طراحی دیوارهای برشی

همانطور که می دانیم اثرات زلزله باعث ایجاد تغییر شکل های جانبی در سازه می شود و به علت این تغییر شکل نیروهایی در طبقات ایجاد می شود که به نیروی برش طبقه معروف هستند. نیروهای ایجاد شده باعث ایجاد کشش و برش مضاعفی در تیرها و ستون ها می گردد و باعث از بین رفتن اعضای سازه ای می شوند. برای مقابله با نیروی جانبی سیستم های سازه ای متنوعی وجود دارد که این نیروها را به زمین انتقال دهند. در ساختمان های بتنی می توان به سیستم قاب خمشی، سیستم دیوار برشی و یا سیستم ترکیبی قاب و دیوار برشی اشاره نمود.

دیوار برشی همانند یک تیر طره ای است که بارهای جانبی را به زمین انتقال می دهد.

انواع دیوارهای برشی:

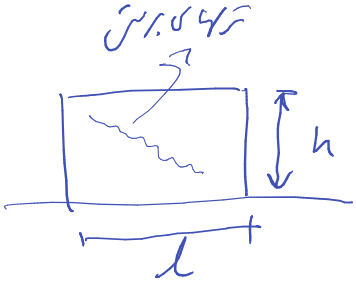
۱- دیوار برشی با آرماتورگذاری کلیدی شکل

۲- دیوار برشی با المان مرزی

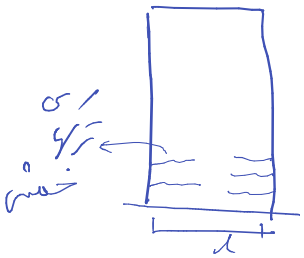
۳- دیوار برشی کوپله

۴- دیوار برشی هسته مرکزی

دیوار برشی بسته به نسبت ارتفاع به طول آن می تواند رفتار برشی یا خمشی داشته باشد.



$\frac{h}{l} < 2.5$ حدود



$\frac{h}{l} > 2.5$

در دو صورت دیوار نیز هم برای برش و هم برای خمش طراحی شود.

ازنظر نحوه‌ی دیوارها به چند دسته تقسیم می‌شوند:

۱- دیوارهایی خمش را خارج از صفحه خودشان تحمل می‌کنند
دیوارهای حائل

۲- دیوارهایی که خمش را درون صفحه خودشان تحمل می‌کنند
دیوار برشی

۳- دیوارهایی که نیروی محوری تحمل می‌کنند
دیوار باربر یا دیوار حامل

گاهی دیوارهای برشی نیروی محوری نیز تحمل می‌کنند. در این حالت این دیوارها تحت هم نیروی محوری و هم خمش درون صفحه‌ای هستند که می‌توان از ضوابط طراحی تیر برای آرماتورگذاری دیوارها استفاده کرد.

ضوابط آرماتورگذاری دیوارهای تحت بار محوری

جزییات آرماتوربندی

در دیوارهای با ضخامت بیشتر از ۲۵۰ میلیمتر، به جز دیوارهای زیرزمین و دیوارهای حایل، هر یک از آرماتورهای قائم و افقی باید در دو سفره به موازات سطوح دیوار، مطابق بندهای زیر، پیش‌بینی شوند:

I- در دیوارهایی که یک رویهٔ آنها در تماس با خاک یا هوا قرار دارد:

الف: یک سفره آرماتور شامل حداقل نصف و حداکثر دو سوم کل آرماتور لازم برای هر امتداد باید در فاصله‌ای بیش از ۵۰ میلیمتر و کمتر از یک سوم ضخامت دیوار از رویهٔ خارجی قرار داده شود.

ب: یک سفرهٔ دیگر آرماتور شامل باقیماندهٔ آرماتور لازم برای هر امتداد باید در فاصله‌ای بیشتر از ۲۰ میلیمتر و کمتر از یک سوم ضخامت دیوار از رویهٔ داخلی قرارداده شود.

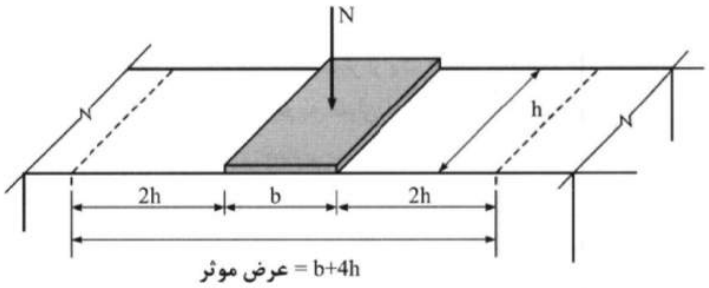
II- در سایر دیوارها هر سفره آرماتور شامل نصف آرماتور لازم در هر امتداد، باید در فاصله‌ای بیشتر از ۲۰ میلیمتر و کمتر از یک سوم ضخامت دیوار از هر رویه قرار داده شود.

(در تمام موارد، ضوابط پوشش بتنی روی میلگرد باید رعایت گردد).

میلگردهای حداقل برای دیوارهای باربر (هیچ‌گونه نیروی برشی توسط دیوار حمل نمی‌شود)

طبق آیین‌نامه، میلگردهای حداقل افقی و قائم باید طبق بندهای زیر باشد، مگر اینکه مقدار زیادتری میلگرد برای مقاومت در برش مطابق روابط موجود در بخش دیوارهای برشی لازم باشد.

- حداقل نسبت سطح کل میلگرد قائم به کل سطح مقطع بتن برابر است با ۰/۰۰۱۲ برای میلگردهای آجدار با مقاومت تسلیم ۴۲۰۰ کیلوگرم برسانتیمترمربع یا بیشتر و به قطر ۱۶ میلیمتر و کمتر. برای سایر میلگردهای آجدار این حداقل مساوی ۰/۰۰۱۵ می‌باشد. در صورت استفاده از شبکه‌های جوشی، صاف یا آجدار، با قطر ۱۶ میلیمتر یا کمتر، این حداقل مساوی ۰/۰۰۱۲ می‌باشد.



شکل ۱۳-۲

- حداقل نسبت سطح کل میلگرد افقی به کل سطح مقطع بتن برابر است با ۰/۰۰۲۰ برای میلگردهای آجدار با مقاومت تسلیم ۴۲۰۰ کیلوگرم برسانتیمتر مربع یا بیشتر و به قطر ۱۶ میلیمتر و کمتر.

برای سایر میلگردهای آجدار این حداقل مساوی ۰/۰۰۲۵ می‌باشد. در صورت استفاده از شبکه‌های جوشی، صاف یا آجدار، با قطر ۱۶ میلیمتر یا کمتر، این حداقل مساوی ۰/۰۰۲۰ می‌باشد.

فواصل آرماتورها

الف: فاصلهٔ میلگردهای قائم و میلگردهای افقی از یکدیگر نباید بیشتر از سه برابر ضخامت دیوار و یا ۴۵۰ میلیمتر باشد.

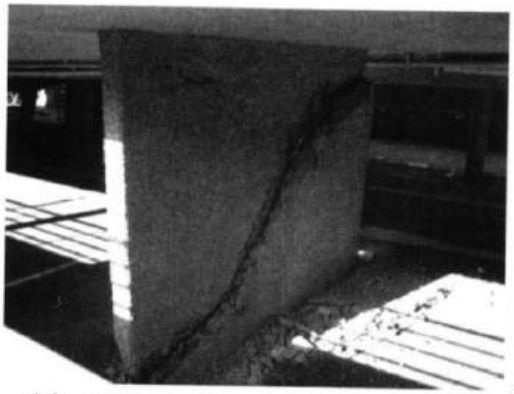
ب: در مواردی که سطح مقطع کل آرماتور قائم کمتر از یک درصد مساحت کل مقطع بتن است و یا در مواردی که براساس تحلیل سازه، آرماتور قائم به عنوان آرماتور فشاری مورد نیاز نیست، محصور کردن آرماتور قائم با خاموت الزامی نیست. برای مقادیر بیشتر آرماتور قائم، آرماتوربندی دیوارها باید مشابه ستون‌ها انجام شود.

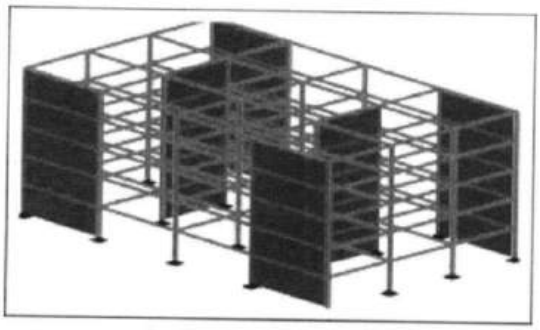
پ: دورتادور بازشوهای درها و پنجره‌ها، علاوه بر آرماتورهای حداقل، باید حداقل دو میلگرد با قطر ۱۶ میلیمتر برای دیوارها با دولایه میلگرد و حداقل یک میلگرد با قطر ۱۶ میلیمتر برای دیوارها با یک لایه میلگرد قرارداده شود. این میلگردها باید حداقل به اندازهٔ طول گیرایی از گوشهٔ بازشو به داخل دیوار ادامه یابند و یا با خم، قلاب یا هر وسیله دیگری به طور کامل مهار شوند.

دیوار برشی با آرماتورگذاری کمینه

در این دیوار برشی اگر ضخامت دیوار کم باشد تا حدود ۱۲ سانتی متر از یک لایه میلگرد در هر طرف استفاده می شود اما اگر ضخامت دیوار بیشتر گردد باید از دو لایه میلگرد استفاده شود. دیوارهای برشی باید به صورت متقارن در دو طرف میان قرار گیرند. گذاشتن دیوار برشی در یک سمت به تنهایی باعث ایجاد پیچش در زلزله می شود و اثر نامطلوبی دارد که با قراردادن دیوارهای برشی به صورت متقارن باعث می شود تا دیوار ساختمان در زلزله به خوبی تأمین شود.

(پ) نمای جانبی

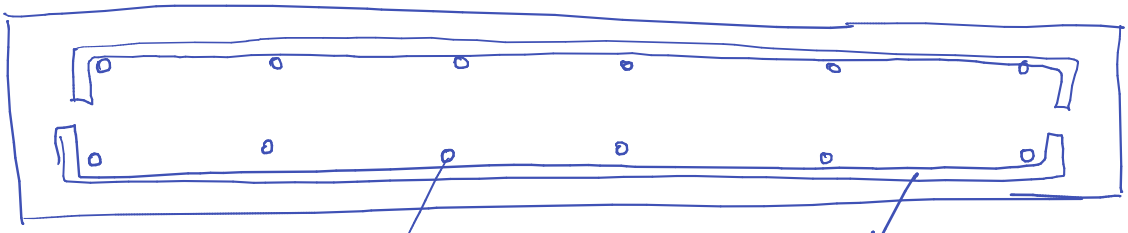




(ت) دیوار برشی و قاب خمشی

(ث) دیوار برشی ترک‌خورده تحت نیروهای زلزله

شکل ۱۳-۵- ساختمان با دیوارهای برشی که تحت تاثیر نیروهای جانبی قرار دارد.



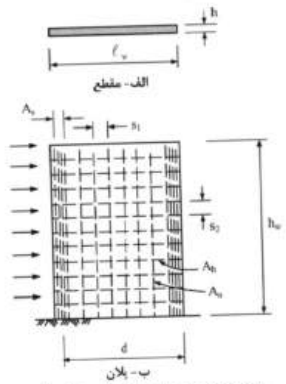
میلگردهای قائم وظیفه تأمین مقاومت خمشی دیوار و برش دیوار را دارند.

میلگردهای افقی باعث ایجاد مقاومت برشی می‌گردند.

همانطور که در شکل ملاحظه می‌کنید فواصل میلگردهای افقی و قائم به صورت یکنواخت می‌باشد.

۱۳-۶-۲- طراحی دیوار برشی در مقابل برش

در صورتی که V_u تلاش برشی نهایی در مقطع مورد طراحی باشد، طبق آیین‌نامه باید داشته باشیم:



شکل ۱۳-۶- هندسه و میلگردهای دیوار برشی

$$V_u \le \phi V_n \qquad (۱۰-۱۳)$$

مقاومت برشی اسمی V_n ترکیبی از مقاومت برشی بتن و فولاد می‌باشد:

$$V_n = V_c + V_s \qquad (۱۱-۱۳)$$

طبق آیین‌نامه، مقاومت برشی نهایی V_n در هیچ حالت نمی‌تواند از رابطهٔ زیر بیشتر اختیار شود:

$$V_{n\max} = 2.65\phi\lambda\sqrt{f'_c}hd \qquad (۱۲-۱۳)$$

h ضخامت دیوار

l_w طول دیوار

$0.8l_w$ طول مؤثر دیوار در برش

A_h مساحت میلگردهای افقی در یک گام آرماتور گذاری

A_n مساحت میلگردهای قائم در یک گام آرماتور گذاری

S_1 فواصل میلگردهای قائم

S_2 فواصل میلگردهای افقی

مقاومت برشی دیوارهای برشی با آرماتور گذاری یکنواخت

$V_n = V_c + V_s$ مقاومت برشی اسمی

V_c مقاومت برشی بتن

V_s مقاومت برشی فولاد

$V_{nmax} = 2.65\,\phi\lambda\sqrt{f'_c}\,hd$

بطوریکه V_n باید کوچکتر از V_{nmax} باشد.

h = ضخامت دیوار برشی (cm)

d = عمق موثر دیوار برشی (cm)

ϕ = ضریب تقلیل ظرفیت برشی مساوی ۰/۷۵ (برای شکل‌پذیری معمولی)

λ = مساوی ۱ برای بتن معمولی، ۰/۸۵ برای بتن ماسه سبک و ۰/۷۵ برای بتن تمام سبک

طبق آیین‌نامه، d برای محاسبات برش مساوی $0.8\ell_w$ فرض می‌شود که ℓ_w طبق شکل ۱۳-۶-الف، طول افقی دیوار برشی می‌باشد.

نیروی مقاوم V_c برای دیوار برشی که تحت نیروی محوری N_u قرار دارد، کمترین مقدار به دست آمده از دو رابطهٔ زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$V_c = 0.875\lambda\sqrt{f'_c}hd + \frac{N_u d}{4\ell_w} \qquad (۱۳-۱۳)$$

$$V_c = \left[0.16\lambda\sqrt{f'_c} + \frac{\ell_w(0.32\lambda\sqrt{f'_c} + 0.2\frac{N_u}{\ell_w h})}{(\frac{M_u}{V_u} - \frac{\ell_w}{2})}\right]hd \qquad (۱۴-۱۳)$$

$$\frac{M_u}{V_u} - \frac{\ell_w}{2} > 0$$

در رابطهٔ فوق:

N_u = نیروی محوری نهایی برحسب کیلوگرم که همزمان با V_u در مقطع اثر کند. علامت آن اگر کششی باشد منفی و اگر فشاری باشد مثبت در نظر گرفته می‌شود.

f'_c = مقاومت مشخصهٔ نمونه استوانه‌ای (kg/cm^2)

M_u = تلاش خمشی نهایی در مقطع بحرانی (kg/cm)

V_u = تلاش برشی نهایی در مقطع بحرانی (kg)

h و d و ℓ_w ابعاد دیوار طبق شکل ۱۳-۶ برحسب سانتی‌متر

رابطهٔ ۱۳-۱۳ متناظر با رخداد تنش کششی اصلی به مقدار $1.06\sqrt{f'_c}$ در مرکز دیوار برشی و رابطهٔ ۱۴-۱۳ متناظر با رخداد تنش کششی $1.6\sqrt{f'_c}$ در مقطع به فاصله $\ell_w/2$ از مقطع مورد مطالعه است.

هنگامی که $M_u/V_u - \ell_w/2$ منفی باشد، رابطهٔ ۱۴-۱۳ به کار برده نمی‌شود. در صورتی که نخواهیم از روابط دقیق فوق استفاده نماییم، V_c را می‌توان از دو رابطهٔ ساده و در جهت اطمینان زیر محاسبه نمود.

وقتی که نیروی محوری N_u صفر یا فشاری باشد:

$$V_c = 0.53\lambda\sqrt{f'_c}(1 + \frac{N_u}{140A_g})hd \qquad (۱۵-۱۳)$$

وقتی که نیروی محوری N_u کششی باشد:

$$V_c = 0.53\lambda\sqrt{f'_c}\left(1 + \frac{N_u}{35A_g}\right)hd \qquad (۱۶-۱۳)$$

N_u اگر فشاری باشد مثبت و اگر کششی باشد منفی در نظر گرفته می‌شود. A_g سطح مقطع کل دیوار برشی برحسب سانتیمتر مربع می‌باشد.

نیروی برشی مقاوم نهایی V_c برای کلیه مقاطعی که در فاصله‌ای کمتر از کوچکترین دو مقدار $\ell_w/2$ و $h_w/2$ (ℓ_w و h_w طبق شکل ۱۳-۶) از پایهٔ دیوار قرار دارند، برابر با مقاومت برشی مقطع در کوچکترین دو مقدار فوق در نظر گرفته می‌شود.

هنگامی که V_u کمتر از $0.5\phi V_c$ است، در دیوار برشی میلگردهای حداقل قرار داده می‌شود.

در این حالت نسبت حداقل ρ_h مساوی ۰/۰۰۲ برای میلگرد نمره ۱۶ و کمتر و ۰/۰۰۲۵ برای میلگرد نمره ۱۸ و بالاتر می‌باشد. مقدار حداقل ρ_n نیز مساوی ۰/۰۰۱۲ برای میلگردهای نمره ۱۶ و کمتر و ۰/۰۰۱۵ برای میلگرد نمره ۱۸ و بالاتر می‌باشد.

وقتی $0.5\phi V_c < V_u < \phi V_c$، میلگردهای حداقل و اگر $V_u > \phi V_c$ باشد، میلگرد محاسباتی طبق دستورالعمل زیر در دیوار تعبیه می‌گردد:

هنگامی که V_u از ϕV_c تجاوز نماید، باید میلگردهای برشی افقی A_h و قائم A_n در دیوار تعبیه گردد (شکل ۱۳-۶). مقدار A_h که در فواصل s_2 به صورت افقی در دیوار قرار دارد، طبق روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \qquad (۱۳-۱۷)$$

$$\frac{A_h}{s_2} = \frac{V_s}{f_y d} \qquad (۱۳-۱۸)$$

$$\rho_h = A_h / h s_2$$

که در آن A_h سطح مقطع یک یا دو میلگرد افقی برحسب اینکه دیوار دارای یک یا دو سفره میلگرد باشد و d نیز مساوی $0.8\ell_w$ فرض می‌شود. نسبت ρ_h یعنی نسبت سطح میلگرد برشی افقی به سطح مقطع قائم بتنی کل، نباید کمتر از ۰/۰۰۲۵ باشد. فاصلهٔ s_2 نباید از هیچ یک از سه مقدار، $3h$ و ۴۵۰ میلیمتر و $\ell_w/5$ تجاوز نماید.

نسبت ρ_n یعنی نسبت میلگرد برشی قائم به سطح مقطع افقی بتنی کل نباید کمتر از مقدار به دست آمده از رابطهٔ زیر شود:

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5(2.5 - \frac{h_w}{\ell_w})(\rho_h - 0.0025) \qquad (۱۳-۱۹)$$

$$\rho_n = A_n / s_1 h$$

این نسبت نباید کمتر از ۰/۰۰۲۵ باشد، ولی لازم نیست بیشتر از مقدار لازم برای میلگرد برشی افقی باشد. A_n سطح مقطع یک یا دو میلگرد قائم برحسب اینکه دیوار دارای یک یا دو سفره میلگرد باشد.

فاصلهٔ بین میلگردهای برشی قائم یعنی s_1 نباید از هیچ یک از سه مقدار، $3h$، $\ell_w/3$ و یا ۴۵۰ میلیمتر تجاوز نماید.

در محل درزهای اجرایی افقی دیوارها، مقاومت برشی اسمی V_n باید براساس عملکرد برش اصطکاکی تعیین گردد.

$$\rho_n = A_n / s_1 h$$

این نسبت نباید کمتر از ۰/۰۰۲۵ باشد، ولی لازم نیست بیشتر از مقدار لازم برای میلگرد برشی افقی باشد. A_n سطح مقطع یک یا دو میلگرد قائم برحسب اینکه دیوار دارای یک یا دو سفره میلگرد باشد.

فاصلهٔ بین میلگردهای برشی قائم یعنی s_1 نباید از هیچ یک از سه مقدار، $3h$، $\ell_w / 3$ و یا ۴۵۰ میلیمتر تجاوز نماید.

در محل درزهای اجرایی افقی دیوارها، مقاومت برشی اسمی V_n باید براساس عملکرد برش اصطکاکی تعیین گردد.

طراحی دیوار برشی در برابر خمش

بایستی سطح دیوار برشی به نحوی تعیین شود که نیروی محوری از $0.35P_o$ تجاوز نکند

$$P_o = 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

$$M_n = 0.5A_{st} f_y \ell_w \left(1 + \frac{P_u}{A_{st} f_y}\right)\left(1 - \frac{c}{\ell_w}\right) \qquad (۲۱-۱۳)$$

$$\phi M_n \geq M_u$$

در رابطهٔ فوق:

M_n = مقاومت خمشی اسمی دیوار

M_u = تلاش خمشی نهایی دیوار

P_u = تلاش محوری موجود در مقطع دیوار

A_{st} = سطح مقطع کل آرماتورهای قائم

f_y = تنش تسلیم فولاد

ϕ = ضریب تقلیل ظرفیت خمشی

h = ضخامت دیوار (شکل ۱۳-۷- پ)

ℓ_w = طول افقی دیوار (شکل ۱۳-۷- پ)

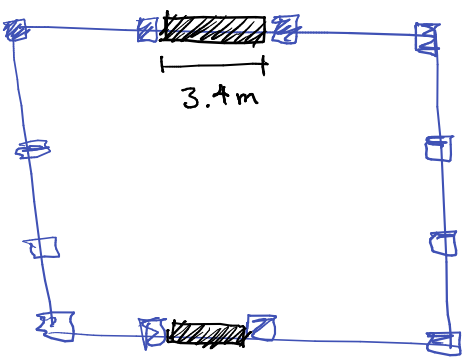
مقدار c/ℓ_w از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

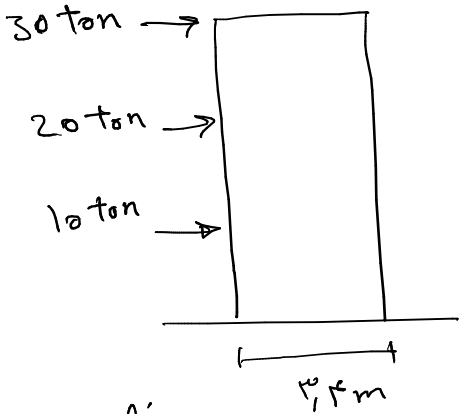
مقاومت خمشی برای بی نیروی محوری تعیین می شود.

$$\frac{c}{\ell_w} = \frac{\omega + \alpha}{2\omega + 0.85\beta_1} \qquad (۲۲-۱۳)$$

$$\omega = \left(\frac{A_{st}}{\ell_w h}\right)\frac{f_y}{f'_c}$$

مثال: مطلوب است طراحی دیار برشی با آرماتورگذاری کلیاحت برای پلان شکل زیر





ضخامت دیار $h = 20\,cm$

$f'_c = 210\ kg/cm^2$

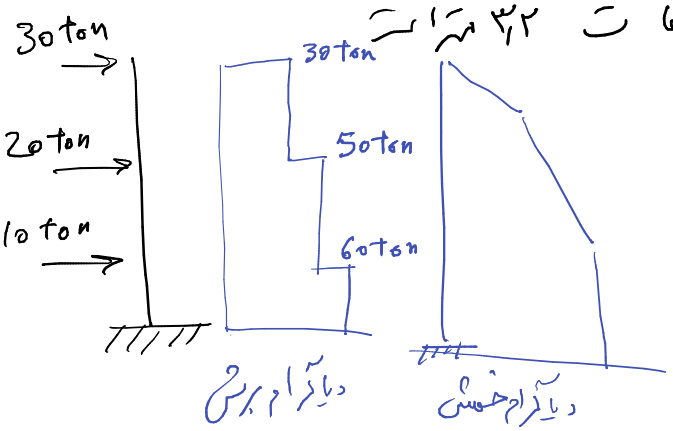
$f_y = 4000\ kg/cm^2$

$\alpha_1 = 0.85$

$\beta_1 = 0.85$

نیروی محوری هر طبقه روی دیار 10ton ثابتی

حل: ابتدا نیروی برشی هر طبقه را بدست می آوریم. اگر نیروی برشی برای دو دیار داده شده بود بایستی سهم هر دیار را متناسب با سختی در هر طبقه تعیین کنیم. سپس دیاگرام نیروی برشی و لنگر خمشی را برای دیار ترسیم می کنیم. در این مثال شده بارهای یک دیوار را داده است. ارتفاع طبقات ۳٫۲ متر است



$M_u = 60 \times 3.2 + 50 \times 6.4 + 30 \times 9.6 = 536.4\ ton.m$

لنگر خمشی پای دیار

نیروی برشی دیار $V_u = 60\ ton$

گام ۲ - تعیین مقاومت برشی بتن V_c ← از روابط گفته شده برای مقاومت برشی می توان استفاده نمود همچنین از رابطه ساده مقابل نیز می توان بهره جست

$= \phi V_n = 2.65\,\phi \sqrt{f'_c}\ bh$

چون دیار تحت نیروی ثابتی در هر طبقه است. طبقه اول را در نظر می گیریم

نیروی محوری $N_u = P_1 + P_2 + P_3 = 10 + 10 + 10 = 30\ ton$

$$V_c = 0.53\lambda \sqrt{f'_c}\left(1+\frac{N_u}{140A_g}\right) b\,d \qquad \lambda = 1$$ برای بتن معمولی

$$V_c = 0.53\times 1\times\sqrt{210}\left(1+\frac{30000}{140\times 340\times 20}\right)\times 20\times 0.8\times 340 =$$

$$43098.18\ kg = 43.1\ ton$$

$V_u = 60\ ton > V_c = 43\ ton \longrightarrow$ باید میلگرد برشی طراحی شود

$$V_s = V_n - V_c \Rightarrow V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{60}{0.75} = 80$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

$$V_s = 80 - 43.1 = 36.9\ ton$$

برای $\phi_v = 0.75$

تبدیل به kg

$$\frac{A_h}{S_2} = \frac{V_s}{f_y d} \Rightarrow A_h = (36.9\times 10^3 \times 20)/(4000\times 0.8\times 340)$$

$$= 0.68\ cm^2$$

$$d = 0.8 l_w$$

$$S_{min} < S_2 < S_{max}$$

S_2 فاصله میلگردهای افقی $= 20\ cm$ فرض می‌کنیم

قطر میلگرد

$$S_{min} = Max\left\{1.33\times \text{قطر بزرگترین سنگدانه بتن}\ ,\ 2d_b\ ,\ 25mm\right\}$$

$$S_{max} = \min\left\{3h\ ,\ 35_{cm}\right\} \qquad 5a < S_2 = 20 < 35a$$

$$\rho_h = \frac{A_h}{S_2 h} = \frac{0.68\ cm^2}{20\times 20\ cm} = 0.0017$$

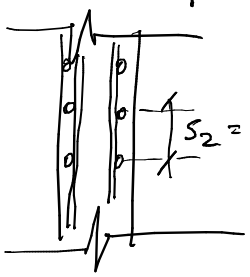
نسبت میلگرد افقی

$$\rho_{h(min)} = 0.0025 \rightarrow \rho = 0.0017 < \rho_{h(min)} \Rightarrow \rho_h = \rho_{h(min)}$$

$$A_h = \rho_h \times s_2 \times h = 0.0025 \times 20 \times 20 = 1\ cm^2$$

مساحت میلگردهای افقی در هر گام

s_2: فاصله میلگردهای افقی



$n = 2 \quad A_b = \frac{A_h}{n} = \frac{1}{2} = 0.5\ cm^2$

A_b: مساحت هر میلگرد

$$d_b = \sqrt{\frac{4A_b}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.5}{\pi}} = 0.79\ cm$$

USE 2Ø8 @ 200 mm

دو طرف میلگردگذاری شود

برای طراحی میلگردهای قائم ابتدا حداقل میلگرد قائم را محاسبه کرده اگر مقاومت خمشی مورد نظر را تامین نکرد میلگردهای قائم حداقل را در نظر گرفته اگر تامین نکرد باید با استفاده از تناسب حدود میلگرد قائم مورد نیاز را تعیین کرده و مجددا کنترل کنیم که آیا مقاومت مورد نیاز تامین برش را دارد یا خیر.

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

$\rho_h \rightarrow 0.0025$

$$A_n = \rho_h s_1 h \Rightarrow A_n = 0.0025 \times 20 \times 20 = 1\ cm^2$$

فرض $s_1 = 20\ cm$

برای مقطع تحت کنترل کشش $\phi_M = 0.9$

$$M_n = 0.5 A_{st} f_y l_w \left(1 + \frac{P_u}{A_{st} f_y}\right)\left(1 - \frac{c}{l_w}\right)$$

$$A_{st} = \rho_n l_w h = 0.0025 \times 340 \times 20 = 17\ cm^2$$

$$a = \frac{P_u}{l_w h f_c'} = \frac{30000}{340 \times 20 \times 210} = 0.021$$

$$\omega = \left(\frac{A_{st}}{l_w h}\right)\frac{f_y}{f_c'} = \frac{17}{340 \times 20} \times \frac{4000}{210} = 0.0476$$

$$\frac{c}{l_w} = \frac{\omega + \alpha}{2\omega + 0.85\beta_1} = \frac{0.0476 + 0.021}{2 \times 0.0476 + 0.85 \times 0.85} = 0.084$$

$$M_n = 0.5 \times 17 \times 4000 \times 340 \left(1 + \frac{30000}{17 \times 4000}\right)(1 - 0.084)$$

$$15260560 \text{ Kg.cm} = 152.6 \text{ ton.m}$$

$M_u = 536.4$ ton.m $\qquad M_n = \dfrac{M_u}{\phi} = \dfrac{536.4}{0.9} = 596$ ton.m

$M_n = 152.6 < \dfrac{M_u}{\phi} = 596$ ton.m

مقدار میلگرد حداقل کافی نیست

A_{st}	17	152.6
A_{st}	596	$A_{st} = \dfrac{596 \times 17}{152.6} = 66.4$ cm²

عدد

بطور تجربی عدد فوق را در ضریب 1.05 ضرب میکنیم

$A_{st} = 1.05 \times 66.4 = 69.72$ cm² جدید

$\alpha = 0.021 \qquad \omega = \left(\dfrac{69.72}{340 \times 20}\right) \times \dfrac{4000}{210} = 0.1953$

$$\frac{c}{l_w} = \frac{\omega + \alpha}{2\omega + 0.85\beta_1} = \frac{0.021 + 0.1953}{2 \times 0.1953 + 0.85 \times 0.85} = 0.194$$

$$M_n = 0.5 \times 69.72 \times 4000 \times 340 \left(1 + \frac{30000}{69.72 \times 4000}\right)(1 - 0.194)$$

$$M_n = 42322737.6 \text{ Kg.cm} = 423.22 \text{ ton.m}$$

69.72 423.2

$x = 98.187$ 596 ton.m

$A_{sf} = 1.05 \times x = 103.1\ cm^2$

$$w = \left(\frac{103.1}{340 \times 20}\right) \times \frac{4000}{210} = 0.289$$

$$\frac{c}{d_w} = \frac{0.289 + 0.021}{2 \times 0.289 + 0.85 \times 0.85} = 0.238$$

$$M_n = 0.5 \times 103.1 \times 4000 \times 340 \left(1 + \frac{30000}{103.1 \times 4000}\right)(1 - 0.238)$$

57308496 kg.cm 573.08 ton.m < 596

103.1 573.08

x 596

$$A_{st} = x \times 1.05 = 112.58\ cm^2$$

$$w = \left(\frac{A_{st}}{l_w h}\right)\frac{f_y}{f'_c} = \frac{112.58}{340 \times 20} \times \frac{4000}{210} = 0.315$$

$$\frac{c}{l_w} = \frac{0.315 + 0.021}{2 \times 0.315 + 0.85 \times 0.85} = 0.248$$

$$M_n = 0.5 \times 112.58 \times 4000 \times 340 \left(1 + \frac{30000}{112.58 \times 4000}\right)(1 - 0.248)$$

614041 08.8 kg.cm = 614.04 ton.m

$$M_n = 614.04 > \frac{M_u}{\phi} = 596 \text{ ton.m}$$ ok

$A_{st} = 112.58\ cm^2$ دو عدد میلگرد در هر ردیف داریم $n = 2$

$$\rho_n = \frac{A_{st}}{l_{wh}} = \frac{112.58}{340 \times 20} = 0.0166$$

$$A_h = \rho_n s_1 h = 0.0166 \times 20 \times 20 = 6.62235\ cm^2$$

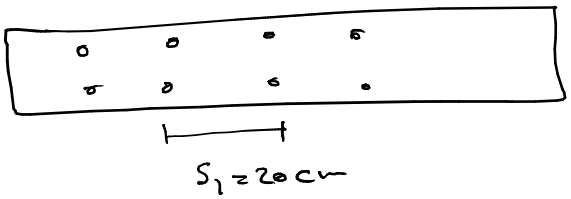
برای گیج ۶

$s_1 = 20\ cm$

۴ عدد میلگرد در هر ردیف داریم $n = 2$

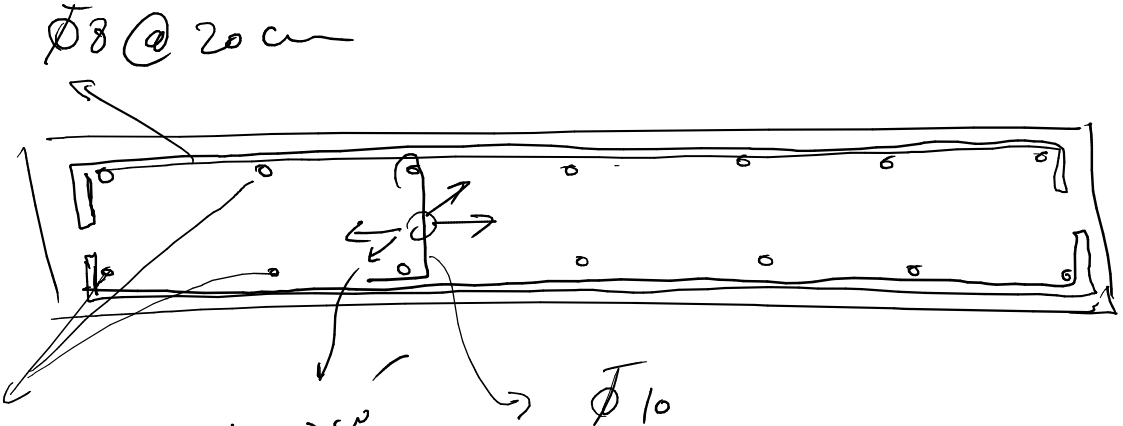
$$A_b = \frac{A_h}{n} = \frac{6.622}{2} = 3.311\ cm^2$$

$$d_b = \sqrt{\frac{4A_b}{\pi}} = 2.05\ cm$$



2.05 20

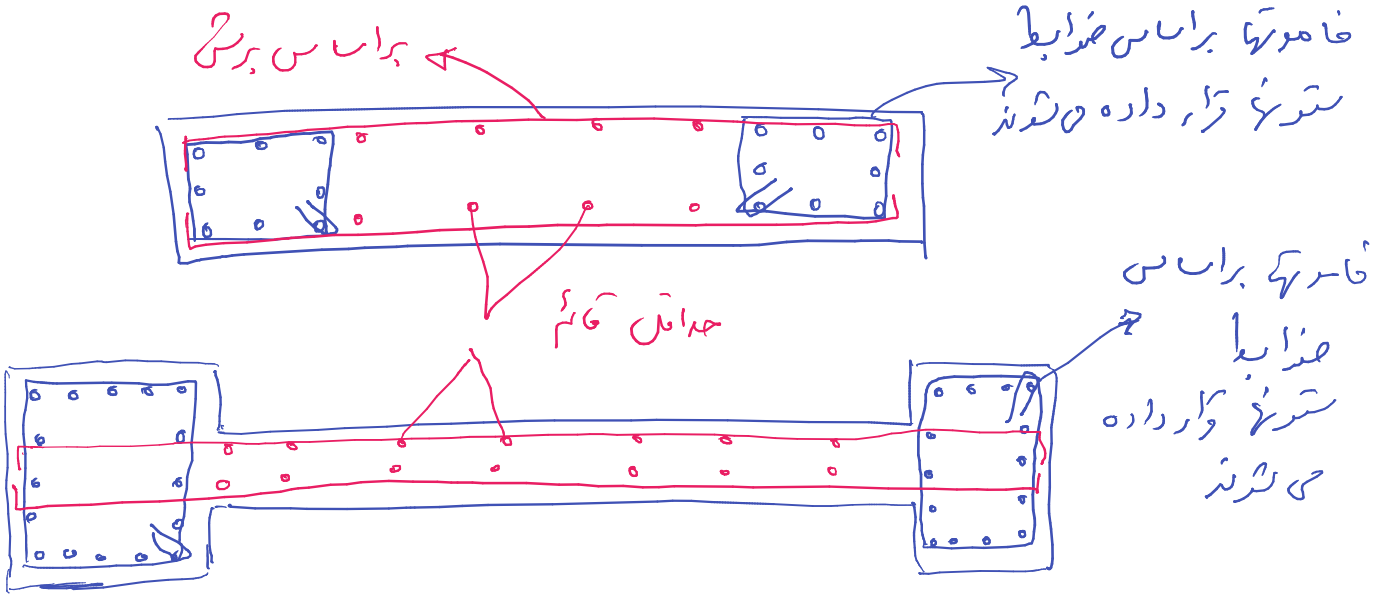
2 $x = 19.5\ cm$ $\Rightarrow$ USE 2Ø20 @190mm



طراحی دیوار برشی با المان مرزی

هنگامی که خمش در دیوار برشی خیلی زیاد است و تراکم از المان مرزی بهره می‌برد در این حالت تراکم میلگردهای قائم در دو سر دیوار بیشتر می‌گردد و در این ۲ المان مرزی میلگرد یکنواخت حداقل قائم گذاشته می‌شود.

همچنین میلگردهای افقی براساس برش طراحی می‌شوند.



فاصله‌ها براساس ضوابط ستونی قرار داده می‌شوند

فاصله‌ها براساس ضوابط ستونی قرار داده می‌شوند

هنگامی که نیروی محوری در دیوار کمتر از $0.35P_o$ باشد می‌توان از این روش استفاده نمود

$$P_o = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

اگر نیروی محوری چشمگیر از المان مرزی باشد از روش دوم استفاده می‌شود.

در روش اول اگر نیروی محوری چشمگیر نباشد می‌توان المان مرزی را برای تحمل خمش طراحی کرد

۱- ابتدا A_s تقریبی برای المان مرزی از فرمول مقابل بدست می‌آید

$$A_s = \frac{M_n}{0.85 f_y d}$$

تقریبی

$$d = 0.8 l_w$$

۲- محاسبه ضریب

$$a = \frac{\text{تقریبی } A_s \times f_y}{\alpha_1 f'_c h}$$

۳- محاسبه A_s دقیق

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

دقیق

۴- کنترل شکست نرم دیوار

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

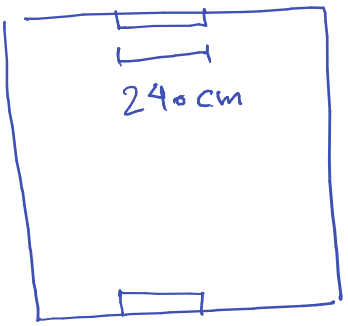
(ε_t باید بزرگتر از 0.005 باشد)

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{cu}\left(\frac{d_t - c}{c}\right)$$

$\varepsilon_{cu} = 0.003$ برای بتن معمولی

روش طراحی فوق برای دیوار با لبه مرزی هم مثل دیوار است و نیروی محوری کل دیوار جمله با لبه.

مثال: یک ساختمان پنج طبقه با ارتفاع 3.4 متر مطابق شکل زیر مفروض است مطلوب است طراحی دیوار برشی با لبه مرزی برای پایان شکل زیر



برش زلزله $V_u = 180\ ton$ برای طبقه

ضخامت دیوار $h = 20\ cm$

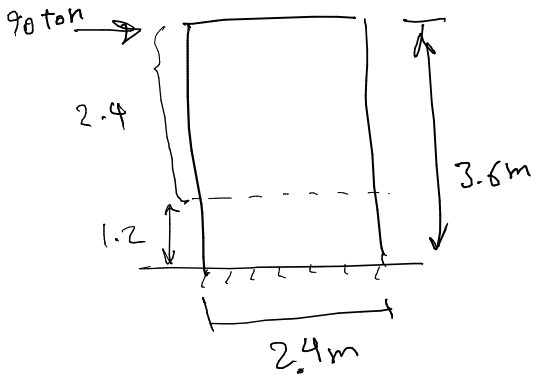
$f_y = 4000\ kg/cm^2$ $f'_c = 200\ kg/cm^2$

$\alpha_1 = \beta_1 = 0.85$

نیروی محوری دیوار $N_u = 0$ در نظر گرفته شده است.

حل:

۲ دیوار متقاری در پیرامون باکس طول سوراخ دارد که بر هر کدام از برش زلزله 90ton وارد شده.



تعیین مقطع بحرانی برای برش

$$\frac{l_w}{2} = \frac{2.4}{2} = 1.2\ m \qquad \frac{h_w}{2} = \frac{3.6}{2} = 1.8\ m \Big\} \min \rightarrow 1.2\ m$$

برش در 1.2m از دیوار دیوار ←

$V_u = 90\ ton$

$M_u = P \times h_w = 90 \times 2.4 = 216\ ton.m$

تعیین مقاومت برشی مقطع

$d = 0.8 l_w = 0.8 \times 2.4 = 1.92\ m$

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

N_u نیروی محوری دیوار که در حالت فشاری مثبت است

λ ضریب نوع بتن که برای بتن های معمولی 1 است

برای بتن نیمه سبک 0.85

برای بتن تماما سبک 0.75

$$V_c = 0.53 \times 1 \times \sqrt{200} \times 1 \times 20 \times 192 = 28782\ kg = 28.78\ ton$$

$$V_u = 90\ ton > \phi V_c = 28.78 \times 0.75$$

$\phi_v = 0.75$ ضریب کاهی مقاومت برشی

نیاز به فولاد برشی است.

$$V_s = \frac{V_u}{\phi_v} - V_c = \frac{90}{0.75} - 28.78 = 91.22\ ton$$

$$V_{n,max} = 2.65 \phi_v \lambda \sqrt{f'} h d = 2.65 \times 0.75 \times 1 \times \sqrt{200} \times 20 \times 192 = 107932\ kg = 107.93\ ton$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi_v} = \frac{90}{0.75} = 120 > V_{n,max} = 107.93$$

چون V_n از مقاومت مکزیمم بیشتر است یا باید طول دیوار بیشتر شود یا ضخامت آن البته ترجیحا با روابط دقیق حساب کرد اگر مقاومت برشی در حد مجاز برود مسأله را با همین ابعاد ادامه داد در غیر اینصورت طول دیوار یا ضخامت آن باید افزایش یابد.

مجازیم اینکه از همان ترکیل برش ساده شده استفاده شود ضخامت دیوار را از این رو میدهیم ضخامت دیوار را ۲۵ سانتی متر در نظر میگیریم

$h = 25\ cm$

$V_{n,max} = 2.65 \phi_v \lambda \sqrt{f'_c}\, hd = 2.65 \times 0.75 \times 1 \times \sqrt{200} \times 25 \times 192 =$

$134\,915\ kg$

$= 134.91\ ton$

$V_n = 120 < V_{n,max} = 134.9\ ton$

چون ضخامت تغییر کرد مجددا V_c را محاسبه میکنیم.

$V_c = 0.53 \lambda \sqrt{f'_c}\, hd = 0.53 \times 1 \times \sqrt{200} \times 25 \times 192 =$

$35977\ kg \approx 36\ ton$

$V_s = \frac{V_u}{\phi_v} - V_c = 120 - 36 = 84\ ton$

ابتدا $\rho_{h(min)}$ را در نظر گرفته آگر با این مقدار فولاد افقی مقاومت برشی مقطع تأمین شد که هیچ در غیر اینصورت A_h را محاسبه میکنیم

$A_{h(min)} = \rho_{h(min)} \times s_2 h$

$\rho_{h(min)} = 0.0025$

با فرض $s_2 = 20\ cm$

$s_{min} = 25cm < s_2 < s_{max} = 35cm$

$A_{h(min)} = 0.0025 \times 20 \times 25$

$= 1.25\ cm^2$

$V_s = f_{yd} A_h / s_2 = 4000 \times 192 \times 1.25 / 20 = 48000\ kg = 48\ ton$

$V_s = 84\ ton$ مورد نیاز $A_{h_{min}}$ در نتیجه جواب این شد:

$$A_h = \frac{V_s S_2}{f_{yd}} = \frac{84000 \times 20}{4000 \times 192} = 2.19\ cm^2$$

دو رشته میلگرد داخل داریم

$n = 2$

$$A_{bh} = \frac{A_h}{n} = \frac{2.19}{2} = 1.095\ cm^2$$

مساحت یک میلگرد داخل

$$d_{bh} = \sqrt{\frac{4A_{bh}}{\pi}} = 1.18\ cm$$

به نزدیک‌ترین سایز میلگرد بالاتر گرد می‌شود

USE 2Φ12 @ 20 cm hor.

سی‌سی میلگردهای قائم بین ۲ این مرزی

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

$$\rho_h = \frac{A_h}{S_2 h} = \frac{2.19}{20 \times 25} = 0.0044$$

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5\left(2.5 - \frac{3.6}{2.4}\right)\left(0.0044 - 0.0025\right)$$

$$\rho_n = 0.0035 \qquad S_{min}=5\ cm < S_1 < S_{max}=35\ cm \quad \text{ok} \checkmark \qquad S_1 = 20\ cm$$

$$A_n = \rho_n S_1 h = 0.0035 \times 20 \times 25 = 1.75\ cm^2$$

دو رشته میلگرد داریم $n = 2$

$$A_{bn} = \frac{A_n}{n} = \frac{1.75}{2} = 0.875$$

مساحت یک میلگرد قائم

$$d_{bn} = \sqrt{\frac{4A_{bn}}{\pi}} = 1.05 \text{ cm}$$

می‌توانیم فاصله را کمی کمتر در نظر بگیریم و سیخ‌ها را ۱۰ تا کنیم یا فواصل بیشتر در نظر بگیریم

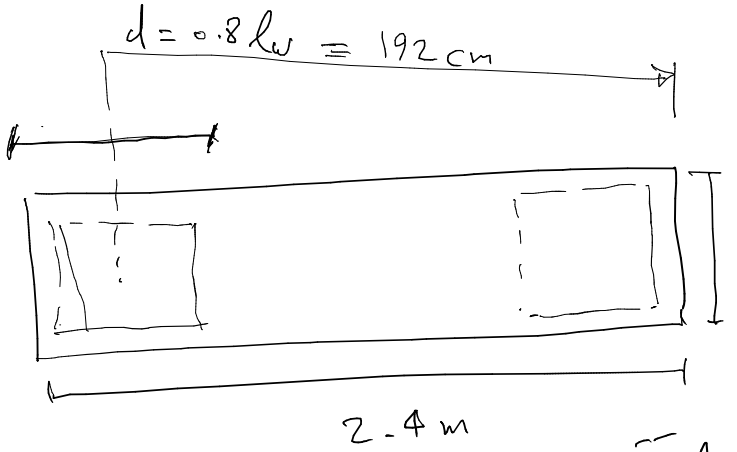
$$s_1 = 25 \text{ cm}$$

$$A_n = \rho_n s_1 h = 0.0035 \times 25 \times 25 = 2.19 \text{ cm}^2$$

$$A_{bn} = \frac{2.19}{2} = 1.095 \qquad d_{bn} = \sqrt{\frac{4 \times 1.095}{\pi}} = 1.18 \text{ cm}$$

$$OS \in \quad 2\phi 12 \ @ \ 250mm \quad \text{Ver.}$$

از دو میلگرد ۱۲ هر ۲۵ سانت قائم استفاده می‌کنیم (بین ۲ لایه مرزی)



محاسبه میلگردهای لایه مرزی

برای محاسبه مقاومت میلگرد لایه‌های مرزی ابتدا بازوی نیروی عمق مؤثر دیوار $0.85d$ در نظر گرفته می‌شود سپس A_s تقریبی محاسبه شده و با استفاده از A_s تقریبی مقدار طول بلوک تنش دیوار تعیین (a) سپس با استفاده از a محاسبه شده مجدداً A_s دقیق محاسبه می‌گردد

$$A_s \text{ تقریبی} = \frac{M_u}{\phi_M f_y (0.85d)} = \frac{21600000 \text{ Kg.cm}}{0.9 \times 4000 \times 0.85 \times 192} = 36.764 \text{ cm}^2$$

$\phi_M = 0.9$

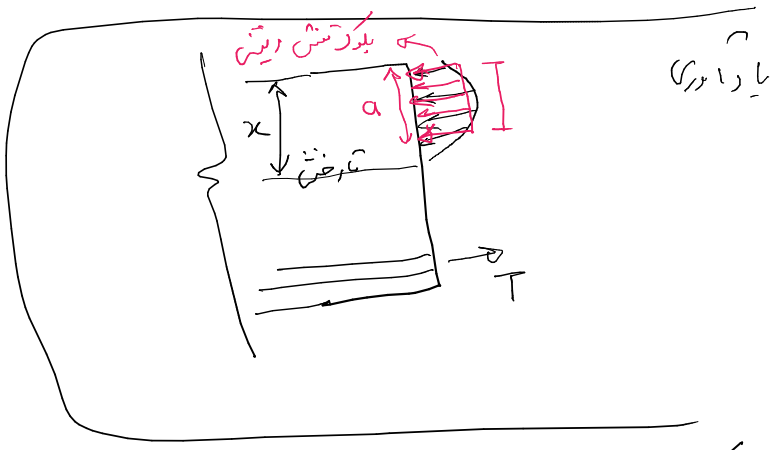
میلگرد مورد نیاز در هر لایه مرزی

$$a = \frac{f_y \times A_s}{\alpha_1 f'_c \, h} = \frac{4000 \times 36.764}{0.85 \times 200 \times 25} = 34.6 \text{ cm}$$

طول تنش بلوک فشاری

$$A_s = \frac{M_u}{\phi_n \times f_y (d - a/2)} = \frac{21600000 \ kg.cm}{0.9 \times 4000 \times (192 - \frac{34.6}{2})}$$

$$= 34.35 \ cm^2$$



بازه ای

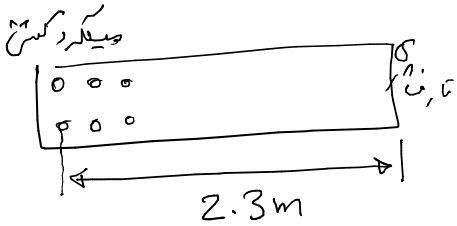
طول تیرت تاری دیوار

$$C = \frac{a}{\beta_1} = \frac{34.6}{0.85} = 40.7 \ cm$$

فاصله اولین میلگرد کشش تا دورترین تار بتنی

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{cu} \left(\frac{d_t - c}{c} \right) > 0.005$$

کنترل شکست نرم دیوار



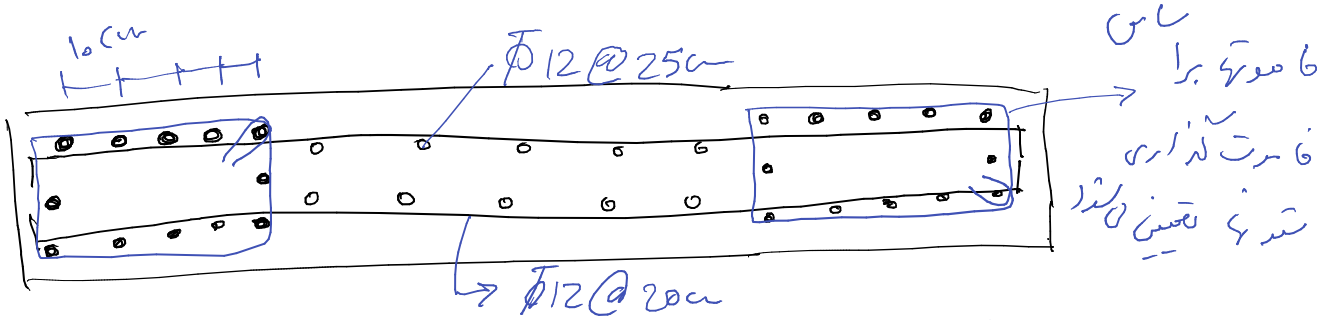
$$\varepsilon_t = 0.003 \left(\frac{230 - 40.7}{40.7} \right) = 0.013$$

برای بتن محدود

شکست دیوار نرم است.

$$\varepsilon_t > 0.005 \rightarrow$$

در مرحله آخر تعداد و سایز میلگردهای افقی مورد تعیین قرار گیرد



سایر فاصله برای قرارگذاری شده تعیین گردد

$n = 12$ تعداد میلگردهای افقی مورد

$$A_b = \frac{A_s}{n} = \frac{34.35}{12} = 2.86 \ cm^2$$ مساحت هر میلگرد

$$d_b = \sqrt{\frac{4A_b}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.86}{\pi}} = 1.9 \ cm$$

USE 12 Φ 20 in B.E. ۱۲ میلگرد ۲۰ در افقی مورد