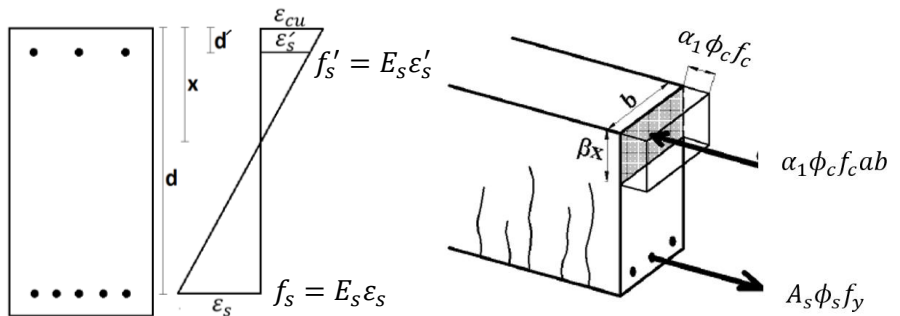


## خمش و بار محوری

$$E_c = (33 \cdot \sqrt{f_c} + 6900) \left( \frac{\gamma_c}{23} \right)^{1.5}$$

$$\frac{x}{d} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_s} \quad (1)$$

$$\frac{x}{d'} = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} - \epsilon'_s} \quad (2)$$



$$\alpha_1 = 0.85 - 0.0015 f_c$$

$$\beta_1 = 0.97 - 0.0025 f_c$$

$$x_b = \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} d$$

$$A_{sb} = \alpha_1 \beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y} b d \rightarrow \rho_b = \frac{A_{sb}}{b d} = \alpha_1 \beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_y}$$

$$A_{smax} = \alpha_1 \beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \left( \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + 0.004} \right) b d \rightarrow \rho_{max} = \frac{A_{smax}}{b d}$$

$$\rho_{min} = \max \left( \frac{1.4}{f_y}, \frac{0.25 \sqrt{f_c}}{f_y} \right) \rightarrow A_{smin} = \rho_{min} \times b d \quad \rho_{min-تیرها} = \min \left[ \begin{array}{l} \max \left( \frac{0.25 \sqrt{f_c}}{F_y}, \frac{1.4}{F_y} \right) \\ 1.33 \times (\text{درصد میلگرد کششی محاسباتی}) \end{array} \right]$$

نکته: در صورت استفاده از بتن های بین رده های C12 الی C50، روابط بالا به صورت زیر ساده می شود:

$$x_b = \frac{700}{700 + f_y} d \quad \rho_b = \frac{A_{sb}}{b d} = \alpha_1 \beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \frac{700}{700 + f_y}$$

برای تسریع در حل مسائل، تمام پارامترهای لازم که در بالا محاسبه شده است برای بتن ها و فولادهای مختلف، در جداول پیوست جزوه اصلی آمده است.

در حالت حد نهایی مقاومت در یک مقطع، تار خنثی از برابری نیروی فشاری و کششی نهایی به دست می آید.

ب-۱) با فرض جاری شدن فولاد کششی ( $f_s = f_y$  و  $\epsilon_s = \epsilon_y$ ) - شکست نرم یا شکست متوازن:

$$C = T \rightarrow \phi_s A_s f_y = \alpha_1 \phi_c f_c b a \rightarrow a = \frac{\phi_s A_s f_y}{\alpha_1 \phi_c f_c b} \rightarrow x = \frac{\phi_s A_s f_y}{\alpha_1 \beta_1 \phi_c f_c b}$$

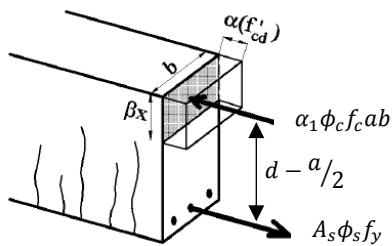
ب-۲) با فرض جاری نشدن فولاد کششی ( $f_s < f_y$ ) - شکست ترد:

$$\phi_s A_s f_s = \alpha_1 \phi_c f_c b a \quad (1)$$

$$f_s = E_s \epsilon_{cu} \left( \frac{d}{x} - 1 \right) = E_s \epsilon_{cu} \left( \frac{\beta_1 d}{a} - 1 \right) \quad (2)$$

$$(1) \& (2) \rightarrow \phi_s A_s E_s \epsilon_{cu} \left( \frac{\beta_1 d}{a} - 1 \right) = \alpha_1 \phi_c f_c b a$$

بعد از حل معادله درجه ۲ شماره (۳)، مقدار  $a$  بدست می آید، سپس با رابطه  $a = \beta_1 x$ ،  $x$  نیز بدست می آید.



محاسبه مقاومت خمشی (طراحی) در حالت بدون فولاد فشاری و با فرض جاری شدن فولاد کششی:

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

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

$$M_r = \phi_s A_s f_y \left( d - \frac{\phi_s A_s f_y}{2\alpha_1 \phi_c f_c b} \right)$$

$$M_r = \rho \phi_s f_y b d^2 \left( 1 - \frac{1}{2\alpha_1} \rho \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c} \right)$$

$$M_r = M_u \rightarrow A_s = \frac{\alpha_1 \phi_c f_c b d}{\phi_s f_y} \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{\alpha_1 \phi_c f_c b d^2}} \right]$$

نکته: با استفاده از رابطه تقریبی زیر برای مقاومت مشخصه های حدود ۲۵ مگاپاسکال می توان با تقریب نزدیک  $A_s$  محاسبه کرد:

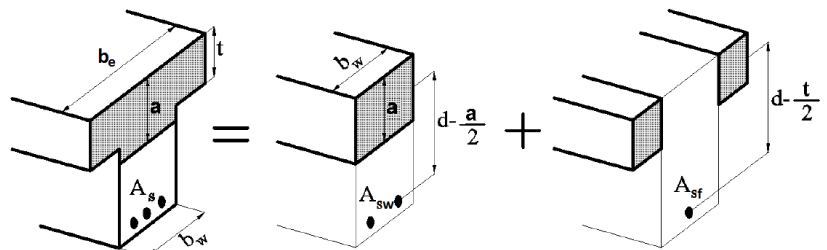
$$A_s = 30 \frac{M_u}{d}$$

Ton.m      cm  
cm<sup>2</sup>

محاسبه مقاومت خمشی مقطع T شکل:

$$A_{sf} = \frac{\alpha_1 \phi_c f_c (b - b_w) t}{\phi_s f_y}$$

$$a_{\text{چند}} = \frac{\phi_s f_y (A_s - A_{sf})}{\alpha_1 \phi_c f_c b_w}$$



$$M_r = \phi_s f_y A_{sf} \left( d - \frac{t}{2} \right) + \phi_s f_y (A_s - A_{sf}) \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

حداکثر فولاد کششی در مقطع T، مجموع حداکثر فولاد کششی در قسمت مستطیلی و فولاد معادل با ناحیه فشاری بال ( $A_{sf}$ ) می باشد:

$$A_{max}^{\text{مقطع T}} = A_{max} + A_{sf}$$

$$A_{max} = \rho_{max} \times bd \quad \leftarrow \text{برای قسمت مستطیلی (طبق جداول)}$$

مقدار  $\rho_{max}$  نیز برای مستطیل به ابعاد  $b_w d$  به راحتی با توجه به  $f_y$  و  $f_c$ ، از جداول بخش محاسبه فولاد حداکثر بدست می آید.

### مقطع با فولاد فشاری:

$$\overline{A_{sb}} = A_{sb} + \frac{f'_{sb}}{f_y} A'_s$$

$$f'_{sb} = E_s \varepsilon_{cu} - (E_s \varepsilon_{cu} + f_y) \frac{d'}{d} \leq f_y$$

$$\overline{A_{smin}} = \alpha_1 \beta_1 \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \left( \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_y} \right) b d' + \frac{f'_y}{f_y} A'_s = \overline{\rho'_{smin}} b d' + \frac{f'_y}{f_y} A'_s$$

برای بتن ها و فولاد های متداول، مقدار  $\overline{\rho'_{smin}}$  در جداول پیوست آمده است.

با توجه به توضیحات قبل، می توان جاری شدن و یا جاری نشدن فولادهای فشاری و کششی را به صورت زیر بررسی کرد:

اگر  $A_s \leq \overline{A_{sb}}$  → فولاد های کششی جاری می

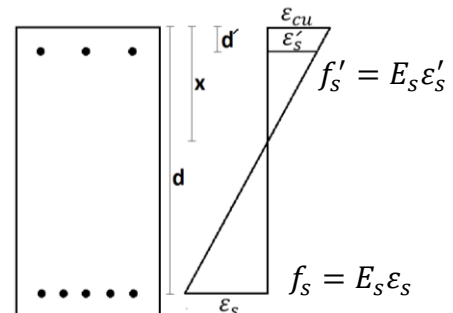
اگر  $A_s \geq \overline{A_{smin}}$  → فولاد های فشاری جاری می

بعد از تعیین جاری شدن و یا جاری نشدن فولادهای فشاری و کششی، با برقراری تعادل نیرویی مقطع می توان ارتفاع بلوک فشاری در زمان شکست را بدست آورد و همچنین با برقراری تعادل لنگر حول نقطه موقعیت فولادهای کششی، می توان مقاومت خمشی مقطع در زمان شکست را بدست آورد:

$$\phi_s A_s f_s = \alpha_1 \phi_c f_c b a + \phi_s A'_s f'_s$$

$$f_s = E_s \varepsilon_{cu} \left( \frac{d}{x} - 1 \right) = E_s \varepsilon_{cu} \left( \frac{\beta_1 d}{a} - 1 \right)$$

$$f'_s = E_s \varepsilon_{cu} \left( 1 - \frac{d'}{x} \right) = E_s \varepsilon_{cu} \left( 1 - \frac{\beta_1 d'}{a} \right)$$



الف) فولادهای کششی جاری شود ( $f_s = f_y$ )، فولادهای فشاری جاری شود ( $f'_s = f'_y$ ) / شکست نرم

$$a = \frac{\phi_s (A_s f_y - A'_s f'_y)}{\alpha_1 \phi_c f_c b}$$

$$M_r = \alpha_1 \phi_c f_c b a (d - a/2) + \phi_s A'_s f'_y (d - d')$$

ب) فولادهای کششی جاری شود ( $f_s = f_y$ )، فولادهای فشاری جاری نشود ( $f'_s \leq f'_y$ ) / شکست نرم

$$a^2 + \left[ \frac{\phi_s (E_s \varepsilon_{cu} A'_s - A_s f_y)}{\alpha_1 \phi_c f_c b} \right] a - \frac{\phi_s E_s \varepsilon_{cu} A'_s \beta_1 d'}{\alpha_1 \phi_c f_c b} = 0$$

$$M_r = \alpha_1 \phi_c f_c b a (d - a/2) + \phi_s A'_s f'_s (d - d')$$

پ) فولادهای کششی جاری نشود ( $f_s \leq f_y$ )، فولادهای فشاری جاری نشود ( $f'_s \leq f'_y$ ) / شکست ترد

$$a^2 + \left[ \frac{\phi_s E_s \varepsilon_{cu} (A'_s + A_s)}{\alpha_1 \phi_c f_c b} \right] a - \frac{\phi_s E_s \varepsilon_{cu} \beta_1 (A'_s d' + A_s d)}{\alpha_1 \phi_c f_c b} = 0$$

$$M_r = \alpha_1 \phi_c f_c b a (d - a/2) + \phi_s A'_s f'_s (d - d')$$

(ت) فولادهای کششی جاری نشود ( $f_s \leq f_y$ )، فولادهای فشاری جاری شود ( $f'_s = f'_y$ ) / شکست ترد/

$$a^2 + \left[ \frac{\phi_s (A'_s f'_y + E_s \epsilon_{cu} A_s)}{\alpha_1 \phi_c f_c b} \right] a - \frac{\phi_s E_s \epsilon_{cu} A_s \beta_1 d}{\alpha_1 \phi_c f_c b} = 0$$

$$M_r = \alpha_1 \phi_c f_c b a (d - a/2) + \phi_s A'_s f'_y (d - d')$$

مقدار حداکثر فولاد کششی مقطع با فولاد فشاری ( $\overline{\rho_{max}}$ ) نیز به صورت زیر بدست می آید:

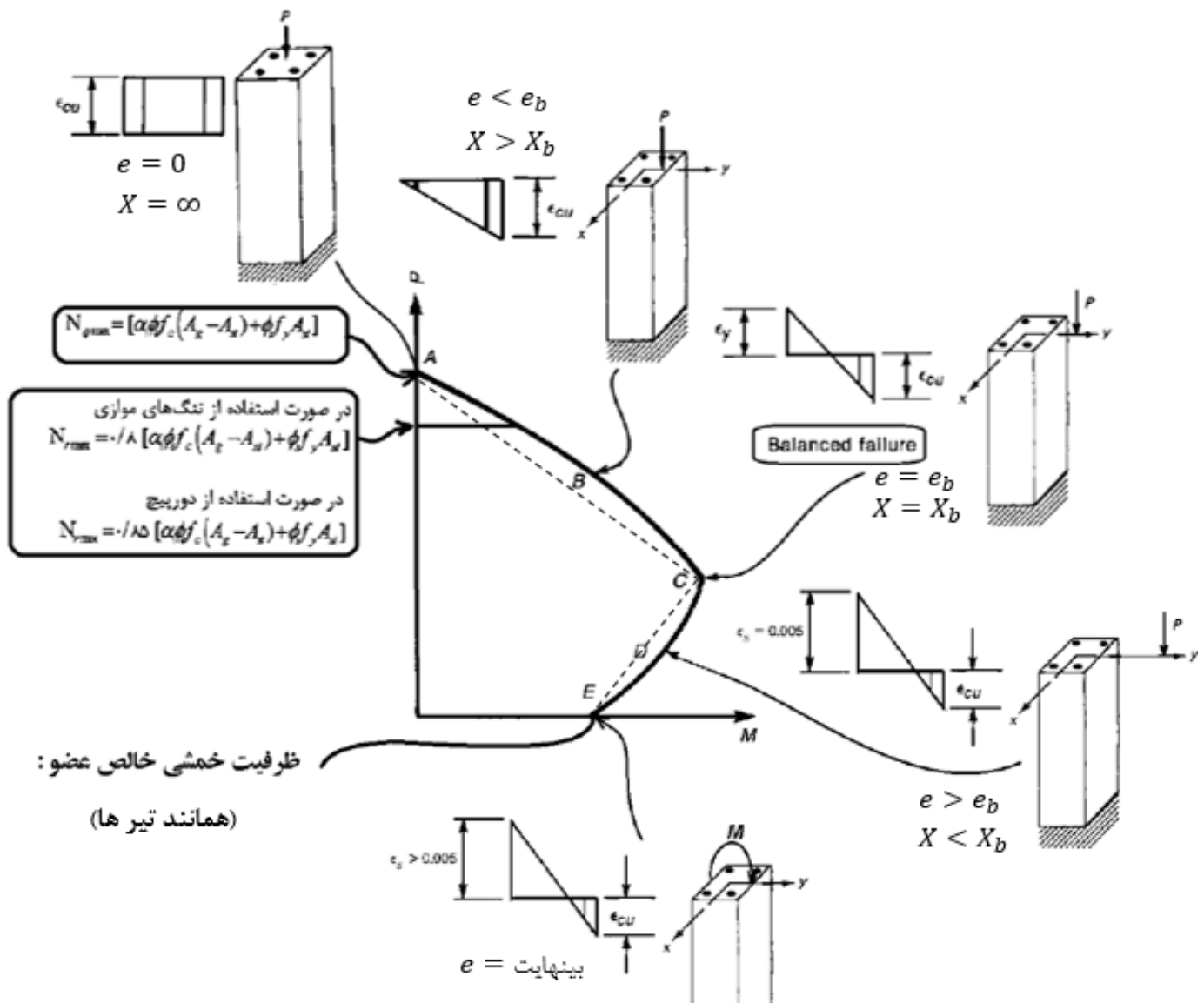
$$\overline{\rho_{max}} = \rho_{max} + \frac{f'_s}{f_y} \rho'$$

مرکز پلاستیک ستون:

$$Y_p = \frac{\sum A_{ci} Y_i + \sum (m-1) A_{si} Y_i}{\sum A_{ci} + \sum (m-1) A_{si}}$$

$$X_p = \frac{\sum A_{ci} X_i + \sum (m-1) A_{si} X_i}{\sum A_{ci} + \sum (m-1) A_{si}}$$

$$m = \frac{\phi_s f_y}{\alpha_1 \phi_c f_c} \text{ با فرض}$$



### دورپیچ ها در ستون:

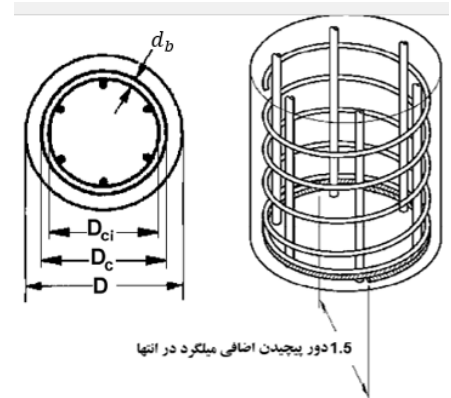
$$\rho_s = \frac{\text{حجم آرماتور دورپیچ}}{\text{حجم کل هسته}} = \frac{\pi(D_c - d_b)d_b^2}{SD_{ci}^2} \cong \frac{\pi d_b^2}{SD_{ci}} = \frac{4A_{sp}}{SD_{ci}}$$

تنش تسلیم فولاد خاموت

$$\rho_{smin} = 0.6 \left( \frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{\phi_c f_c}{\phi_s f_y} \quad \rho_s \geq \rho_{smin} \rightarrow S \text{ بدست می آید}$$

$$A_g = \pi D^2 / 4 \quad A_c = \pi D_c^2 / 4 \quad A_{ci} = \pi D_{ci}^2 / 4 \quad A_{sp} = \pi d_b^2 / 4$$

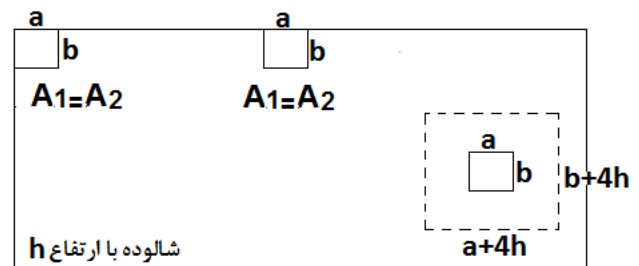
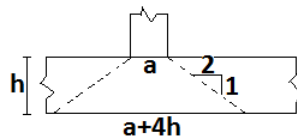
S=فاصله محور به محور هر گام دورپیچ



### مقاومت اتکایی (ص ۲۰۲)

نیرو ها و لنگرهای پای ستون، باید با عملکرد اتکایی بتن و کشش و فشار در میلگردهای انتظار، به شالوده منتقل شود.

$$0.85\phi_c f_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \times 0.85\phi_c f_c A_1$$



### برش و پیچش

$$V_r = V_c + V_s \leq V_{rmax} \rightarrow V_{rmax} = 0.25\phi_c f_c b_w d$$

۹-۱۵-۱-۱ برای اعضای که تحت اثر برش و خمش قرار دارند:

$$V_c = v_c b_w d \quad (۳-۱۵-۹)$$

در این رابطه  $V_c$  با استفاده از رابطه (۴-۱۵-۹) محاسبه می شود:

$$v_c = 0.2\phi_c \lambda \sqrt{f_c}$$

جدول

۹-۱۵-۳-۱ برای اعضای که تحت اثر برش و خمش و فشار محوری قرار دارند:

$$V_c = v_c \left( 1 + \frac{N_u}{12A_g} \right) b_w d \quad (۵-۱۵-۹)$$

۹-۱۵-۳-۳ برای اعضای که تحت اثر همزمان برش، خمش و کشش محوری قرار دارند:

$$V_c = v_c \left( 1 + \frac{N_u}{3A_g} \right) b_w d \geq 0 \quad (۶-۱۵-۹)$$

در این رابطه،  $N_u$  منفی است.

روابط تقریبی (غیر دقیق)

۹-۱۵-۳-۲-۱ برای اعضای که تحت اثر همزمان برش و خم قرار دارند:

$$V_c = (0.95v_c + 12\rho_w \frac{V_u d}{M_u}) b_w d \leq V_{cmax} \quad (9-15-3)$$

$$V_{cmax} = \underbrace{1.75v_c}_{\text{جدول}} b_w d \quad \frac{V_u d}{M_u} \leq 1 \quad \rho_w = \frac{A_s}{b_w d}$$

در محاسبه  $V_c$  از رابطه (۹-۱۵-۳) کمیت  $\frac{V_u d}{M_u}$  نباید بزرگتر از واحد اختیار شود. لنگر خمشی

نهایی  $M_u$  لنگری است که همزمان با نیروی برشی نهایی  $V_u$  بر مقطع مورد نظر اثر می کند.

۹-۱۵-۳-۲-۲ برای اعضای که تحت اثر همزمان برش و خم و فشار محوری قرار دارند:

در این حالت برای محاسبه  $V_c$  می توان رابطه (۹-۱۵-۳) را به کار برد با این تفاوت که در آن به جای  $M_u$  مقدار  $M_m$  از رابطه (۹-۱۵-۸) را جایگزین نموده و کمیت  $\frac{V_u d}{M_u}$  را نیز به مقدار واحد

محدود نکرد.

$$M_m = M_u - N_u \left( \frac{e_h - d}{\lambda} \right) \quad (9-15-8)$$

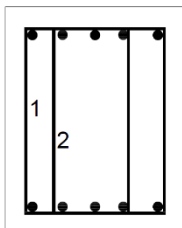
مقدار  $V_c$  در هر حال نباید بزرگتر از مقدار به دست آمده از عبارت (۹-۱۵-۹) در نظر گرفته شود:

$$V_{cmax} = 0.95v_c \sqrt{1 + \frac{N_u}{3A_g}} b_w d \quad (9-15-9)$$

در صورتی که مقدار  $M_m$  در رابطه (۹-۱۵-۸) منفی گردد،  $V_c$  معادل مقدار حاصل از عبارت

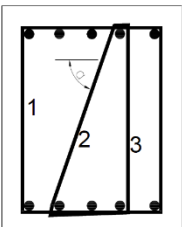
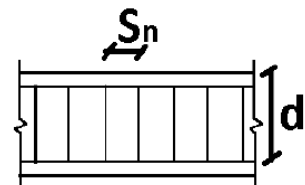
(۹-۱۵-۹) منظور می گردد.

روابط دقیق تر

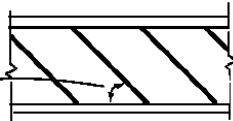


$$V_s = \phi_s f_{yv} \left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right) d$$

$$\left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right) = \left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right)_1 + \left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right)_2 + \left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right)_3 + \dots$$

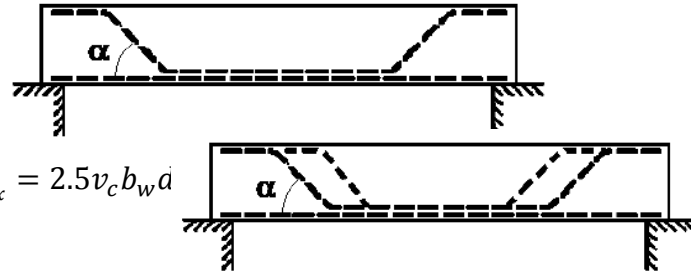


$$\left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right) = \left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right)_1 + \left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right)_2 \sin \alpha + \left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right)_3 + \dots$$

$$V_s = \phi_s f_{yv} \left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right) d (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad \alpha \geq 45^\circ$$


$$V_s = \phi_s f_{yv} A_{sv} \sin \alpha \leq V_{smax} \quad V_{smax} = 1.5 v_c b_w d$$

$$V_s = 0.75 \phi_s f_{yv} \left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right) d (\sin \alpha + \cos \alpha) \leq V_{smax} \quad V_{smax} = 2.5 v_c b_w d$$



در صورتی که مقدار  $T_u$  از مقدار  $0.25 T_{cr}$  کمتر باشد، طراحی برای پیچش ضرورتی ندارد.

$$T_{cr} = 1.9 \left( \frac{A_c^2}{P_c} \right) v_c = 1.9 \left( \frac{A_c^2}{P_c} \right) \times 0.2 \phi_c \lambda \sqrt{f_c} \quad \rightarrow \quad T_{cr} = 0.38 \phi_c \lambda \sqrt{f_c} \left( \frac{A_c^2}{P_c} \right)$$

$$T_s = 2 \phi_s A_o A_t \frac{f_{yv}}{S_n} = 1.7 \phi_s A_{oh} A_t \frac{f_{yv}}{S_n}$$

$$\left( \frac{A_{sv}}{S_n} + \frac{2A_t}{S_n} \right)_{min} = \underbrace{0.06}_{\text{جدول}} \frac{\sqrt{f_c}}{f_{yv}} b_w$$

۷-۱۰-۱۵-۹ حداکثر تنش در مقاطع قوطی شکل از رابطه (۹-۱۵-۲۱) و در مقاطع توپر از رابطه

(۹-۱۵-۲۲) بدست می آید.

$$\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u P_h}{\sqrt[3]{\sqrt{A_{oh}}}} \leq 0.75 f_{cd} \quad (۹-۱۵-۲۱)$$

$$\sqrt{\left( \frac{V_u}{b_w d} \right)^2 + \left( \frac{T_u P_h}{\sqrt[3]{\sqrt{A_{oh}}}} \right)^2} \leq 0.75 f_{cd} \quad (۹-۱۵-۲۲)$$

برش اصطکاک:

$$V_r = \lambda \phi_s f_y A_{vf} (\mu \sin \alpha_f + \cos \alpha_f) \leq V_{rmax}$$

$$V_{rmax} = \min[6.5 \phi_c A_{cv} \quad , \quad 0.25 \phi_c f_c A_{cv}]$$

$$V_r = \lambda \mu \phi_s f_y A_{vf} \leq V_{rmax}$$

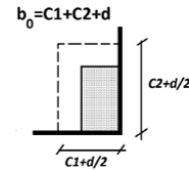
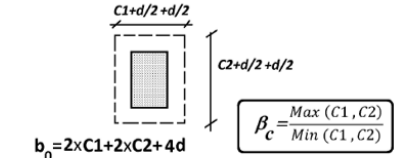
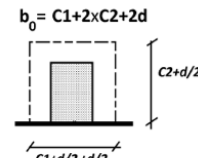
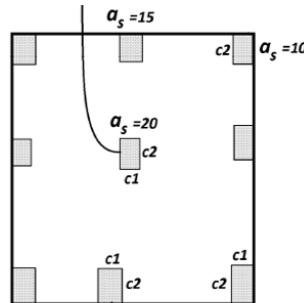
$$V_{rmax} = \min[6.5 \phi_c A_{cv} \quad , \quad 0.25 \phi_c f_c A_{cv}]$$

$$V_r = \lambda \mu (\phi_s f_y A_{vf} + N_u) \leq V_{rmax}$$

### برش پانچ (برش دوطرفه):

الف) فولاد برشی وجود ندارد:

$$V_c = \min \begin{cases} V_c = (1 + \frac{\gamma}{\beta_c}) v_c b_o d \\ V_c = (\frac{\alpha_s d}{b_o} + 1) v_c b_o d \\ V_c = \gamma v_c b_o d \end{cases}$$



ب) فولاد برشی وجود دارد:

$$V_c = v_c b_o d$$

(۳۶-۱۵-۹)

$$V_s = \phi_s f_{yv} \left( \frac{A_{sv}}{S_n} \right) d$$

ب) مقدار  $V_s$ ، با استفاده از ضوابط بند ۴-۱۵-۹ محاسبه می شود.

$$V_r = V_c + V_s \leq V_{rmax}$$

$$V_{rmax} = 3 v_c b_o d$$

### ۹-۱۵-۱۷-۵- انتقال لنگر خمشی در اتصالات دال به ستون

در مواردی که لنگر خمشی متعادل نشده ای،  $M_u$ ، ناشی از بارهای قائم، باد یا زلزله باید بین دال بدون تیر به ستون منتقل شود، قسمتی از آن  $M_{uf}$ ، یا عملکرد خمشی و بقیه آن،  $M_{uv}$ ، با اثر نیروی برشی خارج از مرکزی که در اطراف ستون در دال یا کتیبه دال ایجاد می شود، منتقل می شود.

$$M_u = M_{uf} + M_{uv}$$

$$M_{uf} = \frac{M_u}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{b_1}{b_2}}}$$

$$M_{uv} = \left( 1 - \frac{1}{1 + \frac{2}{3} \sqrt{\frac{b_1}{b_2}}} \right) M_u$$

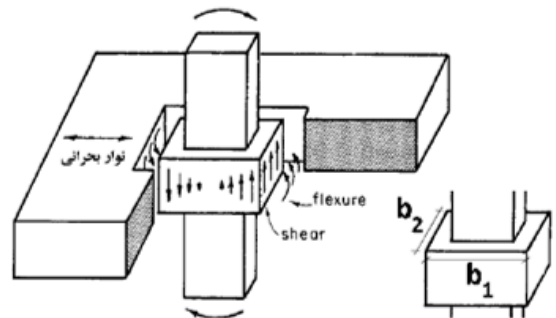
$$\tau_{shear} = \frac{M_{uv} \times y}{b_2 b_1^3 / 12} \text{ و } \tau_{shear max} = \frac{M_{uv}}{b_2 b_1^2 / 6}$$

$b_1$  = بعد مربوط به محیط بحرانی برش سوراخ‌شدگی که به فاصله  $\frac{d}{4}$  از لبه تکیه‌گاه قرار دارد

و در امتداد محور طولی نوار پوششی می‌باشد، میلی‌متر

$b_2$  = بعد مربوط به محیط بحرانی برش سوراخ‌شدگی که به فاصله  $\frac{d}{4}$  از لبه تکیه‌گاه قرار دارد

و در امتداد محور عرضی نوار پوششی می‌باشد، میلی‌متر





## کمانش و لاغری

$$\psi_A = \frac{(1 \text{ or } 0.7) \times \sum \left(\frac{EI}{L}\right)^A_{\text{ستون ها}}}{(0.5 \text{ or } 0.35) \times \sum \left(\frac{EI}{L}\right)^A_{\text{تیر ها}}} = \frac{2 \times \sum \left(\frac{EI}{L}\right)^A_{\text{ستون ها}}}{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)^A_{\text{تیر ها}}}$$

توضیحات:

$$\psi_m = \frac{\psi_A + \psi_B}{2}$$

$$\psi_{min} = \min(\psi_A, \psi_B)$$

۲-۵-۱۶-۹ مقدار  $k$  در قطعات فشاری مهار شده را می توان برابر با یک و یا کوچکترین دو مقدار به دست آمده از روابط (۲-۱۶-۹) و (۳-۱۶-۹) منظور نمود.

$$k = 0.7 + 0.1\psi_m \leq 1 \quad (2-16-9)$$

$$k = 0.85 + 0.05\psi_{min} \leq 1 \quad (3-16-9)$$

۳-۵-۱۶-۹ مقدار  $k$  در قطعات فشاری مهار نشده ای که در دو انتها مقید باشند با استفاده از رابطه (۴-۱۶-۹) یا رابطه (۵-۱۶-۹) به دست می آید:  
در مواردی که  $\psi_m < 2$  باشد:

$$k = (1 - 0.05\psi_m)\sqrt{1 + \psi_m} \geq 1 \quad (4-16-9)$$

و در مواردی که  $\psi_m \geq 2$  باشد:

$$k = 0.9\sqrt{1 + \psi_m} \quad (5-16-9)$$

۴-۵-۱۶-۹ مقدار  $k$  در قطعه فشاری مهار نشده ای که یک انتهای آن مفصلی باشد با استفاده از رابطه (۶-۱۶-۹) به دست می آید:

$$k = 2 + 0.3\psi \quad (6-16-9)$$

که در آن  $\psi$  مربوط به انتهای غیر مفصلی است.

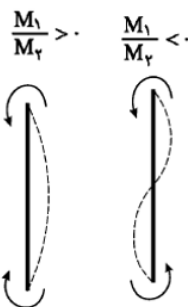
۷-۱۶-۹: ضوابط اثر لاغری (ص ۲۴۴)

۱-۷-۱۶-۹ در قطعات فشاری مهار شده در صورتی که

$$\frac{KL_u}{r} \leq \min \left[ 34 - 12 \frac{M_1}{M_2}, 40 \right] \rightarrow \text{از اثر لاغری صرف نظر می شود}$$

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\text{کوچکترین لنگر دو انتها}}{\text{بزرگترین لنگر دو انتها}}$$

دقت شود که :



۲-۷-۱۶-۹ در قطعات فشاری مهار نشده در صورتی که  $k \frac{L_u}{r} \leq 22$  باشد، می توان از اثر لاغری

صرف نظر کرد.

## تغییر شکل و ترک خوردگی

الف) در وسط دهانه اعضای با تکیه‌گاه‌های ساده و در تکیه‌گاه اعضای طره‌ای از رابطه (۹-۱۷-۱) محاسبه می‌شود:

Page 55

$$I_e = I_{cr} + (I_g - I_{cr}) \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^2 \leq I_g$$

Page 56

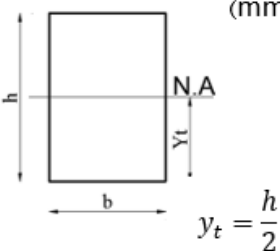
$$M_{cr} = \frac{f_r I_g}{y_t}$$

محاسبه لنگر ترک خوردگی  $M_{cr}$ :

مدول گسیختگی بتن (مقاومت کششی بتن)  $f_r$ :

$$f_r = 0.6 \sqrt{f_c}$$

فاصله محور خنثی در مقطع ترک نخورده ، بدون در نظر گرفتن اثر آرماتورها از دورترین تار کششی (بر حسب mm)

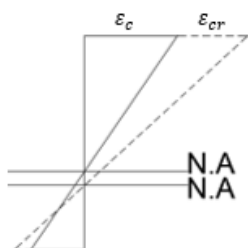


ب) در قطعات یکسره، ممان اینرسی مؤثر برابر با مقدار متوسط ممان اینرسی مؤثر قطعه که براساس مشخصات مقاطع بحرانی در وسط دهانه و بر روی تکیه‌گاه‌ها و با استفاده از رابطه (۹-۱۷-۴) محاسبه شده باشد، در نظر گرفته می‌شود. در اعضای یکسره میله‌ای ممان اینرسی مؤثر را می‌توان برابر با مقدار این ممان اینرسی در مقطع بحرانی، در وسط دهانه منظور کرد.

$$I_e = \frac{1}{4} (I_{eL} + 2I_{em} + I_{eR}) \quad (۹-۱۷-۴)$$

نکته: عامل اصلی اضافه افتادگی دراز مدت ، خزش در بتن می باشد.

نکته: به علت خزش در بتن، کرنش بتن زیاد می شود و در نتیجه تارخنشی پایین خواهد آمد. البته اندکی کرنش فولاد نیز افزایش می یابد. در این حالت ناحیه فشاری افزایش می یابد در نتیجه تنش فشاری کاهش می یابد.



۹-۱۷-۲-۳ تغییر شکل اضافی ایجاد شده در اعضا در طول زمان را که معمولاً «اضافه افتادگی درازمدت» نامیده می‌شود، در صورت عدم استفاده از روش‌های تحلیلی دقیق‌تر، می‌توان از حاصلضرب تغییر شکل آبی ناشی از بار دائمی در ضریب  $\lambda$  که از رابطه (۹-۱۷-۵) مشخص شده است، به دست آورد:

$$\Delta_{\text{اضافه افتادگی}} = \lambda \Delta_{\text{آبی}}$$

$$\Delta_{\text{کل}} = \Delta_{\text{آبی}} (1 + \lambda) + \Delta_{\text{اضافه افتادگی}}$$

$$\lambda = \frac{\xi}{1 + 50 \rho'} \quad \rho' = \frac{A'_s}{A_o} = \frac{\text{مساحت فولاد فشاری}}{bd}$$

ر این رابطه  $\rho'$  مربوط به مقطع وسط دهانه در اعضای با تکیه‌گاه‌های ساده یا پیوسته و مقطع کیه‌گاه، در اعضای طره‌ای است. مقدار ضریب وابسته به زمان،  $\xi$ ، برابر با مقادیر زیر در نظر گرفته می‌شود:

جدول ۹-۱۷-۵ مقدار ضریب  $\xi$  وابسته به زمان

۲/۰	زمان ۵ سال یا بیشتر
۱/۴	زمان ۱۲ ماه
۱/۲	زمان ۶ ماه
۱/۰	زمان ۳ ماه

نکته: افزایش فولاد فشاری باعث کاهش تغییر شکل های دراز مدت می شود.

## ۹-۱۷-۳-۲ محاسبه عرض ترک

۹-۱۷-۳-۲-۱ در تیرها و دال های یک طرفه مقدار عرض را، در صورت عدم انجام محاسبات دقیق تر،

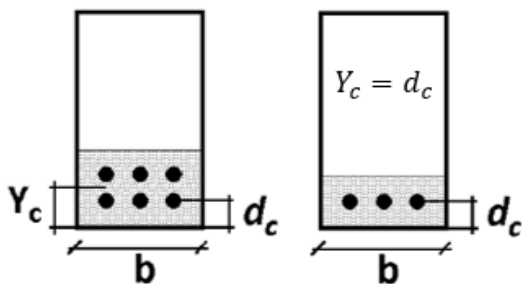
می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$w = 11 \times 10^{-6} f_s^3 \sqrt{d_c A}$$

$f_s$  = تنش در آرماتور کششی زیر اثر بارهای بهره برداری، مگاپاسکال

$d_c$  = ضخامت قشر محافظ بتنی که برابر با فاصله دورترین تار کششی تا مرکز نزدیکترین

میلگرد به آن در نظر گرفته می شود، میلی متر



$$A = \frac{2Y_c b}{n} \quad (mm^2)$$

$n$  = تعداد میلگردها

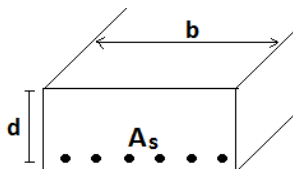
$n = \frac{\text{مساحت کل میلگردها}}{\text{مساحت بزرگترین میلگرد}}$  ← در صورت یکی نبودن قطر میلگردها

$$Y_c = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i} \quad \leftarrow \text{مرکز سطح آرماتورهای کششی}$$

## دال ، دیوار و شالوده

حداقل آرماتور دال ها ( مقادیر رابطه زیر در جداول پیوست محاسبه شده است )

$$\frac{\text{مساحت آرماتور حداقل (حرارات و جمع شدگی)}}{bh} \geq \rho_{smin} = \frac{0.16 \sqrt{\phi_c f_c}}{\phi_s f_y}$$



حداقل آرماتور شالوده های نواری در ناحیه کششی

$$A_{smin} = \min \left[ 0.0025bd, \max \left( 0.0015bd, 1.33A_{s \text{ محاسباتی}} \right) \right]$$

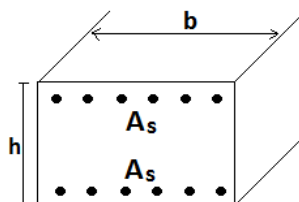
آرماتورهای حرارات و جمع شدگی در شالوده ها:

آرماتورهای حرارات و جمع شدگی در شالوده ها  $A_s$  به صورت مجزا در بالا و پایین مقطع قرار میگیرد.

(الف) ضخامت کمتر مساوی ۱۰۰۰ میلیمتر

(ب) ضخامت بیشتر ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میلیمتر

(پ) ضخامت بیشتر از ۲۰۰۰ میلیمتر



$$A_{smin} = \frac{0.16 \sqrt{\phi_c f_c}}{\phi_s f_y} \times bh$$

$$A_{smin} = (1.3 - 0.0003h) \frac{0.16 \sqrt{\phi_c f_c}}{\phi_s f_y} \times bh$$

$$A_{smin} = \max \left[ \begin{array}{l} 2800 \times b \text{ mm}^2 \quad , \quad 2500 \times b \text{ mm}^2 \quad , \quad 2100 \times b \text{ mm}^2 \quad , \quad 0.7 \\ \text{میلگردهای رده S340} \quad \text{میلگردهای رده S400} \quad \text{وبالاتر} \quad \text{میلگردهای رده S500} \end{array} \right]$$

دقت شود که مقدار  $\frac{0.16 \sqrt{\phi_c f_c}}{\phi_s f_y}$  در جداول pgae 64 جزوه آمده است.

۹-۲۰-۸-۴ در شالوده های با ضخامت متغیر، می توان ضخامت را برای محاسبه حداقل مقدار

آرماتور کششی حرارت و جمع شدگی برابر با ضخامت شالوده فرضی هم حجم آن اختیار کرد.

## مهار آرماتور ها

$$l_d = \left[ \frac{0.86 \phi_s f_y}{\sqrt{\phi_c f_c}} \frac{\alpha \beta \gamma \lambda}{\frac{C + k_{tr}}{d_b}} \right] d_b \geq 300 \text{ mm} \quad \frac{C + k_{tr}}{d_b} \leq 2.5$$

ضریب  $\alpha$  (ضریب موقعیت)  $\left. \begin{array}{l} 1.3 \text{ برای میلگردهای افقی که حداقل } 300 \text{ میلیمتر بتن تازه در زیر آنها، در ناحیه طول گیرایی، ریخته می} \\ 1 \text{ سایر میلگرد ها} \end{array} \right\}$

ضریب  $\beta$  (ضریب اندود)  $\left. \begin{array}{l} 1.5 \text{ برای میلگردهای که با ماده اپوکسی اندود شده اند و در آنها ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها کمتر} \\ \text{از } 3d_b \text{ و فاصله آزاد میلگردها کمتر از } 6d_b \text{ است} \\ 1.2 \text{ سایر میلگردهای که با ماده اپوکسی اندود شده اند.} \\ 1 \text{ میلگردهای اندود اپوکسی نشده اند.} \end{array} \right\}$

ضریب  $\gamma$  (ضریب قطر)  $\left. \begin{array}{l} 0.8 \rightarrow d_b \leq 20 \text{ mm} \\ 1 \rightarrow d_b > 20 \text{ mm} \end{array} \right\}$

ضریب  $\lambda$  (ضریب نوع)  $\left. \begin{array}{l} 1.3 \text{ بتن سبک} \\ 1 \text{ بتن معمولی} \end{array} \right\}$

ضریب  $c$  (ضریب فاصله میلگردها از یکدیگر و از رویه)

(نصف فاصله مرکز تا مرکز میلگردهای است که در یک محل قطع و یا وصله میشوند، فاصله مرکز میلگرد از نزدیکترین رویه بتن)  $c = \min$

ضریب  $k_{tr}$  : ضریبی است که با توجه به مقدار ارماتور عرضی موجود در طول گیرایی از رابطه زیر

$$k_{tr} = \frac{0.12 A_{tr} \phi_s f_y}{s n}$$

$A_{tr}$  = سطح مقطع کل آرماتور عرضی قرار گرفته با فاصله  $S$  از یکدیگر در امتداد عمود بر سفره

میلگردهایی که مهار یا وصله می شوند، میلی متر مربع

$$l_{dc} = \max \left( \left[ 0.24 \frac{\phi_s f_y}{\sqrt{\phi_c f_c}} \right] d_b, [0.05 \phi_s f_y] d_b \right) \geq 200 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \left[ 0.24 k_1 k_2 \beta \lambda \frac{\phi_s f_y}{\sqrt{\phi_c f_c}} \right] d_b \geq \max(8d_b, 150 \text{ mm})$$