بحرانی اویلرستون

Copyright by:www.Afshinsalari.com

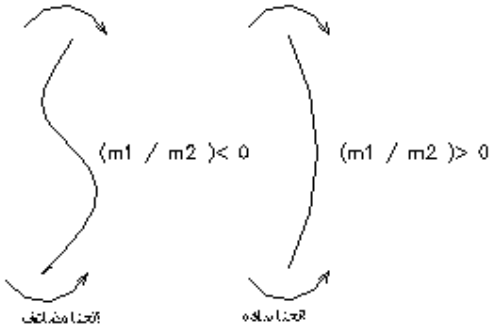
محاسبهٔ ضریب c_m

- قاب مهاربندی شده

در قاب مهاربندی اگر بار جانبی روی ستون باشد $c_m = 1$

اگر بار جانبی روی ستون نباشد.

$$c_m = 0.6 + \frac{0.4 m_1}{m_2} \geq 0.4$$



$$\left| \frac{\overbrace{M_1}^{\text{کوچکتر}}}{\underbrace{M_2}_{\text{بزرگتر}}} \right| < 1$$

می‌توان m_1 و m_2 را با علامت خودشان در رابطه گذاشت و کاری به انحناء ساده یا مضاعف نداشت و همچنین 0.4 را تبدیل به $0.4-$ می‌نماییم.

- قاب مهاربندی نشده

$$c_m = 1$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

محاسبهٔ بار بحرانی کمانشی اولیه

L_u = فاصلهٔ آزاد ستون‌ها

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(kL_u)^2}$$

$$EI = \max\left\{ \begin{array}{l} \left(0.2\varepsilon_c I_g + \overbrace{\varepsilon s A_s}^{???}\right) \Big/ (1+\beta d) \\ \left(0.4\varepsilon_c I_g\right) \Big/ (1+\beta d) \end{array} \right.$$

که:

ε_c = ضریب الاستیتهٔ بتن $= 15100\sqrt{f'_c}$

I_g = همان اینرسی مقطع ترک نخورده بدون در نظر گرفتن اثر بتن

ε_s = ضریب الاستیته فولاد

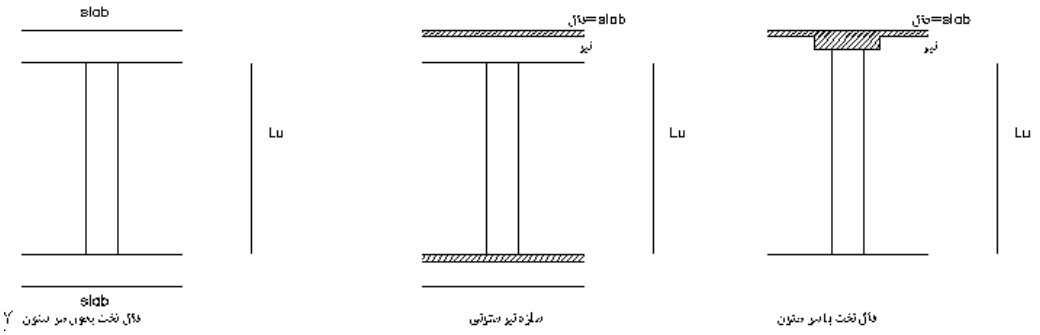
I_s = همان اینرسی فولادها حول محور هندسی مقطع (بدون در نظر گرفتن فولاد)

$$\beta d = \frac{1.4mD}{1.4m_D + 107m_l} = \frac{m_{u_D}}{m_u} \approx \frac{1.4D}{1.4D + 1.7l}$$

× افزایش بار زنده یا اینکه لنگر وارد ناشی از بار زنده باعث افزایش EI سختی می‌شود.

محاسبهٔ L_u

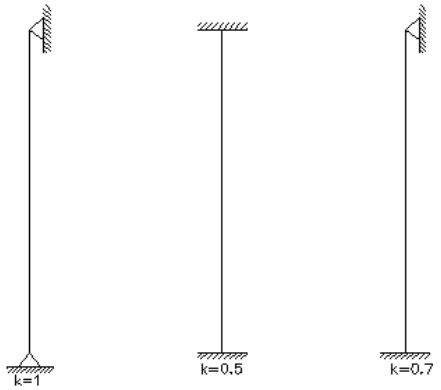
Copyright by:www.Afshinsalari.com



محاسبه ضریب k

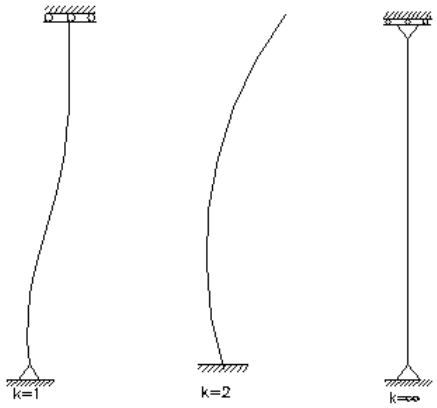
- ستونهای مهاربندی شده

$$0.5 \le k \le 1$$



ستونهای مهاربندی نشده

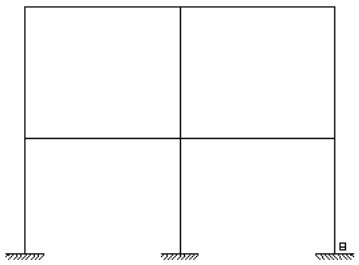
$$K \ge 1$$



Copyright by:www.Afshinsalari.com

روش دوم محاسبهٔ k

$$\Psi_A = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{CLumn}}{\sum I\left(\frac{EI}{L}\right)_{Beam}}$$



الف) روش تقریبی

قاب مهاربندی شده

$$k = \min\begin{cases} 0.7 + 0.05(\Psi_A + \Psi_B) \le 1 \\ 0.85 + 0.05\Psi_{\min} \le 1 \end{cases}$$

$$\Psi \min = \min\begin{cases} \Psi_A \\ \Psi_B \end{cases}$$

قاب مهاربندی نشده

اگر یک انتها مفصل باشد : $k = 2 + 0.3\Psi \rightarrow$ نمی‌باشد که‌مفصل قسمتی Ψ

اگر حالات دیگر باشد :

$$k = \left(\frac{20 - \Psi_m}{20}\right)\sqrt{1 + \Psi_m} \qquad \Psi_m \ge 2$$

$$\Psi_m = \left(\frac{\Psi_A \Psi_B}{2}\right)$$

$$k = 0.9\sqrt{1 + \Psi_m} \qquad \Psi_m < 2$$

معمولاً برای قابهای عادی $k \approx 2$

ب) k جواب معادلات زیر است.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

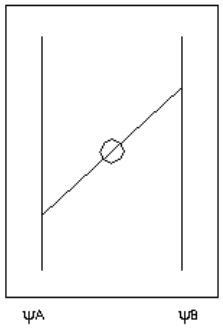
- قاب مهاربندی شده

$$\frac{\Psi_A\Psi_B}{4}\left(\frac{\pi^2}{k^2}\right)+\left(\frac{\Psi_A+\Psi_B}{2}\right)\left(1-\frac{\frac{\pi}{k}}{tg\left(\frac{\pi}{k}\right)}\right)+\frac{2}{\frac{\pi}{k}}.tg\,\frac{\pi}{2k}=0$$

- قاب مهاربندی نشده

$$\frac{\Psi_A\Psi_B\left(\frac{\pi}{k}\right)^2-36}{6(\Psi_A+\Psi_B)}=\frac{\frac{\pi}{k}}{tg\left(\frac{\pi}{k}\right)}$$

ج) استفاده از نموگرامها



$$\psi=\frac{\sum\left(\frac{EI}{L}\right)_{clo}}{\sum\left(\frac{EI}{L}\right)_{beam}}$$

فاصله مرکز به مرکزL=که:

برای تیرها: نصف $\varepsilon_c I_g$

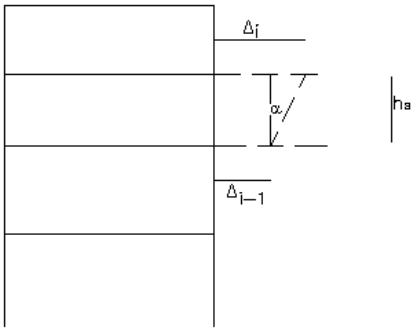
برای ستونها: $\varepsilon_c I_g$ ویا $I=I_g\left(0.21+1.2\rho_t\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c}\right)$ ستونها

××ضرائب مخرج در زمین کاربرد ندارد و فقط در فولاد است که دارای کاربرد می‌باشد.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

شرط آنکه یک قاب را بتوان بدون انتقال جانبی فرض کرد

a) بارهای ناشی از وزن (DL, LL, Granty Load)



b) بارهای جانبی: هم به سازه وارد می‌شود

دوشرط توعماً

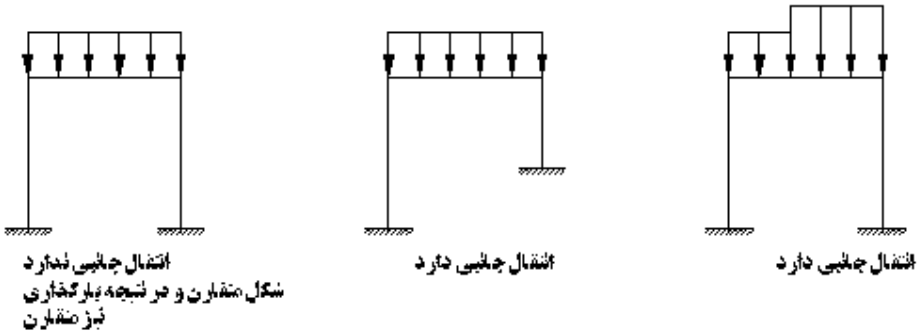
i) $drift \le \frac{1}{1500}$

ii) سختی جانبی عناصرمقاوم دربرابر نیروهای جانبی

باید از b برابر سختی تمام ستونهادریک طبقه بیشتر باشد

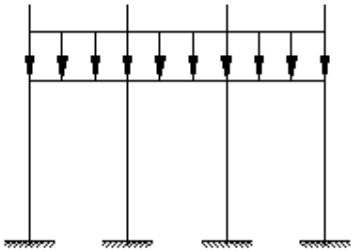
اگر در یک طبقه 4 دیوار برشی موجود باشد باید سختی (مجموع سختی) دیوارهای برشی از 6 برابر مجموع سختی‌های آن طبقه بیشتر باشد.

Copyright by:www.Afshinsalari.com



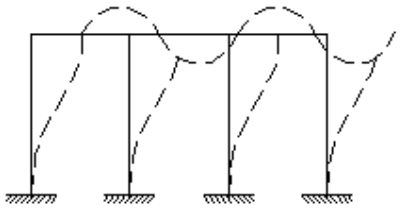
$if \quad \frac{hl}{r} > 100 \Rightarrow$ ابعاد مقطع بزرگ شوداز روش های آنالیز دیگر

اگر ستونی به تنهایی کمانش داشته باشد



ضریب تشدید $\delta = \frac{c_m}{1 - \frac{P_u}{\Phi P_{cr}}}$

منتها درقابها که ستونها نمی توانند جدا از ستونهای دیگر کمنش داشته باشند



برای قابهای با انتقال جانبی درمهاربندی نشده $\delta = \frac{c_m}{1 - \frac{\sum P_u}{\Phi \sum P_{cr}}}$

کلاً δ نباید از 1 کوچکتر شود زیرا باعث کاهش می‌شود (وقتی که P_{cr} به P_u برسد δ بی‌نهایت می‌شود (اتفاق می‌افتد)

Copyright by:www.Afshinsalari.com

حداقل خروج از مرکزیت

$m_c = \delta . m_m$ (1

$e_{\min} = 106 + 0.03h$

$P_u =$

$m_u = e_{\min} . P_u$

ناشي‌از آناليز لنگر ناشي‌از خروج‌از مرکزيت حداقل $c_m = 0.6 + 0.4\frac{m_1}{m_2}$

اگر m_m از لنگر ناشی از خروج از مرکزیت حداقل کمتر شد بایستی به جای m_m در رابطه 1 لنگر ناشی از خروج از مرکزیت حداقل را قرار داد.

اما همواره برای تشخیص لاغری ستون یا محاسبه ضریب c_m که نسبت $\frac{m_1}{m_2}$ وارد کار می‌شود و به جای m_1 و m_2 باید نتایج از آنالیز را قرار داد.

در طراحی: بایستی مقادیر $m_{\min}$ در ضریب تشدید لنگر ضرب شود.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$if \quad m_u < m_m \quad \Rightarrow \quad ok \quad \Rightarrow m_c = \delta.m$$

$$if \quad m_u > m_m \quad \Rightarrow \quad m_c = \delta.m_u$$

$$if \quad m_u < m_{\min}$$

$$m_u m_2 < m_{\min}$$

نکته: برای محاسبهٔ مقدار c_m بایستی مقادیر واقعی m_1 و m_2 را با کاربرد ولی برای طراحی باید مقدار $m_{\min}$ را در نظر گرفت.

نکته : اگر $m_1 = m_2 = 0 \leftarrow c_m = 1.00$ گرفته می‌شود.

شرط لاغر بودن ستون

با شرط $\frac{kl_u}{r} < 100$

- قابهای مهاربندی شده:

$$\frac{kl_u}{r} > 34 - 12\frac{m_1}{m_2}$$

$$r = \sqrt{I/A}$$

rشعاع ژیراسیون در جهتی که خمش اتفاق می‌افتد.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

-قاب مهاربندی نشده:

ستون لاغر است $\frac{kl_u}{r} > 22$

برای مقاطع دایره‌ای $r \cong 0.25D$

برای مقاطع مستطیلی $r \cong 0.3h$

[h بعد مقطع در جهتی که خمش اتفاق می‌افتد]

ضریب تشدید لنگر برای بارهایی که انتقال پایینی ایجاد نمی‌کنند.

[(آیین‌نامه جدید ACI)]

روش قدیم: $m_c = \delta m_m$

روش جدید: $m_c = \delta_b . m_{2b} + \delta_s . m_{2s}$

حالت1: m_{2b} :لنگر بزرگ انتهایی ستون تحت اثر بارهای با ضریب برای حالتیکه در قاب تغییر مکان پایینی ایجاد نمی‌شود.

حالت2: m_{2s} :لنگر بزرگ انتهایی ستون تحت اثر بارهای با ضریب برای حالتیکه در قاب تغییر مکان ایجاد می‌شود.

شامل m_{2s} می شود و البته در حالتی با راحتی نامتقارن مثل زلزله پرتاب وارد شود

-در هر حال برای هر نوع سازه‌ای بایستی هر نوع حالت با تغییر مکان جانبی و بدون تغییر مکان جانبی انجام و مقایسه شود.

- اگر لنگر $m_{\max}$ در انتها رخ ندهد در وسط باشد این روش جوابگو نیست.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$\delta_b = \frac{c_m}{1-\frac{P_u}{\Phi P_c(b)}} \geq 1 \quad , \quad P_c(b) = \frac{\pi^2 EI}{(K_b.L_u)^2}$$

ضرائب 6 مربوط به حالت 1

ضرائب 5 مربوط به حالت 2

$$\delta_s = \frac{1}{1-\frac{\sum P_u}{\Phi \sum P_{cs}}} \geq 1 \qquad P_{cs} = \frac{\pi^2 EI}{(K_s.L_u)^2}$$

×× ترکیب‌های بارگذاری: برای قابهای مهاربندی نشده: [سه حالت زیر را انتخاب می‌نمائیم]

که انتقال جانبی در سازه نمی‌دهد.

ترکیب 1:

این ترکیب بارگذاری برای تمامی قابهای بدون انتقال جانبی و قابهای با انتقال جانبی بارهایی (بارهای ثقلی)که انتقال جانبی درسازه نمی دهد.

$$\begin{cases} P_u = 1.4D + 1.7L \\ m_b = 1.4D + 1.7L \\ m_{2_b} = 1.4D + 1.72 \\ m_c = \delta_b m_{2b} \end{cases}$$

ترکیب 2:

$$\begin{cases} P_u = 0.75 \times (1.4D + 1.7L + 1.7w) \\ m_{2b} = 0.75(1.4D + 1.7L) \\ m_{2s} = 0.75(1.7E \quad or \quad 1.87E\Phi) \\ m_c = \delta_b m_{2b} + \delta_s m_{2s} \end{cases}$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

ترکیب 3:

$$\begin{cases} P_u = 0.9D + 1.3w \\ m_{2b} = 0.9D \\ m_{2s} = 1.3w \ \ (or \ \ 1.43E\Phi) \\ m_c = \delta_b m_{2b} + \delta_s m_{2s} \end{cases}$$

برای قابهای مهاربندی شده:

بارگذاری هیچ نوع انتقال جانبی ایجاد نمی‌کند.

$$m_c = \delta_b . m_{2b}$$

تذکر:

1- برای قابهای بدون انتقال جانبی

$$m_c = \delta_b . m_{2b} \Leftarrow \delta_s = 0 \quad m_{s2} = 0$$

2- برای قابهای مهاربندی نشده

Copyright by:www.Afshinsalari.com

دالها(تاره) Slab

تعریف دال:

به عضو دو بعدی و مسطح اطلاق می‌شود که ضخامت آن در مقایسه با دو بعد دیگر کوچک باشد و تحت اثر بارهای عمود بر صفحه قرار گرفته باشد.

انواع دالها:

1- دالهای یک‌طرفه one ayw absl

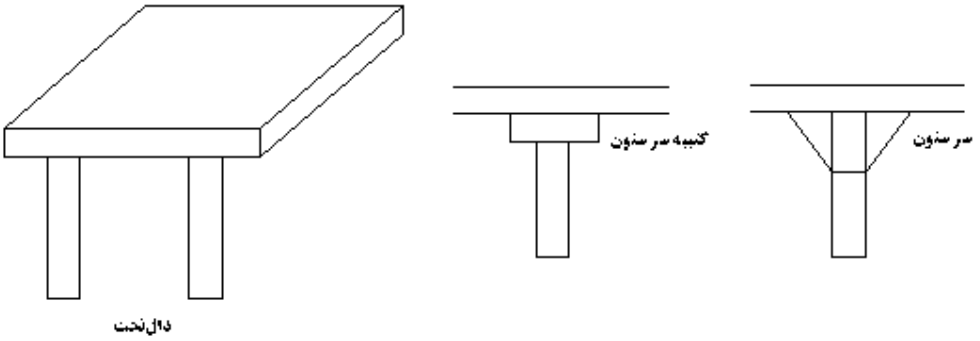
2- دال دوطرفه two way bsla

3- دال تخت flat eatpl

4- دال یا سرستون mncolu ltapica

5- دال با کتیبه سرستون

6- دال با کتیبه سرستون و سرستون

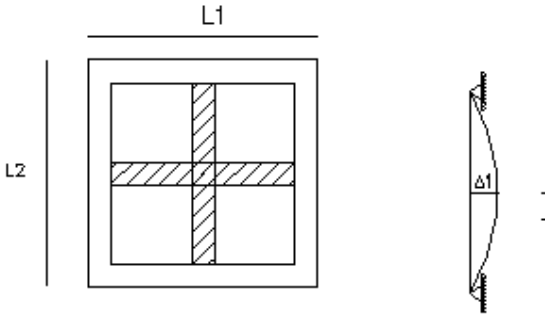


Flat Slab (ستون با کتیبه با دال تخت درارتباط است)

Copyright by:www.Afshinsalari.com

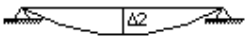
Flat slab(دال مستقیما بر روی ستون قرار می گیرد)

بحث روی رفتار دالها



- می‌خواهیم ببینیم که از مقدار بار گسترده w به چه نسبت به دو دهنه وارد می‌شود.

سئوال: تیر Δ_1 مربوط به کدام دهانه می‌باشد.



اگر مربوط به دهانه 1 می‌باشد پس چرا طول دهانه

1 قرار داده نشده.

$$\begin{cases}\Delta_1 = \dfrac{5}{384}\times\dfrac{w_2 {L_2}^4}{EI} \\ \Delta_2 = \dfrac{5}{384}\times\dfrac{w_1 {L_1}^4}{EI}\end{cases} \Rightarrow \Delta_1 = \Delta_2 \Rightarrow w_1 {L_1}^4 = w_2 {L_2}^4 \Rightarrow \frac{w_1}{w_2} = \left(\frac{L_2}{L_1}\right)^4$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$\frac{L_1}{L_2}=1 \qquad \Rightarrow w_1=w_2$$

$$\frac{L_1}{L_2}=2 \qquad \Rightarrow \frac{w_2}{w_1}=16 \Rightarrow w_2=16w_1$$

سئوال: w_1 و w_2 آیا همان جهت تیرچه‌ها می‌باشند؟

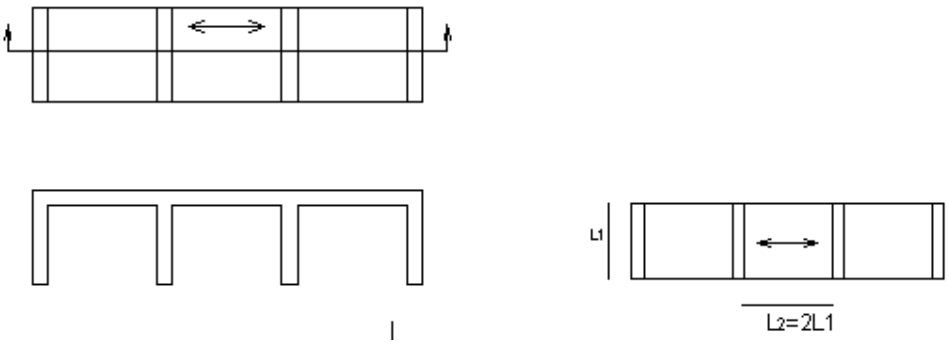
اگر این طور هست در جهت L_1 باید بارw_2 و طول l_2 قرار داده شود و چون تیرهای جهت l_1 باربر هستند دال دوطرفه و تیرچه وجود ندارد لذا w_1 و w_2 مقدار زیاد می‌باشد. اما اگرw_2 مقدار بار تیرها در جهت 2 می‌باشد پس مربوط به آن نیز باید Δ_2 باشد نه Δ_1.

دال یک‌طرفه

به دالی گفته می‌شود که انتقال بار در آن فقط در یک جهت انجام شود.

شرط آیین‌نامه: [اگر نسبت طول به عرض2: طول= $2\times$ عرض $\Leftarrow$ دال یک‌طرفه در نظر گرفته می‌شود]

چون فقط در این جهت (جهت زیر) تکیه‌گاه وجود داشته و بار می‌تواند منتقل شود توزیع بار (انتقال بار)



Copyright by:www.Afshinsalari.com

با وجود اینکه طول دو برابر عرض است با این حال توزیع بار همانند دال یک‌طرفه است چون فقط در جهت x امکانپذیر انتقال بار وجود دارد.

دال دوطرفه

به دالی گفته می‌شود که انتقال بار در دو جهت عمود بر هم صورت گیرد [به علت وجود تکیه‌گاهها]

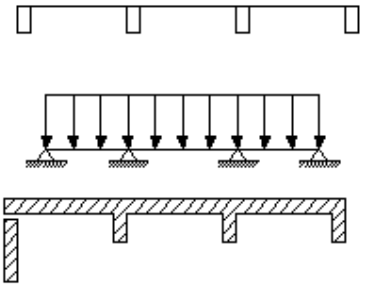
پس اولین شرط مهم برای دوطرفه بودن دال یا یک‌طرفه بودن آن عبارت است از:

1) وجود تکیه‌گاهها در دوجهت

$\frac{L_1}{L_2} > 2$ نسبت طول به عرض دال

دالهای یک‌طرفه

دالهای یک‌طرفه پیوسته:



آنالیز خمش:

1- آنالیز تیر سراسری (نواری به عرض واحد به ضخامت دال)

2- استفاده از جداول ضرائب ACI

و اگر اختلاف طول دو دهانه مجاور از 20٪ دهانه کوچکتر تجاوز نکند

× محل قرار گرفتن ضرایب لنگر منفی (کنار دهانه‌ها)

× محل قرار گرفتن ضرایب لنگر مثبت (وسط دهانه‌ها)

× محل قرار گرفتن ضرائب برش (کنار دهانه‌ها)

Copyright by:www.Afshinsalari.com

۷ قسمت ثابت ضرایب لنگر $w_u L_n^2$ می‌باشد.

۷ قسمت ثابت ضرایب برش نیز $w_u L_n$ می‌باشد.

$$\alpha^- = \text{لنگرمنفي} \qquad \text{ضرائب} \quad = \alpha^- w_u L_n^2$$

$$\alpha^+ = \text{لنگرمثبت} \qquad \text{ضرائب} \quad = \alpha^+ w_u L_n^2$$

$$B = \text{ضرائب‌برش} \quad = B w_u L_n$$

نکته: اگر دهانه‌ها کمتر از 2 عدد باشند ضرائب لنگر منفی تفاوت می‌کند صفحه 427 کتاب کی‌نیا

$$\overline{m}_u = \frac{1}{12} w_u L_n^2 \qquad \Leftarrow L_n < 3m \quad \text{اگر}$$

$$L_n \rightarrow \text{دهانه‌آزاد} \quad \text{طول}$$

نکته: L_n برای لنگر مثبت برابر طول دهانه آزاد و برای لنگر منفی میانگین طول دهانه‌های آزاد مجاور است، w_u نیز بار ضریب‌دار وارد بر سازه است.

کنترل تغییر فرم دالهای یک‌طرفه

اگر مقادیر ضخامت از اعداد جدول بعد بزرگتر اختیار شود نیازی به کنترل خیز در دالهای یک‌طرفه نمی‌باشد.

نکته: خیز دال تحت اثر بارهای بهره‌برداری (بارهای بدون ضریب) محاسبه می‌شود.

نکته: در صورتی می‌توان از ضوابط جدول صفحه بعد استفاده کردکه دال نگهدارنده یا متصل به اجزائی نباشد که در اثر خیز زیاد ممکن است آسیب ببیند.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

- اعداد فوق در صورتی صادق است که $f_y = 4200 \, kg/cm^2$ باشد و اگر f_y غیر از $f_y = 4200$ باشد باید اعداد فوق در ضریب تصحیح ضریب شوند.

$$\text{ضریب تصحیح} = 0.4 + \frac{f_y}{7000}$$

حداقل و حداکثر فاصله آرماتورها

$$S_{\max} = \min \begin{cases} 3h \text{ دال} & \text{ضخامت} \\ 45cm \end{cases}$$

$$S_{\min} = \max \begin{cases} \text{قطر آرماتور} & = d_b \\ 2.5cm \end{cases}$$

آرماتورهای افت و حرارت

آرماتورهای افت و حرارت به عنوان حداقل آرماتورهای طراحی در نظر گرفته می‌شوند بنابراین اگر در محاسبات آرماتورهای طراحی کمتر از مقدار فوق شد مقدار آرماتور افت و حرارت را برای طراحی خمش در نظر می‌گیریم و کار آن جلوگیری از ترکهای ناشی از Shiridcing و حرارت می‌باشد.

آرماتوها برای کل مقطع بتنی است و برای مقطع خالص

$$f_y < 4200 \quad \rightarrow \quad \rho_t = 0.002$$

$$f_y = 4200 \quad \rho_t = 0.0018$$

$$f_y > 4200 \quad \rho_t = \frac{0.0018 \times 4200}{f_y} > 0.0014$$

که $\rho_t = \frac{A_s}{bh}$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

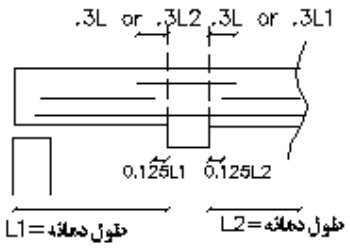
چگونگی کارگذاری آرماتورهای افت و حرارت (ص437) کتاب کی‌نیا

حداکثر فاصله آرماتورهای حرارتی

$$S_{\max} = \min\begin{cases} 5h & \text{ضخامت دال} \\ 60cm \end{cases}$$

مقدار حداقل آرماتور بین حدود 10-15-20 برای دالهای یک‌طرفه تقریباً مناسب است.

محل قطع عملی آرماتورها



-پس از محاسبه کل آرماتور مثبت – نصف از آرماتور مثبت $\left(\frac{A_S}{2}\right)$ در کل قطع ادامه دارد و $\left(\frac{A_S}{2}\right)$ در فاصله نشان داده شده قطع می‌گردد.

دالهای دوطرفه two way slab

روش اول: 1- استفاده از ضرائب جدول ACI-63

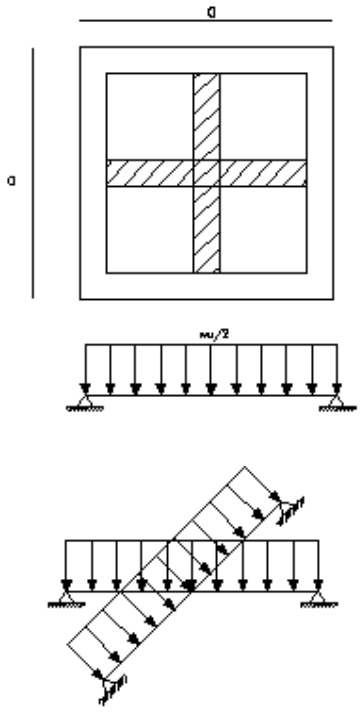
زمانی می‌توان استفاده نمود که دال در هر چهار طرف به تیر یا دیوار تکیه داده باشد (نه ستون)

روش دوم: 2- روش طراحی مستقیم ACI-74 Direct Design

Copyright by:www.Afshinsalari.com

صفحات 437 شاپور طاحونی جداول نتیجه آنالیز پلاستیکی دالها حاصل شده

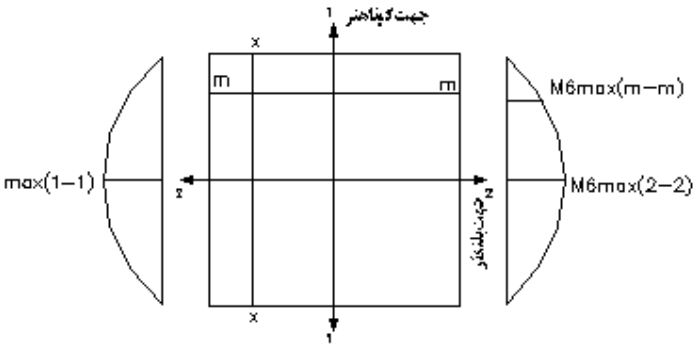
جداول –منحنی های پوش لنگر خمشی ماکزیمم



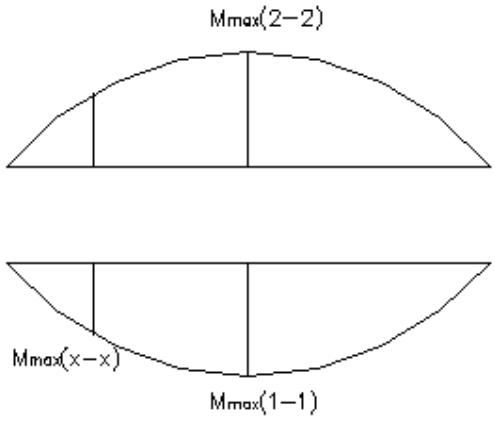
$$m_u = \frac{w_u}{2} \times \frac{1}{8} a^2 = \frac{1}{16} w_u L^2 = 0.0625 w_2 L^2$$

برای آنالیز دقیق الاستیک $m_u = 0.048 w_u L^2$

برای آنالیز پلاستیک ورق $m_u = 0.036 w_u L^2$

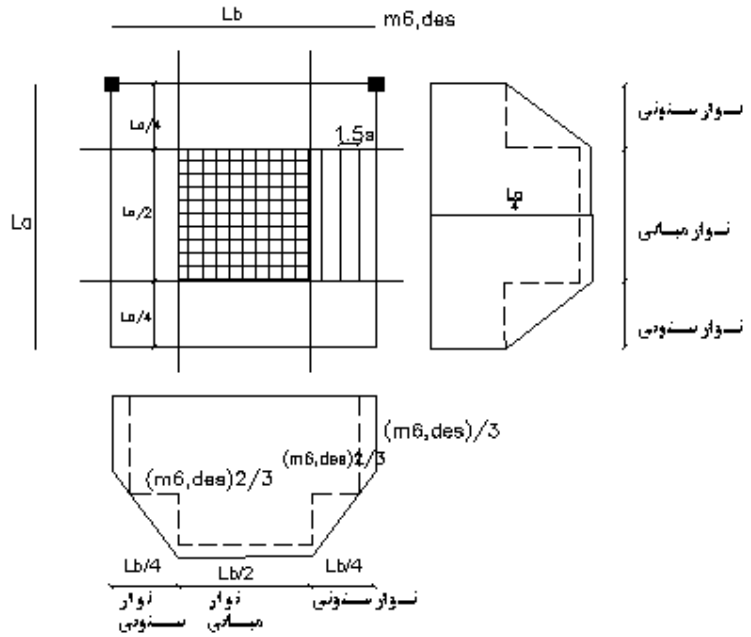


Copyright by:www.Afshinsalari.com



نمودار تغییرات لنگر خمشی نوار روی امتداد 1-1

Copyright by:www.Afshinsalari.com



تعاریف:

m_a = لنگر برای نواری به عرض واحد به موازات L_a (لنگر درجهت کوچک)

m_b = لنگر برای نواری به عرض واحد به موازات L_b (لنگر در جهت بزرگتر)

$m\bar{a} = ma, Neg =$ لنگرمنفي

$ma^{+} = ma, pos =$ لنگرمثبت

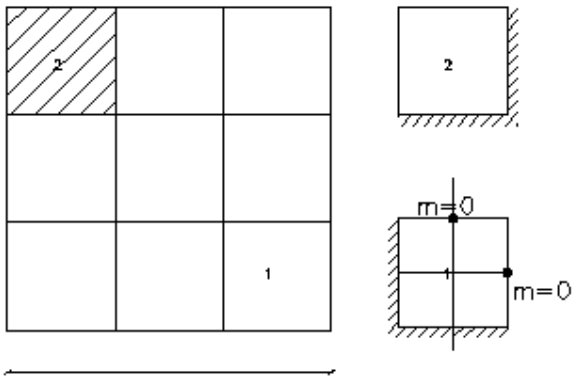
$$w = w_u$$

$$m_a = c_a w L^2{}_a$$

$$m_b = c_b w L^2{}_b$$

که درآن c_b, c_a از جداول کتاب طاحونی بدست می آیند (صفحه 440)

Copyright by:www.Afshinsalari.com



$$m_{neg} = m_a^- = c_a w L_a^2$$

$$m_{a,Neg} = c_{a,Neg}.w_u L_a^2$$

$$m_{b,Neg} = c_{b,Neg}.w_u L_b^2$$

-وجود بار زنده در دو دهنه مجا ور باعث افزایش ممان در دهنه وسط می‌شود. بهمین علّت ضرائب مربوط به ممان مثبت و ممان منفی متفاوت است.

خط تاثیر

برای لنگرهای مثبت داریم:

$$m_a, Pos, dL = c_a, Pos, d_l \times w_{dl} \times L_a^2$$

$$m_b, Pos, dL = c_b, Pos, dL \times w_{dl} \times L_b^2$$

$$m_a, Pos, LL = c_a, Pos, LL \times w_{ll} \times L_a^2$$

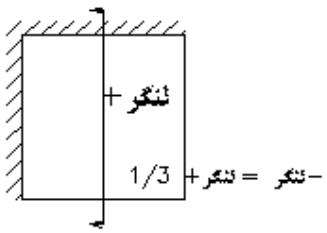
$$m_b, Pos, LL = c_b, Pos, LL \times w_{ll} \times L_b^2$$

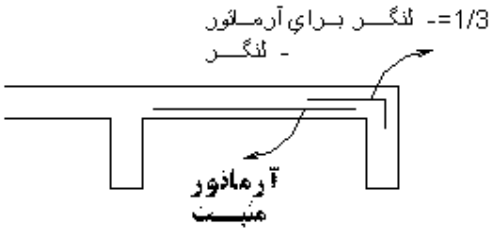
Copyright by:www.Afshinsalari.com

مقادیر فوق برای نوارهای میانی به فاصله5 اجرا خواهد شد. منتهی برای نوارهای ستونی همان ممانها با فاصلهٔ 1.55 اجرا خواهد شد.

تبصره1

-در لبهای غیر پیوسته باید لنگر منفی برابر ⅓ لنگر مثبت همان جهت منظور گردد.





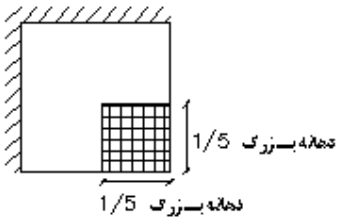
تبصره 2

- اثر گوشه‌ها:

فقط برای دالهایی که از دو جهت گیردار باشد

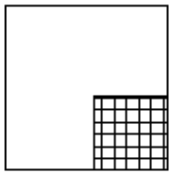
- آرماتورهای طراحی برای پایین دال.

- آرماتورهای طراحی برای بالای دال



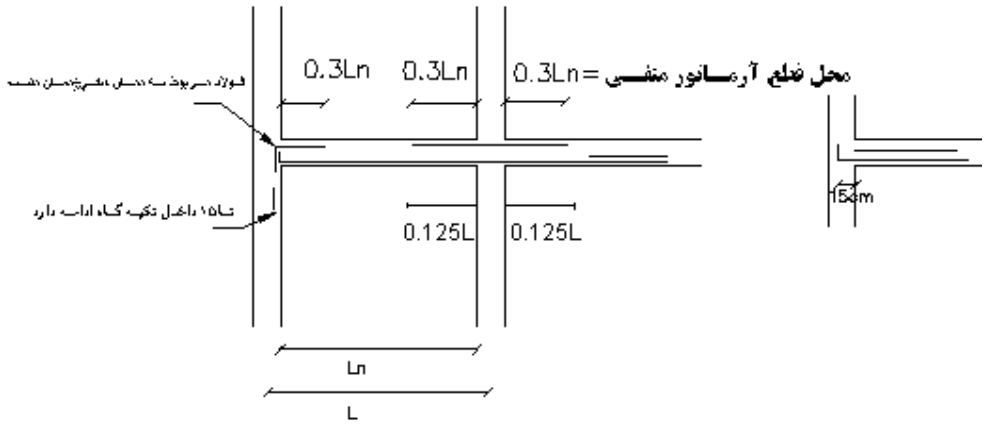
روش معمولی طراحی آرماتورها در عمل:

Copyright by:www.Afshinsalari.com



برای جداکثر تنگر منفی

- راهنما در مورد محل قطع آرماتورها



بهتر است محل قطع آرماتورها روی سردهانه باشد هیچوقت آرماتور را وسط دهانه قطع نکند

Copyright by:www.Afshinsalari.com

جدول ضرایب لنگر منفی برای دالها

$M_{a,neg} = C_{a,neg} W l_a^2$

$M_{b,neg} = C_{a,neg} W l_a^2$

W = بار یکنواخت مرده + زنده وارد بر واحد سطح

نسبت $m=\frac{l_a}{l_b}$	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
1.00 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.045 0.045	0.076	0.045 0.045	0.075	0.071	0.071	0.033 0.061	0.061 0.033
0.95 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.050 0.041	0.072	0.055 0.045	0.079	0.075	0.067	0.038 0.056	0.065 0.029
0.90 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.055 0.037	0.070	0.060 0.040	0.080	0.079	0.062	0.043 0.052	0.068 0.025
0.85 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.060 0.031	0.065	0.066 0.034	0.082	0.083	0.057	0.049 0.046	0.072 0.021
0.80 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.065 0.027	0.061	0.071 0.029	0.083	0.086	0.051	0.055 0.041	0.075 0.017
0.75 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.069 0.022	0.056	0.076 0.024	0.085	0.088	0.044	0.061 0.036	0.078 0.014
0.70 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.074 0.017	0.050	0.081 0.019	0.086	0.091	0.038	0.068 0.029	0.081 0.011
0.65 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.077 0.014	0.043	0.085 0.015	0.087	0.093	0.031	0.074 0.024	0.083 0.008
0.60 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.081 0.010	0.035	0.089 0.011	0.088	0.095	0.024	0.080 0.018	0.085 0.006
0.55 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.084 0.007	0.028	0.092 0.008	0.089	0.096	0.019	0.085 0.014	0.086 0.005
0.50 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$		0.086 0.006	0.022	0.094 0.006	0.090	0.097	0.014	0.089 0.010	0.088 0.003

Copyright by:www.Afshinsalari.com

جدول ضرایب لنگر مثبت برای بار مرده

$M_{a,pos,dl} = C_{a,dl}\, w\, l_a^2$

$M_{b,pos,dl} = C_{b,dl}\, w\, l_b^2$

w = بار یکنواخت مرده وارد بر واحد سطح

نسبت $m=\frac{l_a}{l_b}$	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
1.00 $C_{a,neg}$	0.036	0.018	0.018	0.027	0.027	0.033	0.027	0.020	0.023
$C_{b,neg}$	0.036	0.018	0.027	0.027	0.018	0.027	0.033	0.023	0.020
0.95 $C_{a,neg}$	0.040	0.020	0.021	0.030	0.028	0.036	0.031	0.022	0.024
$C_{b,neg}$	0.033	0.016	0.025	0.024	0.015	0.024	0.031	0.021	0.017
0.90 $C_{a,neg}$	0.045	0.022	0.025	0.033	0.029	0.039	0.035	0.025	0.026
$C_{b,neg}$	0.029	0.014	0.024	0.022	0.013	0.021	0.028	0.019	0.015
0.85 $C_{a,neg}$	0.050	0.024	0.029	0.036	0.031	0.042	0.040	0.029	0.028
$C_{b,neg}$	0.026	0.012	0.022	0.019	0.011	0.017	0.025	0.017	0.013
0.80 $C_{a,neg}$	0.056	0.026	0.034	0.039	0.032	0.045	0.045	0.032	0.029
$C_{b,neg}$	0.023	0.011	0.020	0.016	0.009	0.015	0.022	0.015	0.010
0.75 $C_{a,neg}$	0.061	0.028	0.040	0.043	0.033	0.048	0.051	0.036	0.031
$C_{b,neg}$	0.019	0.009	0.018	0.013	0.007	0.012	0.020	0.013	0.007
0.70 $C_{a,neg}$	0.068	0.030	0.046	0.046	0.035	0.051	0.058	0.040	0.033
$C_{b,neg}$	0.016	0.007	0.016	0.011	0.005	0.009	0.017	0.011	0.006
0.65 $C_{a,neg}$	0.074	0.032	0.054	0.050	0.036	0.054	0.065	0.044	0.034
$C_{b,neg}$	0.013	0.006	0.014	0.009	0.004	0.007	0.014	0.009	0.005
0.60 $C_{a,neg}$	0.081	0.034	0.062	0.053	0.037	0.056	0.073	0.048	0.036
$C_{b,neg}$	0.010	0.004	0.011	0.007	0.003	0.006	0.012	0.007	0.004
0.55 $C_{a,neg}$	0.088	0.035	0.071	0.056	0.038	0.058	0.081	0.052	0.037
$C_{b,neg}$	0.008	0.003	0.009	0.005	0.002	0.004	0.009	0.005	0.003
0.50 $C_{a,neg}$	0.095	0.037	0.080	0.059	0.039	0.061	0.089	0.056	0.038
$C_{b,neg}$	0.006	0.002	0.007	0.004	0.001	0.003	0.007	0.004	0.002

Copyright by:www.Afshinsalari.com

جدول ضرایب لنگر مثبت برای بار زنده

$M_{a,pos,ll} = C_{a,ll}\ w\ l_a^2$

$M_{b,pos,ll} = C_{b,ll}\ w\ l_b^2$

w = بار یکنواخت زنده وارد بر واحد سطح

نسبت $m=\frac{l_a}{l_b}$	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
1.00 $C_{a,neg}$	0.036	0.027	0.027	0.032	0.032	0.035	0.032	0.028	0.030
$C_{b,neg}$	0.036	0.027	0.032	0.032	0.027	0.032	0.035	0.030	0.028
0.95 $C_{a,neg}$	0.040	0.030	0.031	0.035	0.034	0.038	0.036	0.031	0.032
$C_{b,neg}$	0.033	0.025	0.029	0.029	0.024	0.029	0.032	0.027	0.025
0.90 $C_{a,neg}$	0.045	0.034	0.035	0.039	0.037	0.042	0.040	0.035	0.036
$C_{b,neg}$	0.029	0.022	0.027	0.026	0.021	0.025	0.029	0.024	0.022
0.85 $C_{a,neg}$	0.050	0.037	0.040	0.043	0.041	0.046	0.045	0.040	0.039
$C_{b,neg}$	0.026	0.019	0.024	0.023	0.019	0.022	0.026	0.022	0.020
0.80 $C_{a,neg}$	0.056	0.041	0.045	0.048	0.044	0.051	0.051	0.044	0.042
$C_{b,neg}$	0.023	0.017	0.022	0.020	0.016	0.019	0.023	0.019	0.017
0.75 $C_{a,neg}$	0.061	0.045	0.051	0.052	0.047	0.055	0.056	0.049	0.046
$C_{b,neg}$	0.019	0.014	0.019	0.016	0.013	0.016	0.020	0.016	0.013
0.70 $C_{a,neg}$	0.068	0.049	0.057	0.057	0.051	0.060	0.063	0.054	0.050
$C_{b,neg}$	0.016	0.012	0.016	0.014	0.011	0.013	0.017	0.014	0.011
0.65 $C_{a,neg}$	0.074	0.053	0.064	0.062	0.055	0.064	0.070	0.059	0.054
$C_{b,neg}$	0.013	0.010	0.014	0.011	0.009	0.010	0.014	0.011	0.009
0.60 $C_{a,neg}$	0.081	0.058	0.071	0.067	0.059	0.068	0.077	0.065	0.059
$C_{b,neg}$	0.010	0.007	0.011	0.009	0.007	0.008	0.011	0.009	0.007
0.55 $C_{a,neg}$	0.088	0.062	0.080	0.072	0.063	0.073	0.085	0.070	0.063
$C_{b,neg}$	0.008	0.006	0.009	0.007	0.005	0.006	0.009	0.007	0.006
0.50 $C_{a,neg}$	0.095	0.066	0.088	0.077	0.067	0.078	0.092	0.076	0.067
$C_{b,neg}$	0.006	0.004	0.007	0.005	0.004	0.005	0.007	0.005	0.004

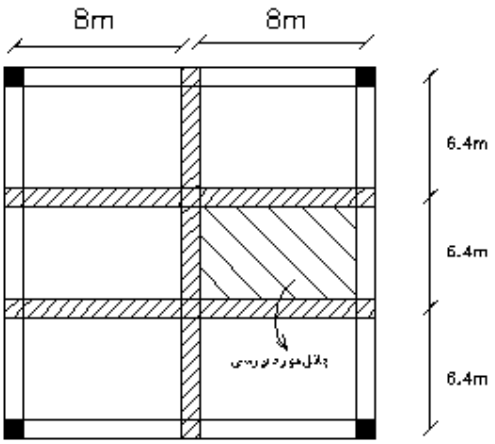
Copyright by:www.Afshinsalari.com

جدول نسبت بار کل w در امتداد l_b و l_a برای کنترل برش و توزیع بار روی تیرهای قاب

نسبت $m=\frac{l_a}{l_b}$	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9
1.00 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.50 0.50	0.50 0.50	0.17 0.83	0.50 0.50	0.83 0.17	0.71 0.29	0.29 0.71	0.33 0.67	0.67 0.33
0.95 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.55 0.45	0.55 0.45	0.20 0.80	0.55 0.45	0.86 0.14	0.75 0.25	0.33 0.67	0.38 0.62	0.71 0.29
0.90 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.60 0.40	0.60 0.40	0.23 0.77	0.60 0.40	0.88 0.12	0.79 0.21	0.38 0.62	0.43 0.57	0.75 0.25
0.85 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.66 0.34	0.66 0.34	0.28 0.72	0.66 0.34	0.90 0.10	0.83 0.17	0.43 0.57	0.49 0.51	0.79 0.21
0.80 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.71 0.29	0.71 0.29	0.33 0.67	0.71 0.29	0.92 0.08	0.86 0.14	0.49 0.51	0.55 0.45	0.83 0.17
0.75 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.76 0.24	0.76 0.24	0.39 0.61	0.76 0.24	0.94 0.06	0.88 0.12	0.56 0.44	0.61 0.39	0.86 0.14
0.70 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.81 0.19	0.81 0.19	0.45 0.55	0.81 0.19	0.95 0.05	0.91 0.09	0.62 0.38	0.68 0.32	0.89 0.11
0.65 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.85 0.15	0.85 0.15	0.53 0.47	0.85 0.15	0.96 0.04	0.93 0.07	0.69 0.31	0.74 0.26	0.92 0.08
0.60 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.89 0.11	0.89 0.11	0.61 0.39	0.89 0.11	0.97 0.03	0.95 0.05	0.76 0.24	0.80 0.20	0.94 0.06
0.55 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.92 0.08	0.92 0.08	0.69 0.31	0.92 0.08	0.98 0.02	0.96 0.04	0.81 0.19	0.85 0.15	0.95 0.05
0.50 $C_{a,neg}$ / $C_{b,neg}$	0.94 0.06	0.94 0.06	0.76 0.24	0.94 0.06	0.99 0.01	0.97 0.03	0.86 0.14	0.89 0.11	0.97 0.03

Copyright by:www.Afshinsalari.com

مثال:



$w_L = 700 \ \frac{kg}{m^2}$

$w_D = 200 \ \frac{kg}{m^2}$

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

$f_y = 4200 \ \frac{kg}{m^2}$

$\gamma = 2400 \frac{kg}{m^2}$

الف) تخمین ضخامت دال

(محیط داخلی دال)

$$h_{\min} = \frac{1}{180}\left[2(640+800)\right] = 16 \ cm$$

ضخامت دال

$$take \ : \ h = 20 \ cm$$

بار مرده همراه با وزن دال

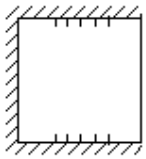
$$w_D = 200 + 2400 \times 0.2 = 680 \ \frac{kg}{m^2}$$

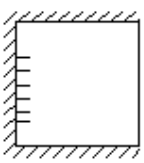
$$w_D = 680 \ \frac{kg}{m^2} \Rightarrow 1.4 \ w_D = 952 \ \frac{kg}{m^2}$$

$$w_L = 700 \ \frac{kg}{m^2} \Rightarrow 1.4 \ w_L = 1190 \ \frac{kg}{m^2}$$

$$w_U = 1.4 \ w_D + 1.7 \ w_L = 2142 \ \frac{kg}{m^2}$$

ب) محاسبهٔ لنگرهای طراحی





لنگر منفی در لبه ممتد دال $m = \frac{L_a}{L_b} = \frac{6.4}{8} = 0.8$

لنگر منفی در لبهٔ ممتد

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$\overline{m} = 0.075 \times 2.142 \times 6.2^2 = 6.58 \quad \frac{t.m}{m}$$

$$\overline{m} = 0.017 \times 2.142 \times 8^2 = 2.33 \quad \frac{t.m}{m}$$

2) لنگر مثبت

امتدا کوتاه

$$\begin{cases} m^{+}_{dl} = 0.029 \times 0.952 \times 6.4^2 = 1.131 \\ m^{+}_{ll} = 0.042 \times 1.19 \times 6.4^2 = 2.047 \end{cases}$$

$$m^{+}_{total} = 3.178 \quad \frac{t.m}{m}$$

امتداد بلند

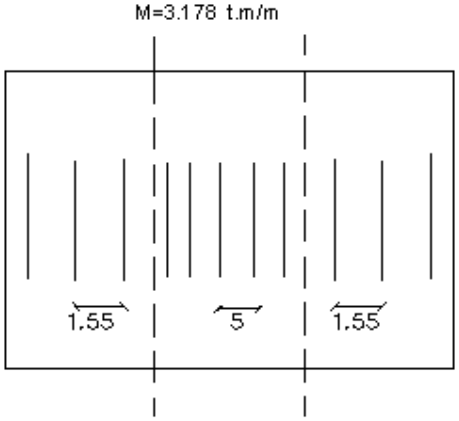
$$\begin{cases} m^{+}_{dl} = 0.01 \times 0.952 \times 8^2 = 0.609 \\ m^{+}_{ll} = 0.017 \times 1.19 \times 8^2 = 1.295 \end{cases}$$

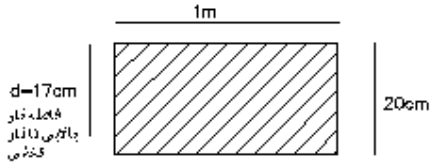
$$m^{+}_{total} = 1.904 \quad \frac{t.m}{m}$$

3) لنگر منفی استوار بلند غیر پیوسته و (⅓ لنگر مثبت در همان جهت)امتداد بلند

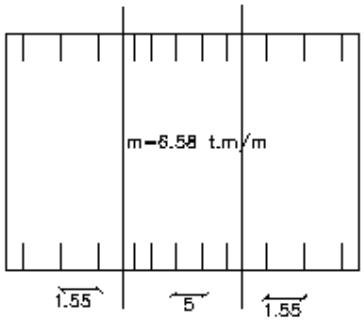
$$\frac{1}{3} \times 1.904 = 0.635 \, t.m/m$$

بعبارتی: طراحی آرماتور برای تیر معادلی شکل زیر خواهد بود.



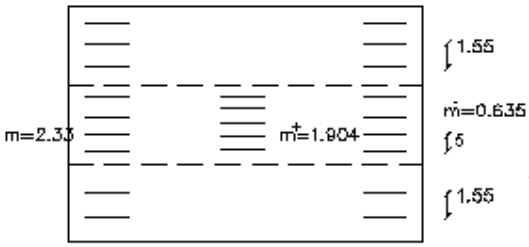


- در دالها اگر خمش جواب دهد خیلی کم اتفاق می‌افتد که برش جواب ندهد.



- فاصله آرماتوها 1.5 برابر فاصله آرماتورهای دهنه پیوسته همان جهت می‌شود (در نوار ستونی)

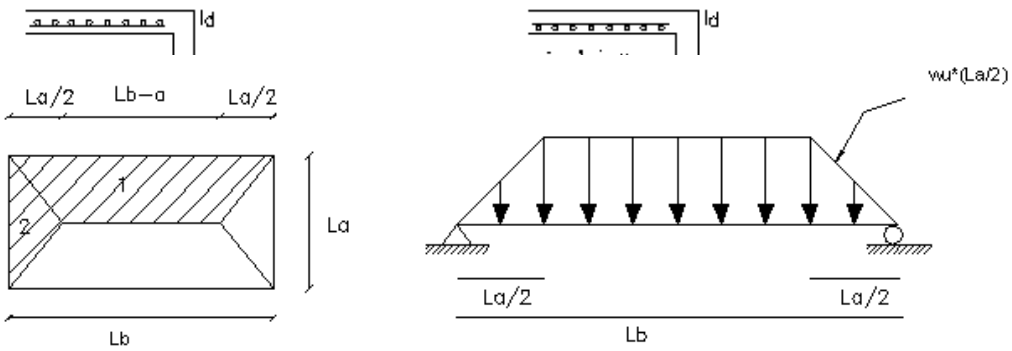
- هیچگاه آرماتورهای طراحی نباید از آرماتورهای حرارتی کمتر شود. در صورت کمتر شدن آرماتورهای حرارتی را به عنوان آرماتور طراحی در نظر می‌گیریم.



در محاسبهٔ آرماتورهای کوتاه و در جهت کوتاه

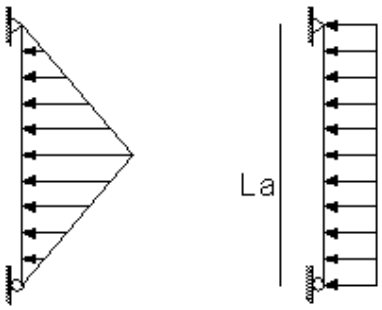
مقدار d دال: d در حالت آرماتورهای بلند (در جهت بلند) + قطر میلگرد آرماتور در جهت بلند

یا: مقدار d دال: d در حالت آرماتورهای بلند (در جهت بلند) – قطر میلگرد آرماتور در جهت



Copyright by:www.Afshinsalari.com

نیروی درواحد طول $w_e.L_b = (L_b - \frac{L_a}{2})w_u \frac{L_a}{2}$

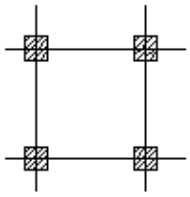


$$w_e.L_a = w_u.\frac{L_a}{2} \times \frac{L_a}{2}$$

نکته: برای محاسبهٔ آرماتورهای خمش در نوار میانی پانلها معمولاً لنگرهای خمش نیم نوارهای میانی از قابهای مجاور با هم جمع شده و به طور یکنواخت روی نوار میانی تقسیم می‌شود و در نتیجه آرماتورگذاری در نوارهای میانی به طور یکنواخت صورت می‌گیرد.

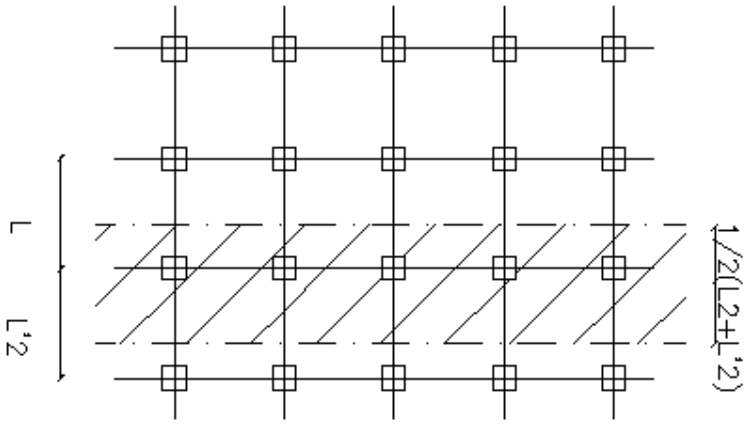
Copyright by:www.Afshinsalari.com

طراحی دالها به روش آیین‌نامه ACI-83



1- روش طراحی مستقیم

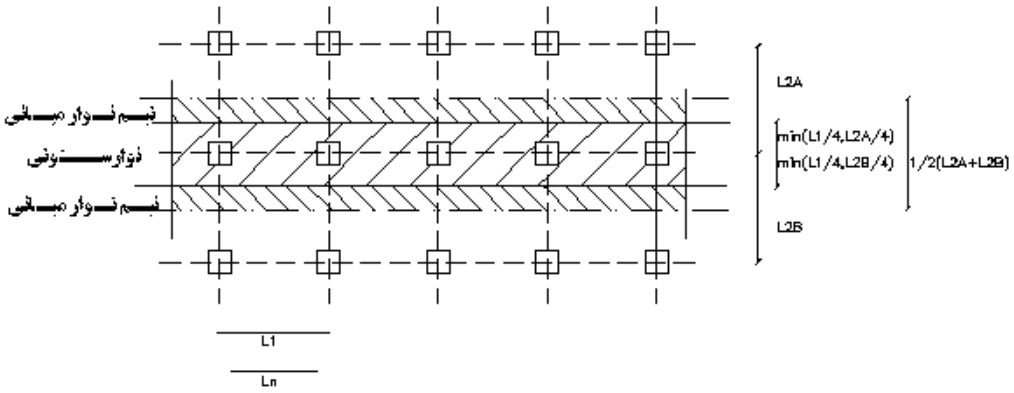
2- روش قاب معادل



نکته: در مواردی که پهنای دهانهٔ پانلهای طرفین متفاوت است L_2 میانگین پهنای این دهانه‌ها فرض می‌شود.

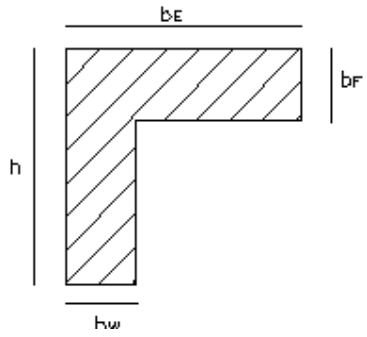
تعریف نوار ستونی و نوار میانی: همچنین در مواردی که دهانهٔ مجاور موازی با یک لبه (یعنی یک قاب کناری) مورد بررسی قرار گیرد L_2 برابر فاصلهٔ لبه تا محور پانل گرفته می‌شود.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

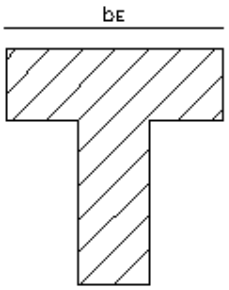


پهنای موثر Effective Width در تیرهای T شکل

از لحاظ طراحی همان تعاریف بتن I (از لحاظ مقاومت) ولی از لحاظ سختی این قسمت مورد نظر است.



$$bE = \min\begin{cases} b_w + 2(h - h_f) \\ b_w + 8h_f \end{cases}$$



$$bE = \min\begin{cases} b_w + (h - h_f) \\ b_w + 4h_f \end{cases}$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

نسبت سختی خمش تیرها(نسبت خمش تیر به دال) Beam flexural

stiffness ratioضریب الاستیته بتنی که تیرازآن ساخته شده است

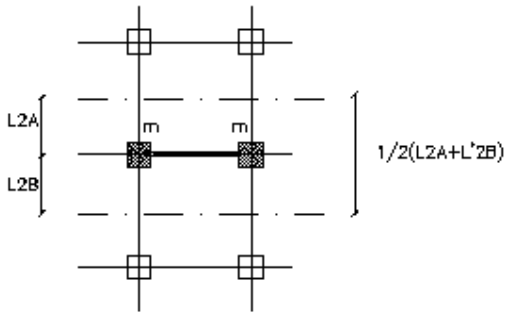
(ضریبα)

$$\alpha_1 = \frac{E_{cb} - I_b}{E_{cs} - I_s}$$

$$I_s = \frac{1}{12} L_2 h_f^3$$

$$L_s = \frac{1}{2}\left(L_2 A + L_2 B \right) \qquad b = b_{beam} \text{و} s = s_{lab}$$

$$I_b = k(\frac{1}{12} b_w h^3)$$



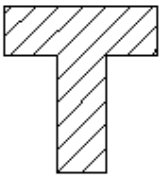
Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$k=\frac{1+\left(\frac{b_E}{b_w}-1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)\left[4-6\left(\frac{h_f}{h}\right)+4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2+\left(\frac{b_E}{b_w}-1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)^4\right]}{1+\left(\frac{b_E}{b_w}-1\right)\left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

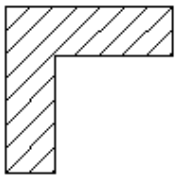
$$h\approx 1.0+0.2\frac{b_E}{b_w}$$

$$2\langle\frac{b_E}{b_w}\langle 4$$

$$0.2\langle\frac{h_f}{h}\langle 0.4$$



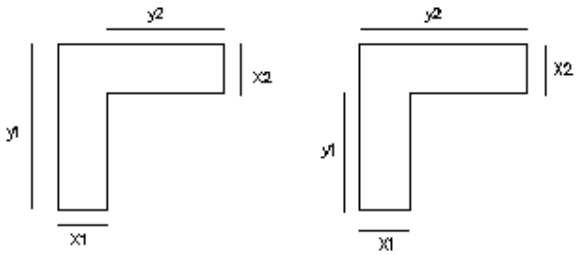
k=2.0



k=1.5

ثابت پیچشی تیرها

$$c=\sum(1-0.63\frac{x}{y})(\frac{x^3y}{3})$$



C برای هر دوحالت 1 و2 بدست می آوریم و max مقدار c را درنظر می گیریم

Copyright by:www.Afshinsalari.com

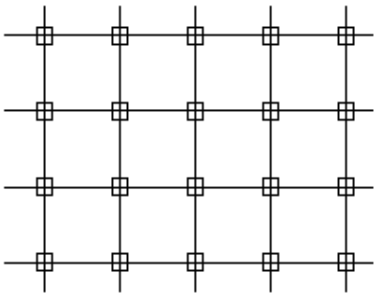
X :ضلع کوچکتر

y:ضلع بزرگتر

روش طراحی مستقیم Direct Design method

محدودیت‌های روش:

1- شبکه ستونها عمود بر هم باشد.



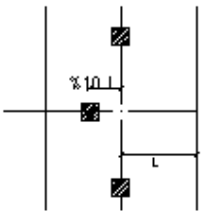
2- فقط بارهای قائم بر دال وارد شود.

3- بار دارد و بر دال باید گستردهٔ یکنواخت باشد.

4- در هر جهت باید حداقل سه دهنه وجود داشته باشد.

5- نسبت طول به عرض دالها از 2 کمتر باشد.

6- اختلاف طول دهانه‌های مجاور از ⅓ دهنهٔ بزرگتر تجاوز نکند.



7- انحراف از محور ستونها از 10٪ تجاوز نکند.

8- بار زنده از 3 برابر بار مرده بیشتر نباشد. $\frac{l_L}{DL} < 3$

9- در صورتی که دال روی تیر تکیه دارد باید.

یک پانل که در آن در هر چهار طرف تیر قرار دارد $0.2 \le \frac{\alpha_1 l_2^{\,2}}{\alpha_2 l_1^{\,2}} \le 5$

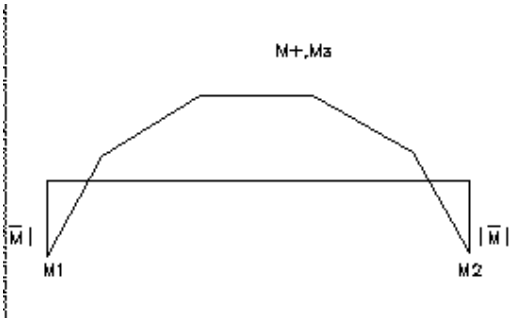
Copyright by:www.Afshinsalari.com

مراحل کار: (کاملتر در بعد)

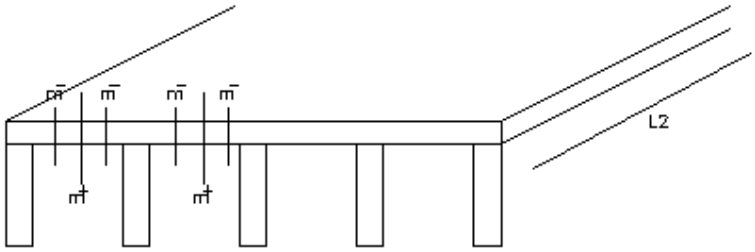
در هر جهت بایستی مراحل زیر انجام شود.

1- لنگر خمش کل m_0 محاسبه شود. $m_0 = \frac{1}{8} w_u L_2 L_{n_1}^{\ 2}$

2- لنگرm_0 به دو قسمت لنگر منفی و لنگر مثبت تقسیم می‌شود.

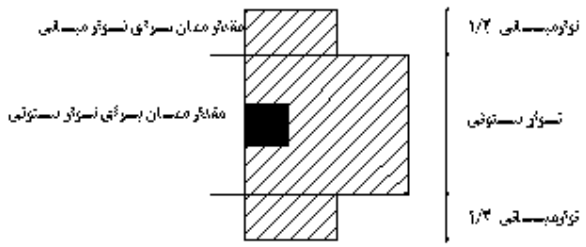


$$m_0 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2) + m_3$$



3- لنگرهای m_2 $6m_2$ $6m_1$ را بین نوارهای ستونی و میانی تقسیم کنید.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

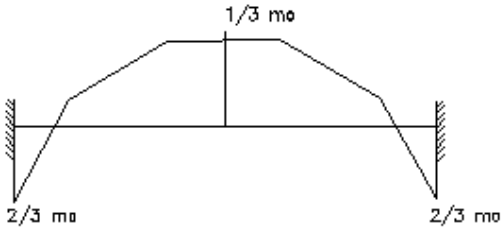


- ممان برای دال و تیر روی هم است برخلاف حالت قبل که فقط ممان برای دال بود.

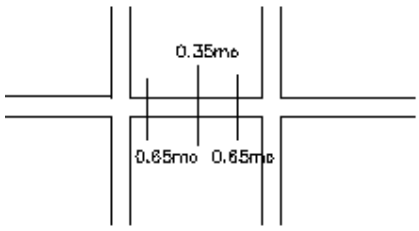
4- سهم لنگر دال و لنگر تیر را در نوار ستونی مشخص کنید (اگر نوار ستونی بین آن و تیر وجود داشته باشد)

تقسیم لنگر m_0 به لنگر مثبت و لنگر منفی

1) دهانه‌های داخلی و خارجی با تکیه‌گاه کاملاً صلب.



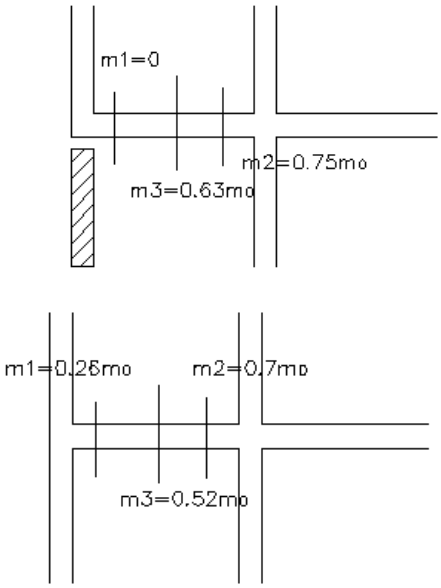
2) دهانه داخلی.



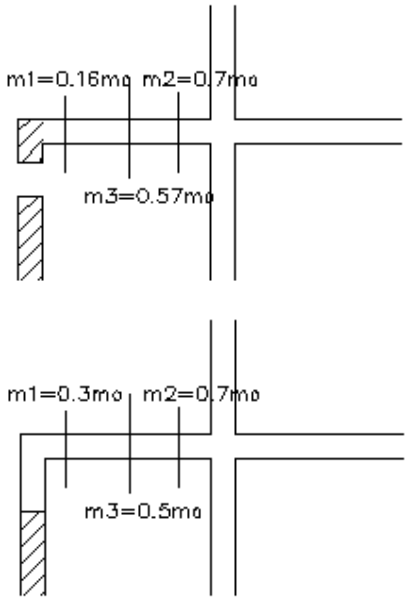
Copyright by:www.Afshinsalari.com

حالتی که دال با یک دیوار بتنی صلب یکپارچه باشد

3) دهنه‌های خارجی



تیر درجهت عمود بر دال وجود ندارد



Copyright by:www.Afshinsalari.com

- مقادیر فوق را می‌توان مشمول 10٪ توزیع مجدد لنگر کرد مشروط بر آنکه لنگر کل از m_0 کمتر شود.

اختلاف m^- و m^+ را بدست آورد 10٪ اختلاف را به صورت کم و یا زیاد کردن m^- و m^+ انجام می‌دهیم تا اختلاف m^- و m^+ زیاد نباشد (اختیاری) یعنی اینکه پس از تغییر لنگرها باید مجموع قدرمطلق لنگر مثبت و میانگین لنگرهای منفی همچنان برابرm_0 باشد.

- یعنی m_2 اگر کوچک شود به همان مقدار بای m_3 د افزایش یابد و به اندازهٔ 10٪ لنگر بزرگتر می‌توان مجدداً توزیع لنگر کرد یعنی خط تراز بالا و پایین می‌رود.

صفحه 463 کتاب کی‌نیا

سختی خمش تیرها

$$\alpha = \frac{E_{cb} \cdot I_b}{E_{cs} . I_s}$$

-ثابت پیچشی تیرها

$$c = \sum \left(1 - 0.63 \frac{x}{y}\right)\left(\frac{x^3 y}{3}\right)$$

$$\beta_t = \frac{E_{cb} c}{2 E_{cs} I_s}$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

نسبت سختی خمش ستونها (ac) column flexural stiffness

$$\alpha_c = \frac{\sum k_c}{\sum (k_s + k_b)}$$

$$k_c = \frac{4E_{cc}I_c}{L_c}$$

L_c: طول ستون (وسط تا وسط تکیه‌گاههای ستون)

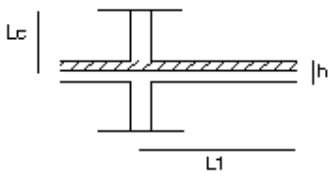
Ecc: ضریب الاستیتهٔ بتن ستونها

Ic: لنگر دوم سطح ستون= $\frac{1}{12}c_2c_1^3$

نکته: ممان اینرسی‌های تیر و دال را می‌توان بر اساس کل مقطع بتن یعنی بدون احتساب آرماتورهاومسئله ترک خوردگی محاسبه کرد.

$$k_s = \frac{4E_{cs}I_s}{L_1}$$

$$k_b = \frac{4E_{cb}I_b}{L_1}$$



نکته: c_1 عبارت است از بعد مقطع ستون در جهتی که لنگرها محاسبه می‌شوند و یعنی در امتداد (قاب)

Copyright by:www.Afshinsalari.com

نسبت سختی پیچشی تیر سراسری به سختی خمش دال

$$\beta_t = \frac{E_c b \ .c}{2E_{cs} I_s}$$

$$I_S = \frac{1}{12} L_2 h_f^{\ 3}$$

$$c = \sum (1.063 \frac{x}{y})(\frac{x^3 y}{3})$$

x: ضلع کوچکتر y: ضلع بزرگتر

نکته: تجزیه مقطع به اجزاء مستطیل باید به نحوی انجام شود که حداکثر مقدار c حاصل می‌شود.

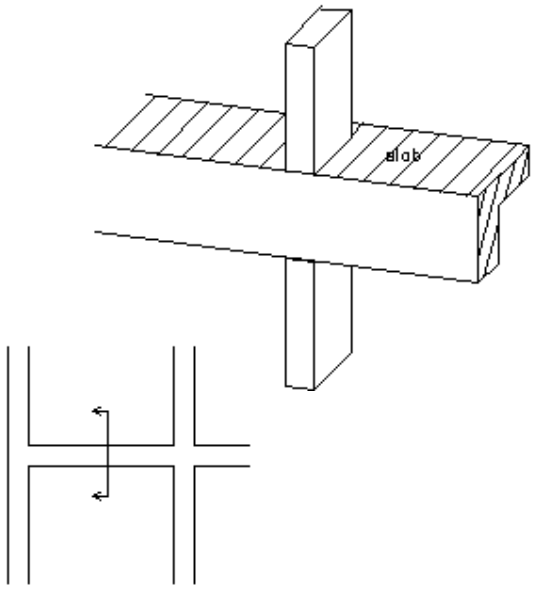
سختی خمش ستون معادل (kec)

flexural stiffress of equivalent column

$$\frac{1}{k_{ec}} = \frac{1}{\sum k_{ec}} + \frac{1}{\sum k_t}$$

$$k_t = \sum \frac{9 E_{cs} \cdot c}{L_2 \left(1 - \frac{c_2}{L_2}\right)^3}$$

$$\frac{1}{k_{ec}} = \frac{1}{\sum k_c} + \frac{1}{\frac{I_{sb}}{I_s} \sum k_t}$$



Copyright by:www.Afshinsalari.com

- اگر در جهت (1) تیر نداشته باشیم از فرمول (a) استفاده کنید.

- اگر در جهت (1) تیر وجود داشته باشد از فرمول (b) استفاده کنید.

طراحی مستقیم

1) m_0 را حساب کنید.

2) m_0 را به دو قسمت m^+ و m^- تقسیم کنید.

3) سهم نوار ستونی و نوار میانی را مشخص کنید.

4) در نوار ستونی سهم دال و تیر را مشخص کنید.

توزیع لنگر بین نوار ستونی و نوار میانی

1) دهانه‌های داخل

- لنگر منفی (سهم نوار ستونی)

$$\text{سهم نوار ستونی} = 75 + 30\left(\frac{\alpha_1 L_2}{L_1}\right)\left(1 - \frac{L_2}{L_1}\right)$$

$$if \quad 0.5 < \frac{\alpha_1 L_2}{L_1} < 2 \quad \Rightarrow \quad \frac{\alpha_1 L_2}{L_1}$$

$$if \quad \frac{\alpha_1 L_2}{L_1} > 1 \quad \Rightarrow \quad \frac{\alpha_1 L_2}{L_1} = 1$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

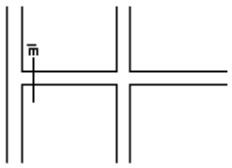
- لنگر مثبت (سهم نوار ستونی)

$\frac{L_2}{L_1}$	0.5	1.0	2.0
$\alpha_1 \frac{L_2}{L_1} = 0$	60%	60%	60%
$\alpha_1 \frac{L_2}{L_1} \geq 0$	90%	74%	45%

$$\text{سهم نوار ستونی} = 60+30\left(\frac{\alpha_1 L_2}{L_1}\right)\left(1.5-\frac{L_2}{L_1}\right)$$

- شرط قبل برای این فرمول نیز باید رعایت شود. (ص36)

2) دهانه‌های خارجی



از جداول زیر استفاده می‌شود.

$\frac{L_2}{L_1}$		0.5	1.0	2.0
$\alpha_1 \frac{L_2}{L_1} = 0$	Bt=0	100	100	100
	Bt≥ 25	75	75	75
$\alpha_1 \frac{L_2}{L_1} \geq 1$	Bt=0	100	100	100
	Bt≥ 25	90	75	45

$\Leftarrow$Bt=0 یعنی تیر لبه‌ای نداشته و هیچگونه سختی خمش تیر در m فوق نخواهیم داشت.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$= 100 - 10\beta_t + 12\beta_t\left(\frac{\alpha_1 L_2}{L_1}\right)\left(1 - \frac{L_2}{L_1}\right)$$

$$if \qquad 0.5 \le \frac{\alpha_1 L_2}{L_1} \le 2.0 \Rightarrow \frac{\alpha_1 L_2}{L_1}$$

$$\frac{\alpha_1 L_2}{L_1} \ge 1 \Rightarrow \frac{\alpha_1 L_2}{L_1} = 1$$

$$if \qquad \beta_t \rangle 2.5 \Rightarrow \beta_t = 2.5$$

در فرمول قرار داده $\beta_t \le 2.5 \Rightarrow \beta_t$

تقسیم لنگر نوار ستونی بین دال و تیر

85٪ لنگر نوار ستونی به تیر داده می‌شود $\Rightarrow$ $\frac{\alpha_1 L_2}{L_1} \ge 1$

سهم تیر از لنگر نوار ستونی = $85\left(\frac{\alpha_1 L_2}{L_1}\right)\%$ $\Rightarrow$ $0 < \frac{\alpha_1 L_2}{L_1} < 1$

نکته: مطابق آیین‌نامه، یک نوار میانی مجاور و موازی با یک دیوار باید برای تحمل دو برابر لنگر تخصیص یافته به نیم نوار میانی مربوط به اولین قاب داخلی موازی دیوار طراحی می‌شود.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

روش قاب معادل

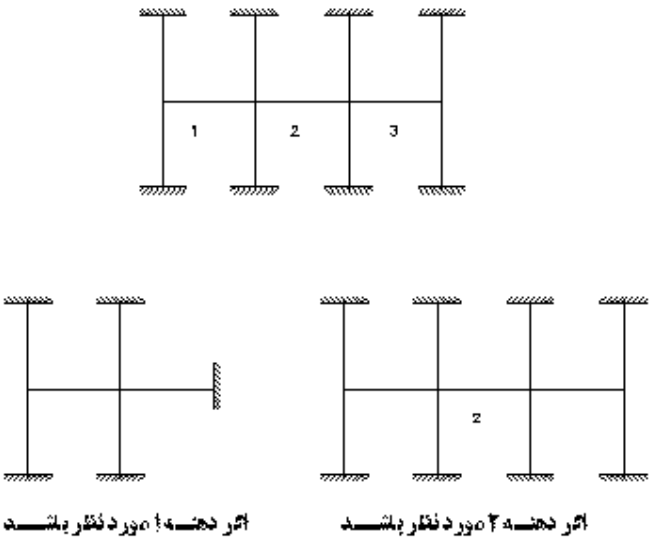
Iquivalent frame method

1- با استفاده از قاب معادل و آنالیز آن مقادیر m^+ و m^- را برای دال حساب کنید.

2- لنگرها را بین نوار ستونی و میانی تقسیم کنید.

3- لنگر نوار ستونی را بین دال و تیر تقسیم کنید.

فرضیات ساده کننده روش قاب معادل



1- فقط ستونهای بالا و پایین دال در نظر گرفته می‌شود.

2- اگر تعداد دهانه‌ها زیاد باشد اثرات دهانه دورتر از دو دهنه در نظر نمی‌گیرند.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

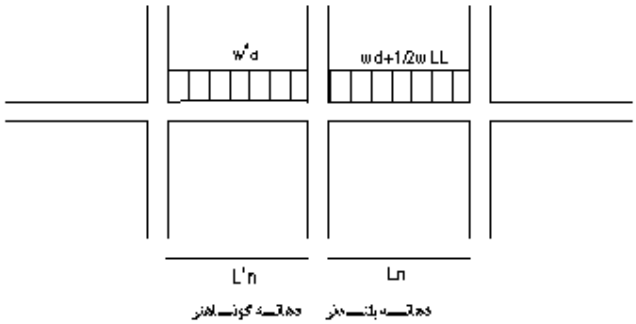
در روش قاب معادل پارامترهای زیر حاصل می‌شود.

1) سختی خمش تیر معادل $\frac{\alpha_c EI}{L}$

2) ضریب انتقال لنگر برای تیرها و ستونها

3) مقادیر لنگرهای گیرداری

لنگر ایجاد شده در ستونها:



1- بار مردهٔ ضریب‌دار را روی دو دهنهٔ دو طرف ستون قرار می‌دهیم.

2- نصف بار زنده ضریبدار را روی دهنهٔ بلندتر قرار می‌دهیم.

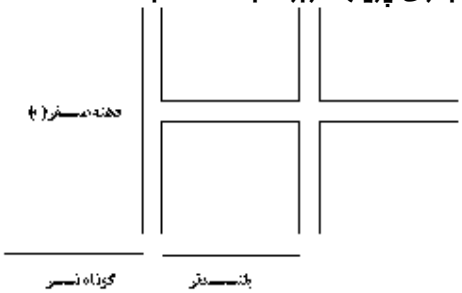
3- جمع جبری لنگرهای گیرداری دو طرف ستون را حساب می‌کنیم.

4- لنگر مرحلهٔ 3 به نسبت سختی ستون بالای و پائین تقسیم می‌کنیم.

$$m_u = 0.07\left[\left(w_d + \frac{1}{2}w_L\right) L_2 L_n^2 - w'_d L'_2 L'^2_n\right]$$

پارامترهای پریم‌دار مربوط به دهانهٔ کوتاه پارامترهای بدون پریم مربوط به دهانهٔ بلند.

-



در دهانه‌های کناری $w'dL'_2\ L'_n=d$ خواهد شد.

0= پارامتر اول

Copyright by:www.Afshinsalari.com

اثر بارگذاری شطرنجی

$$Ba=\frac{\text{بارمرده بدون‌ضریب}}{\text{بارزنده بدون‌ضریب}}\succ 2 \Rightarrow \text{اثر بارگذاری شطرنجی در نظر گرفته نمی‌شود}$$

$$Ba<2\begin{cases}\alpha_c=\dfrac{\Sigma k_c}{k_s+k_e}>\alpha_{\min}\Rightarrow(1)\\ \alpha_c<\alpha_{\min}\Rightarrow(2)\end{cases}$$

(1)اثر بارگذاری شطرنجی در نظر گرفته نمی‌شود

(2)اثر بارگذاری شطرنجی در نظر گرفته می‌شود (بشکل زیر در نظر گرفته می‌شود)

$$m^{+}_{mod}=\delta c.m^{+}$$

که: $\delta s=1+\dfrac{2-Ba}{4+Ba}\left(1-\dfrac{\alpha_c}{\alpha_{\min}}\right)$

$\alpha_{\min}$از جدول صفحه 460 کتاب طاحونی

کنترل خیز دالها

نکته: ضوابط مربوط به خیز دالها از آن جهت اعمال می‌شود که از تغییر شکلهای زیاد دال که ممکن است قابلیت بهره‌برداری آن را مخدوش کند جلوگیری شود. از این رو لازم است خیز دال تحت اثر بارهای بهره‌برداری و بارهای بدون ضریبc محاسبه شود.

اگر ضخامت دال از مقداری که در زیر محاسبه می‌شود بزرگتر باشد نیازی به کنترل خیز نمی‌باشد ($h_{\min}=h'$) ولی اگر کمتر بود و حتماً بایستی خیز دال کنترل گردد.

سیستم روبرو بر حسب mc و kg است.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$h' = \max\begin{cases} h_1 = \dfrac{L_n\left(800+0.071f_y\right)}{36000+5000\beta\left[\alpha_m - 0.5(1-\beta s)\left(1+\dfrac{1}{\beta}\right)\right]} \\ h_2 = \dfrac{L_n\left(800+0.071f_y\right)}{36000+5000\beta(1-\beta s)} \\ h_3 \end{cases}$$

ln : دهانهٔ آزاد در امتداد بلند

α_m: میانگین مقادیر $\alpha = \dfrac{\varepsilon_{cb} Ib}{E_{cs} I_s}$ برای تمام لبه‌های دال [برای چهار طرف دال حساب ← جمع

و متوسط آن را α_m قرار می‌دهیم اگر در دو طرف دال تیر نداشته‌باشیم $\alpha_m = \alpha_1 + \dfrac{\alpha_2 + 0 + 0}{4}$

β_s : نسبت طول لبه‌های ممتد به کل محیط پانل

β : نسبت دهانهٔ آزاد در امتداد بلند به دهانهٔ آزاد در امتداد کوتاه

$$h_3 = \begin{cases} 12.5cm & \text{سرستون} & \text{وکتیبه} & \text{بدون‌تیر} & \text{برای‌دال} \\ 10.0cm & \text{سرستون} & \text{کتیبه} & \text{ولی‌با} \ \alpha_m > 2 & \text{بدون‌تیر} & \text{برای‌دال} \\ 9.0cm & & & & \text{باتیر} & \text{برای‌دال} \end{cases}$$

$$h_{\min} = \min\begin{cases} h' \\ h_4 = \dfrac{L_n\left(800+0.071f_y\right)}{36000} \rightarrow \alpha_m = 0 \text{ است} \end{cases}$$

. کننده کنترل این‌رابطه دال‌تخت‌و

Copyright by:www.Afshinsalari.com

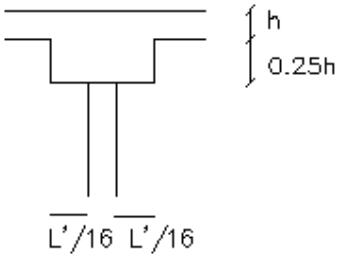
پس اگر ضخامت دال از مقدار h_{min} بالا بزرگتر باشد نیازی به کنترل خیز نمی‌باشد.

رجوع شود و به فلوچات صفحه 59 کتاب طاحونی

تبصره

1) اگر دال دارای محاسبهٔ غیر ممتد باشد و در تیرهای لبه‌ای $\alpha < 0.8$ باشد باید h_1 و h_2 را 10٪ افزایش داد. hهای بدست آمده را در 1.1(10٪) ضرب می‌نماییم.

2) اگر دال بدون تیر ولی با کتیبهٔ سرستون داشته باشیم در صورتیکه کتیبهٔ سرستون مطابق شکل زیر باشد می‌توان h_1 وh_2 و 10٪ کاهش داد (ضریب 0.9)



مقادیر تقریبی حداقل ضخامت دال

flat plate

$$Ln/30$$

دال بدون تیر و کتیبه سرستون

flat slab

$$Ln/33$$

دال بدون تیر با کتیبه سرستون

Copyright by:www.Afshinsalari.com

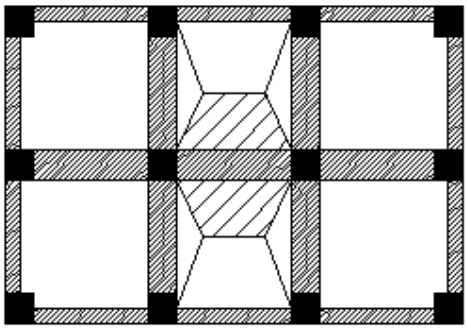
دال با تیر $\begin{cases} Ln/40 \\ Ln/46 \end{cases}$ دال $\begin{cases} \text{دوطرفه} \\ \text{مربعي مستطيلي} \end{cases}$

نکته: در مورد α_m باید توجه داشت که تعیین ضخامت دال به صورت آزمون و خطا انجام می‌گیرد زیرا در رابطهٔ h_1 خود تابعی از ضخامت دال است بنابراین باید ضخامتی برای دال تخمین زد وپس با استفاده از این رابطه مقدار جدیدی برای ضخامت بدست آورد و این عمل را تا همگرایی تقریبی آزمون و خطا ادامه داد.

برش در دالها: shear

حالت الف) اگر دال دارای تیر باشد، $\frac{\alpha_1 L_2}{L_1} \geq 1$

در این حالت کلیهٔ نیروهای برشی توسط تیرها حل می‌شود.



حالت ب) $0 < \frac{\alpha_1 L_2}{L_1} \leq 1$

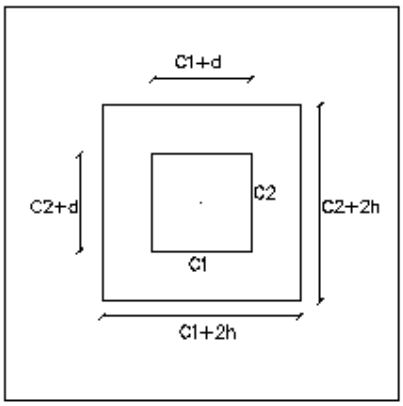
Copyright by:www.Afshinsalari.com

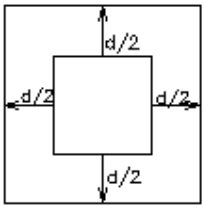
در این حالت سهم تیر در تحمل برش از ضرب $\frac{\alpha_1 L_2}{L_1}$ در کل نیروی برشی بدست می‌آید و مابقی نیروهای برشی بایستی توسط دال تحمل شود.

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

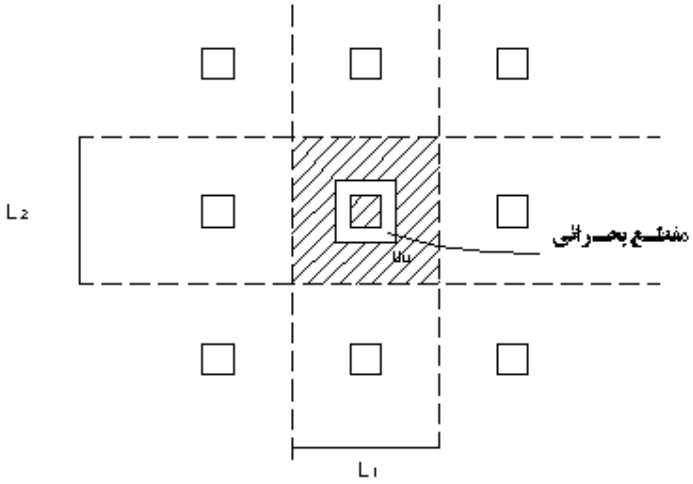
$$us = \frac{v_u}{\Phi} - v_c$$

برش منگنه‌ای برش سوراخ کننده Punching shear





مقطع بحرانی



$$v_u < \Phi v_c$$

$$v_u = w_u\left[L_1 L_2 - (c_1 + d)(c_2 + d)\right]$$

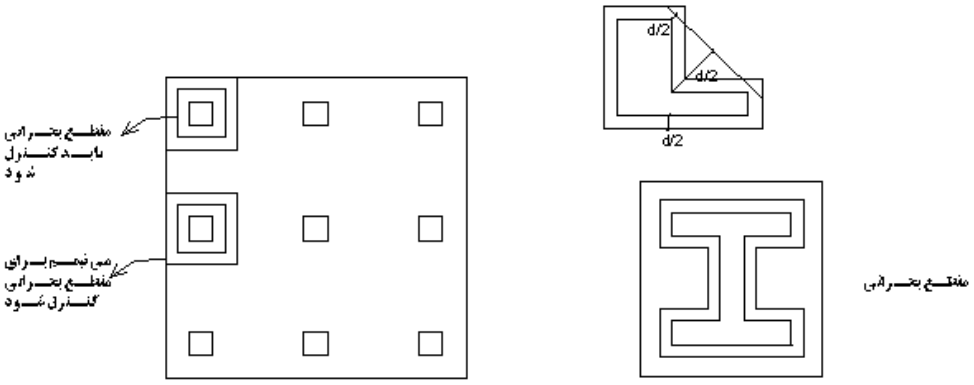
Copyright by:www.Afshinsalari.com

v_u: نیروی برشی مقطع هاشور خورده

در بعضی از مواقع قسمت دوم را در جهت محافظه کارانه در نظر نمی‌گیرند.

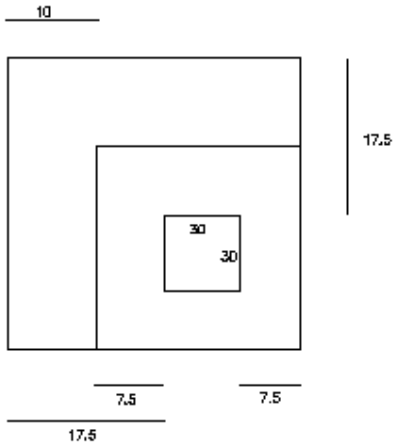
مقطع بحرانی برش منگنه‌ای

مقطعی است که هر نقطه آن حداقل به اندازهٔ $d/2$ از ستون فاصله داشته باشد در ضمن دارای حداقل محیط باشد



Copyright by:www.Afshinsalari.com

برش منگنه‌ای قابل حمل توسط بتن (uc)



$$u_c = 0.53(1+\frac{2}{\beta})\sqrt{f_c'}.b_0, d \le 1.06\sqrt{f'c}\ \ b_0 d$$

$b =$ محیطمقطع بحراني برشي و منگنه اي

$$\beta = \frac{\text{ضلع بزرگ ستون}}{\text{ضلع کوچك ستون}}$$

دال قادر است برش u_v را تحمل نماید اگر $v_u < \Phi v_c$

دال برای تقویت برش u_v بایستی تقویت شود اگر $v_u > \Phi v_c$

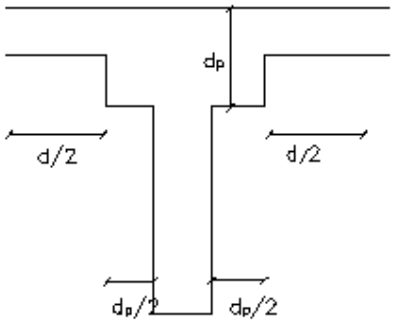
بعبارتی دیگر:

- اگر $v_u < \Phi v_c$ دال برای برش مناسب است.
- اگر $v_u > \Phi v_c$ راه حل‌های زیر پیشنهاد می‌شود.

1) ضخامت دال را زیاد کنیم.

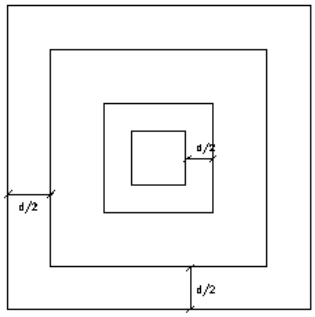
Copyright by:www.Afshinsalari.com

2) اضافه ضخامت دال بصورت موضعی $v_u = [P_u - (\text{بحرانی}\ \text{مساحت}) \times w_u]$



پس معمولاً دو بار بایستی کنترل انجام شود.

یکبار کنترل مربوط به کتیبه و یکبار کنترل مربوط به خود دال



dp= فاصله موثر کتیبه سرستون (فاصله پایین آرماتور در کتیبه تا بالای دال)

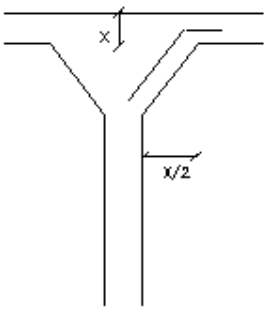
3- استفاده از سرستون column captal

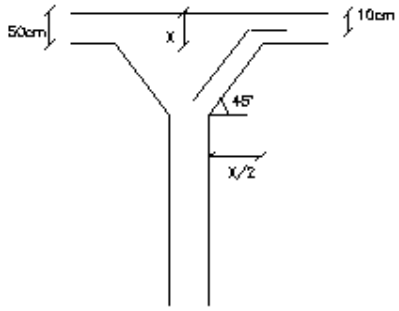
$$50 - \frac{x}{2} = x$$

$$50 - \frac{3x}{2} = 0$$

$$x = 33.33cm$$

$$\Rightarrow \frac{x}{2} = 16.66cm$$

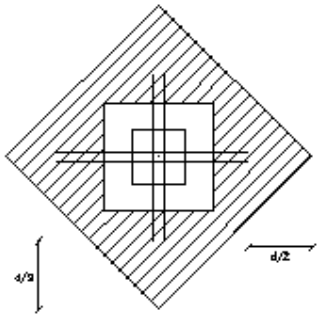




Copyright by:www.Afshinsalari.com

4- استفاده از shear head

مساحت مقطع بحرانی



حالت (1): $V_u=P_u-A_0w_u$

$U_{shear}=V_c+V_s$

$V_u<\phi V_{shear}$ بایستی بشود

حالت (2): $V_n=P_n-A_1.W_u$

$V_{shear}=V_s$(دیگرنداریم V_c)

$V_u<\phi V_c$

5- استفاده از آرماتورهای طولی خم شده در مقطع بحرانی

تصحیح در مورد برش منگنه‌ای برای دالهایی که با تیر همراه هستند.

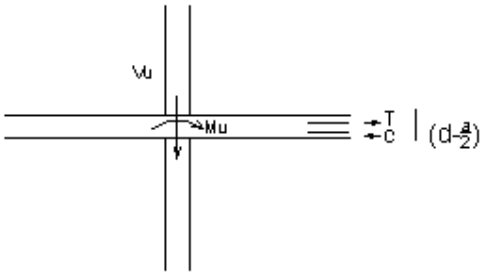
$$\frac{\alpha_1 L_2}{L_1}>1$$

اگر $0<\frac{\alpha_1 L_2}{L_1}<1 \quad \Rightarrow v_{u_{mod}}=\left(1-\frac{\alpha_1 L_2}{L_1}\right)\times v_u$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

برش ناشی از انتقال لنگر

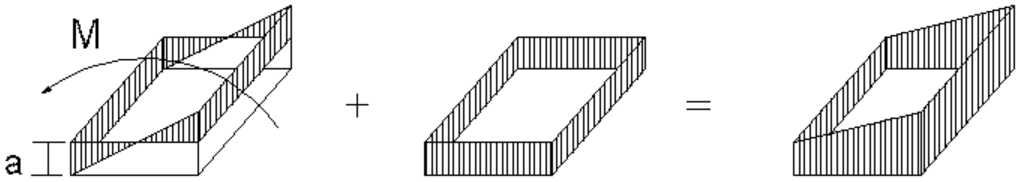
لنگر m از دو طریق به ستون



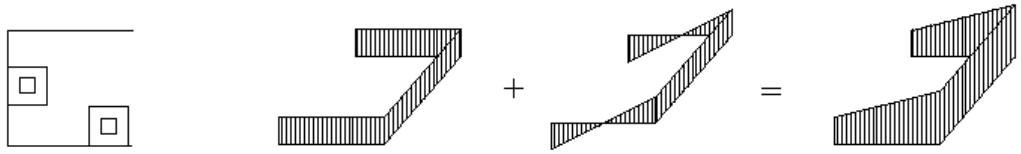
$$m = \left(cd - a/2\right) = T\left(d - \frac{a}{2}\right)$$

1) از طریق نیروهای کششی و فشاری Tوc

2) از طریق ایجاد تنشهای برشی با توزیع غیر یکنواخت معادل یک کوپل پیچشی در محیط بحرانی



در ستونهای گوشه:



Copyright by:www.Afshinsalari.com

محاسبهٔ سهم لنگر انتقال یافته به ستون از طریق برش

$$m_u = m_{uf} + m_{uv}$$

که:

m_u: کل لنگر انتقال یافته از دال به ستون

m_{uf}: لنگر انتقال یافته به ستون از طریق مکانیزم خمش

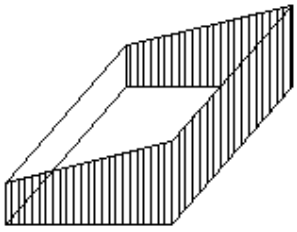
m_{uv}: لنگر انتقال یافته به ستون از طریق مکانیزم برش

$$m_{uf} = \gamma_f . m_u$$

$$m_{uv} = (1-\gamma_f) . m_u$$

که : $\gamma_f = \dfrac{1}{1+\frac{2}{3}\sqrt{\frac{c_1+d}{c_2+d}}}$

$$v_u = \frac{V_u}{\phi AC} + \frac{m_{vu}.c'}{\phi . J_c}$$



v_u: حداکثر تنش برش ایجاد شده در مقطع بحرانی

V_u: کل تنش منگنه‌ای انتقال یافته به ستون

A_c: سطح کل مقطع بحرانی برش منگنه‌ای

Ac=b.d

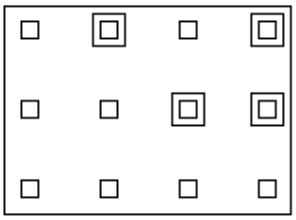
v_c: تنش برش نهایی مقاوم بتن

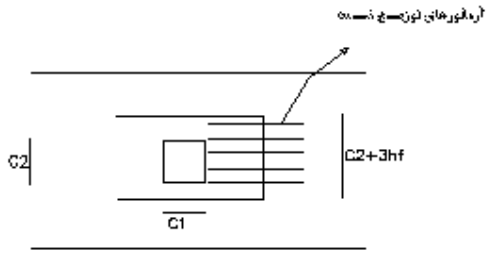
تنش مقاوم $v_c = \dfrac{v_c}{b.d}$

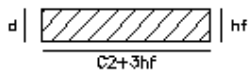
Copyright by:www.Afshinsalari.com

که بایستی $v_u < v_c$ در فرمول اعمال شده Φ تنش مقاوم $Vc=0.53\left(1+\frac{2}{\beta}\right)\sqrt{f'c} \le 1.06\sqrt{f_c'}$

اگر پلانی از ستون داشته باشیم و بخواهیم برش منگنه‌ای را کنترل نمائیم بایستی برای تمامی ستونها در حالات مختلف بایستی کنترل شود.







فولادگذاری مربوط به m_{uf}:

میلگردهای مربوط به m_{uf} باید:

1) در نواری به عرض c_2+3h_f توزیع شود.

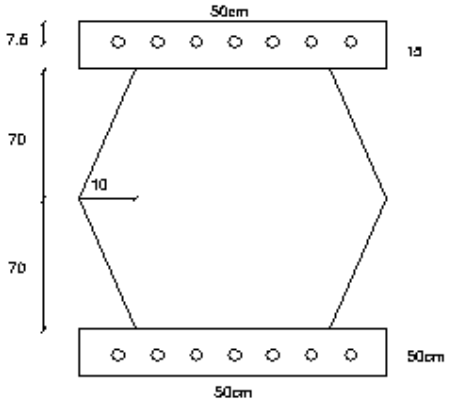
2) این آرماتورها اضافه بر آرماتورهای دال

3) این آرماتورها بایستی بالای دال قرار گیرد

بعبارتی تیری داریم به ارتفاع موثر d و طول c_2+3h_f که باید لنگر m_{uf} را تحمل نماید و چون لنگر منفی داریم. آرماتورهای بدست آمده در بالای دال (تیر فرض) قرار خواهد گرفت.

Copyright by:www.Afshinsalari.com

الف) مقادیر در مساحت زوال متعادل را بنویسید.



$f_c' = 250$

$f_y = 4000$

$E_s = 2\times10^4$

$c_b = \frac{6000}{6000+4000}\times 82.5 \Rightarrow c_b = 49.5$

$a_b = 0.85\times 49.5 \Rightarrow a_b = 42.075$

$c_{c_1} = 0.85 f_c' A_{c_1} \Rightarrow c_{c_1} = 0.85\times 250\times 50\times 15\times 10^{-3} \Rightarrow c_{c_1} = 159.375T$

$c_{c_1} = 0.85 f_c' A_{c_1} \Rightarrow c_{c_2} = 0.85\times 250\times 30\times (42.075-15)\times 10^{-3} \Rightarrow c_{c_2} = 172.6T$

$c_{c_1} = 0.85 f_c' A_{c_1} \Rightarrow c_{c_3} = 0.85\times 250\times \frac{1}{2}\times 9.025\times 27.075\times 10^{-3} \Rightarrow c_{c_3} = 51.9T$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$E'_s = \frac{c-d'}{c} E_{cu} = \frac{49.5-9.5}{49.5} \times 0.003 = 0.0025 \rangle E_y \Rightarrow f'_s = 4000 \frac{kg}{m^2}$$

$$c_s = A = f'_s = 43.1 \times 4000 \times 10^{-3} \Rightarrow c_s = 172.4$$

$$f_s = 4000 \Rightarrow T_s = 172.4$$

$$P_{nb} = 159.375 + 172.6 + 51.9 + 172.4 - 172 + .4 \Rightarrow P_{nb} = 383.875T$$

$$P_{nb} = 0.7 \times 383.875 \Rightarrow P_{nb} = 268.7T$$

$$e'_b \times 383.875 = 159.375 \times 75 + 172.6 \times 53.96 + 51.9 \times 49.45 + 172.4 \times 75 \Rightarrow e'_b = 95.77cm$$

$$e_b = e'_b - d + xp = 95.77 - 82.5 + 45 \Rightarrow e_b = 58.27cm$$

$$M_{ub} = e_b p_{ub} = 58.27 \times 268 \times 10^{-2} \Rightarrow M_{ub} = 156.57T$$

ب) مقدمه تنش کشش= 2000 در حالت فشار

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$f_s = 2000 < f_y \Rightarrow 2\times10^6 \times \frac{d-c}{c}\times 0.003 = -2000 \Rightarrow c = \frac{3}{2}d \Rightarrow c = \frac{3}{2}\times 82.5$$

$$\Rightarrow c = 123.95 \Rightarrow a = 105.19cm > h = 90 \Rightarrow$$

$$c_c = 0.85 f'cAg > c_c = 0.85\times 250\times 3900\times 10^{-3} \Rightarrow c_c = 828.75Ton$$

$$\varepsilon' = \frac{c-d'}{c}\times 0.003 = \frac{90-7.5}{90}\times 0.003 = 0.00275 > \varepsilon_y \Rightarrow f_s' = f_y = 4000$$

$$c_s = A_s' f_y = 43.1\times 4000\times 10^{-3} \Rightarrow c_s = 172.4ton$$

$$T_s = A_s f_s = 43.1\times 2000\times 10^{-3} \Rightarrow T_s = 86.2ton$$

$$P_n = C_c + C_s + T_s = 828.75 + 172.4 + 86.2 \Rightarrow P_n = 1087.35ton$$

$$P_u = 0.7\times 1087.35 \Rightarrow P_u = 761.15ton$$

$$e' = 1087.35 = 828.75\times 37.5 + 172.4\times 75 \Rightarrow e' = 40.47cm$$

$$e = 40.47 - 82.5 + 45 \Rightarrow e = 3cm$$

$$M_u = P_u e \Rightarrow M_u = 761.15\times 3\times 10^{-2}$$

$$Mu = 22.83T.m$$

ب) مقدار حداکثر نیروی محوری را بدست آورید.

$$p_{n\max} = 0.85P_{n0}$$

$$p_{n\circ} = 0.85 f_c' Ag + A_s f_y \Rightarrow$$

$$P_{n\circ} = [0.85\times 250\times 3900 + 86.21\times 4000]\times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow P_{n\circ} = 1173.6Ton$$

$$\begin{cases} Ay = 2\times 50\times 15 + 30\times 60 + 4\times \frac{1}{2}\times 30\times 10 \\ \qquad \Rightarrow Ay = 3900cm^2 \\ \text{کل}As = 14\Phi_\rho = 14\times \frac{\pi\times 2.8}{4} \\ \qquad \Rightarrow As = 86.21cm^2 \end{cases}$$

$$P_n \max = 0.85\times 11730 \Rightarrow P_n \min = 997.6Ton$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

ج) مطابق حل قسمت الف حداکثر لنگری که یک ستون می‌تواند تحمل کند

$$M_{ub} = 156.57 Ton.m$$

2- مطلوب است P_u, M_u دو حالت زیر

الف-

$$s = 0.0015 \Rightarrow f_s' = 2\times10^6 \times 0.0015 \Rightarrow f_s' = 3000 < fy \rightarrow ok \qquad \varepsilon' = 0.0015 cm$$

$$s = \frac{c-d}{c}\times 0.003 = 0.0015 \Rightarrow \frac{c-7.5}{c}\times 0.003 = 0.0015 \Rightarrow c = 15cm \Rightarrow a = 12.75cm$$

$$C_c = 0.85\times 250\times 50\times 13.75\times 10^{-3} \Rightarrow C_c = 10.85T$$

$$C_s = 3000\times 7\times \frac{\pi\times 2.8}{4} \Rightarrow C_s = 129.3Ton \qquad \varepsilon s = \frac{82.5-15}{15}\times 0.003 = 0.0135 > \varepsilon_y$$

$$T_s = 7\times 6.16\times 4000 \Rightarrow T_s = 172.5T \qquad \Rightarrow f_s = f_y$$

$$P_m = C_c + C_s - T_s = 10.84 + 129.3 - 172.5 \Rightarrow P_n = -32.36$$

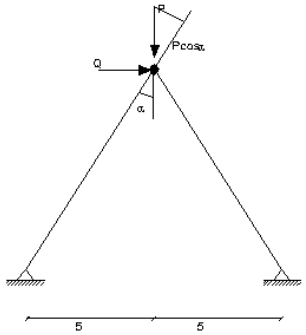
$$P_u = 0.7\times(-32.36) \Rightarrow P_u = 22.65T$$

$$e'\times 32.36 = 10.84\left(82.5 - \frac{12.75}{2}\right) + 129.3\times 75 \Rightarrow e' = 3.25cm$$

$$e = e' - d + xp = 375 - 82.5 + 45 \Rightarrow e = 287cm$$

$$M_u = P_{ue} \Rightarrow Mu = 22.65\times 237\times 10^{-2} \Rightarrow M_u = 65 ton/m$$

مطلوبست طراحی As (قطر آرماتور)



$$P_{u_1} = 1.4\times 380 + 1.7\times 310 \Rightarrow P_{u_1} = 1059Ton$$

$$P_{u_2} = 0.75(1.4\times 380 + 1.7\times 310 + 1.87\times 160) \Rightarrow P_{u_2} = 1018Ton \Rightarrow P_u = 1059$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$\alpha = Lim^{-1}\left(\frac{5}{10}\right) \Rightarrow \alpha = 30^{\circ}$$

موثر بر ستون $\begin{cases} P_D = P_D \cos 30^{\circ} \Rightarrow P_D = 329.1Ton \\ P_L = P_L \cos 30 \Rightarrow P_L = 268.4Ton \end{cases}$

کل $P_u = 1.4\times 329.1 + 1.7\times 268.4 \Rightarrow Pu = 917TOn$

$$P_n = \frac{317}{0.7} \Rightarrow P_n = 1310TOn$$

قرار می‌دهیم $P_n = P_{n_0}$

$$P_{n_0} = 1310 = (0.85\times 250\times 3900 + As\times 4000)\times 10^{-3}$$

$$\Rightarrow A_S = \frac{1310 - 0.85\times 250\times 3900\times 10^{-3}}{4000\times 10^{-3}} \Rightarrow A_S = 120cm^2$$

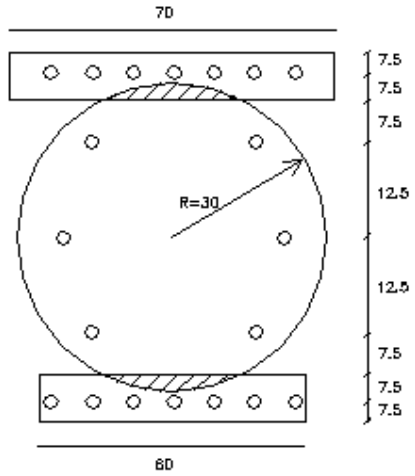
$$A_S = \frac{170}{14} \Rightarrow A_S = 8.57cm^2$$

هر میلگرد $\frac{\pi D^2}{4} = 8.57 \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4\times 8.59}{\pi}} \Rightarrow D = 3.3cm$

$\Rightarrow 34$

x_p را بدست آورید

Copyright by:www.Afshinsalari.com



$$C_C = 0.85 f'_C \times A_C$$

$$\begin{cases} C_{C_1} = 0.85\times 250\times 15\times 70\times 10^{-3} \Rightarrow C_{C_1} = 223.1 Ton \\ C_{C_2} = 0.85\times 250\times 2207\times 10^{-3} \Rightarrow C_{C_2} = 469 Ton \\ C_{C_3} = 0.85\times 250\times 60\times 15\times 10^{-3} \Rightarrow C_{C_3} = 191.25 Ton \end{cases}$$

$$C_S = A_S f_y$$

$$\begin{cases} C_{S_1} = 7\times 7.07\times 4000\times 10^{-3} \Rightarrow C_{S_1} = 197.96 Ton \\ C_{S_2} = 2\times 7.07\times 4000\times 10^{-3} \Rightarrow C_{S_2} = 56.56 Ton \\ C_{S_3} = 2\times 7.07\times 4000\times 10^{-3} \Rightarrow C_{S_3} = 56.56 Ton \\ C_{S_4} = 2\times 7.07\times 4000\times 10^{-3} \Rightarrow C_{S_4} = 56.56 Ton \\ C_{S_5} = 5\times 7.07\times 4000\times 10^{-3} \Rightarrow C_{S_5} = 14.14 Ton \end{cases}$$

$$P_{n_0} = \sum C_{ci} + \sum C_{si} \Rightarrow P_{n_0} = 1392.4 Ton$$

مثال:

Copyright by:www.Afshinsalari.com

برای دال نشان داده شده در مثال قبل در صورتیکه در امتداد ستونها تیرهایی به پهنای 30cm و ارتفاع60cm قرار گرفته باشد با استفاده از روش طراحی مستقیم دال را آنالیز کنید.

$$w_u = 1500\frac{kg}{m^2}$$

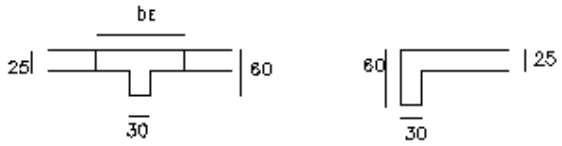
$$M_\circ = \frac{w_u \ell_2 \ell_n^2}{8} = \frac{1500\times 6.0\times(7.5-0.3)}{8} = 58320kg.m$$

دهانه‌های میانی

$$M_1 = M_2 = 0.65M_\circ = 37908kg.m \quad \text{لنگرمنفي}$$

$$M_3 = 0.35M_\circ = 20412kg.m \quad \text{لنگرمثبت}$$

توزیع لنگر مثبت بین نوار ستونی و نوار میانی



$$b_E \min\begin{cases} 30+2(60-25)=100 \\ 30+8\times 25=230 \end{cases} \Rightarrow b_E = 100cm$$

$$I_s = \frac{1}{12}\ell_2 h_f^3 = \frac{1}{\pi}\times 600\times 25^3 = 781250cm$$

$$k \approx 1+0.2\left(\frac{b_E}{b_w}\right) = 1067$$

$$I_b = k\left(\frac{1}{12}bwh^3\right) = 1.67\times\frac{1}{12}\times 30\times 60^3 = 901800cm$$

$$\alpha = \frac{EI_b}{EI_s} = \frac{901800}{781250} = 1.154 \Rightarrow \alpha\frac{\ell_2}{\ell_1} = 1.154\times\frac{6}{7.5} = 0.923 \quad , \quad \frac{\ell_2}{\ell_1} = 0.8$$

سهم نوار ستونی$=60+30\left(\alpha\frac{\ell_2}{\ell_1}\right)\times\left(1.5-\frac{\ell_2}{\ell_1}\right) = 60+30\times 0.923\times(1.5-0.8) = 79.4\%$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

لنگر مثبت نوار ستونی: $M^{+}_{\substack{colum\\strip}} = 0.794 \times 20412 = 16207 kg.m$

لنگر مثبت نوار میانی: $M^{+}_{\substack{colum\\strip}} = 20412 - 16207 = 4205 kg.m$

سهم تیز از لنگر نوار ستونی $= 85 \times \alpha \frac{\ell_2}{\ell_1} = 85 \times 0.923 = 78.5\%$

لنگر مثبت تیرها: $M^{+}_{Beam} = 0.785 \times 16207 = 12721 kg.m$

سهم لنگر مثبت دال نوار ستونی: $M^{+}_{\substack{colum\\stlip}} = 16207 \times 12721 = 3486 kg.m$

سهم نوار ستونی $= 75 + 30\left(\frac{\alpha \ell_2}{\ell_1}\right)\left(1 - \frac{\ell_2}{\ell_1}\right) = 80.5\%$

لنگر منفی نوار ستونی $= M^{+}_{\substack{colum\\stlip}} = 0.805 \times 37908 = 30531 kg.m$

لنگر منفی نوار میانی $= M^{-}_{\substack{middle\\stlip}} = 37908 - 30531 = 7377 kg.m$

سهم تیر از لنگر منفی نوار ستونی $= 85 \times 0.923 = 78.5\%$

لنگر منفی تیر: $M^{-}_{Beam} = 0.785 \times 30531 = 23965 kg.m$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

لنگر منفی دال نوار ستونی: $M^{-}_{\substack{colum\ stlip \\ slab}} = 30531 - 23965 = 6566kg.m$

دهانه‌های کناری

لنگر منفی در لبه خارجی $M_1=0.3M.=17496kg.m$

لنگر منفی در لبه داخلی $M_2=0.7M.=40824kg.m$

لنگر مثبت $M_3=0.5M.=29160kg.m$

توضیح لنگر مثبت بین نوار ستونی و میانی

مشابه به دهانه‌های وسطی است:

لنگر مثبت نوار ستونی: $M^{+}_{\substack{colum \\ stlip}} = 0.794 \times 29160 = 23153kg.m$ سهم نوار ستونی=$79.4\% \rightarrow$

لنگر مثبت نوار میانی: $M^{+}_{\substack{Middle \\ stlip}} = 29160 - 23153 = 6007kg.m$

لنگر مثبت تیر: $M^{+}_{Beam} = 0.785 \times 23153 = 18173kg.m$ سهم تیر از لنگر نوار ستونی: $78\% \rightarrow$

لنگر مثبت دال نوار ستونی: $M^{+}_{\substack{colum\ stlip \\ slab}} = 23153 - 18173 = 4980kg.m$

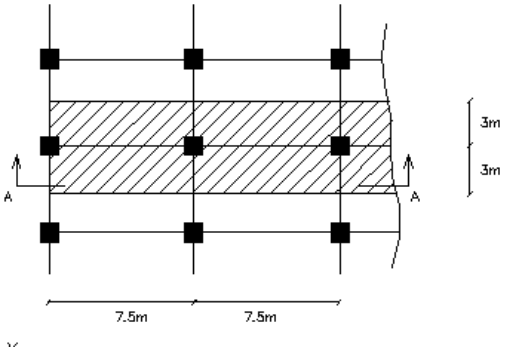
مثال: برای قاب نشان داده شده در شکل زیر مقادیر لنگر منفی و مثبت دال را بدست آورید.

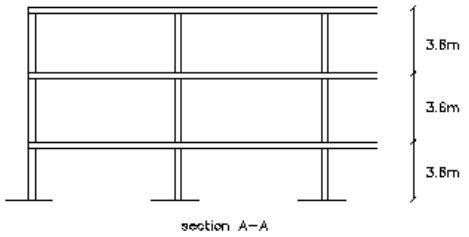
ضخامت دال 25cm و ابعاد ستونها 50cm در نظر گرفته شده است.

$$W_u = 1500\frac{kg}{m^2} \text{ و } f'_c = 2000\frac{kg}{m^2} \text{ و } f_y = 4000\frac{kg}{m^2}$$

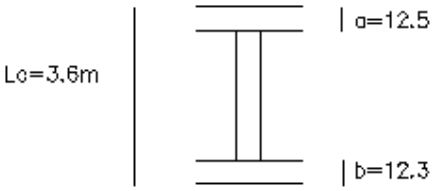
با استفاده از روش قاب معادل.

Copyright by:www.Afshinsalari.com





1- محاسبه منحنی ستونها



$\ell_c = 3.6m = 360cm$

$I_c = \frac{1}{12} c_2 c_1^3 = \frac{1}{12}(50)^4 = 520833cm^4$

چون دو ستون داریم: $a/\ell_c = \frac{b}{\ell_c} = \frac{12.5}{360} = 0.035$, $Ic = \frac{1}{12} \times 50^4 = 520833$

table $10.7 \rightarrow k_c \approx 4.81$

$\Sigma k_c = 2 \times \frac{k_c E I_c}{\ell_c} = \frac{2 \times 4.81 \times 520833E}{360} = 13918E$

2- محاسبه منحنی سنجش نیروهای عمودی

در این حالت چون تیر نداریم منحنی پیچشی فقط ناشی از وجود دال است:

(تکه‌ای از دال که در تماس با ستون است: x=25cm y=50cm

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$c=\left(1-\frac{0.63x}{y}\right)\frac{x^3y}{3}=\left(1-\frac{0.63\times25}{50}\right)\frac{(25)^3(50)}{3}=\pi 838cm^4$$

$$\sum k_t=\frac{\sum 9Ec}{\ell_2\left(1-\frac{c_2}{J_2}\right)^3}=2\times\frac{9E(178385)}{600\left(1-\frac{50}{600}\right)^3}=6948E$$ داریم چون دو تیر

3- محاسبه سختی ستون معادل

$$\frac{1}{K_{ec}}=\frac{1}{\sum K_c}+\frac{1}{K_t}=\frac{1}{13918E}+\frac{1}{6948E}\rightarrow K_{ec}=4634E$$

توزیع لنگر برای لبه داخلی

مشابه توزیع لنگر منفی دهانه‌های داخلی است:

لنگر منفی نوار ستونی: $M^{-}_{\substack{colum\\stlip}}=0.805\times40824=32863kg.m$ سهم نوار ستونی=85.5% →

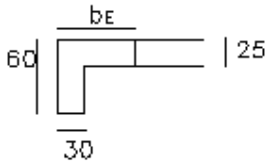
لنگر منفی نوار میانی: $M^{-}_{\substack{Middle\\stlip}}=40824-32863=7961kg.m$

سهم تیر از لنگر نوار ستونی: 78.5% → لنگر منفی تیر: $M^{-}_{Beam}=0.785\times32863=25717kg.m$

لنگر منفی دال نوار ستونی: $M^{-}_{\substack{colum\ stlip\\slab}}=32863-25797=7066kg.m$

توزیع لنگر منفی برای لبه خارجی

$$\frac{\ell_2}{\ell_1}=\frac{b}{7.5}=0.8\quad,\quad \alpha\frac{\ell_2}{\ell_1}=0.791$$



$$b_E=\min\begin{cases}30+(60-25)=65\\30+4\times25=130\end{cases}\Rightarrow b_E=65cm$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$C=\max\begin{cases}\left(1-0.63\frac{25}{65}\right)\left(\frac{25^3\times 65}{3}\right)+\left(1-0.63\frac{30}{30}\right)\left(\frac{30^3\times 30}{3}\right)=256510cm^4\\ \left(1-0.63\frac{25}{35}\right)\left(\frac{25^3\times 35}{3}\right)+\left(1-0.63\frac{30}{60}\right)\left(\frac{30^3\times 60}{3}\right)=100260cm^4\end{cases}\Rightarrow v=256510cm^4$$

$$I_s=\frac{1}{12}\ell 2h_f^3=781250cm^4$$

$$\rightarrow P_t=\frac{EC}{2EI_2}=\frac{256510}{2\times 781250}=0.164$$

$$100-10P_t+12P_t\left(\frac{\alpha\ell_2}{\ell_1}\right)\left(1-\frac{\ell_2}{\ell_1}\right)=100-10\times 0.64+12\times 0.64\times 0.923(1-0.8)=98.0\%$$

سهم نوار ستونی از لنگر منفی

لنگر منفی ستونی: $M^-_{\substack{colum\\stlip}}=0.98\times 17496=17146kg.m$

لنگر منفی نوار میانی: $M^-_{\substack{Middle\\stlip}}=17496-17146=345kg.m$

سهم تیر از لنگر نوار ستونی: 78.5%

لنگر منفی تیر در لبه خارجی: $M^-_{Beam}=0.785\times 17146=13460kg.m$

لنگر منفی دال نوار ستونی در لبه خارجی : $M^-_{\substack{colum\ stlip\\slab}}=17146-13460=3686kg.m$

4- محاسبه مجموع تیرها قاب معادل، لنگرگیرداری و ضریب توزیع لنگر و ضریب اشکال لنگر

محاسبه لنگرهای گیردار

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$FEM = MW_u \ell_2 \ell_1^z = 0.084(1500)(6.0)(7.5)^2 = 42525 kg.m$$

با این اطلاعات باید قاب زیر آنالیز شود:

برای این قاب کلیه پارامترهای لازم جهت روش توزیع لنگر محاسبه شده. پس از اتمام آنالیز لنگر دو سر هر تیر مقادیر M_1 و M_2 لنگر وسط مقدار M_3 را مشخص می‌کند.

)

طراحی کنید ستون دایره‌ای شکل را با مشخصات زیر: بار مرده k.es220 و بار زنده 238

همچنین استفاده کنید از $p = 3\frac{1}{2}\%$ -p- ب- میلگردهای دورپیچ و cspiral این ستون را نیز طراحی کنید.

$$f_c' = 3000 Psi, f_y = 40{,}000 esi$$

حل:

$$p_u = 1.4 \times 220 + 1.7 \times 238 = 308 + 405 = 713 kips$$

$$P_n = \frac{pu}{\Phi} = \frac{713}{0.75} = 950 kips$$

$$p_n(\max) = 0.85 p$$

$$p_n(\max) = 0.85 Ag\left[0.85 \times f'c + pg\left(f_y - 0.85 f'c\right)\right] \qquad p_g = A^{st}/Ag$$

$$950 = 0.85 Ag[0.85 \times 3 + 0.035(40 - 2.55)]$$

$$Ag = \frac{950}{3.28} = 28959 in = \pi D^2/4 \Rightarrow \qquad P_n = P_{n(\max)}$$ سئوال در اینجا صفحه 432

گرفته شده آیا می‌توان چنین کاری کرد.

$$D = h = 19.2 in \Rightarrow h = 20 \Rightarrow Ag = 314 sqin$$

حال با Ag جدید داریم:

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$950 = 0.85\times 314[2.55 + Pgc40 - 2.55] \Rightarrow pg = 0.0270$$

$$P_g = {Ast}/{A_g} \Rightarrow Ast = pg.Ag = 0.027\times 314 = 8.4659in$$

پس داریم قطر ستون $D = 20in$ و همچنین میلگردهای مورد استفاده $9-9bars$

×× طراحی میلگردهای دورپیچ (spiral)

$$P_s = 0.45({Ag}/{A_c} - 1)\frac{f'c}{fcy}, Ag = 314, A_c = \frac{\pi D^2 c}{4} = \pi\frac{(20.3)^2}{4} = 227$$

$$p_s = 0.45\left(\frac{314}{227} - 1\right)\frac{3.0}{40.0} = 0.013$$

$$S_{\max} = \frac{a_s\pi(Dc - db)}{p_s A_c} = \frac{a_s\pi(17 - db)}{0.013(227)}$$

طراحی کنید یک ستون با مقطع مربع شکل با مشخصات p=3٪ و همچنین wD=214uips

$$m_L = 23fb - kips \quad , \quad w_L = 1324ps \quad , \quad PAD = 47kipsft$$
$$f_c' = 3000psi \quad , \quad f_y = 40{,}000psi$$

$$P_n = \frac{p_u}{\Phi} = \frac{1.4(214) + 1.7(132)}{0.7} = 750kips$$

$$m_n = \frac{m_u}{\Phi} = \frac{1.4(47) + 1.7(23)}{0.7} = 150ft - uies$$

$$e = \frac{mn}{pn} = \frac{150\times 12}{750} = 2.4in$$

$$\times b = \frac{0.003}{0.003 + {40}/{20.000}} \qquad \alpha = 0.63s\alpha$$

$$p_b = Cc + Cs - t = 0.85f'c6B\times 6 + A'sfy - isfy$$

$$p_b = 0.85f'c6B\times 6 = 0.85\times 3.0\times 6\times 0.85\times 0.68685d = 1.4836b\alpha$$

$$750 = 1.483b\alpha \Rightarrow b\alpha = \frac{750}{1.483} = 506s9in$$

$$\alpha \approx 0.9h \quad , \quad Ag = {506}/{0.9} = 582s9in$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

اطلاعات دیگر برای مشخصات مصالح و بارهای ضریب‌دار وارد بر یک ستون داده شده است.

$$f'_c = 300\frac{kg}{cm^2} \quad , \quad f_y = 4000\frac{kg}{cm^2} \quad , \quad p_u = 3\times10^5\,kg \quad , \quad m_u = 45\times10^3\,kg.m$$

برای این ستون یک مقطع مربع شکل با آرماتورهای مساوی در درجه انتهایی طراحی کنید.

به طور کلی از منحنیهای اثر متقابل برای طراحی لازم است ابتدا (مکعبی با ابعاد مشخص انتخاب شود و پس آرماتورهای لازم برای آن بدست می‌آید. در صورتی که مقطع انتخاب شده نامناسب باشد به نحوی که برای آن نتوان آرماتور کابل بتونی محاسبه کرد باید اصطلاحات لازم در ابعاد و مقطع صورت گیرد و مجدداً آرماتور مورد نیاز محاسبه شود.

$$e = \frac{n_u}{p_u} = \frac{45\times10^3\times100}{3\times10^5} = 15cm \qquad \Rightarrow \frac{e}{h} = \frac{15}{50} = 0.3$$

$$\gamma = \frac{h-2d'}{h} = \frac{50-13}{50} = 0.74 \qquad p_u = 300000 > 0.1f'cAg = 0.1\times200\times50\times50 = 50000$$

$$\Rightarrow \Phi = 0.7$$

$$\frac{p_n}{Ag} = \frac{300000}{0.7\times50\times50} = 171\,{}^{kg}\!/_{cm^2}$$

$$k = 0.6 \Rightarrow fg = 0.026$$

$$k = 0.8 \Rightarrow fg = 0.018$$

بنابر این برای $k = 0.74$ درونیابی خطی بین مقادیر فوق نتیجهٔ زیر را بدست می‌دهد.

$$p_g = 0.6 + \frac{0.8-0.6}{0.018-0.026}\times(0.018-0.74) =$$

و بدین ترتیب مقدار آرماتور در هر طرف مقطع برابر خواهد بود:

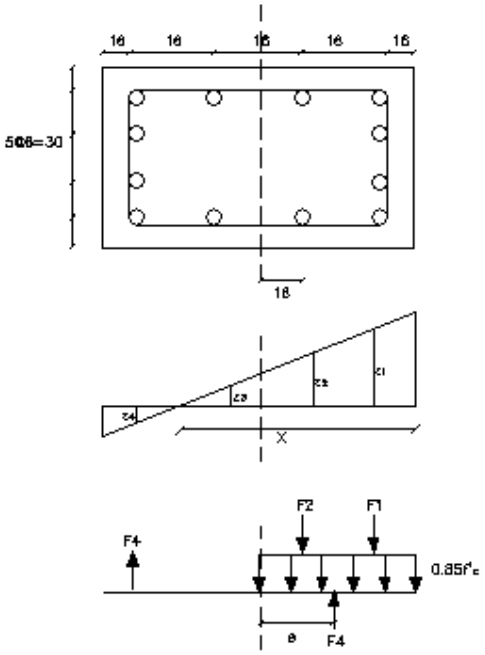
$$A_s = A'_s = \frac{1}{2}\times0.0204\times50\times50 = 25.5cm^2$$

در عمل مواردی پیش می‌آید که نسبت آرماتور محاسبه شده زیاد است و مثلاً بیش از (s یا 6٪)در چنین مواردی برای اقتصادی کردن طرح ستون و تسهیل در جا دادن میلگردها توسیه

Copyright by:www.Afshinsalari.com

می‌شود مقطع بزرگتری نیز انتخاب و طرح می‌شود. پس با مقایسه دو طرح مختلف و با ملاحظهٔ جنبه‌های علمی و اقتصادی انتخابهایی صورت گیرد

مثال:مقاومت فشاری اسمی ستونی را که مشخصات آن در تصویر زیر داده شده است برای خروج از مرکز $e=13$ محاسبه کنید.



$$A_s = 12\Phi 20$$
$$f_y = 4000\frac{kg}{cm^2}$$
$$f'_c = 300\frac{Kg}{cm^2}$$

حل:

تصویر مقابل تغییر طول نسبی و نیروهای مقطع را برای حالتی که $x=45cm$ فرض شود را نشان می‌دهد. ارتفاع بلوک تنش برابر است با:

$$\beta_1 = 1.05 - 0.00714\times 300 = 0.83b$$
$$a = B_1 x = 0.836\times 45 = 37.6cm$$

با استفاده از تشابه مثلثات در تصویر تغییر طول نسبی در آرماتورها به ترتیب زیر محاسبه می‌شوند

$$\frac{\varepsilon_1}{0.003} = {}^{39}\!/_{45} \Rightarrow \varepsilon_1 = 0.0026 > \varepsilon_y$$

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$$\frac{\varepsilon_2}{0.003}=\frac{23}{45}\Rightarrow \varepsilon_2=0.00153<\varepsilon_y$$

$$\frac{\varepsilon_3}{0.003}=\frac{7}{45}\Rightarrow \varepsilon_3=0.00047<\varepsilon_y$$

$$\frac{\varepsilon_4}{0.003}=\frac{9}{45}\Rightarrow \varepsilon_4=0.00060<y$$

مقدار نیرو در هر ردیف میلگردها با توجه به تغییر طول نسبی آرماتورها محاسبه می‌شود.

نیروی فشاری در بتن نیز برابر است با:

$$f_1=4\times3.14\times4000=50240kg$$
$$f_2=2\times3.14\times2\times10^6\times0.00153=19271kg$$
$$f_3=2\times3.14\times2\times10^6\times0.00047=5903kg$$
$$f_4=4\times3.14\times2\times10^6\times0.0006=15072kg$$

$$C_C=0.85f'cba=0.85\times300\times37.6\times30=287640kg$$

با استفاده از تعادل نیروها در مقطع مقاومت فشاری اسمی ستون بدست می‌آید.

$$Pn=287640+50240+19217+5903-15072=347928kg$$

$$e\times347928=287640\times\left(30-\frac{37.6}{2}\right)+502040\times24+19217\times8-5903\times8+15072\times24\Rightarrow e=14.07cm$$

مقداری که برای خروج از مرکزیت بار بدست آمده (یعنی 14.07) با مقدار مورد نظر در مسئله (mc13) تفاوت دارد و لذا باید تخمین دیگری را برای x امتحان کرد . نتیجه فوق این معنی را می‌دهد که اگر خروج از مرکز بار بتون برابر mc14 باشد محور خنثی در 45 سانتیمتری دورترین کار فشاری مقطع قرار می‌گیرد. از آنجا که با کاهش خروج از مرکز مقدار x افزایش می‌یابد معلوم می‌شود که برای رسیدن به خروج از مرکز 13 سانتی‌متر لازم است مقدار x در تخمین بعدی بیشتر از 45 سانتی‌متر فرض شود.

اگر برای تخمین دوم x=50 فرض شود با انجام محاسباتی تشابه محاسبات فوق نتایج زیر بدست خواهد آمد

Copyright by:www.Afshinsalari.com

$P_n = 394125kg$
$e = 11.05cm$

با توجه به اینکه مقدار از خروج از مرکزیت نظیر این تخمین از مقدار مورد نظر کوچکتر است باید در تضمین سوم مقدار x را بین 45و 50 سانتی‌متر انتخاب کرد که برای این منظور می‌توان از درون‌یابی خطی بین نتایج دو حالت اخیر استفاده کرد. بنابراین تخمین سوم برای x به ترتیب زیر تعیین می‌شود.

$$x = 45 + \frac{50-45}{14.07-11.05} \times (14.07-13) = 46.8$$

با استفاده از این تخمین و انجام محاسبات مربوط نتایج زیر بدست خواهد آمد .

$P_n = 365000kg$
$e = 12.91cm$

نتیجه فوق تفاوت بسیار ناچیزی با خروج از مرکزیت مورد نظر (یعنی mc13) دارد بنابراین می‌توان تخمین اخیر را به عنوان جواب مسئله قبول کرد. در نتیجه مقاومت فشاری اسمی بتون برابر 365 است و لازم است توجه شود که مطابق آیین نامه مقدار np نباید از 0.8 pj بزرگتر گرفته شود که در این مسئله این شرط برآورده شده است زیرا (480090= 0.8 op)

Copyright by:www.Afshinsalari.com