موضوع: دیوار برشی

تهیه کننده: مسعود شفیعی سامانی

شماره دانشجویی: ۹۳۲۱٤۲۲۰۱۸

استاد مربوط: آقای مهندس بابادایی

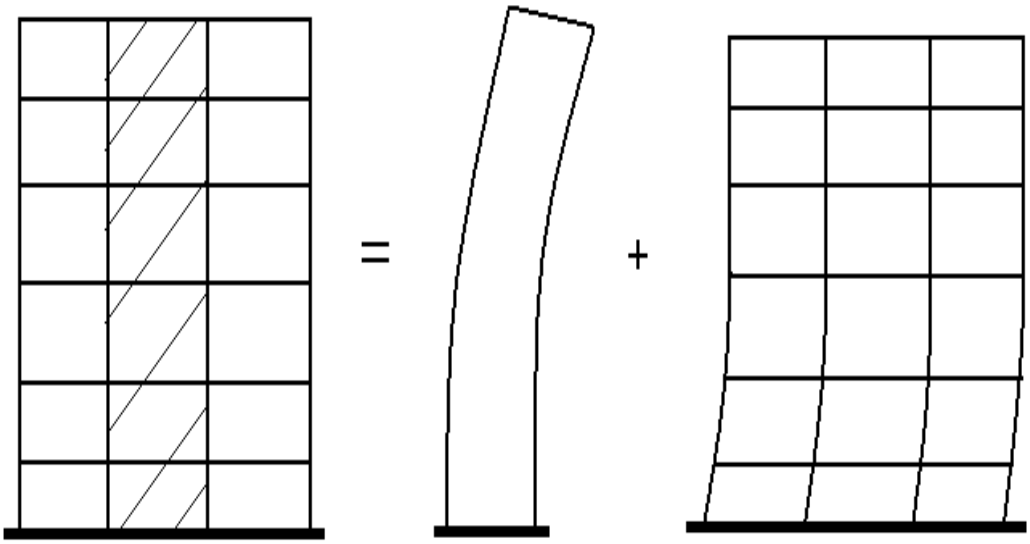
رشته عمران

دیوارهای برشی:

دیوارهای سازه ای یا دیوارهای برشی معمولا برای تحمل بخش اعظمی از بار جانبی استفاده می شوند. سیستم های مقاوم در برابر بار جانبی در سازه های بتنی شامل قاب خمشی، دیوار برشی و یا ترکیب آن دو است. استفاده کردن از قاب خمشی به عنوان عنصر مقاوم در برابر بار جانبی نیازمند در نظر گرفتن تمهیدات خاصی برای افزایش شکل پذیری آن است که عموماً مقرراتی دست و پاگیر و دارای جزئیات زیاد است و اجرای آن نیازمند وجود نظارت قوی در کارگاه است. بنابراین استفاده کردن از دیوار برشی به عنوان عنصر مقاوم در برابر بار جانبی در ترکیب با قاب خمشی گزینه ای مناسب برای سیستم باربری جانبی سازه است.

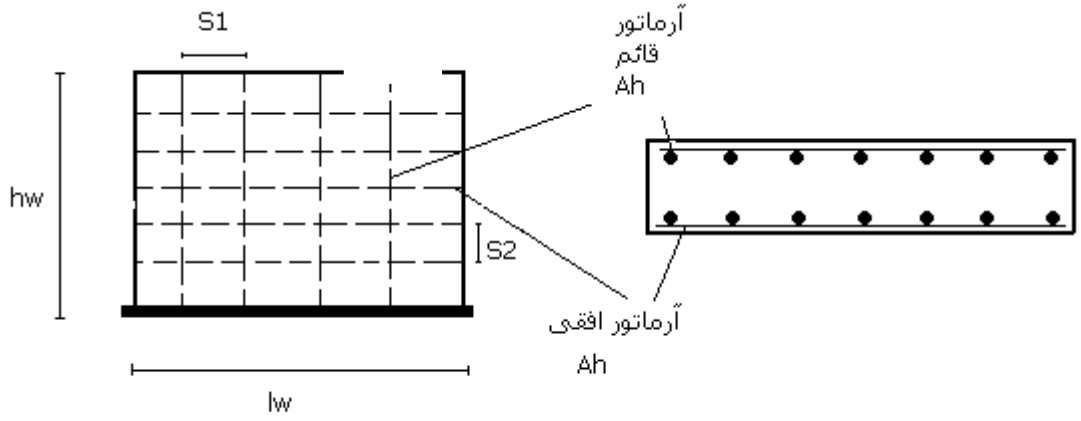
از سوی دیگر عملکرد دیوارهای برشی در زلزله های به وقوع پیوسته نشان دهنده قدرت بالای جذب انرژی این عناصر است به شرط اینکه هنگام طراحی و اجرای این عناصر بعضی نکات خاص مانند در نظر گرفتن اجزای لبه و دورگیری آرماتورهای طولی رعایت شده باشد. عملکرد دیوار برشی به صورت یک تیر طره عمیق است که در صورتی که دیوار کوتاه باشد عموماً برش و اگر دیوار بلند باشد عموماً خمش تعیین کننده است. ولی به هر حال دیوار برشی باید برای خمش و برای برش طراحی و کنترل شود.

عملکرد مناسب دیوارهای برشی در سازه های نسبتاً بلند نمود بیشتری پیدا می کند. در این سازه ها دیوار برشی به صورت یک تیرطره بلند عمل می کند و بنابراین تغییر شکل آن خمشی است. از سویی دیگر قاب خمشی دارای تغییر شکلهای برشی است. در این حالت اندر کنش قاب خمشی و دیوار برشی باعث می شود در پائین سازه که تغییر شکلهای برشی قاب خمشی زیاد و تغییر شکلهای خمشی دیوار برشی کم است، تغییر شکل سازه توسط دیوار برش محدود شود و در مقابل در بالای سازه که تغییر شکلهای خمشی زیاد و تغییر شکلهای برشی کم است تغییر شکلهای سازه توسط قاب خمشی محدود شود و به این ترتیب می توان تغییر شکلهای سازه های بلند مرتبه را تا حدی کنترل و محدود کرد.



۱- طراحی دیوارهای برشی در برابر برش:

در صورتی که سازه خیلی بلند نباشد معمولاً دیوار را در برابر برش طراحی می کنند و سپس آنرا در برابر خمش کنترل کرده و در صورت لزوم تقویت می کنند. مشابه مبحث تیرهای عمیق، آرماتورهای برشی از دو سری میلگرد عمود بر هم تشکیل شده است که مانند خاموت در تیرها عمل می کنند.



این میلگردها ممکن است در یک یا دو سفره قرار گیرند ولی آرایش میلگردها در ۲ سفره متداول تر می باشد. در صورتی که برش حداکثر وارده در ستون V_u باشد باید داشته باشیم

$$V_u \le V_r$$

$$V_r = V_c + V_s$$

مقاومت برشی نهایی دیوار در هیچ حالت نمی تواند از مقدار زیر بیشتر اختیار شود.

$$V_{r\max} = 5V_c hd = 5\times 0.2\times \phi_c \sqrt{f'_c} hd = \phi_c \sqrt{f'_c} hd$$

که در آن

f'_c :مقاومت فشاری مشخصه بتن

h :ضخامت دیوار برشی

d :عمق موثر دیوار برشی (که می توان به صورت ساده برابر $0.8L_W$ فرض شود.)

نیروی مقاوم برشی دیوارها مانند ستونها از جمع نیروی مقاوم برشی بتن و نیروی مقاوم برش آرماتور به دست می آید. برای محاسبه نیروی برشی مقاوم بتن، V_c دو رابطه نسبتاً دقیق و ساده موجود است.

رابطه دقیق محاسبه نیروی برشی مقاوم بتن

$$V_c = \min \begin{cases} V_c = 1.65\times\left(0.2\times\phi_c\sqrt{f'_c}\right)hd + \dfrac{N_u d}{5l_w} \\ V_c = \left[0.06\phi_c\sqrt{f'_c} + \dfrac{0.12\phi_c\sqrt{f'_c} + 0.15\dfrac{N_u}{l_w h}}{\left(\dfrac{M_u}{V_u l_w} - \dfrac{1}{2}\right)}\right]hd \end{cases}$$

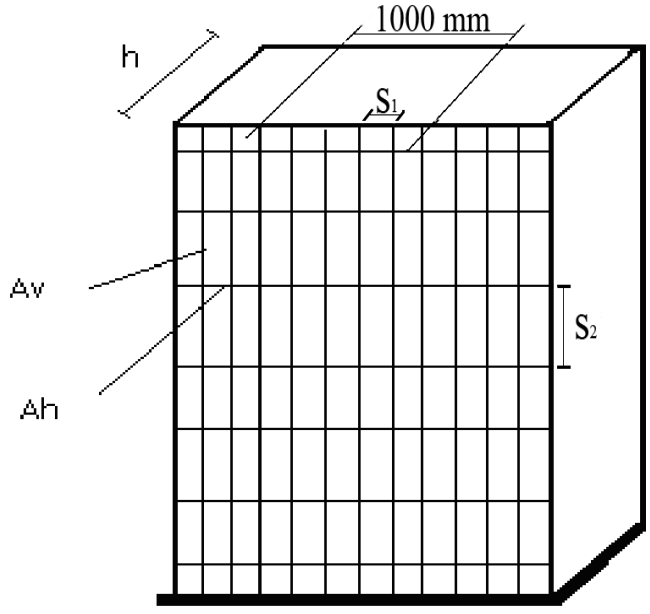
در رابطه دوم اگر نسبت $\frac{M_u}{V_u l_w}-\frac{1}{2}$ منفی شود برای محاسبه V_c فقط از رابطه اول استفاده می شود.

رابطه ساده محاسبه نیروی برشی مقاوم مقطع:

$V_c = 0.2\phi_c \sqrt{f'_c} hd$ اگر $N_u = 0$ یا فشاری باشد.

$V_c = 0.2\phi_c \sqrt{f'_c}\left(1-\frac{N_u}{3Ag}\right) hd$ اگر N_u کششی باشد.

در روابط بالا N_u نیروی محوری وارده بر دیوار و M_u لنگر خمشی نهایی وارده بر دیوار می باشند که در این روابط برای محاسبه V_c باید از بحرانی ترین ترکیب N_u و M_u که به صورت همزمان وارد می شوند استفاده کرد. به عبارت دیگر Nu و Mu باید مربوط به یک ترکیب بارگذاری باشند و کمترین مقدار V_c را نتیجه دهند.
در صورتی که دیوار برشی دارای ارتفاع زیاد باشد کنترل برشی و خمشی مقطع در ترازهای مختلف صورت می گیرد.
طبق تعریف مقطع بحرانی برای برش و خمش که در آن عموماً برش و خمش حداکثر است برابر با مینیمم دو مقدار $\frac{l_w}{2}$ یا $\frac{h_w}{2}$ ازپایه دیوار می باشد،بنابراین نیازی به کنترل خمش و برش دقیقاً در پای دیوار نیست. پس از محاسبه V_c آرماتور های لازم برای برش با توجه به V_U و درصد آرماتور های قائم وافقی و نیز با فرض قرار گرفتن آرماتور ها در ۲ ردیف به صورت زیر به دست می آید.



$$\begin{cases} \rho_V = \dfrac{n A_V}{1000 \times h} \\ n = \dfrac{2 \times 1000}{S_1} \end{cases} \Rightarrow S_1 = \frac{2A_V}{h \times \rho_V} \le S_{\max}$$

بهمین ترتیب:

$$S_2 = \frac{2A_h}{h \times \rho_h} \le S_{\max}$$

و

$$S_{\max} = \min \begin{cases} \frac{l_w}{3} \\ 3h \\ 350mm \end{cases}$$

اگر آرماتور ها در یک ردیف قرار کیرند :

$$S_1 = \frac{A_V}{h \times \rho_V} \le S_{\max}$$

$$S_2 = \frac{A_h}{h \times \rho_h} \le S_{\max}$$

که در آن h ضخامت دیواره، S_1 فاصله محور تا محور آرماتورهای افقی و S_2 فاصله محور تا محور آرماتورهای قائم است. ρ_h, ρ_V بترتیب درصد آرماتور های قائم وافقی هستند. A_h و A_V هم بترتیب مساحت یک ساق از آرماتورهای قائم و افقی هستند ، بسته به اینکه آرماتورها در یک یا دو سفره قرار گرفته اند می باشد. معمولاً برای طراحی آرماتور دیوارها، یک نوع آرماتور فرض می شود سپس فاصله لازم میان آرماتورها محاسبه می شود. این فاصله باید از فاصله حداکثر تعیین شده توسط آئین نامه کمتر باشد.

در کل مرزهای اجرایی افقی دیوارها، که بر اثر بتن ریزی در زمانهای متفاوت پدید می آید، مقاومت برشی دیوار v_r باید براساس روابط برش اصطکاکی تعیین شود.

۲- طراحی دیوارهای برشی در برابر خمش:

در طراحی دیوارهای برش برای تحمل خمش وارده ابتدا لزوم یا عدم لزوم اجزای لبه بررسی می شود. اجزای لبه بخشهایی از دو انتهای دیوار می باشند که آرماتور های خمشی در آنها متمرکز شده و توسط خاموتهای ویژه دورگیری شده اند. در صورتیکه مقدار تنش در دورترین تار فشاری بیش از $0.2f'_c$ باشد اجرای اجزای لبه اجباری است. اجزای لبه از جایی که تنش فشاری بتن از $0.15f'_c$ بیشتر بشود شروع می شوند و تا لبه دیوار امتداد می یابند.

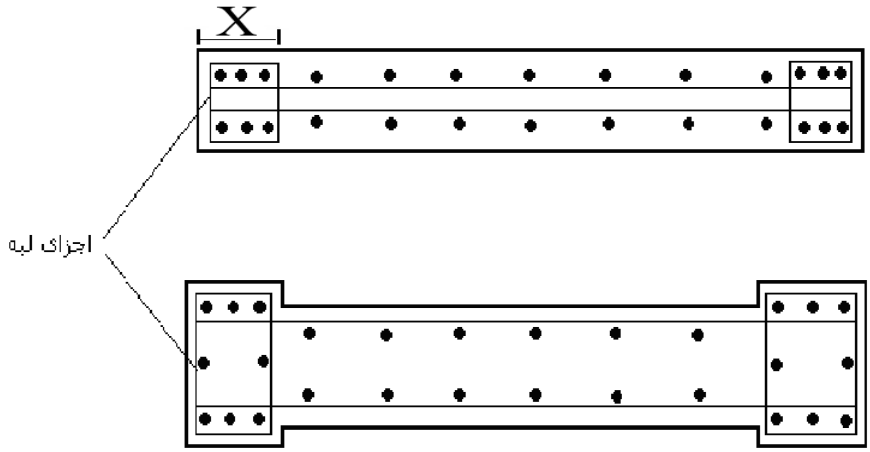
$$\sigma_{\max} = \frac{P_U}{A} \pm \frac{M_U}{S} \ge 0.2f'_C \qquad \rightarrow \text{لزوم اجرای اجزای لبه}$$

$$A = h \times l_W$$

$$S = h \times \frac{{l_W}^2}{6}$$

$$\sigma = \frac{P_U}{A} \pm \frac{M_U \times \left(\frac{l_W}{2} - X \right)}{I} = 0.15f'_C \rightarrow X = ...$$

X: محل آغاز اجرای اجزای لبه



در حالت کلی برای محاسبه ظرفیت خمشی دیوار برشی ۳ روش موجود است.

۲-۱- روش تقریبی با فرض توزیع یکنواخت آرماتور در مقطع

- این روش هنگامی مورد استفاده قرار می گیرد که نیاز به استفاده از اجزائ لبه نباشد

در دیوارهای کوتاه که برش کنترل کننده است معمولاً آرماتورهای قائم حداقل که برای کنترل برش در دیوار قرار گرفته است جوابگوی تلاشهای خمشی نیز می باشد. در این حالت اگر مقدار کل آرماتورهای قائم دیوار A_{st} باشد مقاومت خمشی دیوار از رابطه زیر حساب می شود:

$$M_r = 0.5A_{st}(\phi_s f_y)l_w[1+\frac{N_u}{A_{st}(\phi_s f_y)}](1-C/l_w)$$

$$\frac{C}{l_w} = \omega + \frac{\alpha}{2\omega + 0.85\beta_1}$$

$$\omega = \frac{A_{st}}{l_w h} \times \frac{\phi_s f_y}{\phi_c f_c}$$

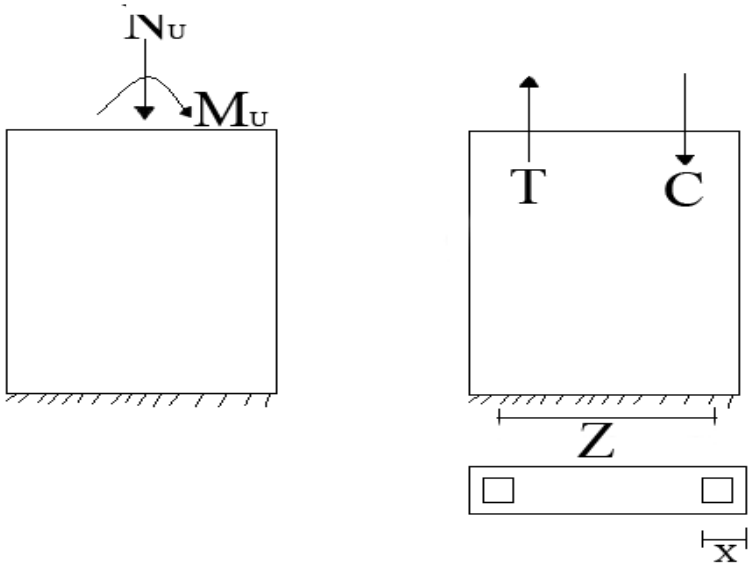
$$\alpha = \frac{N_U}{l_w h(\phi_c f_c)}$$

اگر ظرفیت خمشی مقطع کمتر از لنگر نهایی وارده بر دیوار باشد مقطع باید تقویت شود. این تقویت می تواند توسط افزایش قطر آرماتور یا کاهش فاصله بین آرماتورها انجام شود.

نکته ای که در این جا باید مورد توجه قرار گیرد این است که چون از نظر محاسباتی نیازی به آرماتور قائم نیست نیازی به افزودن آرماتور خمشی بر آرماتور قائم برشی نمی باشد و آن مقدار آرماتوری که جوابگوی محاسبات خمش است اگر شرایط حداقل برش را تامین کند، کافی خواهد بود.

۲-۲- روش ساده شده نیروی فشاری و کششی:

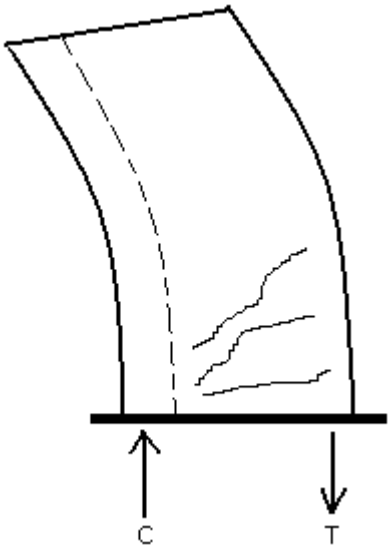
در این روش فرض می شود که لنگر مقاوم دیوار توسط یک کوپل نیروی فشاری و کششی که در دو انتهای دیوار وارد می شوند ایجاد می شود.



$$Z = l_W - X$$

$$C = N_u + \frac{M_u}{Z}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T = \dfrac{M_u}{Z} \rightarrow \dfrac{T}{\phi_S f_y} = A_{ST} \\ n = \dfrac{A_{ST}}{A_b} \rightarrow n = ... \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{A_{ST}}{bd} \rangle \%1$$



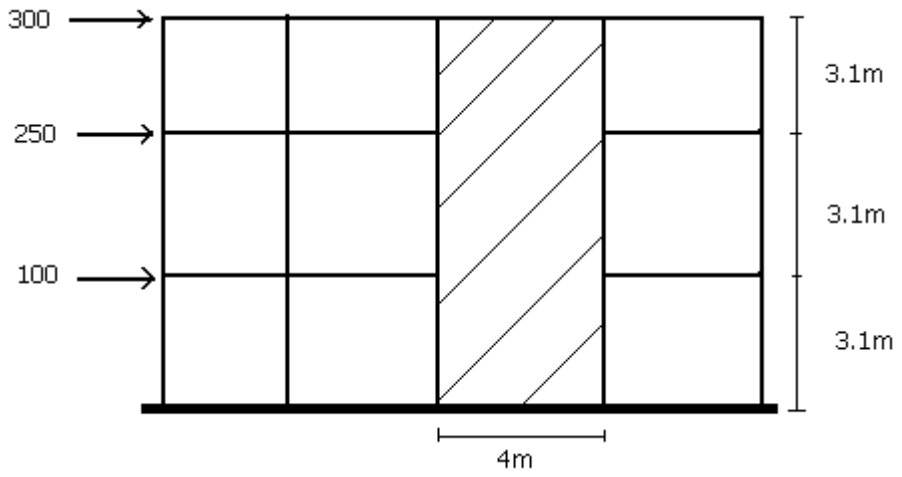
این روش بیشتر برای مواقعی استفاده می شود که در دیوار اجزای لبه قرار گرفته است. در این حالت نیروی فشاری C توسط اجزای لبه فشاری که مانند یک ستون کوتاه عمل می کند تحمل می شود. نیروی کششی T نیز توسط آرماتورهای موجود در اجزای لبه کششی تحمل می شود. این دیوارهای دارای اجزای لبه معمولا عملکرد بسیار مناسبی در هنگام زلزله از خود نشان می دهند. نکته ای که در هنگام طراحی این دیوارها باید مورد توجه دقیق قرار گیرد آرایش خاموتهای دور گیرکننده در اجزای لبه است که مانع خردشدگی ناحیه فشاری بتن می شوند.

۳-۲- روش دقیق رسم نمودار اندرکنش دیوار:

در این روش دیوار مانند یک ستون در نظر گرفته می شود که تحت اثر نیروی محوری N_u و لنگر خمشی M_u قرار گرفته است. پس از رسم نمودار اندر کنش مقطع انتخاب شده برای دیوار می توان لنگر مقاوم مقطع را محاسبه کرد. در این حالت باید به حالات خامی که ممکن است دیوار تحت اثر لنگر دو محوره قرار گیرد توجه کرد. مانند دیوارهای برشی زیرزمین که به صورت همزمان به عنوان حائل خاک نیز عمل می کنند. در این حالت باید نمودار اندرکنش دیوار تحت اثر خمش دو کوره ترسیم گردد. بعلاوه ممکن است دیوار برای خمش در جهت نازکی دیوار به صورت ستون لاغر عمل کند.

مثال۱ : مطلوبست طراحی دیوار برشی ساختمان:

$\phi 10\ ,\ S\,400\ ,\ C\,30\ ,\ p_l = 0\ \ ,\ \ p_d = 300KN$ در دو لایه



گام۱)

$D + 1.2L + 1.2E$

$M_u = 300(9.3-2) + 250(6.2-2) + 100(3.1-2)$

هر طبقه $M_u = 3350KN.m$ $\qquad P_u = P_D 300KN$

مقطع بحرانی $\min\left(\frac{l_w}{2}, \frac{h_w}{2}\right)$

$(2, 4.65) = 2m$

$N_u = 3P_u = 900KN$

$V_u = 650KN$

گام ۲) محاسبه V_c :

$$d = 0.8 l_w = 3.2m$$

$$V_c = 0.2 \varphi_c \sqrt{f'_c} hd = 525KN$$

$V_U \rangle V_C$

گام ۳) محاسبه آرماتور برشی:

$V_s = V_u - V_c = 170KN$

$$\rho_h = \frac{V_s}{\varphi_s f_y 250d} = 0.000625 \geq 0.0025$$

$$\Rightarrow \rho_h = 0.0025$$

$$\rho_v = 0.0025 + 0.5\left(2.5 - \frac{h_w}{l_w}\right)\left(\rho_h - 0.0025\right) = 0.0025$$

چون آرماتورها را در ۲ ردیف گذاشتیم

↑

$$S_2 = S_1 = \frac{A_v}{h \times \rho_v} = \frac{2\phi 12}{250 \times 0.0025} = 362mm$$

$$S_{\max} = \min \begin{cases} \frac{l_w}{3} = 1333 \\ 3h = 750 \quad \Rightarrow \phi 12 @ 35cm \\ 350 = 350 \end{cases}$$

گام ۴)

$$\delta = \frac{M_u}{s} + \frac{N_u}{A} = \frac{3350 \times 10^6}{667 \times 10^6} + \frac{900 \times 10^3}{10^6} = 5 + 0.9 = 5.9$$

$$S = \frac{250 \times 4000^2}{6} = 667 \times 10^6$$

$s.q \leq 0.2 f'_c = 6 \quad \rightarrow$ استفاده از اجزای لبه الزامی نیست

$A = 250 \times 4000 = 10^6$

گام ۵)

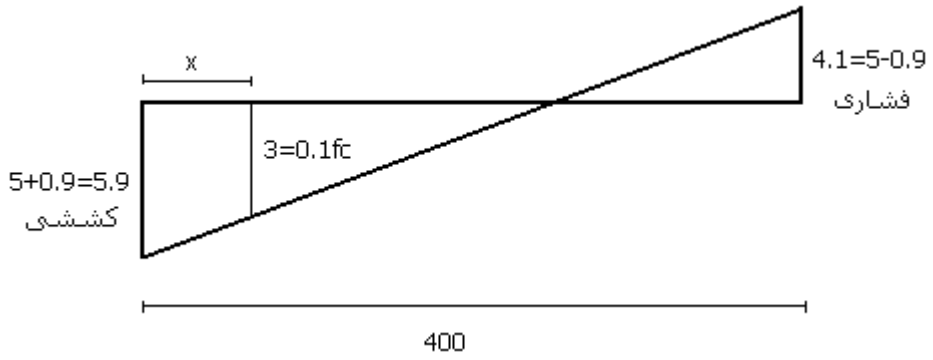
$$\alpha = \frac{N_u}{h l_w \varphi_c f'_c} = 0.05$$

$$A_{st} = 24*113 = 2712 \quad \omega = \frac{A_{st}}{l_w h} \times \frac{\varphi_s f_y}{\varphi_c f'_c} = 0.051 \quad \Rightarrow$$

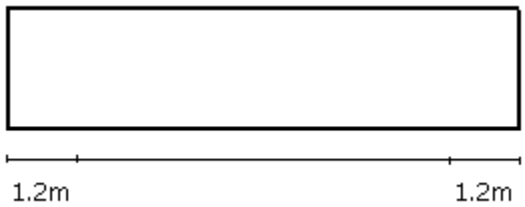
$$\frac{C}{l_w} = \frac{\omega + \alpha}{2\omega + 0.85\beta_1} = 0.122$$

$$M_r = \frac{1}{2} A_{st} + \varphi_s f_y l_w \left(1 + \frac{N_u}{A_{st} \varphi_s f_y}\right)$$

ادامه گام ۵ با فرض استفاده از اجزای لبه الزامی است:



$$\delta_{(x)} = \frac{10}{400} \times X - 5.9 = -3 \Rightarrow X = 116cm \cong 1.2m$$



$$mm^2 \quad A_{st} = \frac{T}{\varphi_s f_y} = 3517 \qquad Z = 4 - 1.2 = 2.8m$$

$$n = \frac{A_{st}}{1\phi 20} = 11.2 \cong 12 \Rightarrow 12\phi 20 \qquad C = \frac{M_u}{Z} + N_u = 2096$$

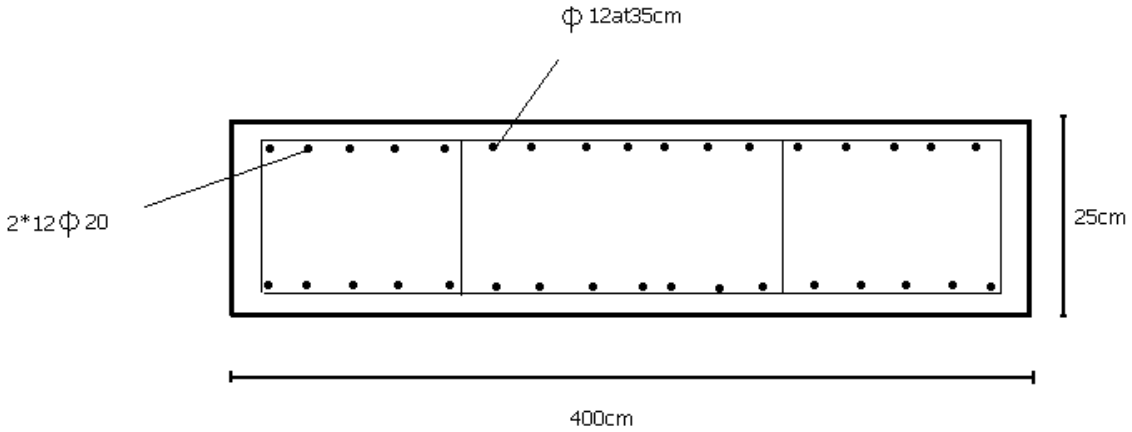
$$\%1 \langle \rho = \frac{12\phi 20}{1200 \times 250} = 0.013 \langle \%3 \qquad T = \frac{M_u}{Z} = 1196$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{اگر } \rho\rangle\%3 \leftarrow \text{دمبل} \\ \text{اگر } \rho\langle\%1 \leftarrow \rho=\%1 \end{array}\right\}$$

$$A_{ST}\phi_S f_y = T$$
$$\left(A_g - A_{ST}\right)\times 0.85\phi_C f'_C + A_{ST}\phi_S f_y = C$$

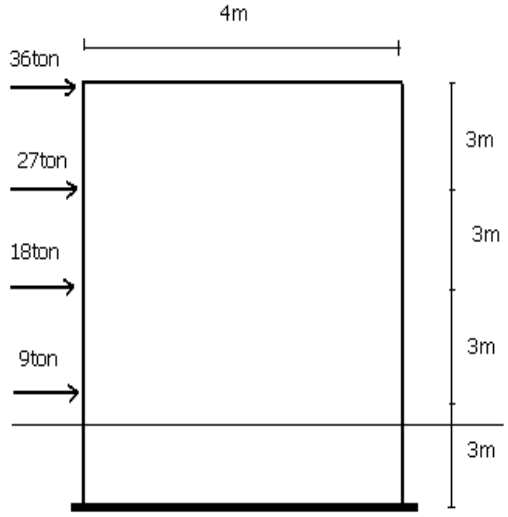
$$C = 2096 \geq 5813KN$$

معمولاً طراحی اجزای لبه بر مبنای نیروی کششی T انجام می شود سپس امکان تحمل نیروی فشاری C توسط جزء لبه بررسی می گردد در صورتی که جواب نداد آرماتور اضافه می کنیم (تقویت)



مثال۲ : مطلوبست طراحی دیوار برشی زیر :

$$(h = 0.25m, f_c = 25Mpa, f_y = 400Mpa)$$



ابتدا در مقطع بحرانی، برش و خمش را محاسبه می کنیم، مقطع بحرانی فاصلهٔ $\frac{l_w}{2}, \frac{h_w}{2}$ از پایه قرار دارد:

$$\frac{h_w}{2} = 6m$$

$$\frac{l_w}{2} = 2m$$

$$V_u = 9 + 18 + 27 + 36 = 90Ton = 900KN$$

$$KN.m \; M_u = 9\times 1 + 18\times 4 + 27\times 7 + 36\times 10 = 630T.m = 6300$$

* طراحی برای برش:

$$V_c = \min \begin{cases} 1.65\times 0.2\varphi_c \sqrt{f'_c}\, h.d + \dfrac{N_u d}{5 l_w} \\ = 1.65\times 0.2\times 0/6\sqrt{25}\times 250\times 0/8\times 4000 + \dfrac{2000\times 0/8\times 4\times 10^3}{5\times 4} = 1112KN \\ \left[0.6\times \varphi_c \sqrt{f'_c} + \dfrac{0.12\varphi_c \sqrt{f'_c} + 0.15\dfrac{N_u}{l_w k}}{\left(\dfrac{M_u}{V_u l_w} - \dfrac{1}{2}\right) \rangle 0} \right] \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_c = 1112KN$$

$$\frac{V_c}{2} = 556 \le V_u = 900KN \langle V_c = 1112$$

$$\Rightarrow \rho_h = \rho_h = 0/0025$$

افقی $A_{st(H)} = 0.0025\times 12000\times 250 = 7300mm^2$

قائم $A_{st(V)} = 0.0025\times 4000\times 250 = 2500mm^2$

$$S_{\max} = \min \begin{cases} \dfrac{l_w}{3} = \dfrac{4000}{3} = 1333 \\ 3h = 3\times 250 \\ 350mm \end{cases}$$

آرماتور افقی در دو لایه $mm\ 33\times 2T\ 12@330$

آرماتور قائم در دو لایه $mm\ 11\times 2T\ 12@330$

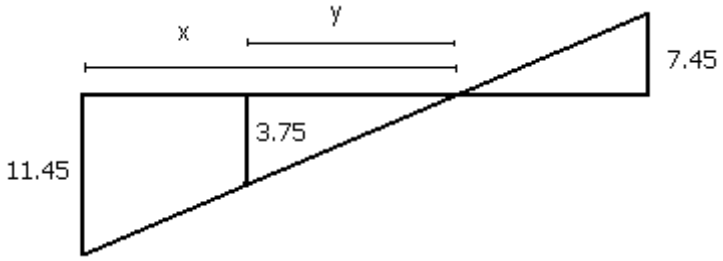
❋ کنترل جزء لبه:

$$\delta=\frac{P}{A}\pm\frac{M_c}{I}=\frac{2000}{4\times 0/25}\pm\frac{6300\times 2\times 12}{0/25\times 4^3}=11.45Mpa$$

$$0.2f'_c=0.2\times 25=5Mpa$$

پس جزء لبه می خواهیم، جزء لبه که تنش فشاری بتن از $0.15f'_c$ بیشتر می شود، شروع می گردد.

$$Mpa\ 0.15f'_c=3.75$$



$$\frac{X}{11.45}=\frac{4-X}{7.45}\Rightarrow X\ =2.433m$$

$$\frac{y}{2.423}=\frac{3.75}{11.450}\Rightarrow y\ =0.7936m$$

$\Rightarrow$ طول جزء لبه $=1.62m\cong 1.7m$

$m\ Z\ =4-1.7=2.3$

فشاری $$C=N_u+\frac{M_u}{Z}=2000+\frac{6300}{2.3}=4740KN$$

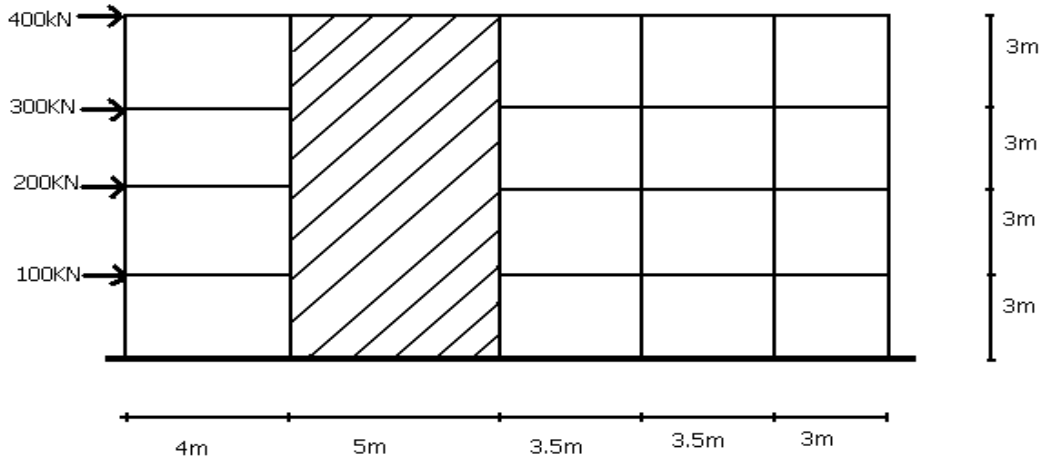
کششی $$T\ =\frac{M_u}{Z}=\frac{6300}{2.3}=2740KN$$

طراحی جزء لبه برای کشش:

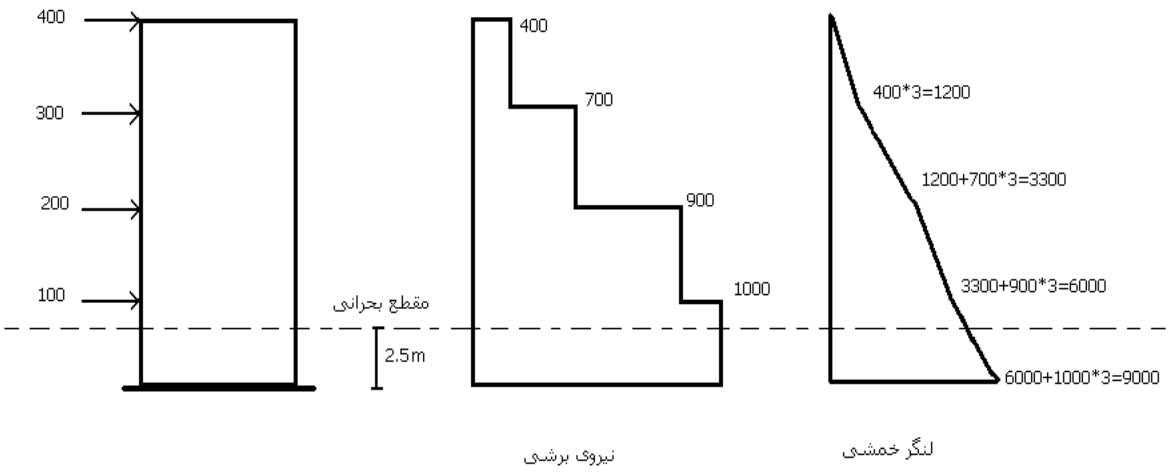
$$mm \rightarrow 2\times 13\phi 20@140\ mm^2\ A_s = 3060 \qquad A_s\varphi_s f_y = 2740\times 10^3 = T \Rightarrow$$

مثال3:

نمای جانبی یک قاب ساختمانی در شکل نشان داده شده است.پایداری قاب در برابر بارهای جانبی توسط یک دیوار برشی به ضخامت 25cm تامین می گردد.دیوار نشان داده شده به صورت کامل تحلیل و طراحی گردد.مصالح c30 و s300بوده شرایط محیطی متوسط و آرماتور $\Phi 8$ می باشد.نیروی محوری دیوار برشی در هر طبقه $P_L = 100KN$, $P_D = 200KN$ می باشد



گام ۱) تحلیل دیوار و تعیین برش و خمش در مقطع بحرانی:با فرض آن که کل بارهای جانبی وارد بر سازه توسط دیوار برشی تحمل گردد دیاگرام لنگر خمشی و نیروی برشی دیوار ترسیم می گردد سپس مقادیر نیروها در مقطع بحرانی تعیین می شود.



مقطع بحرانی به فاصله ی $\min\left\{\frac{l_w}{2}, \frac{h_w}{2}\right\}$ از پای دیوار قرار دارد مقادیر برش و خمش در مقطع بحرانی محاسبه میگردد:

$$\min\left\{\frac{l_w}{2},\frac{h_w}{2}\right\}=\min\left\{\frac{5}{2},\frac{12}{2}\right\}=2.5m$$

$$V_e=1000KN\ ,Ne=0$$

$$M_e=6000+1000(3-2.5)=6500KN.M$$

مقادیر داده شده ناشی از نیروی زلزله می باشند بنابر این با اندیس e نشان داده شده اند. به دلیل نیروی زلزله در دیوار برشی خمش و برش ایجاد می شوداما نیروی محوری وجود ندارد. نیروی محوری در این دیوارها به واسطه ی بارهای ثقلی ایجاد می گردد.

$$N_D=4P_D=800KN\ ,\qquad V_D=0\qquad M_D=0$$

$$N_L=4P_L=400KN\ ,\qquad V_L=0\qquad M_L=0$$

بنابر این بارهای نهایی ضریب دار در مقطع بحرانی قابل محاسبه اند ترکیبات بارگذاری زیر بررسی می گردد:

1) $1.25D+1.5L$

2) $D+1.2L+1.2E$

3) $0.85D+1.2E$

ترکیب بار(۱) در دیوار برشی بحرانی نیست بنابر این دو حالت بعدی بررسی می گردد:

$$N_{w2}=800+1.2\times400=1280KN$$

$$V_{w2}=1.2\times1000=1200KN$$

$$M_{w2}=1.2\times6500=7800KN.M$$

ترکیب بار (۳و۲):

$$N_{w3}=0.85\times800=680KN$$

$$V_{w3}=1.2\times1000=1200KN$$

$$M_{w3}=1.2\times6500=7800KN.M$$

گام ۲) محاسبه ی V_C :

به دلیل متغیر بودن مقدار بارها در ترکیبات بارگذاری مختلف در صورت استفاده از روش دقیق برای محاسبه ی V_C مقدار آن برای هر ترکیب بار به صورت مجزا محاسبه می گردد:

$$V_C=\min\left\{\begin{array}{c}1.65\times0.2\phi_c\sqrt{f_c'}hd+\dfrac{N_u d}{5l_w}\\ \left[0.06\phi_c\sqrt{f_c'}+\dfrac{0.12\phi\sqrt{f_c'}+0.15\dfrac{N_u}{l_w h}}{\left(\dfrac{M_u}{V_u l_w}-\dfrac{1}{2}\right)}\right]hd\end{array}\right.$$

ترکیب بار (۲):

$$V_C = \min\begin{cases} 1.65\times 0.2\times 0.6\sqrt{30}250\times 4000+\dfrac{1280\times 10^3\times 4000}{5\times 5000}=1290KN \\ \left[0.06\times\sqrt{30}+\dfrac{0.12\times 0.6\sqrt{30_c}+0.15\dfrac{1280\times 10^3}{5000\times 250}}{\left(\dfrac{7800\times 10^6}{1200\times 5000\times 10^3}-\dfrac{1}{2}\right)}\right]\times 250\times 4000=1014KN \end{cases} \Rightarrow V_{C2}=1014KN$$

ترکیب بار (۳):

$$V_C = \min\begin{cases} 1.65\times 0.2\times 0.6\sqrt{30}\times 250\times 4000+\dfrac{680\times 10^3\times 4000}{5\times 5000}=1194KN \\ \left[0.06\sqrt{30}+\dfrac{0.12\times 0.6\sqrt{30}+0.15\dfrac{680\times 10^3}{5000\times 250}}{\left(\dfrac{7800\times 10^6}{1200\times 5000}-\dfrac{1}{2}\right)}\right]\times 250\times 4000=1014KN \end{cases}$$

$$\Rightarrow V_{C3}=1014KN$$

برای تکمیل بحث محاسبه ی برش مقاوم بر مبنای روش ساده نیز انجام می گردد:

$$V_C=0.2\phi_C\sqrt{f_c'}hd=657KN$$

همانطور که مشاهده می شود مقدار بدست آمده از روش دقیق بیش از مقدار بدست آمده از روش ساده و محافظه کارانه است:

$$V_u=1200KN\ \geq V_c=924KN$$

پس برای کنترل برش به خاموت نیز نیاز است.

گام(۳): محاسبه ی آرماتور برشی:

$$V_S=V_U-V_C=1200-924=276KN$$

$$\rho_n=\frac{v_s}{\rho_s f_y hd}=\frac{276\times 10^3}{0.85\times 300\times 250\times 4000}=0.0011\ngeq 0.0025\Rightarrow \rho_n=0.0025$$

$$\varphi_v = 0.0025 + 0.5(205 - \frac{h_w}{l_w})(\varphi_n - 0.0025) = 0.0025$$

$$S_1 = S_2 = \frac{A_V}{h\varphi_v} = \frac{2\phi 8}{250 \times 0.0025} = 161mm$$

$$S_{\max} = \min \begin{cases} \frac{l_w}{3} = \frac{5000}{3} = 1667mm \\ 3h = 750mm \\ 350mm \end{cases} \Rightarrow S\ \max = 350mm$$

بنابراین انتخاب می شود:

$2\phi 8@16cm$

گام(۴): کنترل استفاده از اجزای لبه:

$$A = 250 \times 5000 = 1.25 \times 10^6 mm^2$$

$$S = \frac{250 \times 5000^2}{6} = 1042 \times 10^6 mm^3$$

ترکیب بار (۱):

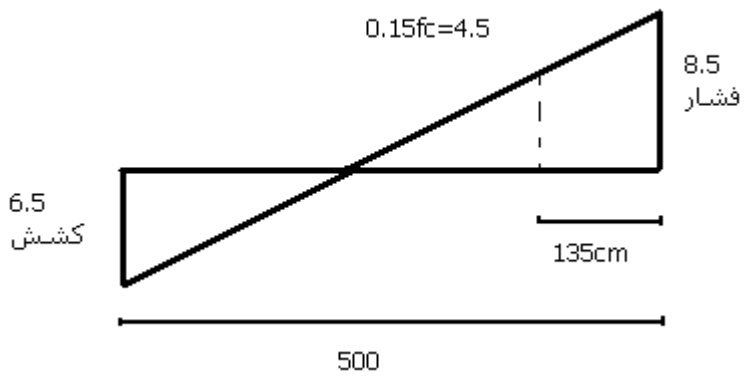
$$\sigma = \frac{M_U}{S} + \frac{N_U}{A} = \frac{7800 \times 10^6}{1042 \times 10^6} + \frac{1280 \times 10^3}{1.25 \times 10^6} = 8.5 \geq 0.2f'$$

ترکیب بار (۲):

$$\sigma = \frac{M_U}{S} + \frac{N_U}{A} = \frac{7800 \times 10^6}{1042 \times 10^6} + \frac{680 \times 10^3}{1.25 \times 10^6} = 8 \geq 6$$

بنابر این استفاده از اجزای لبه الزامی است:

گام (۵): طراحی خمشی با فرض استفاده از اجزای لبه:



$$\sigma(a) = \frac{(8.5 + 6.5)}{500} \times x - 8.5 = -4.5 \Rightarrow x = 133cm \simeq 135cm$$

به دلیل بحرانی بودن ترکیب بار (۲) این ترکیب بار بررسی می گردد:

$$Z = l_w - 1.35 = 5 - 1.35 = 3.65m$$

$$C = \frac{M_U}{Z} + N_U = \frac{7800}{3.65} + 1280 = 3417KN$$

$$T = \frac{M_U}{Z} = 2137KN$$

مقدار آرماتور کششی مورد نیاز بر مبنای نیروی T محاسبه می گردد:

$$A_{st} = \frac{T}{\Phi_s f_y} = \frac{2137}{0.85 \times 300} = 8380mm^2$$

$$n = \frac{A_{st}}{1\phi 25} = \frac{8380}{491} = 17.06 \simeq 18\phi 20$$

درصد آرماتور کنترل می گردد:

$$\%1 \le \varphi = \frac{18\phi 25}{1350 \times 250} = \%2.6 \le \%3$$

سپس جزء لبه ی مورد نظر برای تحلیل نیروی فشاری محاسبه می گردد:

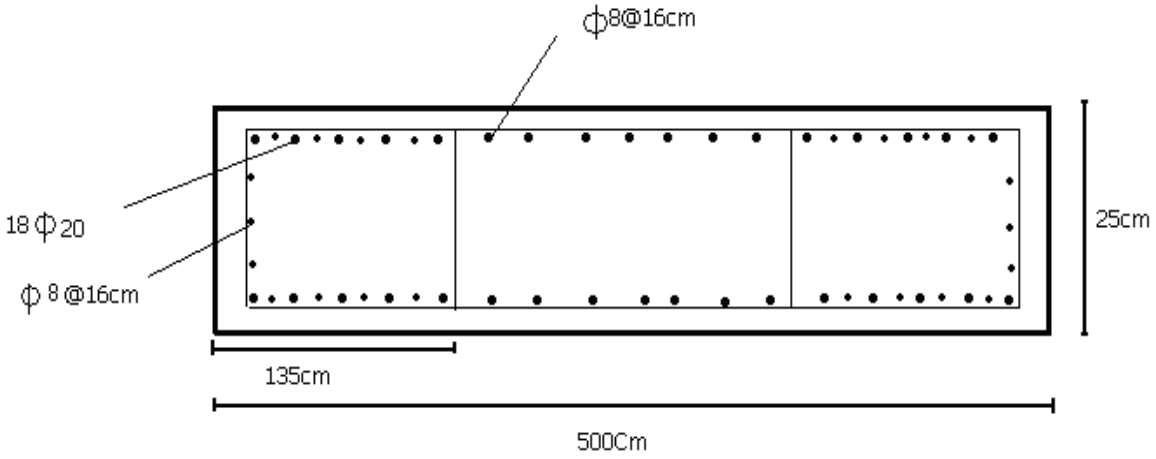
$$p_r = \left(A_g - A_{st}\right)0.85\phi_c f_c' + A_{st}\phi_s f_y$$

$$= \left(1350 \times 250 - 8838\right)0.85 \times 0.6 \times 30 + 8838 \times 0.85 \times 300$$

$$= 5029 + 2254 = 7283KN$$

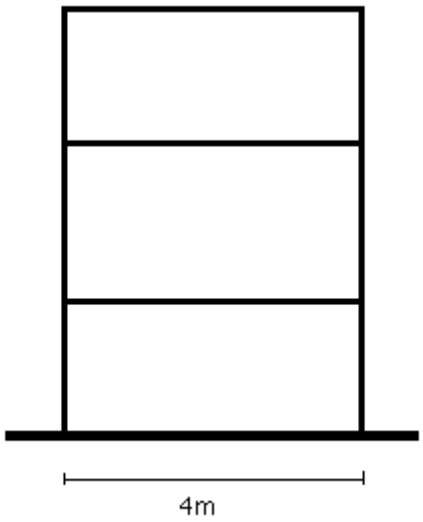
$$\Rightarrow P_r \ge C$$

پس آرماتورهای کششی برای تحمل نیروی فشاری نیز کفایت می کند:



مثال4: مطلوبست طراحی دیوار برشی با مشخصات زیر

$$V_1 = 100 \ , V_2 = 250 \ , \ V_3 = 300$$
$$h_1 = h_2 = h_3 = 3.1m \ , \ L_W = 4m$$
$$P_L = 0 \ , \ P_D = 300KN \ , C_{30} \ , S_{400}$$



گام اول :

$$1) h_w = h_1 + h_2 + h_3 = 3.1 + 3.1 + 3.1 \qquad \Rightarrow h_w = 9.3m$$

$$2) \begin{cases} D + 1.2L + 1.2E \\ N_u = 3 \times 300 \end{cases} \qquad \Rightarrow \begin{cases} P_u = 300KN \\ N_u = 900KN \end{cases}$$

$$3) x = \min\left[\frac{4}{2} \ , \ \frac{9.3}{2}\right] \qquad \Rightarrow x = 2m$$

$$V_U = 100 + 250 + 300 \qquad \Rightarrow V_u = 650KN$$

$$4) M_u = \left[300(9.3-2)\right] + \left[250(6.2-2)\right] + \left[100(3.1-2)\right] \qquad \Rightarrow M_u = 3350KN.M$$

گام دوم :

$$d = 0.8 \times 4 \qquad \Rightarrow d = 3.2m \qquad , \qquad h = 25cm$$

$$V_c = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 250 \times 3200 \qquad \Rightarrow V_c = 526KN$$

گام سوم :

$$V_s = 650 - 526 \qquad \Rightarrow V_s = 124KN$$

$$P_n = \frac{124\times10^3}{0.85\times300\times250\times3200} \qquad \Rightarrow P_n = 0.000607 \prec 0.0025 \Rightarrow P_n = 0.0025$$

$$P_V = 0.0025 + \left[0.5\left(2.5 - \frac{9300}{4000}\right)(0.0025 - 0.0025)\right] \qquad \Rightarrow P_v = 0.0025$$

گام چهارم :

$$S_{\max} = \min\begin{cases} \frac{4000}{3} = 1333.34mm \\ 3\times250 = 750mm \\ 350mm \end{cases} \Rightarrow S_{\max} = 350\,mm$$

$$S_1 = \frac{2\Phi12}{250\times0.0025} \qquad \Rightarrow S_1 = 362mm$$

$$S_2 = \frac{2\Phi12}{250\times0.0025} \qquad \Rightarrow S_2 = 362mm$$

$$A = 250\times4000 = 10\times10^5$$

$$S = 250\times\frac{4000^2}{6} = 667\times10^6$$

$$\sigma = \frac{3350\times10^6}{667\times10^6} + \frac{900\times10^3}{10\times10^5} \le 0.2\times30 \Rightarrow 5.9\langle 6$$

گام پنجم :

$$\alpha = \frac{900\times10^3}{4000\times250\times0.6\times30} \qquad \Rightarrow \alpha = 0.05$$

$$W = \frac{2500}{250\times4000}\times\frac{0.85\times400}{0.6\times30} \qquad \Rightarrow W = 0.047$$

$$A_{ST} = 0.0025\times250\times4000 = 2500$$

$$\frac{C}{L_W} = \frac{0.047 + 0.05}{(2\times0.047) + (0.85\times0.85)}0.047$$

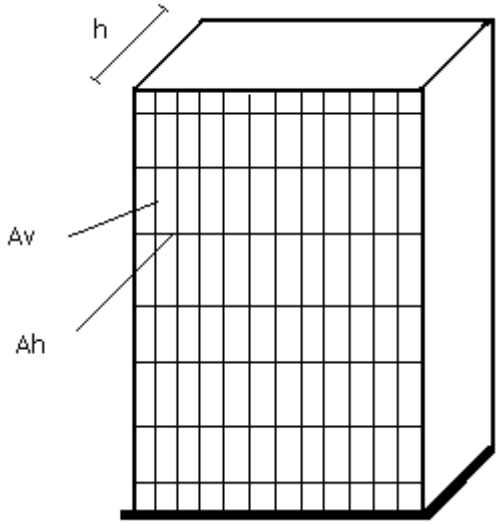
$$M_r = \frac{1}{2}2500\times0.85\times400\times4000\left(1 + \frac{900\times10^3}{2500\times0.85\times400}\right)(1 - 0.119)$$

$$\Rightarrow M_r = 3083.5KN.M$$

۳- الگوریتم طراحی دیوار برشی :

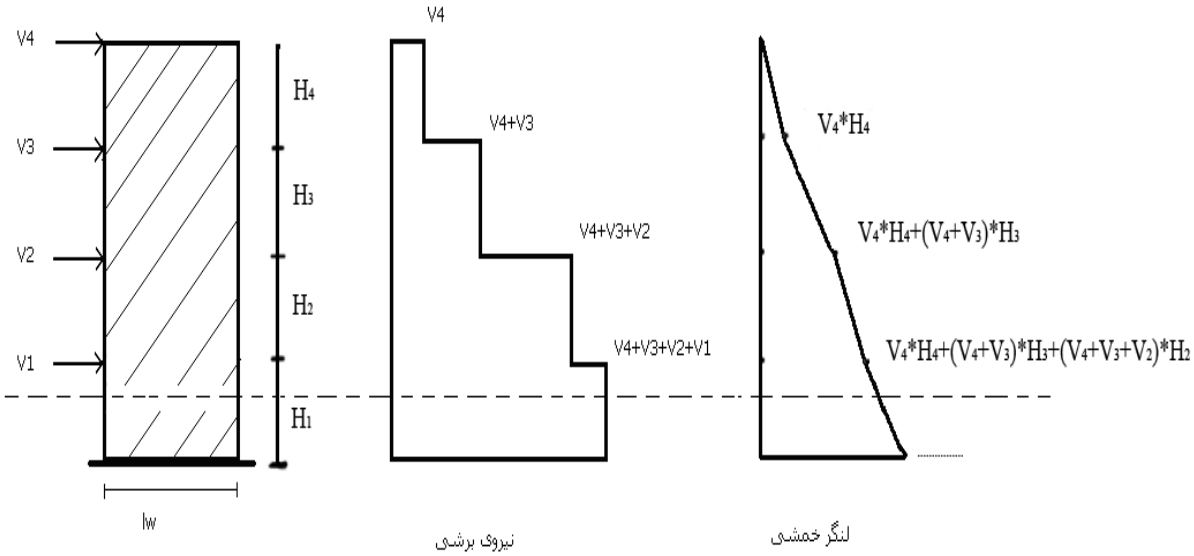
دیوار برشی مانند یک تیره طرهٔ عمیق می باشد که باید برای برش و خمش طراحی گردد. در صورتی که ارتفاع دیوار برشی نسبت به طول آن چندان زیاد نباشد معمولاً برش تعیین کننده است از طرف دیگر دیوار برشی نسبتاً بلند باشد معمولاً خمش نسبت به برش تعیین کننده تر است.

* ضخامت دیوار معمولاً بین ۲۰ تا ۳۰ cm می باشد.



الف)طراحی برشی

گام اول : تحلیل سازه :



۱ – مقطع بحرانی :

$$x = \min\left[\frac{l_w}{2}, \frac{h_w}{2}\right]$$

$$h_w = h_1 + h_2 + h_3$$

$$P_U = D + 1.2L + 1.2E$$

$$N_U = n \times P_U$$

$$V_U = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots$$

$$M_U = V_1(h_w - x) + V_2(h_w - x) + \ldots$$

گام دوم : محاسبه V_c

الف)روش دقیق:

$$V_c = \min\begin{cases} V_c = 1.65\times\left(0.2\times\phi_c\sqrt{f'_c}\right)hd + \dfrac{N_u d}{5l_w} \\ V_c = \left[0.06\phi_c\sqrt{f'_c} + \dfrac{0.12\phi_c\sqrt{f'_c} + 0.15\dfrac{N_u}{l_w h}}{\left(\dfrac{M_u}{V_u l_w} - \dfrac{1}{2}\right)}\right]hd \end{cases}$$

- در رابطه دوم اگر عبارت $\left(\dfrac{M_u}{V_u l_w} - \dfrac{1}{2}\right)$ منفی شد V_c را از رابطه اول محاسبه می کنیم.

ب) روش ساده شده:

$N_u = 0$ فشاری یا N_u اگر $\rightarrow V_c = 0.2\varphi_c\sqrt{f'_c}hd$

کششی N_u اگر $\rightarrow V_c = 0.2\varphi_c\sqrt{f'_c}\left(1 - \dfrac{N_u}{3Ag}\right)hd$

$$d = 0.8l_w$$

$$A_g = l_w \times h$$

h : ضخامت دیوار

Ag : سطح مقطع کل دیوار

حال خواهیم داشت :

1) $if \quad V_U \le \dfrac{V_C}{2} \Rightarrow$

$$P_h \text{ درصد آرماتور افقی} = \begin{cases} if: f_y \ge 400, d_b \le 16 \rightarrow P_h = 0.002 \\ if: \text{سایر میلگردها} C \rightarrow P_h = 0.0025 \\ if: d_b \le 16, \rightarrow P_h = 0.002 \end{cases}$$

$$P_v \text{ درصد آرماتور عمودی} = \begin{cases} if: f_y \ge 400, d_b \le 16 \rightarrow P_v = 0.0012 \\ if: \text{سایر میلگردها} C \rightarrow P_v = 0.0015 \\ if: d_b \le 16, \rightarrow P_v = 0.0012 \end{cases}$$

2) $if \quad \dfrac{V_C}{2} \le V_U \le V_C \quad \Rightarrow (P_h = 0.002, P_V = 0.0025)$

3) *if* $V_U \rangle V_C \Rightarrow$

$$V_s = V_u - V_c$$

$$\rho_h = \frac{V_s}{\varphi_s f_y hd} \geq 0.0025$$

$$\rho_v = 0.0025 + 0.5\left(2.5 - \frac{h_w}{l_w}\right)\left(\rho_h - 0.0025\right) \geq 0.002$$

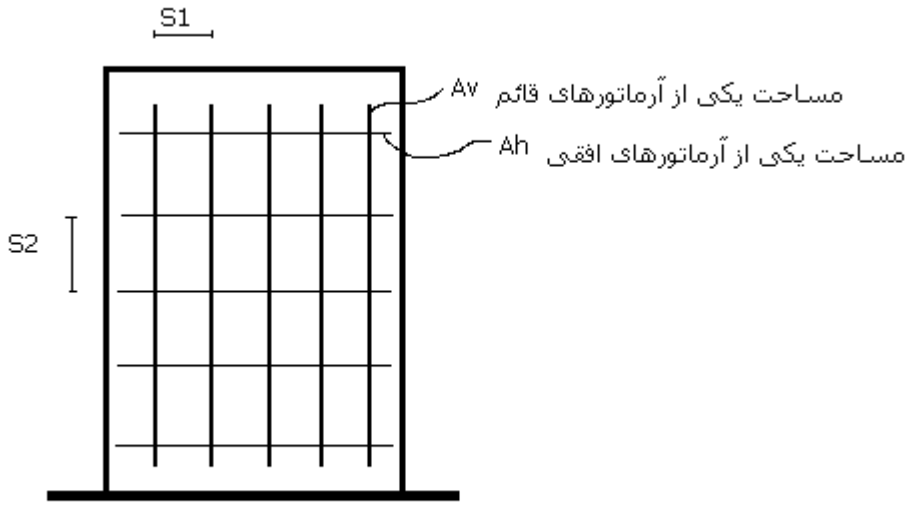
گام سوم :تعیین آرایش آرماتور ها

فاصله ی آرماتورهای قائم :

$$S_1 = \frac{2A_V}{h\rho_V} \leq S_{\max}$$

فاصله ی آرماتورهای افقی :

$$S_2 = \frac{2A_h}{h\rho_h} \leq S_{\max}$$



ب) طراحی خمشی:

گام چهارم : کنترل لزوم استفاده از اجزای لبه

اگر رابطه ی زیرقرار باشد نیازی به اجرای لبه نیست.

$$\sigma = \frac{M_U}{S} + \frac{N_U}{A} \leq 0.2 f_C'$$

$$A = h.l_w$$

$$S = h \times \frac{l_w^{\,2}}{6}$$

در این صورت محاسبه M_r و طراحی خمشی از روابط زیر صورت می گیرد :

$$M_r = \frac{1}{2} A_{ST} \varphi_S f_y l_w \left(1 + \frac{N_U}{A_{ST} . \varphi_S . f_y}\right)\left(1 - \frac{C}{l_w}\right)$$

$$\alpha = \frac{N_U}{l_w . h . \varphi_C . f'_C}$$

$$W = \frac{A_{ST}}{l_w . h} \times \frac{\varphi_S . f_y}{\varphi_C . f'_C}$$

$$A_{ST} = P_V . h . l_w$$

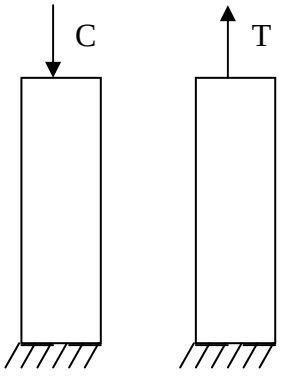
$$\frac{C}{l_w} = \frac{W + \alpha}{2W + 0.85\beta_1}$$

مقدار M_u را که از تحلیل سازه محاسبه شد با مقدار M_r محاسبه شده در بالا مقایسه نموده و در صورتی که $M_r \rangle M_u$ باشد مقطع در برابر خمش جوابگو است در غیر اینصورت مقطع در برابر خمش باید تقویت شود. برای تقویت مقطع تعداد آرماتور قائم اضافه می شود.

۲- اگررابطه زیر برقرار باشد آنگاه استفاده از اجرای لبه الزامی است.

$$\sigma = \frac{N_U}{A} + \frac{M_U}{S} \rangle\ 0.2 f'_C$$

$0.1 f'_c$ در ابتدا محل اجزای لبه مشخص می گردد. اجزای لبه از تقاطعی شروع می شود که تنش فشاری بتن از بیشتر شود سپس پارامتر Z تعیین می شود (فاصله مرکز تا مرکز اجزای لبه) ، در این صورت محاسبه M_r و طراحی خمشی بصورت کوپل نیروی فشاری و کششی از روابط زیر صورت می گیرد :



$$C_1 = \frac{M_U}{Z} + N_U$$

$$T = \frac{M_U}{Z}$$

$$A_{ST} = \frac{T}{\varphi_S . f_y} \Rightarrow n = \frac{A_{ST}}{A_b} \Rightarrow \frac{A_{ST}}{bd} \rangle\ \%1$$

$$C_2 = \left[\left(A_g - A_{ST}\right) 0.85 \varphi_C . f'_C\right] + A_{ST} \varphi_S . f_y$$

$$A_g = bd$$

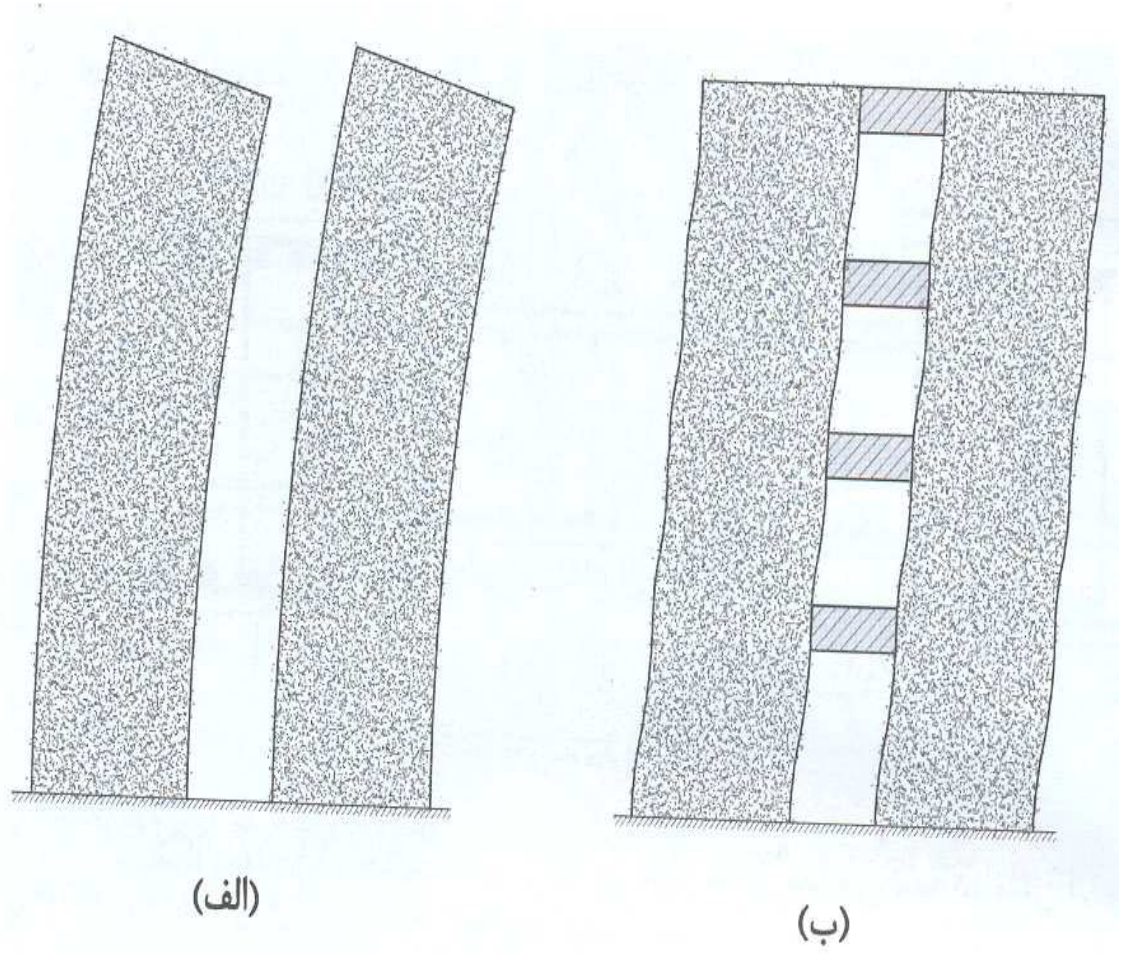
$$C_2 \geq C_1$$

در صورتی که $C_2 \not\geq C_1$ بدین معناست که ضخامت دیوار h باید افزایش یابد که در اینصورت مقطع دیوار بصورت دمبلی شکل خواهد شد

۴- دیوارهای برشی هم بسته و تیرهای هم بند :

دو دیوار برشی مجزا و مجاور را که به دلیل وجود بازشوهای بزرگ از یکدیگر جدا شده اند میتوان به وسیله ی اعضای سازه ای مقاوم در مقابل بارهای محوری و لنگرهای خمشی به یکدیگر متصل نمود.در این حالت دیوارهای برشی متصل شده به یکدیگر به نام "دیوارهای برشی هم بسته" یا " دیوارهای برشی ممزوج " و تیر رابط به نام تیر "هم بند " یا " تیر پیوند " خوانده می شود. سختی ترکیبی دو دیوار برشی هم بسته از جمع سختی آن دو دیوار به صورت مجزا بیشتر است.دیوارهای برشی هم بسته تغییر شکل جانبی ساختمان و نیز میزان لنگرهای خمشی طراحی در دیوار را کاهش می دهد.

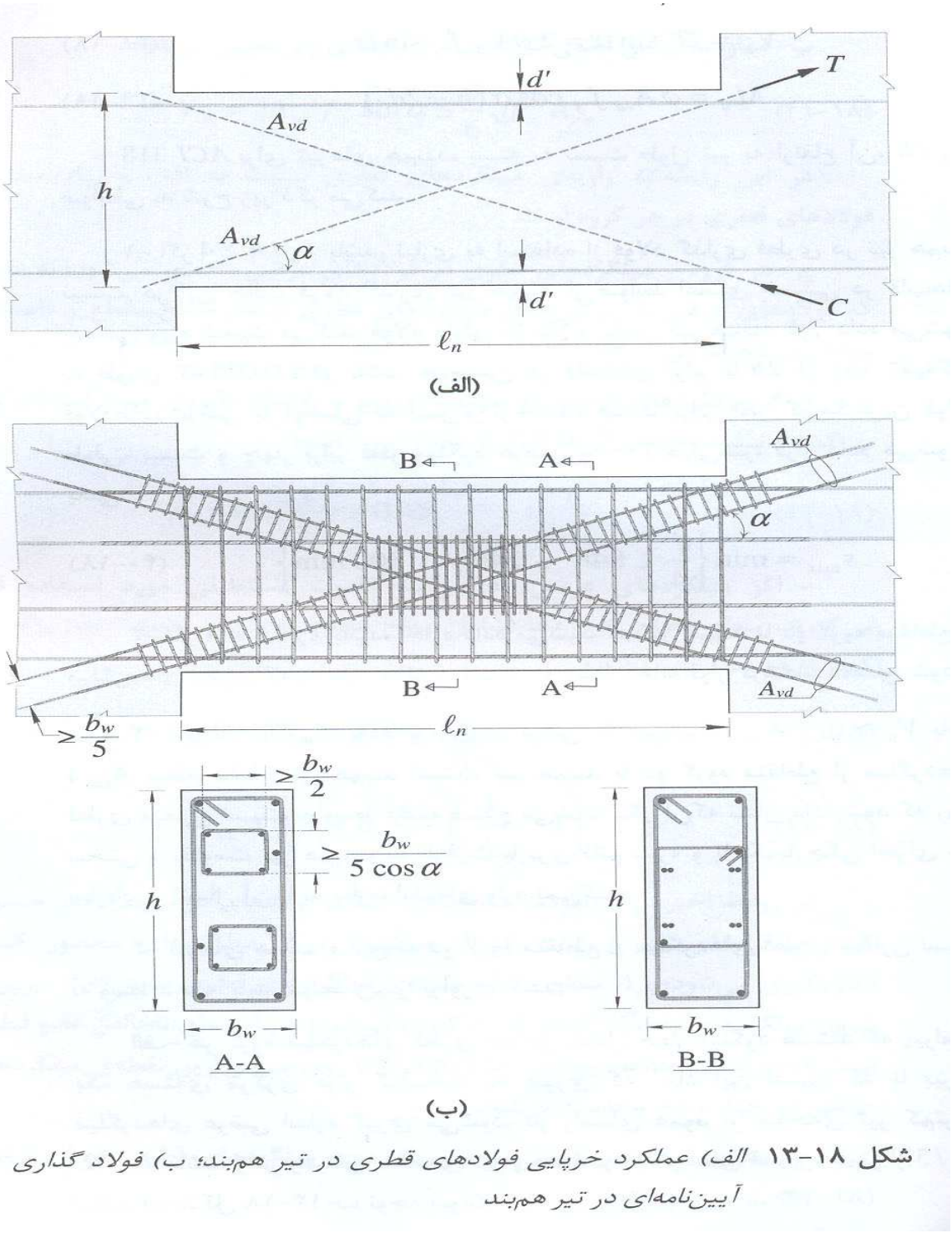
در شکل زیر دو دیوار برشی مجاور به صورت مجزا و به صورت هم بسته نشان داده شده است. در این شکل ملاحظه می شود که تغییر شکل دیوارهای برشی مجزا و دیوارهای برشی هم بسته کاملا" با هم متفاوت است. در حقیقت دو دیوار برشی مجاور و مجزا تغییر شکل خمشی از خود نشان می دهند.در حالی که تیر هم بند با انتقال برش و لنگر خمشی بین دو دیوار رفتار دیوارهای برشی هم بسته را به رفتار قاب خمشی نزدیک کرده و تغییر شکل جانبی را نیز به تغییر شکل برشی نزدیک می کند. سختی تیر رابط (تیر پیوند یا تیر هم بند) تاثیر به سزایی در رفتار دیوار های برشی هم بسته دارد به طوری که اگر سختی آن کم باشد رفتار مجموعه به رفتار دو دیوار برشی مجزا و اگر سختی تیر پیوند کاملا" زیاد باشد رفتار مجموعه به رفتار یک دیوار برشی کامل و پیوسته در محدوده ی آن دو دیوار نزدیک می شود.



از آنجا که تیر هم بند نیروی برشی قابل توجهی را از یک دیوار برشی با عملکرد کنسولی به دیوار برشی دیگر انتقال می دهد تغییر شکل برشی زیادی در آن به وقوع می پیوندد. در نتیجه این تیر در زلزله سریعا" تخریب می شود. تحقیقات نشان داده است که قرار دادن میلگرد های قطری طولی و عرضی در تیر هم بند تاثیر به سزایی در بهبود رفتار این تیر در بارهای تناوبی دارد. این فولاد گذاری همان طور که در شکل زیر قسمت الف نشان داده شده است به صورت خرپا عمل کرده و نیروی کششی T و نیروی فشاری C را منتقل می کند. به طوری که این عملکرد می تواند منجر به انتقال نیروی برشی V و لنگر خمشی M به صورت زیر شود :

$$T = C = \Phi A_{Vd} f_y$$

$$V_u = 2T \sin\alpha = 2\Phi A_{vd} f_y \sin\alpha$$
$$M_u = \Phi A_{vd} f_y \cos\alpha (h - 2d')$$



شکل ۱۸-۱۳ *الف) عملکرد خرپایی فولادهای قطری در تیر هم‌بند؛ ب) فولاد گذاری آیین‌نامه‌ای در تیر هم‌بند*

۵- آیین نامه ی بتن ایران در مورد دیوارهای سازه ای و تیرهای هم بند

۵-۱- ضوابط عمومی و فولاد حداقل:

ضخامت دیوار حداقل $150mm$ اختیار میشود. در دیوارهای سازه ای باید تا حد امکان از ایجاد بازشوهای بزرگ خودداری کرد. و در صورت ضرورت وجود بازشوهای با ابعاد بزرگ موقعیت هندسی آنها را طوری در نظر گرفت که دیوار بتواند به صورت دیوارهای "هم بسته " عمل کند. در غیر این صورت باید به کمک تحلیل دقیق یا آزمایش اثر وجود بازشو را در عملکرد دیوار بررسی نمود.

در طراحی دیوارهای با مقطع U و T عرض موثر بال که در هر قسمت از بر جان اندازه گیری می شود نباید در محاسبات بیش از کمترین مقدار از نصف فاصله ی بین جان دیوار تا جان دیوار مجاور و ده درصد ارتفاع کل دیوار در نظر گرفته شود.

در دیوارهای سازه ای حداقل نسبت فولاد در هر یک از دو امتداد قائم و افقی ۰.۰۰۲۵ منظور می شود.در حالتی که نیروی برشی نهایی موجود در مقطع دیوار کمتر از $0.5A_{cv}\nu_c$ باشد حداقل فولاد مورد نیاز در دیوار بر اساس ضوابطی تعیین می شود. در عبارت فوق $\nu_c = 0.2\Phi_c\sqrt{f_c}$ بوده و A_{Cv} مساحت مقطع بتنی دیوار است که به ضخامت جان و طول مقطعدر امتداد نیروی برشی محدود می شود.

در دیوارهایی که نیروی برشی نهایی آنها از $A_{Cv}\nu_C$ بیشتر شود به کارگیری دو شبکه میلگرد در هر یک از دو جهت متعامد الزام است .نسبت میلگرد های قائم در هیچ ناحیه از طول دیوار نباید از ۴ درصد بیشتر باشد. فاصله ی میلگرد ها در هر دو امتداد قائم و افقی نباید بیش از $350mm$ اختیار شود.

۵-۲- تیرهای هم بند و دیوارهای هم بسته:

جهت ایجاد عملکرد سازه ای واحد برای دو دیوار سازه ای مجاور و مجزا و یا برای اجزای دو طرف بازشو در دیوارهای شامل بازشوهای بزرگاز تیرهای رابط با شکل پذیری زیاد به نام "تیرهای هم بند " استفاده می شود.در این حالت دیوارهایی که به هم متصل می شوند به نام " دیوارهای هم بسته "خوانده می شوند.رعایت ضوابط این قسمت فقط برای دیوارهای سازه ای با شکل پذیری زیاد لازم است. این ضوابط برای تیرهای هم بند که نیروی برشی نهایی در آن ها بیشتر از $2A_{Cv}\nu_C$ بوده و نسبت طول دهانه ی آزاد به ارتفاع آن ها $\frac{l_n}{h}\langle 3.0$ باشد ذکر می گردد. در غیر این صورت فولاد گذاری تیر هم بند مطابق ضوابط متداول قطعات خمشی انجام می گیرد.در هر حال عرض تیر هم بند حداقل باید $200mm$ باشد.

مقاومت برشی در تیر هم بند تماما به وسیله ی میلگردهای قطری و متقارن که به صورت ضربدری و متقارن در سراسر طول تیر ادامه داده می شوند تامین می گردد.این میلگرد های قطری در دیوارهای دو طرف تیر هم بند در طولی برابر ۱.۵ برابر طول گیرایی میلگرد مهار می شوند. سطح مقطع مجموع فولاد های قطری در هر یک از شاخه های ضربدری A_{vd} از رابطه ی زیر تعیین می شود:

$$A_{vd} = \frac{V_u}{2f_y \sin\alpha}$$

در این رابطه V_u نیروی برشی نهایی در مقطع تیر هم بند و α زاویه ی بین میلگردهای قطری و محور طولی تیر است مقاومت خمشی تامین شده توسط میلگردهای قطری را می توان در محاسبه ی ظرفیت خمشی تیر هم بند منظور نمود.

فولاد قطری در تیر هم بند باید به وسیله ی میلگرد های عرضی به صورت مارپیچ یا خاموت با قطر حداقل ۸ میلی متر محصور شوند . فاصله ی حداکثر این میلگردهای عرضی به صورت زیر تعیین می شود: در این رابطه Φ_L قطر کوچکترین میلگرد قطری در تیر هم بند و Φ_T قطر تنگ یا مارپیچ به کار رفته در تیر هم بند است

$$S_{\max} = \{8\Phi_L, 24\Phi_T, 125mm\}$$

❋دیوار برشی در ETABS❋

انتخاب مکان مناسب جهت قرارگیری دیوارهای برشی:

1-قرارگیری دیوار برشی در دهانه‌های بلند نسبت به دهانه‌های کوتاه ارجح است.

2-قرارگیری دیوار برشی در دهانه‌های متوالی ارجح است.

3-طرز انتخاب محل‌های دیوار برشی بهتر است به گونه‌ای باشد که سازه منظم باشد و بین مرکز جرم و سختی فاصله نیافتد.

4-بهتر است تعداد دهانه‌های دیوار برشی از طبقات بالا به پایین به تدریج اضافه شود.

5-بهتر است دیوارهای برشی بین ستون‌ها قرار گیرند هر چند منعی برای این موضوع وجود ندارد.

تقریب و برآورد اولیه طول مورد نیاز برای دیوار برشی:

تقریب و برآورد اولیه طول لازم برای دیوار در سیستم‌های دوگانه باعث می‌شود که قاب‌های ساختمان برای 25% و دیوارهای برشی برای 75% باربری جانبی طرح شوند. بطوریکه محاسبه کردن اولیه طول لازم برای دیوار برشی، طراح را به سوی یک طرح بهینه هدایت خواهد کرد. طول مورد نیاز برای دیوار برشی در هر جهت با استفاده از رابطه تقریبی زیر بدست می‌آید:

$$L_w \geq \frac{1.05\,V}{(0.318\sqrt{f'c}+0.002\,\alpha\,fy)tw}$$

در رابطه بالا: V برش پایه در هر راستای **X** و **Y** ساختمان، **fy** تنش تسلیم آرماتورهای افقی دیوار، **f´c** مقاومت فشاری مشخصه بتن، **tw** ضخامت دیوار است که معمولاً برابر 25 سانتی‌متر قرار می‌دهیم و **α** نسبت آرماتور افقی پیش بینی شده در تراز پایین دیوار نسبت به آرماتور حداقل آیین نامه می‌باشند. مقدار آرماتور افقی دیوار برشی در یک ساختمان متعارف در طبقه پایین، چیزی در حدود 2 تا 3 برابر مقدار حداقل آیین نامه‌ای(آرماتور حداقل آیین‌نامه برابر 0.0025) می‌باشد.

مقدار طولی که از رابطه بالا برای دیوار بدست می‌آید، می‌بایست مقدار آن به سمت بالا گرد شود و در هر جهت X و Y بطور جداگانه تامین شود. به‌طور مثال اگر مقدار lw برابر 6.3 متر بدست آمد، بایستی مقدار 7 متر دیوار برشی در هر امتداد X و Y جانمایی شود. چنانچه به دلیل ضوابط معماری نتوانستید این مقدار از دیوار برشی را در یک یا هر دو جهت تامین نمایید؛ نگران نباشید که ساختمان شما قادر به تحمل برش حاصل از بار جانبی نیست، بلکه سهم دیوار برشی ساختمان شما از برش پایه کمتر شده و سهم قاب‌ها بیشتر می‌گردد و در نتیجه مقاطع قاب‌ها بزرگتر بدست می‌آیند. یعنی سهم قاب‌های ساختمان شما در باربری جانبی بیشتر از % 25 و سهم دیوارها کمتر از % 75 خواهد شد.

تعیین ضخامت دیوار:

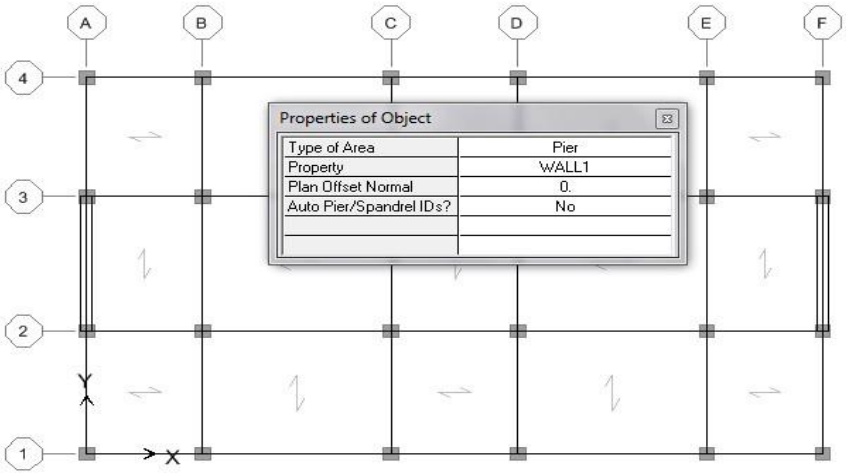
۹-۲۰-۴-۳-۱-۱- در دیوارهای سازه‌ای محدودیت‌های هندسی زیر باید مورد توجه قرار گیرند:

الف ـ ضخامت دیوار نباید کمتر از ۱۵۰ میلیمتر اختیار شود.

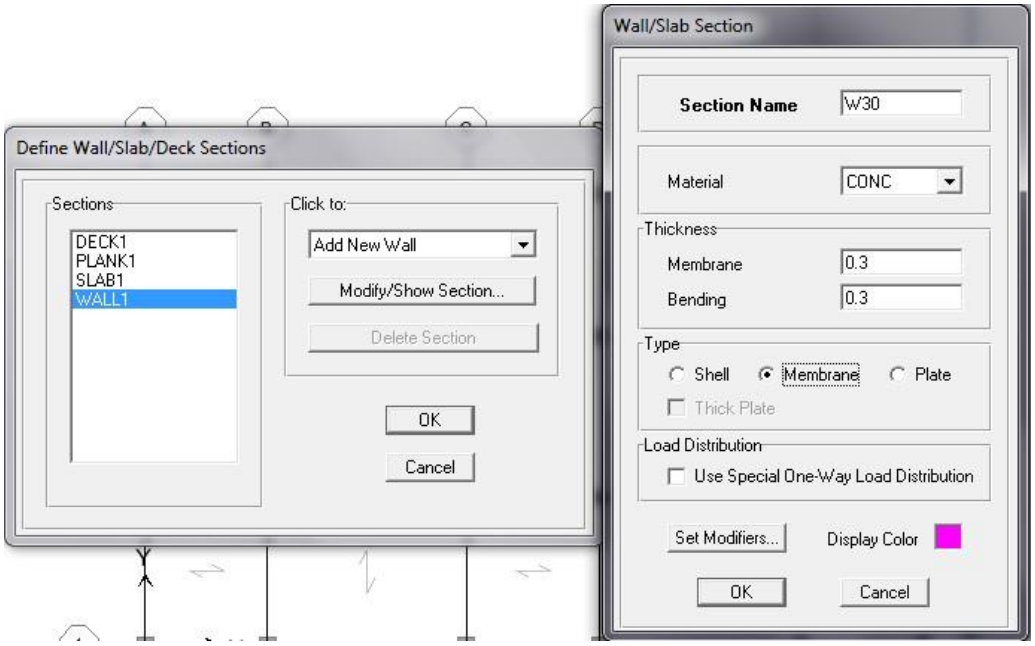
ب ـ در دیوارهایی که در آنها اجزای مرزی مطابق بند ۹-۲۰-٤-۳-۳ به کار گرفته می‌شود، عرض عضوی مرزی نباید کمتر از ۳۰۰ میلیمتر در نظر گرفته شود.

مراحل در ETABS:

1- ترسیم دیوارهای برشی: **Draw > Draw Area Objects > Create Walls in Region or at Clicks (plan)**



2-معرفی مقاطع دیوارهای برشی: **Define > Wall/Slab/Sections**



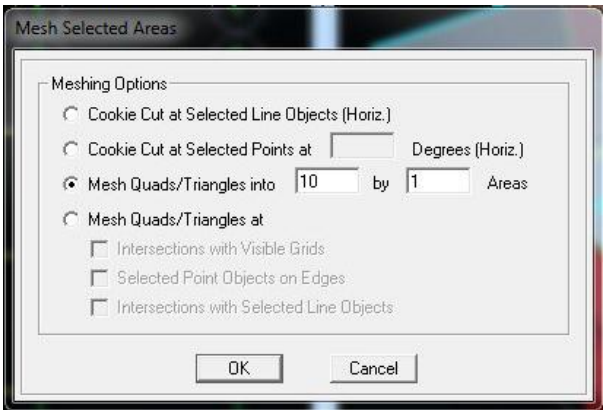
3-اختصاص مقاطع دیوار برشی:

Select > by Area Object Type ⟶ WALL

Assign > Shell/Area > Wall/Slab/Deck Section ⟶ W30

4-مش‌بندی دیوارهای برشی: برای مش‌بندی مراحل زیر را انجام می‌دهیم:

- ✓ ابتدا تمامی دیوارها را انتخاب می‌کنیم. سپس دستور Edit > Mesh Areas را اجرا می‌کنیم.
- ✓ در پنجره باز شده جهت مش‌بندی طولی و ارتفاعی دیوار می‌بایست گزینه سوم، گزینه Mesh Quads/Triangles into را انتخاب کنیم.
- ✓ با انتخاب گزینه سوم دو جعبه مقابل آن فعال می‌شود که جعبه اول تعداد مش‌بندی در جهت طولی می‌باشد که هر چقدر تعداد المان‌ها بیشتر شود دقت محاسبات بیشتر خواهد شد. معمولاً عرض المان‌ها نباید بیشتر از 0.5 متر شود. در جعبه دوم تعداد مش‌بندی در ارتفاع دیوار می‌باشد که در صورت عدم وجود بازشو و انتخاب حالت دیوار از نوع Membrane باید در ارتفاع از عدد 1 استفاده کنیم و سپس بر روی دکمه OK کلیک می‌نمائیم.



نکته: بعد از مش‌بندی دیوارها یک سری نقاط در تراز فونداسیون ایجاد می‌شوند که این نقاط باید همانند بقیه نقاط در این تراز با مراجعه به قسمت Assign > Joint/Point > Restraints (Supports) مقید شوند. تکیه‌گاهی که اینجا تعریف می‌شود به صورت گیردار کامل باید تعریف شود (تعریف این تکیه‌گاه به صورت مفصلی هم معمولاً در نتایج نرم‌افزار باعث تغییر قابل ملاحظه نسبت به حالت قبل نخواهد شد).

5-نام‌گذاری دیوارهای برشی و ستون‌های متصل به آن:

برای طراحی دیوارهای برشی باید آنها را نام‌گذاری کرد (این نام‌گذاری تاثیری در محاسبات ندارد فقط امکان خروجی و طراحی دیوارهای برشی به وجود می‌آید). ستون‌های اطراف دیوار برشی نیز با دیوارها باید نام‌گذاری شوند که می‌بایست برای هر دیوار سطحی و ستون‌های خطی اطراف آن یک نام برای آنها تعریف کنیم. برای این کار مراحل زیر را انجام می‌دهیم:

ابتدا ستون‌های دیوار برشی را انتخاب کرده (اجزای مرزی): Assign > Frame/Line > Pier Labels ⟶ P1

سپس دیوار برشی را انتخاب کرده: Assign > Shell/Area > Pier Labels ⟶ P1

برای سایر دیوارها و ستون‌های متصل به دیوارها همانند روش قبل عمل می‌کنیم فقط در قسمت انتخاب Pier باید یک نامگذاری جدید برای دیوارها و ستون‌ها را ایجاد کنیم.

نکته: تیرهای متصل به دیوار برشی بهتر است که طراحی نشوند. به این خاطر به این تیرها مقطعی اختصاص نمی‌دهیم. برای این منظور ابتدا تمامی تیرهای متصل به دیوار برشی را انتخاب کرده و دستور Assign > Frame/Line > Frame Section را اجرا می‌کنیم و گزینه NONE را انتخاب می‌کنیم و بر روی گزینه OK کلیک می‌نمائیم.

6-بررسی ترک خوردگی یا عدم ترک خوردگی دیوارهای برشی:

برای این مرحله ابتدا می‌بایست سازه را تحلیل کرده باشیم

برای دیوارهای ترک‌خورده جهت آنالیز و طراحی سازه از ضریب 0.35 و برای دیوارهای ترک‌نخورده از ضریب 0.7 استفاده می‌شود. برای بررسی ترک‌خوردگی دیوارها باید در ترکیب بارهای بحرانی (ترکیب بارهایی که در آنها بیشترین تنش کششی در دیوار به وجود می‌آید) مقدار تنشهای کششی ماکزیمم را مشاهده کرده و با تنش کششی ترک خوردگی بتن (که از رابطه 9-14-3 مبحث نهم بر حسب واحد نیوتن بر میلی‌متر مربع به دست می‌آید) مقایسه نمود.

$$fr = 0.6 \times \sqrt{fc} \qquad (\text{رابطه } 9-14-3)$$

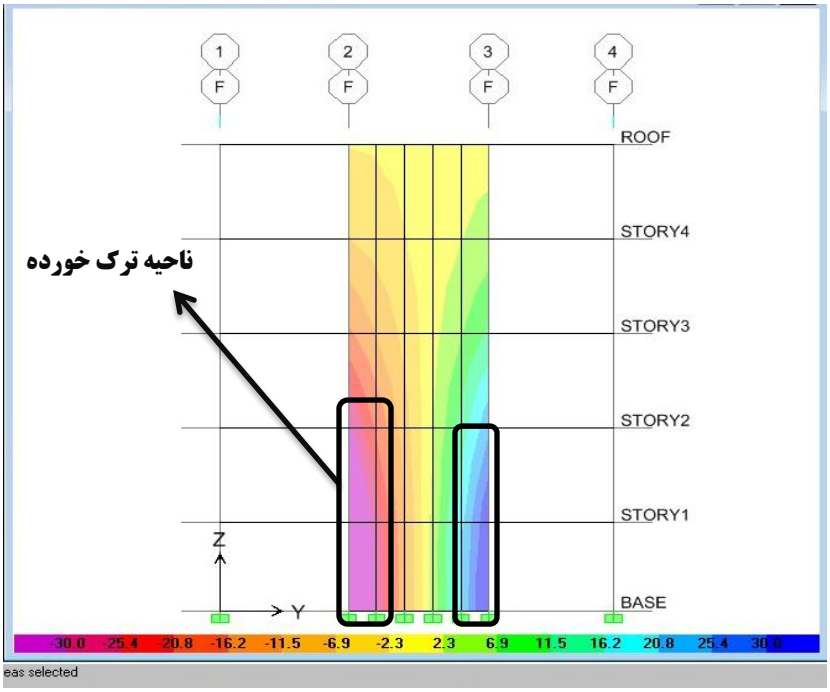
در صورتی که مقدار تنش موجود از تنش ترک‌خوردگی مذکور کمتر باشد دیوار ترک نخورده و در غیر این صورت دیوار ترک خورده است. ترکیب بارهایی که طبق آنها این کنترل انجام می‌شود همان ترکیب بارهای طراحی سازه است. انتخاب ترکیب بار باید به گونه‌ای انجام شود که کمترین بار فشاری در دیوارها ایجاد شود. به همین جهت بهتر است که از ترکیب بارهایی استفاده کنیم که شامل بار زنده نباشند و همچنین ضریب بار مرده آنها حداقل باشد. از بین این ترکیب بارها باید ترکیب باری انتخاب شود که شامل حالت بار زلزله به موازات راستای دیوار مورد نظر باشد. یعنی اگر دیوار در راستای محور X باشد باید ترکیب باری که شامل زلزله جهت X است و یا زلزله جهت X در آن ضریب بزرگتری دارد استفاده شود.

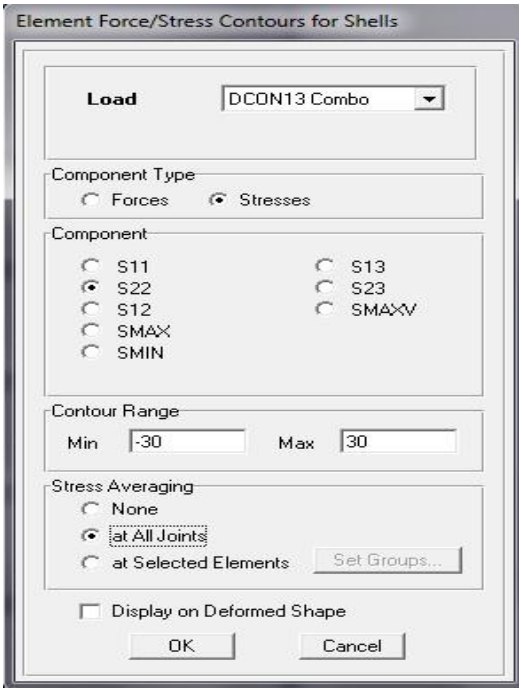
برای مشاهده تنش‌ها در دیوار تحت هر یک از این ترکیب بارها هم باید به منوی:

دستور Display > Show Member Forces/Stress Diagram > Shell Stresses/ Forces اجرا کرده و در پنجره ظاهر شده ترکیب بار مورد نظر را انتخاب کرده و در ناحیه Component Type گزینه Stresses را فعال کرده و گزینه S22 که نشان دهنده تنش قائم دیوار است باید انتخاب گردد. برای اینکه بتوان به راحتی نواحی کششی که دارای تنش بیش از مقدار تنش ترک خوردگی بتن هستند را تشخیص داد، بهتر است که در قسمت Contour Range برای مقادیر Min و Max به ترتیب همان تنش ترک‌خوردگی مثبت و منفی را انتخاب می‌کنیم. در قسمت Stress Averaging هم بهتر است گزینه at All Joints انتخاب شود.

از دستور گفته شده ترکیب بارهای مختلف را انتخاب کرده و تنش‌های موجود را با مقدار تنش مجاز که از رابطه زیر بدست می‌آوریم مقایسه می‌کنیم:

مثال: f_c=25 Mpa or N/mm^2 ==> f_r= 0.6*$\sqrt{25}$ = 3 N/mm^2 = 30 kg/cm^2





همان‌طور که در شکل بالا پیداست دیوار در طبقه اول، دوم و سوم در گوشه خود دچار ترک‌خوردگی شده است که می‌بایست ضریب ترک‌خوردگی را به دیوارها و ستون‌های آنها وارد کنیم.

7-اعمال ضرائب ترک‌خوردگی به دیوارهای برشی و ستون‌های متصل به آن:

بعد از مشخص شدن تکلیف ترک‌خوردگی یا عدم ترک‌خوردگی دیوارها باید قفل برنامه را باز کرده و به مرحله قبل از آنالیز سازه برگردیم و این ضرایب را به دیوارهای برشی و ستون‌های متصل به آنها که جزیی از سیستم دیوار برشی می‌باشند اعمال نماییم. برای اعمال ضرایب ترک‌خوردگی به دیوارها بعد از انتخاب آنها باید به منوی Assign > Shell/Area > Shell Stiffness Modifiers و برای ستون‌های متصل به آنها به منوی Assign > Frame/Line > Frame Property Modifiers مراجعه می‌کنیم.

برای دیوارها: در پنجره جدید باز شده برای اعمال ضرائب ترک‌خوردگی یا عدم ترک‌خوردگی دیوارها در حالت استفاده حالت Membrane مقدار زیر را وارد می‌کنیم:

دیوار ترک خورده = **Membrane f22 Modifier = 0.35**

دیوار ترک نخورده = **Membrane f22 Modifier = 0.7**

برای ستون‌های متصل به دیوار: در این حالت علاوه بر ممان اینرسی باید مساحت نیز در ضریب اصلاح ضرب شود. این به دلیل نقش مهم مساحت ستون در محاسبه ممان اینرسی کل دیوار است. برای ضریب اصلاح ممان اینرسی هم، حول محوری این ضریب را اعمال کنیم که در محاسبه ممان اینرسی دیوار موثر است. پس باید این اصلاح را حول محوری که عمود بر صفحه دیوار است اعمال کنیم. چون قبلاً یک ضریب 0.7 از طریق منوی Define برای ستون‌ها اعمال کرده‌ایم برای ضریب ترک‌خوردگی ممان اینرسی اگر دیوار ترک نخورده باشد دیگر لازم به اعمال ضریب دوم نیست. اما اگر دیوار ترک‌خورده باشد باید یک ضریب 0.5 را اعمال کنیم که تا در ضریب 0.7 قبل ضرب شده و عدد 0.35 که مورد نظر است نتیجه شود. به این ترتیب خواهیم داشت:

ستون متصل به دیوار ترک نخورده :

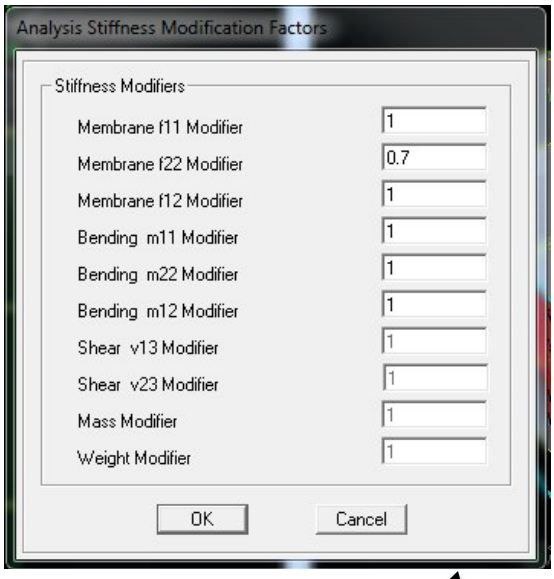
Cross - Section (axial) Area = 0.7

ستون متصل به دیوار ترک خورده :

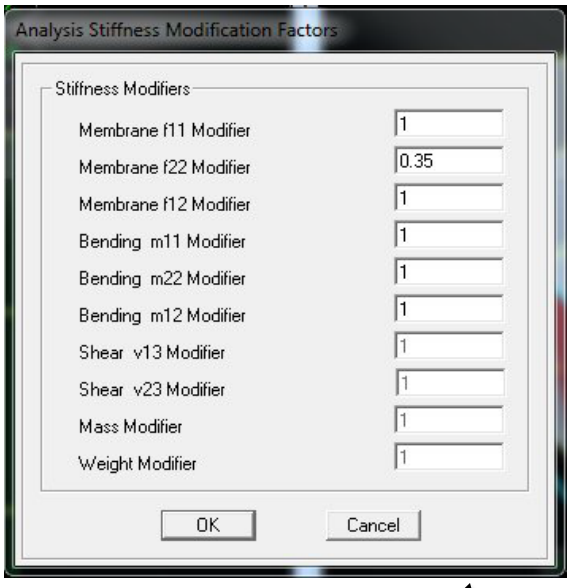
Cross - Section (axial) Area = 0.35

Moment of Inertia about 2 axis = 0.5(اگر محور ۲ ستون عمود بر صفحه دیوار باشد)

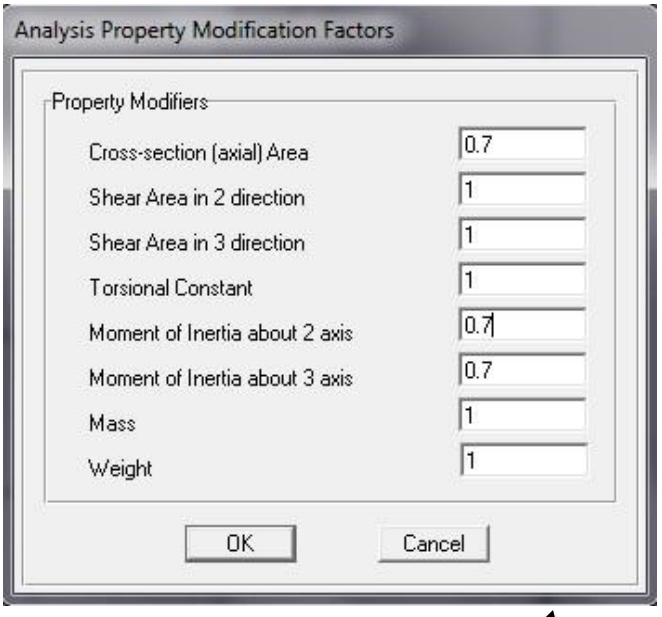
Moment of Inertia about 3 axis = 0.5(اگر محور ۳ ستون عمود بر صفحه دیوار باشد)



مشخصات دیوار ترک‌نخورده

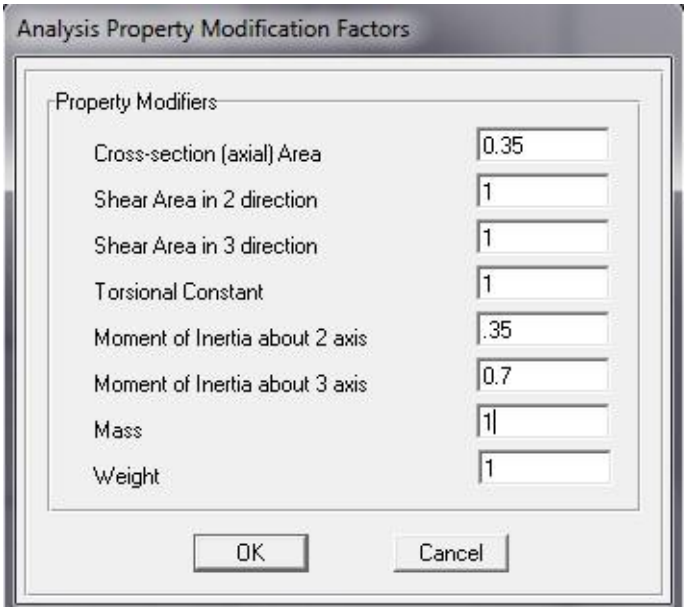


مشخصات دیوار ترک‌خورده



مشخصات ستون متصل به دیوار

برشی ترک‌نخورده



مشخصات ستون متصل به دیوار

برشی ترک‌خورده

8-تنظیمات طراحی دیوار برشی:

دستور Options > Preferences > Shear Wall Design را اجرا کرده و با توجه به نوع آیین‌نامه تنظیمات زیر را انجام می‌دهیم:

1) آیین نامه ACI 318-99 : مطابق بند 9-20-4-3-2-1 مبحث نهم در دیوارهای سازه‌ای نسبت آرماتور در هیچ قسمت نباید از 0.0025 سطح دیوار کمتر باشد. مطابق بند 9-20-4-3-2-2 مبحث نهم هم حداکثر این مقدار 0.04 است. بر این اساس باید در قسمت Edge Design PT-Max و Edge Design PC-Max (به ترتیب معرف حداکثر درصد فولاد کششی و فشاری المانهای مرزی یا به عبارتی میلگردهای انتهایی که در ستون‌های اطراف دیوار قرار می‌گیرند) عدد 0.04 را وارد کنیم و در قسمت Section Design lP-Min (معرف حداقل درصد میلگرد قائم دیوار می‌باشد) عدد 0.0025 را وارد نماییم. در قسمت مربوط به Section Design lP-Max (معرف حداکثر درصد میلگرد قائم دیوار می‌باشد) می‌توان عدد 0.04 را وارد نمود؛ اما جهت جلوگیری از تراکم آرماتور و رعایت محدودیت‌های اجرایی و محل وصله بهتر است همان پیش فرض برنامه یعنی عدد 0.02 را قبول نماییم. در قسمت Rebar Units واحد cm^2 و در قسمت Rebar/Length Units واحد cm^2/m را انتخاب می‌نمائیم.

2-آیین نامه ACI 318-05: تمام تنظیمات آن مشابه آیین نامه ACI 318-99 می‌باشد ولی در قسمت System Cd باید مقدار 0.7R را وارد نمایید.

Design Code	ACI 318-99
Rebar Units	cm^2
Rebar/Length Units	cm^2/m
Phi (Bending-Tension)	0.9
Phi (Compression)	0.7
Phi (Shear)	0.85
Phi (Shear Seismic)	0.6
Pmax Factor	0.8
Number of Curves	24
Number of Points	11
Edge Design PT-Max	0.04
Edge Design PC-Max	0.04
Section Design IP-Max	0.02
Section Design IP-Min	0.0025
Utilization Factor Limit	0.95

Design Code	ACI 318-05/IBC 2003
Rebar Units	cm^2
Rebar/Length Units	cm^2/m
Importance Factor	1.
System Cd	5.6
Phi (Tension Controlled)	0.9
Phi (Compression Controlled)	0.65
Phi (Shear and/or Torsion)	0.75
Phi (Shear Seismic)	0.6
Pmax Factor	0.8
Number of Curves	24
Number of Points	11
Edge Design PT-Max	0.04
Edge Design PC-Max	0.04
Section Design IP-Max	0.02
Section Design IP-Min	0.0025
Utilization Factor Limit	0.95

9- تنظیمات قبل از طراحی دیوارهای برشی:

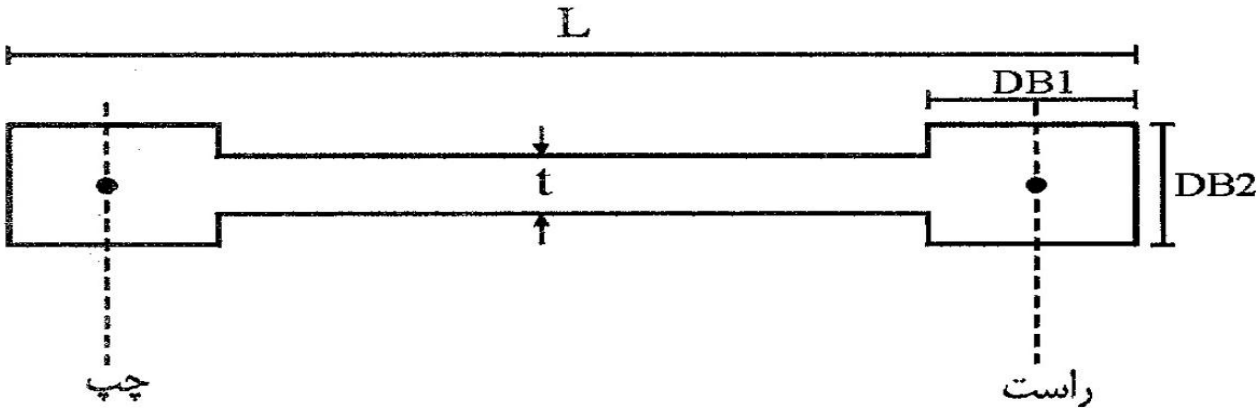
برای طراحی دیوارهای برشی در برنامه سه روش مختلف تعریف شده است که می‌توان به یکی از این سه روش برای طراحی دیوارها استفاده کنیم. این سه روش عبارت‌اند از:

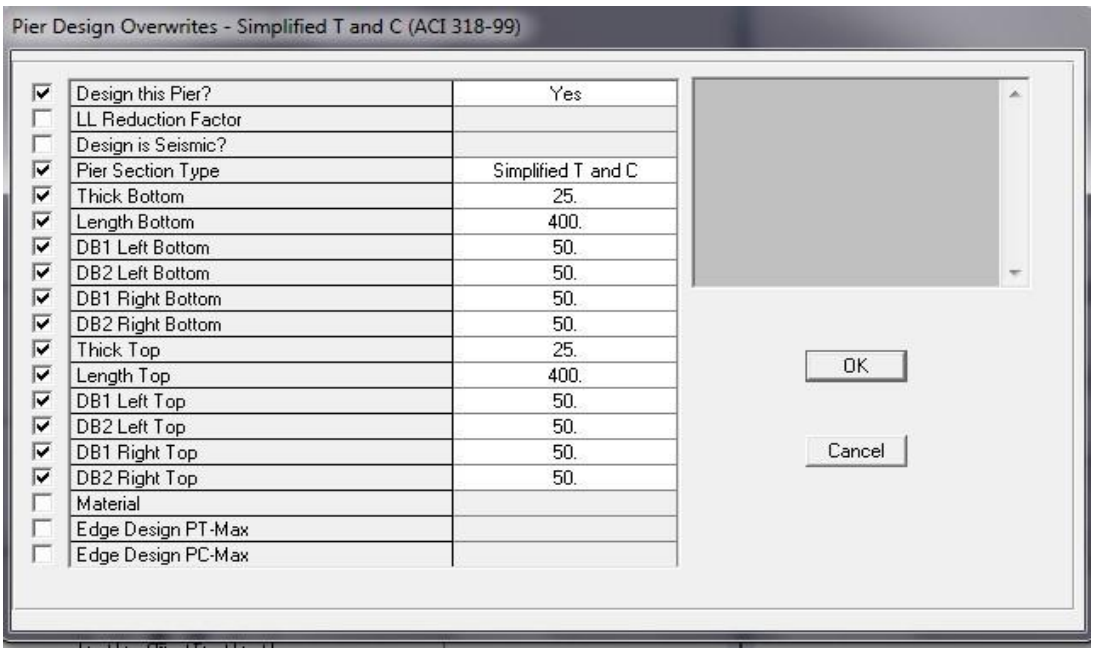
- **Simplified T and C:** روش تبدیل لنگر و نیروی محوری دیوار به دو ستون روی المان‌های لبه‌ای کناری، این روش به روش المان مرزی موسوم است. چناچه از این روش استفاده کنیم برنامه دو As برای المان‌های لبه‌ای ارائه می‌دهد و برای آرماتورهای طولی و عرضی در دیوار می‌توانیم از آرماتور حداقل استفاده کنیم.

- **Uniform Reinforcing**: روش میلگرد گذاری یکنواخت، که در این روش دور تا درو دیوار از یک میلگرد یکنواخت استفاده می‌شود.
- **General Reinforcing**: این روش به روش طراحی عمومی شناخته می‌شود. در این روش، مقطع دیوار به طور کامل در برنامه SD ساخته شده و سپس مقطع ساخته شده به دیوارها اختصاص داده می‌شود. برنامه بر اساس مقطع نسبت داده شده طراحی را انجام می‌دهد. این روش برای هر نوع دیوار با هر نوع شکلی قابل استفاده است.

1-9 روش طراحی ساده (Simplified T and C):

- ✓ دستور Select > by Pier Ids را اجرا کرده و همه نوع دیوارها را انتخاب می‌کنیم.
- ✓ دستور Design > SWD > Assign Pire Section for Checking > simplified c and t Section را اجرا کرده تا برای طراحی دیوارها از روش طراحی المان لبه‌ای استفاده شود.
- ✓ دوباره دستور Select > by Pier Ids را اجرا کرده و همه نوع دیوارها را انتخاب می‌کنیم.
- ✓ دستور Design > Shear Wall Design > View/Revise Overwrites را اجرا کرده و تنظیمات آن را مطابق شکل زیر انجام می‌دهیم:

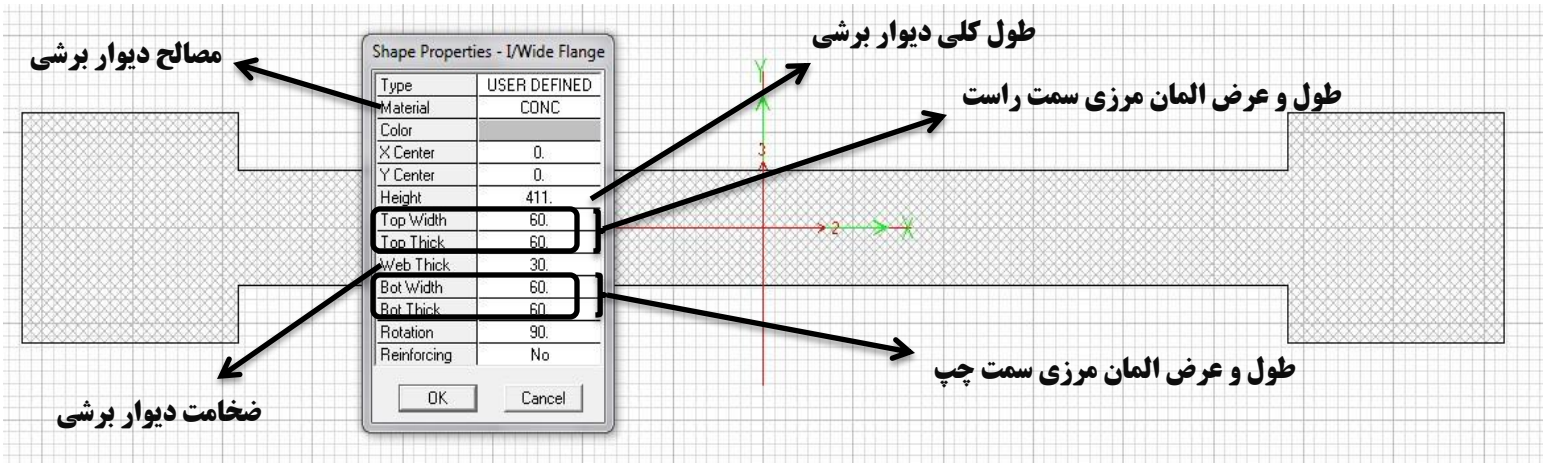




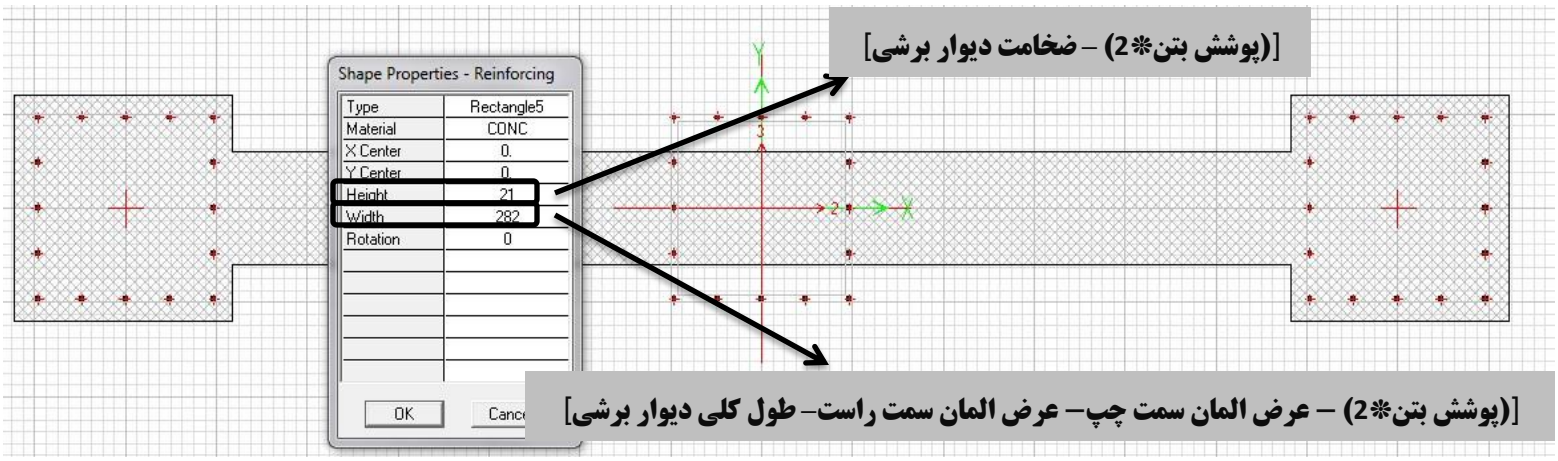
2-9 روش طراحی عمومی (General Reinforcing):

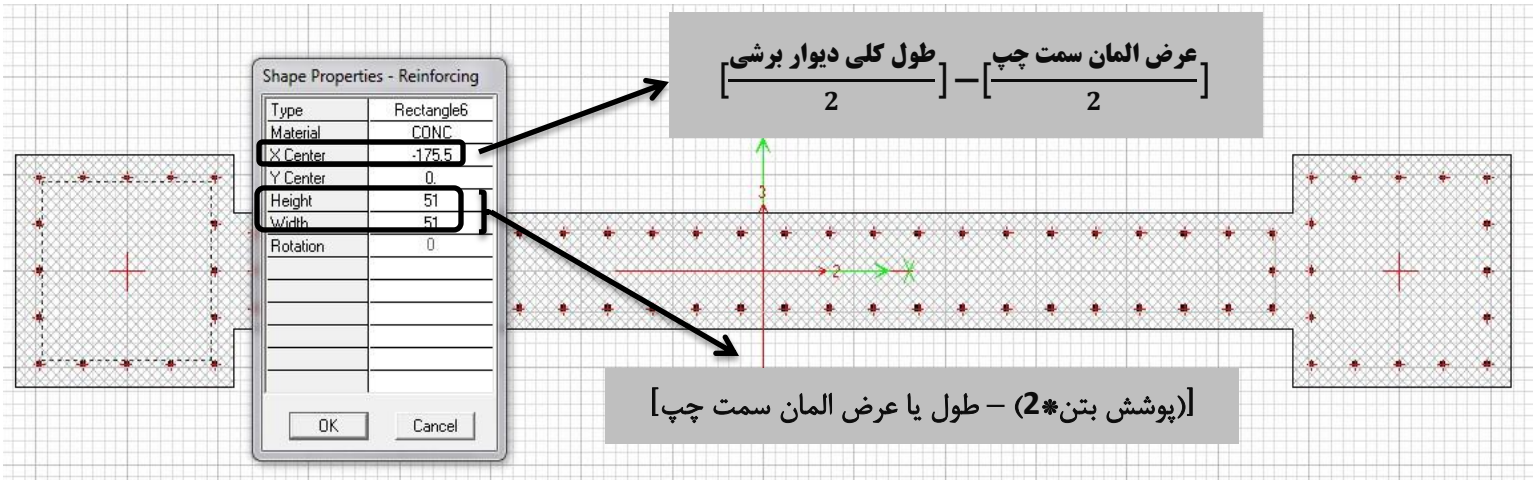
روش استفاده از برنامه SD بسیار دقیق است. در این روش مقطع دیوار در برنامه SD ساخته شده و پس از اختصاص مقاطع به دیوارها، کفایت مقاطع دیوارها بررسی می‌شود. مراحل زیر را انجام می‌دهیم:

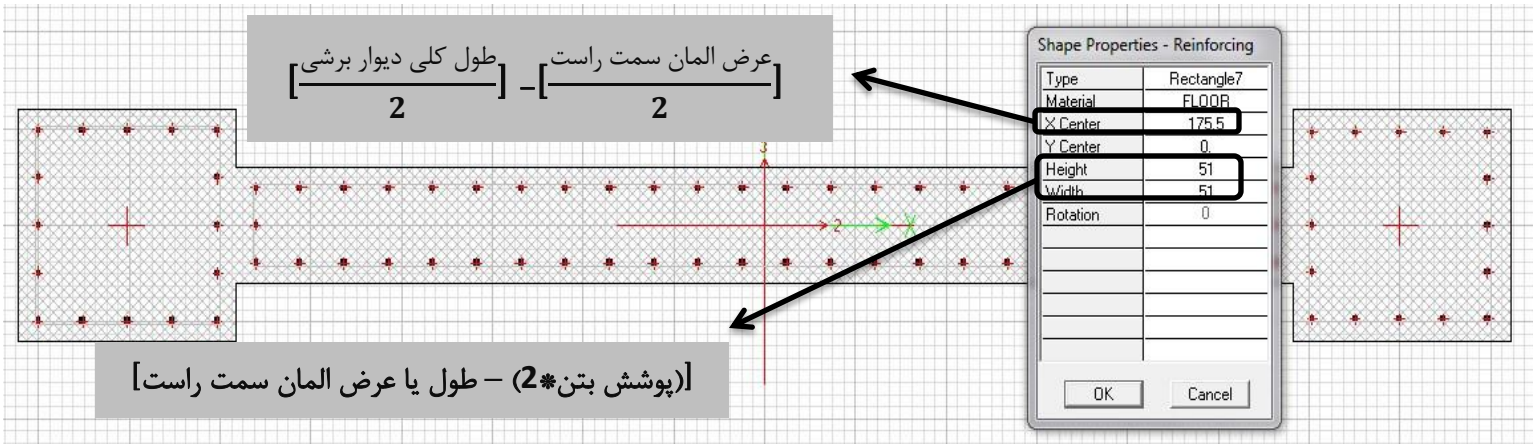
- ✓ دستور Design > Shear Wall Design > Define Pier Sections for Checking را اجرا کرده و در جعبه ظاهر شده روی دکمه Add Pire Section کلیک نمائید.
- ✓ در جعبه ویرایش Section Name نام دیوار مثلاً W1 را وارد کرده و از کشوی Base Material مصالح مورد نظر را انتخاب کرده و دکمه Section Designer را کلیک نمائید.
- ✓ پنجره برنامه Section Designer ظاهر می‌شود. دستور Draw > Draw Structural Shape > I/Wide Flange را اجرا کرده و در مبدا مختصات کلیک نمائید و از حالت ترسیم خارج شوید. سپس روی مقطع I ایجاد شده کلیک راست کنید و مشخصات مقطع را وارد نمائید:



- ✓ دستور Draw > Draw Reinforcing Shape > Rectangular Pattern را اجرا کرده و در سه موقیت (یکی مبدا مختصات، یکی سمت راست و یکی سمت چپ) کلیک نمائید. روی هر یک از میلگردهای ایجاد شده کلیک راست کرده و مشخصات آنها را وارد نمائید:

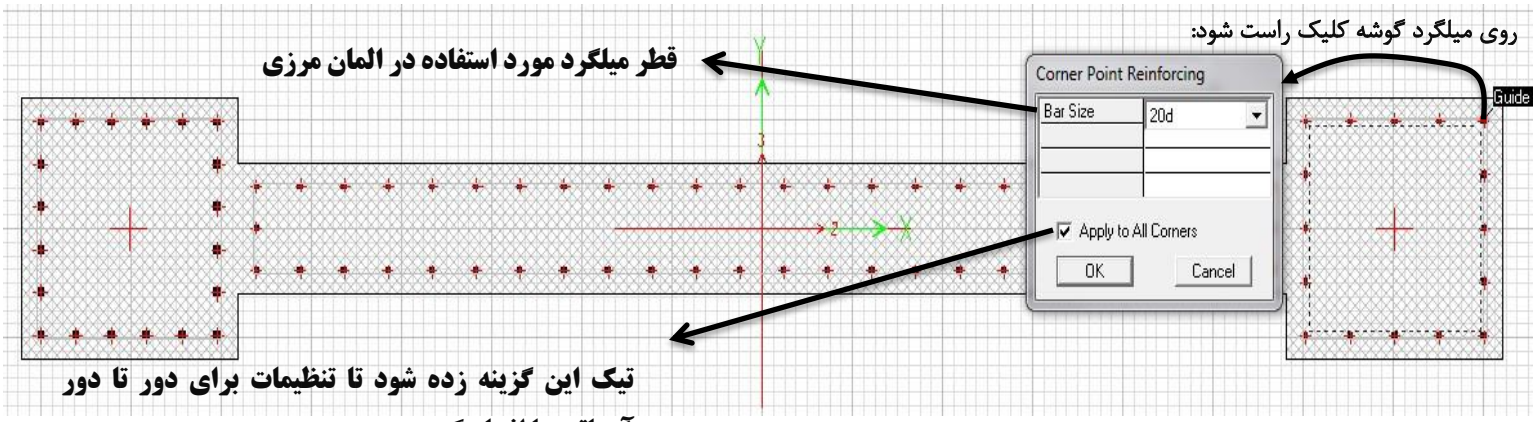


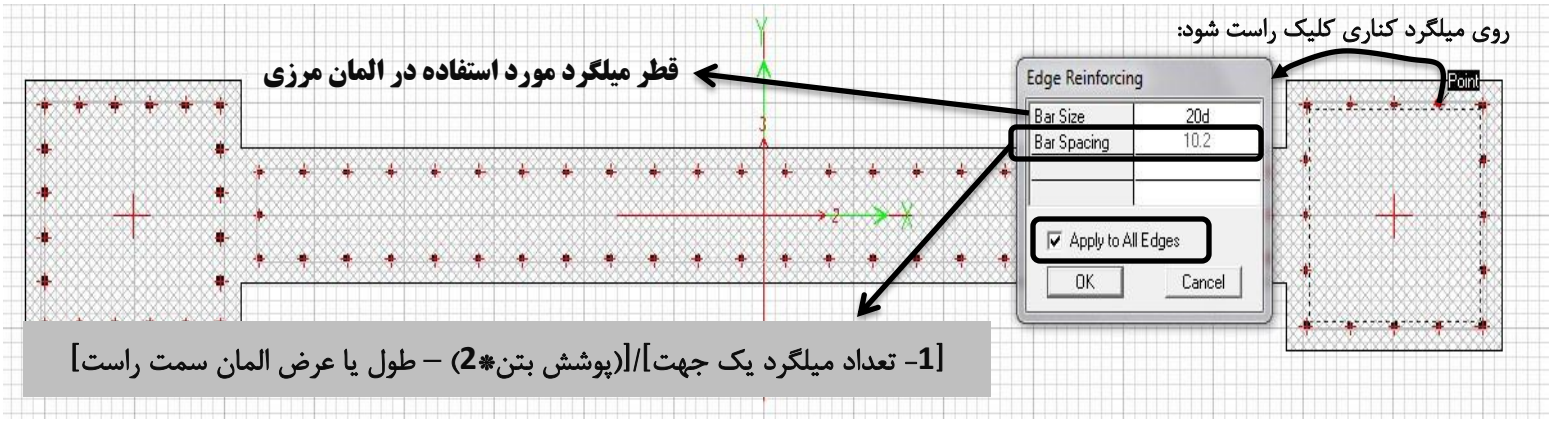


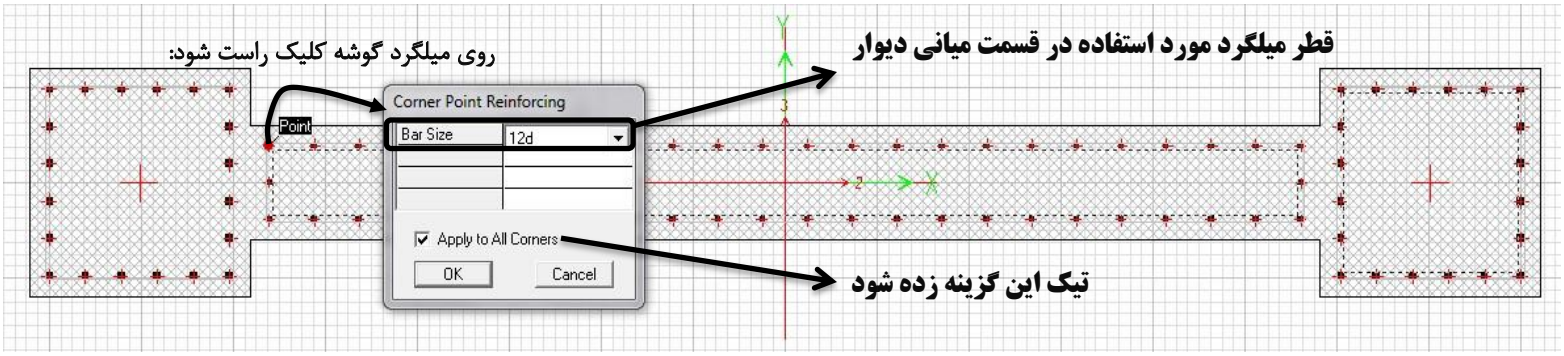


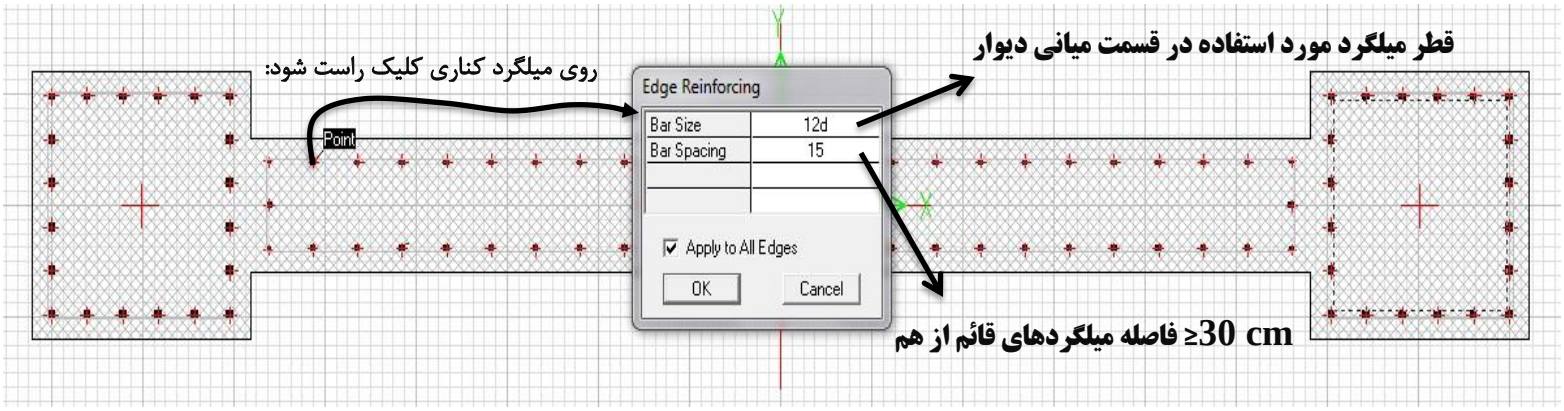
نکته: ⟵ **در برنامه SD، پوشش بتن از روی میلگرد در نظر گرفته می‌شود. بنابراین ابعاد آرایش مستطیلی میلگردها برابر [(پوشش بتن*2) – طول یا عرض المان] خواهند بود. بعد میلگردگذاری اندازه بیرون تا بیرون آرایش میلگردگذاری است.**

- ✓ روی آرایش میلگردهای سمت چپ و راست و وسط مقطع کلیک راست کرده و مشخصات آنها را مطابق شکل‌های زیر وارد می‌کنیم:

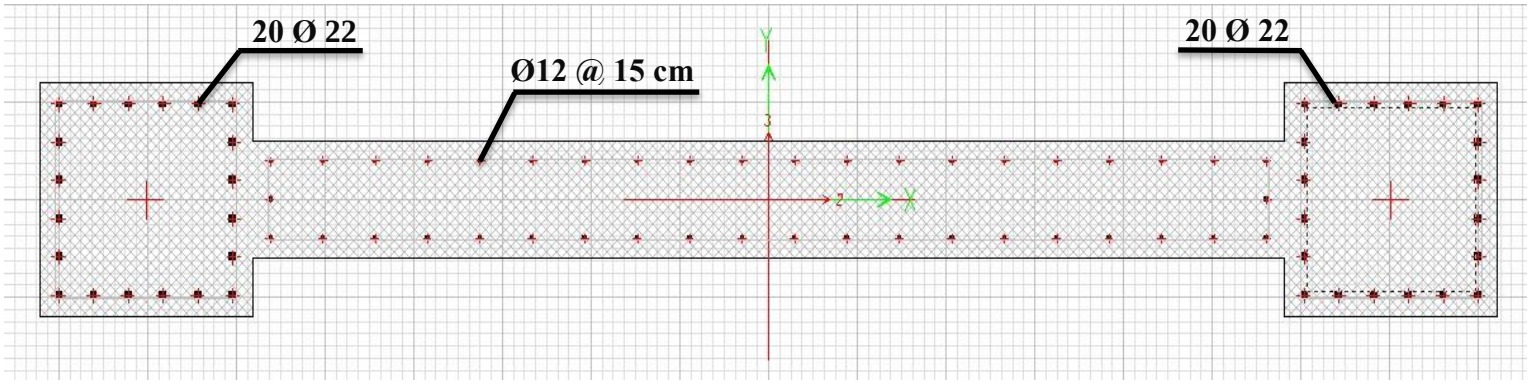








✓ با کلیک روی دکمه Done مقاطع ساخته خواهند شد:

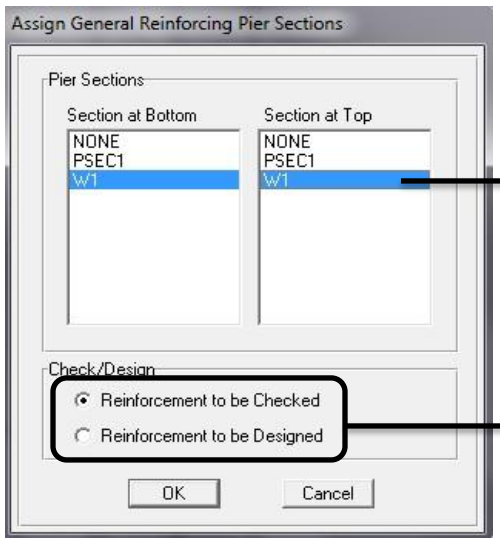


✓ سپس روی دکمه OK کلیک می‌کنیم تا دیوار W1 به برنامه تعریف گردد.

چند نکته در مورد مدل کردن دیوارهای برشی:

- ❖ **دیوارها چه در جهت X باشند و چه در جهت Y در هر صورت باید به صورت افقی همانند روش بالا مدل شوند. دلیل آن این است که باید محور 3 در برنامه SD به دیوار عمود باشد چون‌که محورهای محلی در ETABS ،همیشه محور 3 عمود بر دیوار می‌باشد.**
- ❖ **طول دیوارها را باید برابر آکس به آکس محور مور نظر (که قرار است دیوار در آنجا قرار گیرد) به اضافه یک بعد ستون در نظر گرفت (برای ستون‌های دارای عرض مساوی در دو طرف).**
- ❖ **ستون‌ها را می‌توان در این روش جزء دیوار مدل کرد و آرماتورهای مورد نیاز المان لبه‌ای یا مرزی در این ستون‌ها قرار داد و از نتایج برنامه در مورد ستون‌ها صرف نظر کرد و این نتایج را در آخر برای ستون‌ها در نظر گرفت.**

✓ با استفاده از دستور Select > by Pier Ids دیوار مورد نظر (برای اختصاص مقطع) را انتخاب کرده و سپس با استفاده از دستور Design > SWD > Assign Pier Sections for Checking > General Reinforcing Pier Section مقطع مورد نظر را به دیوار اختصاص می‌دهیم:



مقطع اختصاص داده شده به دیوار

باید گزینه Reinforcement to be Checked انتخاب شود تا برنامه فقط دیوار مدل شده را مورد کنترل قرار دهد نه طراحی.

10-انتخاب ترکیب بار طراحی دیوارهای برشی:

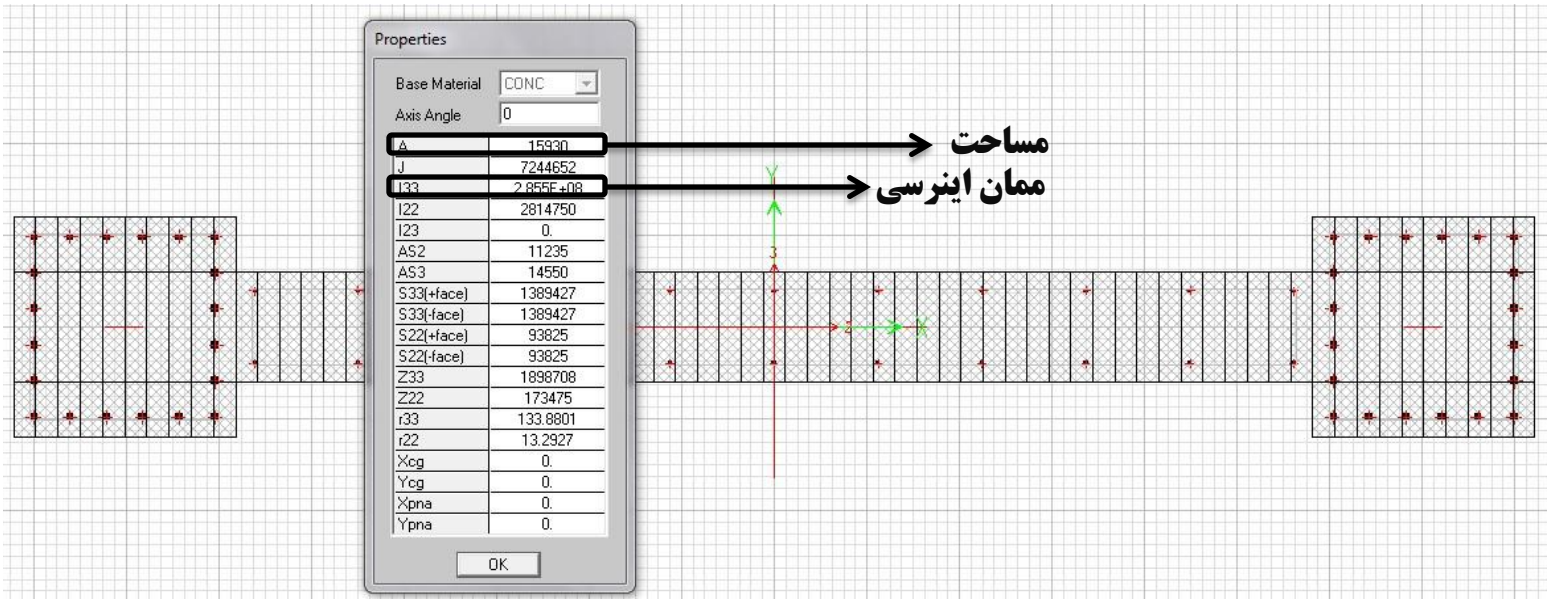
برای انتخاب ترکیب بارهای طراحی دیوارها به قسمت Design > Shear Wall Design > Select Design Combo مراجعت نموده و در قسمت List Of Combos ترکیب بارهای مورد نظر را انتخاب کرده و با زدن بر روی دکمه Add ترکیب بارهای مورد نظر به سمت راست (برای طراحی) منتقل می‌شوند. **(همان ترکیب بارهایی که برای طراحی سازه بتنی به نرم افزار معرفی نموده‌ایم).**

11-محاسبه طول المان لبه‌ای:

۹-۲۰-۴-۳-۳-۱- در کناره‌ها و اطراف بازشوها در دیوارهای سازه‌ای و دیافراگم‌ها که در آنها تنش فشاری بتن در دورترین تا فشاری مقطع تحت اثر بارهای نهایی، به انضمام اثر زلزله، از $0.2f_c$ بیشتر باشد باید اجزای لبه مطابق ضوابط بندهای ۹-۲۰-٤-۳-۳-۲ تا ۹-۲۰-٤-۳-۳-٤ پیش‌بینی می‌شود. مگر آنکه در تمام طول دیوار یا دیافراگم میلگردگذاری عرضی ویژه پیش‌بینی شده باشد. اجزای مرزی را می‌توان در قسمت‌هایی که تنش فشاری بتن در آنها از $0.15f_c$ کمتر باشد قطع کرد. تنش فشاری بتن با فرض توزیع خطی تنش درمقطع دیوار و بر اساس مشخصات مقطع ترک نخورده محاسبه می‌شود.

مطابق با بند آیین نامه در محل‌هایی که تنش فشاری از مقدار $0.2*f_c$ بیشتر شود باید از اجزا لبه‌ای استفاده نمود و در آن ناحیه از میلگردهای عرضی ویژه استفاده نمود. مراحل کار به صورت زیر می‌باشد:

- ✓ محاسبه مساحت و ممان اینرسی مقاطع. برای این کار دستور Design>SWD >Define Pier Sections for Checking را اجرا نموده و مقطع دیوار مورد نظر را انتخاب نموده و گزینه Modify/Show Pire Section را انتخاب می‌نمائیم و در جعبه ظاهر شده گزینه Section Designer کلیک می‌کنیم و سپس دستور Display > Show Section Properties را اجرا نموده و مساحت و ممان اینرسی مقطع نشان داده می‌شوند:



- ✓ می‌توان از ترکیب بار (1.05DL+1.275LL+1.4025E) در صورت استفاده از آیین‌نامه ACI 318-99 برا محاسبه تنش فشاری حداکثر استفاده نمود. دستور Display>Show Tables را اجرا کرده و به قسمت ANALYSIS RESULTS رفته و تیک گزینه Wall Output را زده و در قسمت Select Load Cases/Combos ترکیب باری را که بیشترین تنش فشاری را ایجاد می‌کند (همان ترکیب بار بالا) را انتخاب می‌کنیم و OK می‌نمائیم:

Pier Forces

Edit View

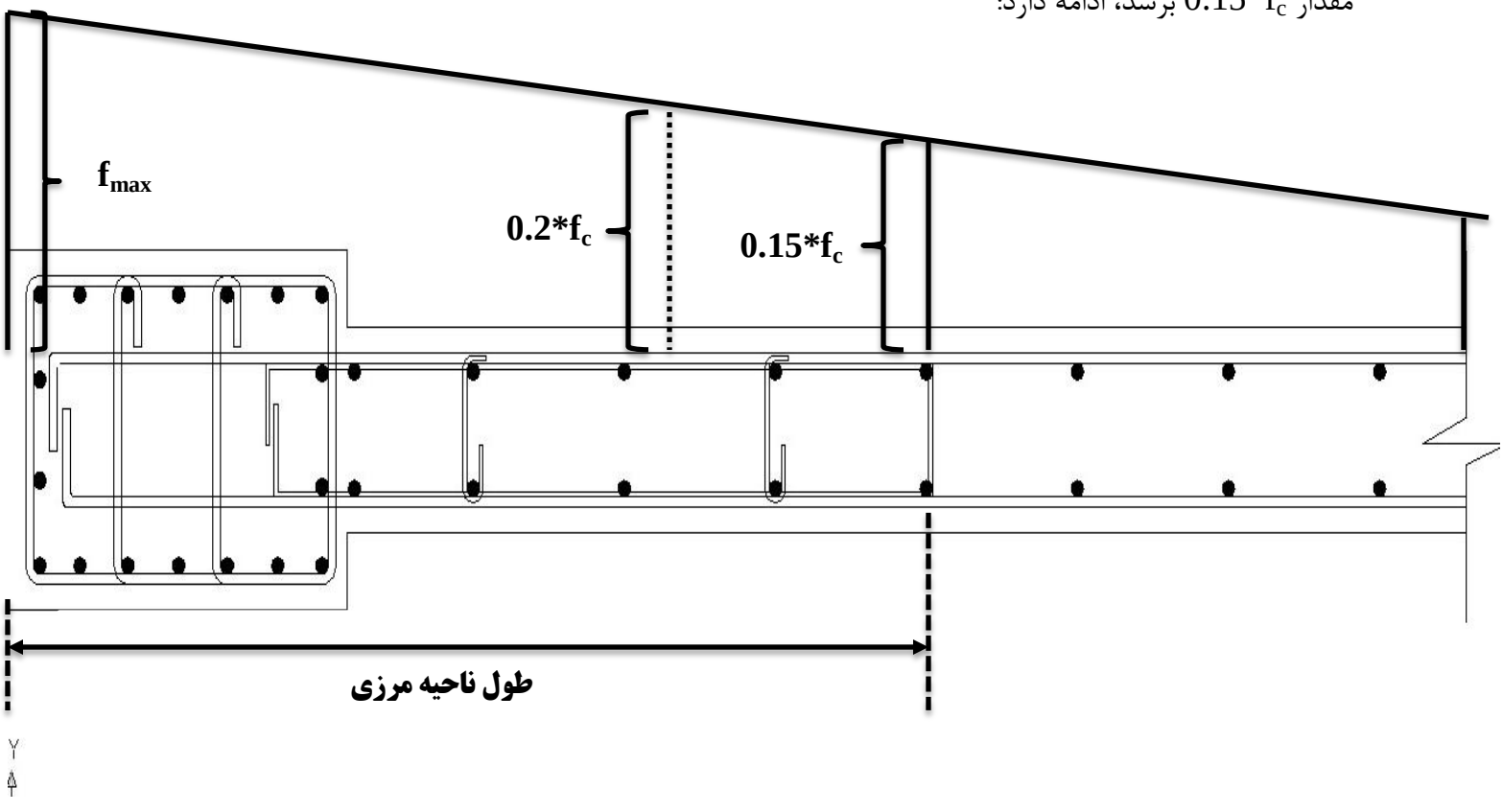
Pier Forces

	Story	Pier	Load	Loc	P	V2	V3	T	M2	M3
▶	ROOF	P2	DCON5	Top	-18907.18	25228.93	-2581.29	215106.654	440750.837	-1563491.325
	ROOF	P2	DCON5	Bottom	-34404.18	25228.93	-2581.29	215106.654	-333637.425	6011662.985
	STORY4	P2	DCON5	Top	-61982.35	66795.67	-1635.02	140944.897	275773.557	4284597.923
	STORY4	P2	DCON5	Bottom	-77479.35	66795.67	-1635.02	140944.897	-214731.550	24340101.593
	STORY3	P2	DCON5	Top	-106160.13	90564.12	-2572.07	240068.438	438015.023	22279073.617
	STORY3	P2	DCON5	Bottom	-123453.30	90564.12	-2572.07	240068.438	-333605.428	49472588.89
	STORY2	P2	DCON5	Top	-151767.53	115133.48	-1712.95	141638.161	286330.543	47752781.92
	STORY2	P2	DCON5	Bottom	-169060.71	115133.48	-1712.95	141638.161	-227554.662	82317863.46
	STORY1	P2	DCON5	Top	-199105.06	115089.62	-1843.51	150229.956	353439.063	80670932.48
	STORY1	P2	DCON5	Bottom	-217294.32	115089.62	-1843.51	150229.956	-162744.583	112909775.26

نصف طول دیوار برشی در طبقه اول

تنش فشاری حداکثر در طبقه اول: $f_{max}=\frac{P}{A}+\frac{M*C}{I}=\frac{217294.32}{15930}+\frac{112909775.26*205.5}{2.86E+08}=94.77\ kg/cm^2$

- ✓ مقایسه کردن تنش فشاری حداکثر با مقدار مجاز آیین نامه. اگر مقدار آن از مقدار $0.2*f_c$ کمتر باشد یعنی نیازی به اجزا لبه‌ای ندارد ولی اگر مقدار آن بیشتر از $0.2*f_c$ باشد، نیاز به اجزا لبه‌ای داشته و طول جزء لبه‌ای تا قسمتی که تنش به مقدار $0.15*f_c$ برسد، ادامه دارد:

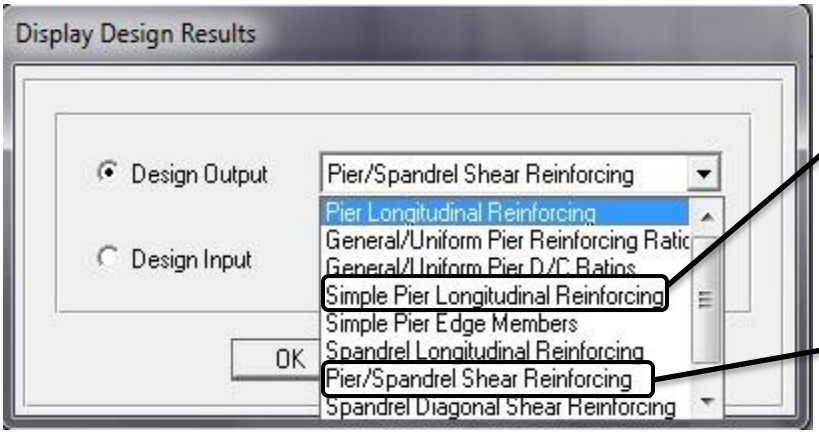


12-شروع به طراحی دیوارهای برشی:

برای طراحی و کنترل دیوارهای برشی از منوی Design بر روی گزینه Shear Wall Design رفته و دستور طراحی یعنی گزینه Start Design/Check of Structure را اجرا می‌کنیم.

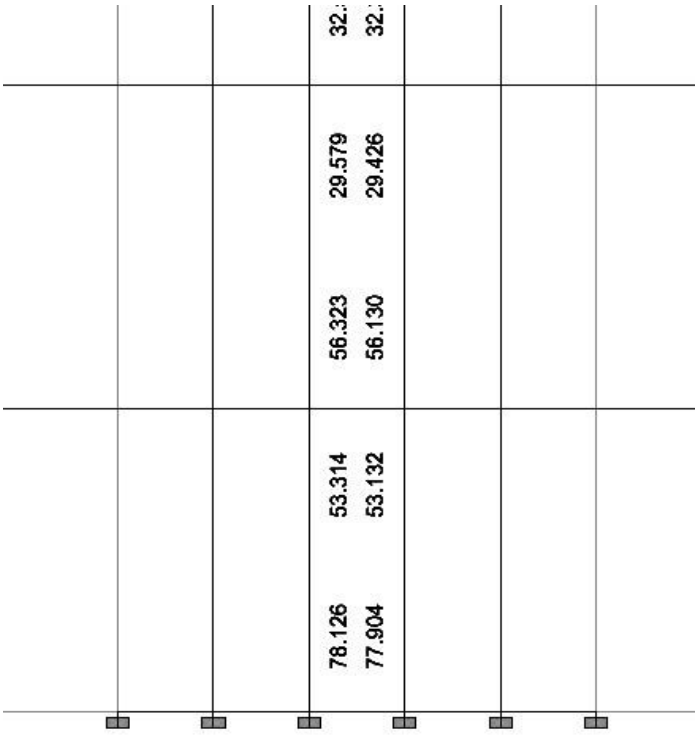
بعد از چند ثانیه عمل طراحی دیوارها به پایان می‌رسد. برای مشاهده نتایج باید به منوی Design>SWD>Display Design Info برویم:

الف) نتایج روش طراحی ساده (Simplified T and C): **Design>SWD>Display Design Info**

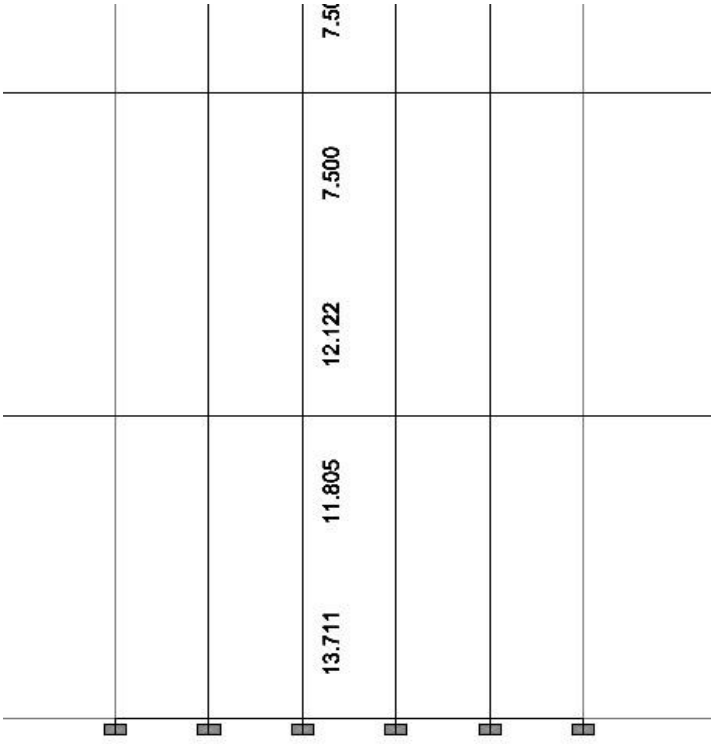


میلگرد طولی مورد نیاز در المان مرزی

میلگرد عرضی مورد نیاز در واحد طول
(A_V/S)



میلگرد طولی مورد نیاز در المان مرزی



میلگرد عرضی مورد نیاز در واحد طول
(A_V/S)

مثال: طراحی مقطع دیوار در طبقه اول؟

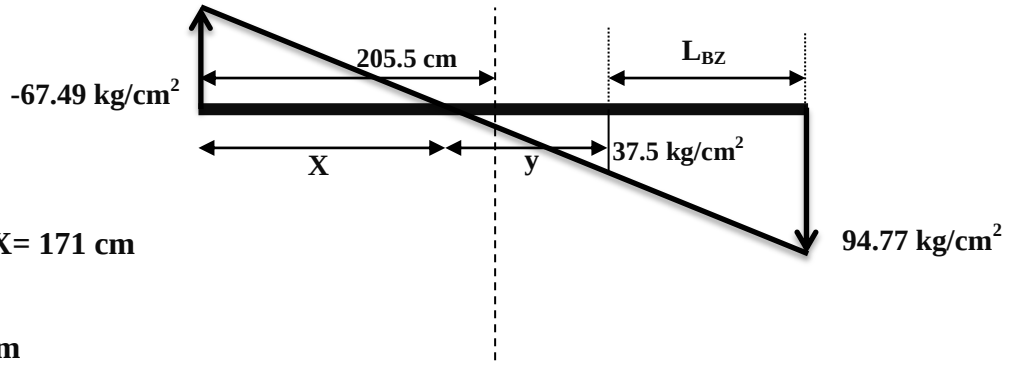
حداکثر مساحت میلگرد مورد نیاز در المان مرزی حدود $79\ cm^2$ است که معادل 21Ø22 است. قرار دادن 20Ø22 در مقطع، تقریباً جوابگوی میلگرد مورد نیاز است. میلگرد برشی $13.71\ cm^2/m$ معادل Ø12@15 cm است. همچنین میلگرد Ø12@30 cm تامین کننده حداقل 0.0025 نسبت میلگرد در دیوارها است و این میلگرد در جان مقطع دیوار قرار می‌گیرد.

محاسبه طول المان لبه‌ای: **مساحت و ممان اینرسی مقطع دیوار در طبقه اول به ترتیب برابر $A=15930\ cm^2$ و $I=2.86E+08 cm^4$ می‌باشد و دستور Display>Show Tables را اجرا کرده و به قسمت ANALYSIS RESULTS رفته و با انتخاب ترکیب بارهایی که بیشترین تنش فشاری را روی مقطع مورد نظر ایجاد می‌کنند، مقدار حداکثر نیروی فشاری و لنگر خمشی در طبقه اول را بدست می‌آوریم($P=217294.32\ kg$, $M= 112909775.26\ kg.cm$). سپس تنش فشاری حداکثر را محاسبه نموده و با مقدار آیین نامه‌ای $0.2*f_c$ بررسی می‌کنیم:**

$$f_{max}= \frac{P}{A} + \frac{M*C}{I} = \frac{217294.32}{15930} + \frac{112909775.26*205.5}{2.86E+08} = 94.77\ kg/cm^2 < 0.2*f_c=0.2*250=50\ kg/cm^2 \quad N.G$$

$$f_{min}= \frac{P}{A} - \frac{M*C}{I} = \frac{217294.32}{15930} - \frac{112909775.26*205.5}{2.86E+08} = -67.49\ kg/cm^2$$

چون مقدار تنش فشاری حداکثر از مقدار $0.2*f_c$ بیشتر است بنابراین می‌بایست از المان مرزی استفاده نمود. طول المان مرزی از بر خارجی ستون تا مقطعی که تنش فشاری برابر $0.15*f_c=0.15*250=37.5\ kg/cm^2$ شود،می‌باشد.



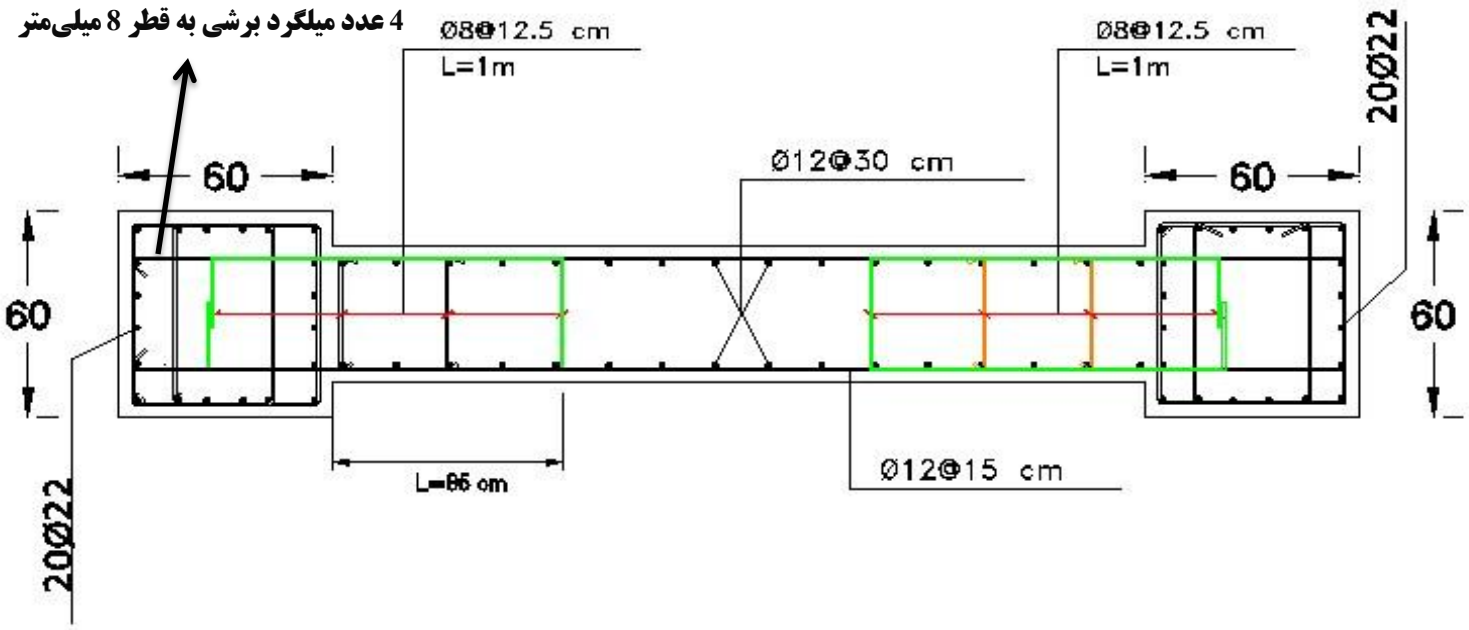
$$\frac{67.49}{94.77} = \frac{X}{(411-X)} \Rightarrow X= 171\ cm$$

$$\frac{y}{x} = \frac{37.5}{67.49} \Rightarrow y= 95\ cm$$

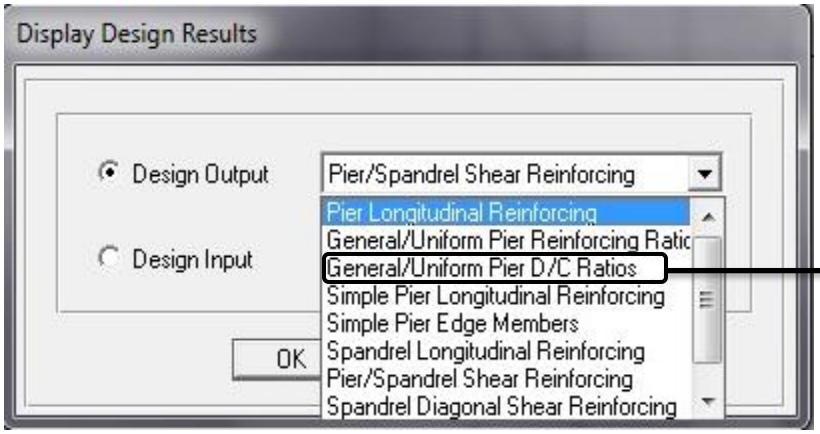
$$L_{BZ}= 411-(x+y) = 411-(171+95)= 145\ cm$$

طول ناحیه لبه‌ای برای خاموت‌گذاری ویژه از بر داخلی ستون = L_{BZ} – بعد ستون = 145-60= 85 cm

طبق آیین نامه در ناحیه ویژه قطر خاموت‌ها حداقل 8 سانتی متر و فاصله خاموت‌ها از هم برابر کوچکترین مقدار { یک چهارم ضلع کوچکتر مقطع ستون (1/4 * 60=15 cm) ، هشت برابر کوچکترین قطر میلگرد طولی (8*2.2=17.6 cm) ، 12.5 سانتی‌متر} می‌باشد. در عضوهایی که قسمتی از ارتفاع آنها با یک دیوار بتنی گرفته شده است، در تمام قسمت آزاد عضو باید آرماتورگذاری ویژه اجرا شود. میلگرد برشی $13.71\ cm^2/m$ می‌باشد بنابراین از خاموت‌های **Ø8@12.5 cm** در تمام طول ستون و در طول ناحیه لبه‌ای (85 cm) استفاده می‌کنیم:



ب) نتایج روش طراحی عمومی **(General Reinforcing)**: **Design>SWD>Display Design Info**



نسبت تنش های موجود به مجاز

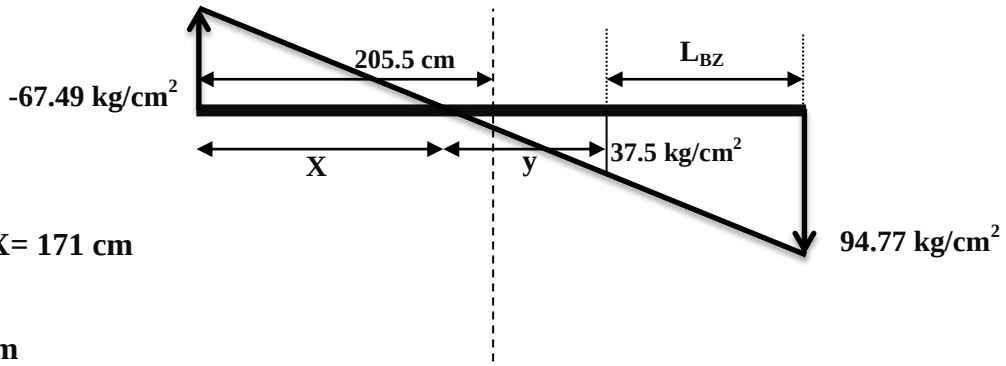
مثال: با توجه به نمونه طراحی به روش ساده مشاهده می‌شود که در هر یک از ستون‌ها به 21Ø22 میلگرد نیاز است. اما چون ما در این مثال از تعداد 20Ø22 میلگرد در المان مرزی استفاده نمودیم (مقطع ساخته شده در SD)، نسبت تنش در این دیوار کمی از 1 بیشتر گشت که اگر میلگردهای قسمت میانی دیوار را از Ø12@30 cm به Ø12@15 cm تغییر دهیم این نسبت کمتر از 1 می‌شود.

محاسبه طول المان لبه‌ای: مساحت و ممان اینرسی مقطع دیوار در طبقه اول به ترتیب برابر $A=15930\ cm^2$ و $I=2.86E+08cm^4$ می‌باشد و دستور **Display>Show Tables** را اجرا کرده و به قسمت **ANALYSIS RESULTS** رفته و با انتخاب ترکیب بارهایی که بیشترین تنش فشاری را روی مقطع مورد نظر ایجاد می‌کنند، مقدار حداکثر نیروی فشاری و لنگر خمشی در طبقه اول را بدست می‌آوریم($P=217294.32\ kg$, $M=112909775.26\ kg.cm$). سپس تنش فشاری حداکثر را محاسبه نموده و با مقدار آیین نامه‌ای $0.2*f_c$ بررسی می‌کنیم:

$$f_{max}=\frac{P}{A}+\frac{M*C}{I}=\frac{217294.32}{15930}+\frac{112909775.26*205.5}{2.86E+08}=94.77\ kg/cm^2 < 0.2*f_c=0.2*250=50\ kg/cm^2\ \ N.G$$

$$f_{min}=\frac{P}{A}-\frac{M*C}{I}=\frac{217294.32}{15930}-\frac{112909775.26*205.5}{2.86E+08}=-67.49\ kg/cm^2$$

چون مقدار تنش فشاری حداکثر از مقدار $0.2*f_c$ بیشتر است بنابراین می‌بایست از المان مرزی استفاده نمود. طول المان مرزی از بر خارجی ستون تا مقطعی که تنش فشاری برابر $0.15*f_c=0.15*250=37.5\ kg/cm^2$ شود،می‌باشد.



$$\frac{67.49}{94.77}=\frac{X}{(411-X)} \Rightarrow X=171\ cm$$

$$\frac{y}{x}=\frac{37.5}{67.49} \Rightarrow y=95\ cm$$

L_{BZ}= 411-(x+y) = 411-(171+95)= 145 cm

طول ناحیه لبه‌ای برای خاموت‌گذاری ویژه از بر داخلی ستون = L_{BZ} – بعد ستون = 145-60= 85 cm

طبق آیین نامه در ناحیه ویژه قطر خاموت‌ها حداقل 8 سانتی متر و فاصله خاموت‌ها از هم برابر کوچکترین مقدار { یک چهارم ضلع کوچکتر مقطع ستون (1/4 * 60=15 cm) ، هشت برابر کوچکترین قطر میلگرد طولی (8*2.2=17.6 cm) ، 12.5 سانتی‌متر} می‌باشد. در عضوهایی که قسمتی از ارتفاع آنها با یک دیوار بتنی گرفته شده است، در تمام قسمت آزاد عضو باید آرماتورگذاری ویژه اجرا شود. میلگرد برشی 13.71 cm^2/m می‌باشد بنابراین از خاموت‌های **Ø8@12.5 cm** در تمام طول ستون و در طول ناحیه لبه‌ای (85 cm) استفاده می‌کنیم: