* سازه های بتن آرمه 2

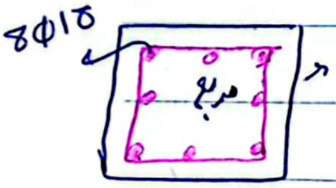
سرفصل ها:

۱. ستون ها
- ستون های کوتاه ← مقاومت
- ستون های بلند (لاغر) ← اثرات لاغری
  - P-Δ
  - P-δ

✓ تغییر شکل و ترک خوردگی
✓ بررسی قابلیت بهره برداری
✓ سیستم های سازه ای
✓ سقف ها

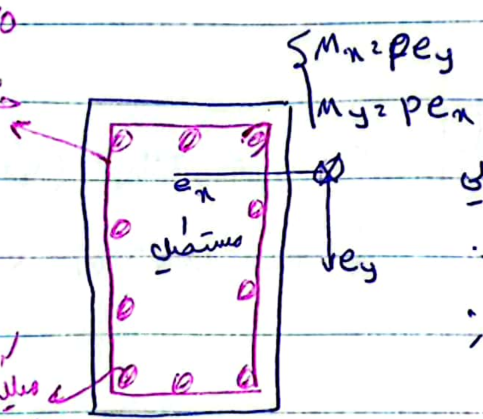
2. دال ها
3. دیوار های برشی
4. پی ها
5. خطوط لوله ای

ستون های رایج



تقارن دارند

$A_{st} = 8 \times \frac{\pi}{4} \times 18^2 = 2020\,mm^2$

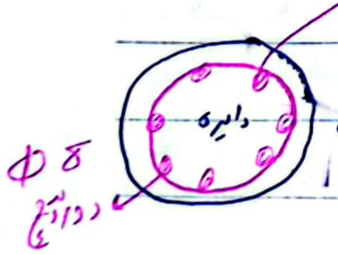

Φ10
خاموت (تنگ)
مستطیل
e_x
e_y
میلگردهای طولی

$$\begin{cases} M_x = P e_y \\ M_y = P e_x \end{cases}$$

* در ستون های مربع و مستطیلی از خاموت استفاده می شود. ولی در ستون های دایره ای از دورپیچ استفاده می شود.

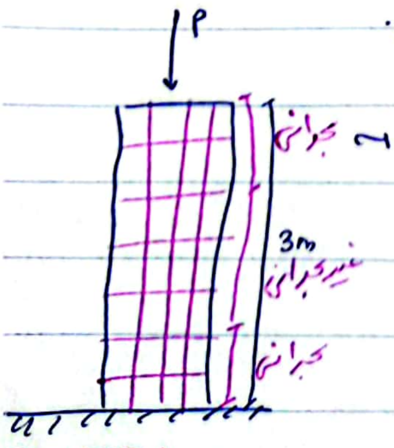
A_{st} = مساحت یکی × تعداد میلگردها

مجموع مساحت


دایره
Φ8
دورپیچ

بیشتر زیبایی معماری دارند

* اگر نیروی محوری در مرکز پلاستیک سطح مقطع محور های تقارن وارد شود بار محوری خالص و داریم یعنی بدون لنگر.


P
بحرانی
3m
غیربحرانی
بحرانی

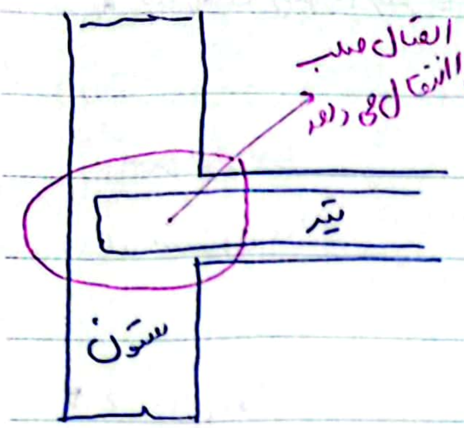
بحرانی ← برش بیشتره

$$\begin{cases} M_x = P_e\, y \\ M_y = P_e\, x \end{cases}$$

CHITRA

(۲)

SUBJECT: DATE / /

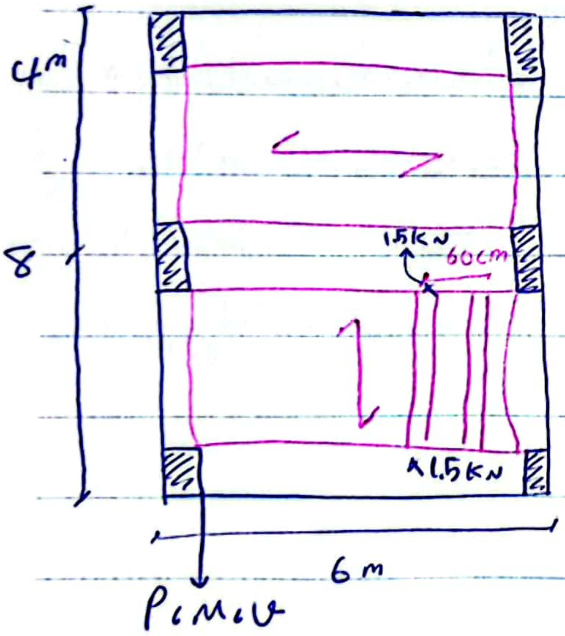

اتصال صلب
روشی که لنگر را انتقال می دهد
تیر
ستون

انواع مقطع: ① مستطیل ← از خاموت استفاده می‌شود مثل تیرها $\phi 10$

② مربع ← تقارن دارند، ساده‌تر طراحی و اجرا می‌شوند و از خاموت استفاده می‌شود $\phi 10$

③ دایره ← برای زیبایی معماری و از دورپیچ استفاده می‌شود $\phi 8$

سیستم باربر ← { جانبی ← { باد / زلزله } (مقابله کند) ← قاب خمشی / مهاربندی / دیوار برشی ؛ ثقلی ← سقف ← تیرچه }

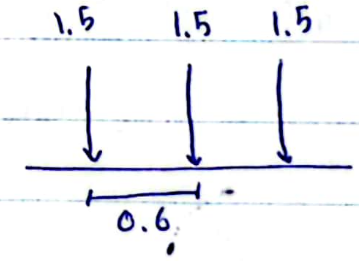

4m
8
6m
1.5kN
60cm
1.5kN
P, M, V

$D \sim 500\ kg/m^2\ (5\ kN/m^2)$

$L \sim 200\ kg/m^2\ (2\ kN/m^2)$

$0.6 \times 5 \sim 3\ kN$

$0.6 \times 2 \sim 1.2\ kN$



ستون تحت بار محوری خالص فشاری

مساحت کل مقطع — مساحت میلگردهای طولی

$$P_0 = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y$$

$\rightarrow \varepsilon_{cu} = 0.003$ کرنش گسیختگی بتن $< \varepsilon_y$

خاموت ← $P_{nc\,max} = 0.8 P_0$

دورپیچ ← $P_{nc\,max} = 0.85 P_0$

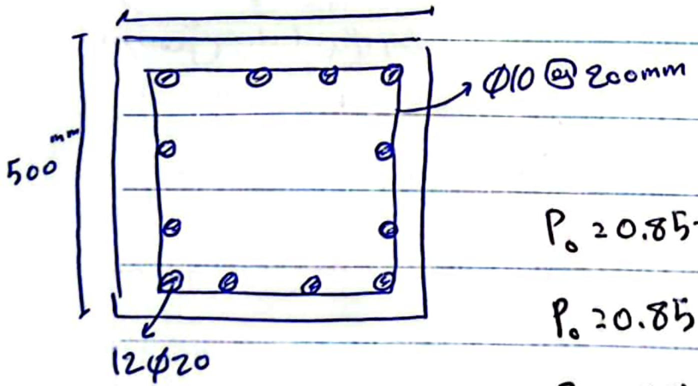
← حداکثر مقاومت فشاری اسمی ستون

$P_u \leq \phi P_n$ $\qquad \phi \sim \begin{cases} \text{خاموت} \sim 0.65 \\ \text{دورپیچ} \sim 0.75 \end{cases}$

ستون مربعی یا مستطیلی با تنگ بسته $\quad \phi P_n \sim 0.65 \times 0.8 \times P_0 = 0.65 \times 0.8 \times (0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y)$

$P_{nt\,max} = A_{st} f_y$ $\qquad$ ✓ حداکثر مقاومت کششی ستون

مثال: یک ستون بتن آرمه با مقطع 500×500 میلیمتر با مصالح C30 ، S400 دارای 12 میلگرد φ20 مطلوب است محاسبه P_0 ، $P_{nc\,max}$ ، $P_{nt\,max}$ ؟



$A_{st} = 12 \times \frac{\pi}{4} \times 20^2 = 3768\ mm^2$

$P_0 = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y$

$P_0 = 0.85 \times 30 (500 \times 500 - 3768) + 3768 \times 400$

$P_0 = 77\ {}^{68}\ kN$

$P_{nc\,max} = 0.8 P_0 = 0.8 \times 77\ 68 \simeq 6229\ kN$

$0.65 \times 6229 = 4048\ kN \leftarrow$

$P_{nt\,max} = A_{st} f_y = 3768 \times 400 = 1507\ kN$

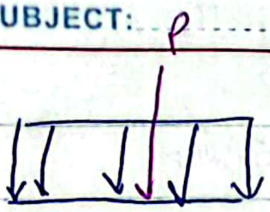
$\frac{P_{nc\,max}}{P_{nt\,max}} = \frac{6229\ kN}{1507\ kN} = 4.13$

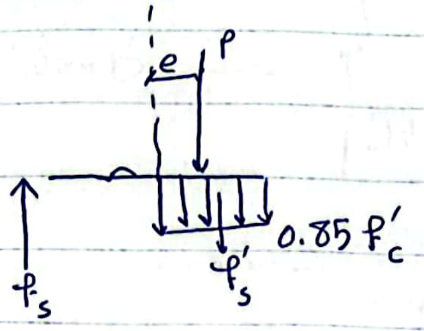
CHITRA

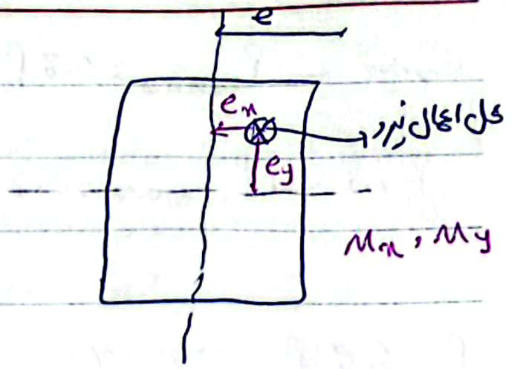
$P_u \leq 4048\ kN$

$\simeq 408\ ton$

ستون تحت بار فشاری با احتساب لنگر :

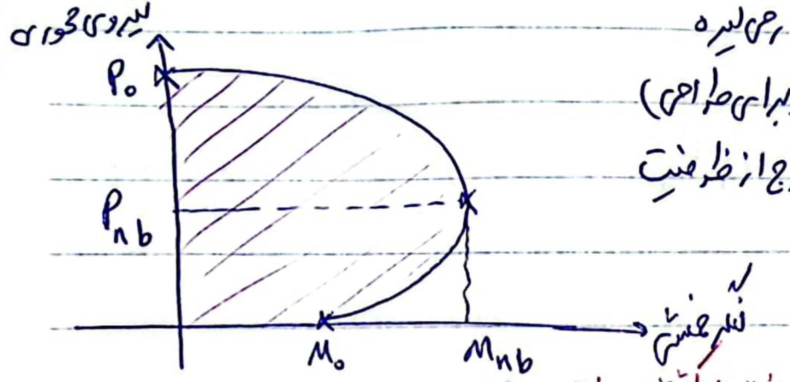






نمودار اندرکنش ستون ها

$P - M_x - M_y$



نقاطی که داخل نمودار قرار می‌گیره ترکیبی از P و M است (برای طراحی)
نقاط خارج از نمودار، خارج از ظرفیت ستون است.

فولادهای فشاری فولادهای کششی

$$P_{nb} = 0.85 f'_c (a_b \times b) + f'_s A'_s - A_s f_y$$

تنش میلگردهای فشاری

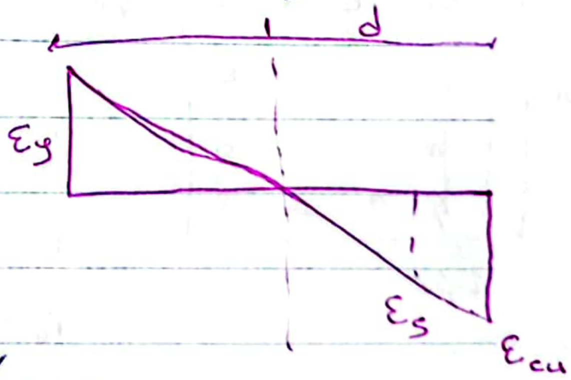
P_{nb} : در لحظه‌ای که بتن در فشار به گسیختگی می‌رسد فولاد در کشش به تسلیم می‌رسد.

$$x_b = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y} d$$

بتن : $\varepsilon_{cu} = 0.003$

فولاد : $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{400}{2 \times 10^5} = 0.002$

$a_b = \beta_1 x_b$



فشار کنترل ← $\varepsilon_s < \varepsilon_y$
کشش کنترل ← $\varepsilon_s > \varepsilon_y + \frac{0.003}{\varepsilon_{cu}}$
انتقالی

CHITRA

✓ روش بار متقابل برسلر

$$\frac{1}{P_n}=\frac{1}{P_{nx}}+\frac{1}{P_{ny}}-\frac{1}{P_0}$$

P_n ← نیروی محوری نهایی

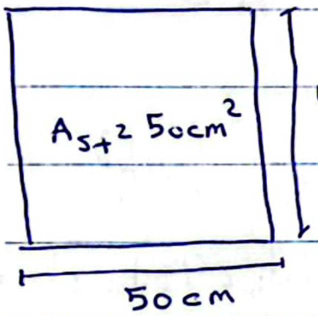
P_{nx} ← e_x دارد

P_{ny} ← e_y دارد

P_0 ← خالص محوری بدون خروج از مرکزیت

مثال: ستونی با مقطع مربع به ضلع 50cm با $50cm^2$ فولاد آرماتورگذاری شده است اگر مقاومت فشاری محوری اسمی این ستون در برون محوری $e_x=20cm$ برابر 300ton باشد مقاومت فشاری محوری اسمی این ستون را به طور تقریبی در برون محوری های هم زمان e_x و e_y تعیین کنید.

$e_x=20cm \rightsquigarrow P_{nx}=300ton$



$$\begin{cases} f_y=400Mpa \\ f'_c=20Mpa \end{cases}$$

$P_0=0.85f'_c(A_g-A_{st})+f_yA_{st}$

$P_0=0.85\times20(500\times500-5000)+400\times5000$

$P_0=6.17\times10^6N \rightsquigarrow 6170KN \overset{\approx}{\rightsquigarrow} 617\ ton$

$$\frac{1}{P_n}=\frac{1}{300}+\frac{1}{300}-\frac{1}{617}$$

$\rightsquigarrow P_n=198\ ton$

✓ محدودیت های آرماتورگذاری

4%

$\rho = \boxed{8\%}$ حداکثر*

$\rho = 1\%$ حداقل

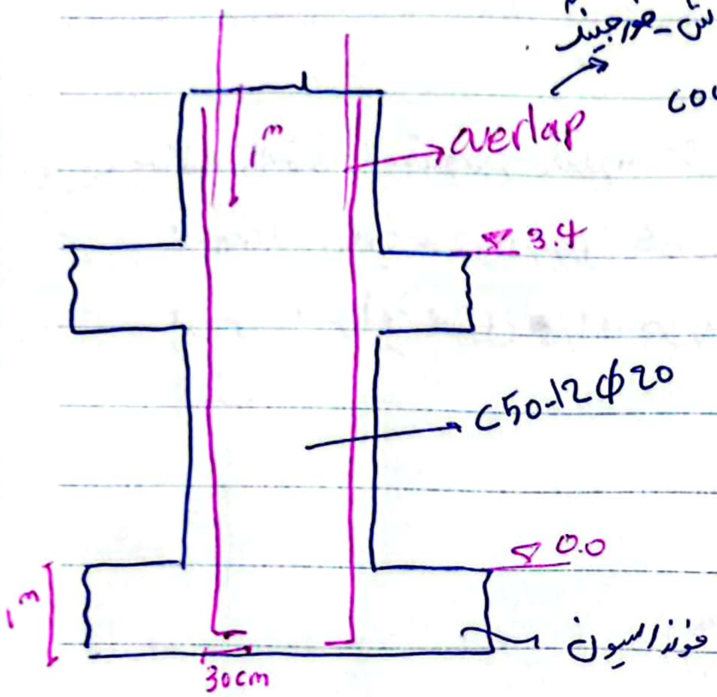
$$\rho = \frac{A_{st}}{A_g}$$

$$A_{st\,min} = \underbrace{50 \times 50}_{A_g} \times 0.01 \rightarrow 25\,cm^2$$

* برای حداکثر: به دلیل اورلپ که از فرمول 50d که مقدار اورلپ به دست می آید مقدار حداکثر را به 4% محدود می کنیم.

جوش - فورجینگ

coupling
کاپلینگ



به جز اورلپ دو حالت دیگر داریم:

① جوش فورجینگ ← ●

② کوپلینگ ← ▤

← ما شاید اورلپ بریم میلگرد نداریم و بتن ریزی ساده تر انجام می شود.

قطر میلگردهای عرضی d_{b} ≥ 10

" " طولی $d_b \geq 32$
گروه میلگرد

فاصله میلگرد های عرضی $S \leq man\{16d_b, 48d_v, b\}$

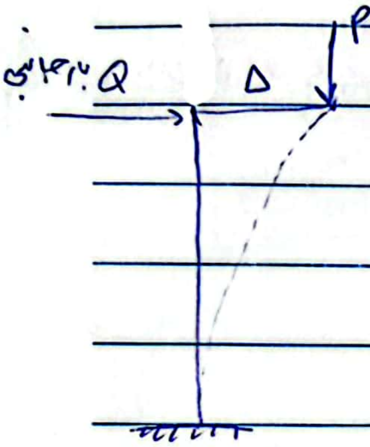
d_b: قطر میلگرد طولی
d_v: قطر خاموت
b: کوچکترین بُعد مقطع

* هرچه قطر دورپیچ کمتر باشد فاصله اش هم باید کمتر باشد.

✓ ستون ها { کوتاه ، لاغر

فشار خالص $P_0 = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$

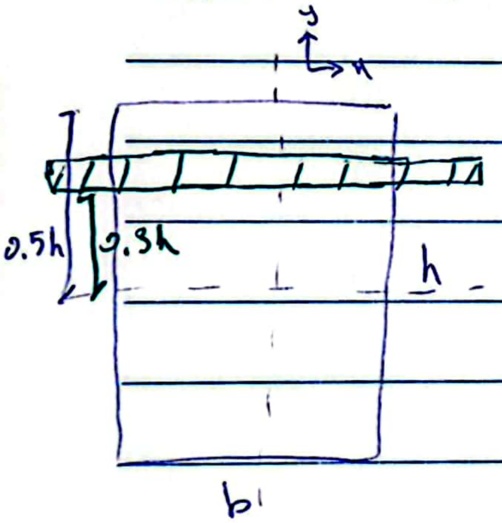
مقاومت اسمی $P_{n,max} \rightarrow \begin{cases} 0.85 P_0 & \text{دورپیچ} \\ 0.8 P_0 & \text{تنگ} \end{cases}$



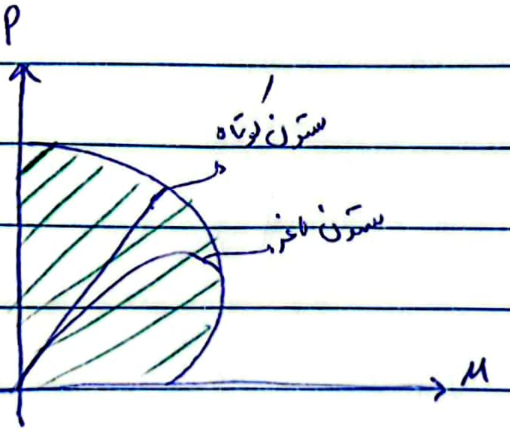
$M \sim P.\Delta$ یک لنگر ثانویه است

$$M = \underbrace{QL}_{\text{لنگر اصلی یا اولیه}} + \underbrace{P.\Delta}_{\text{لنگر ثانویه}}$$

نسبت لاغری $\lambda = \dfrac{k L_u}{r}$ ← طول مهارنشده ستون



$$r = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \sim \begin{cases} r_x = 0.3h \\ r_y = 0.3b \end{cases}$$



شاخص پایداری $Q = \dfrac{\Sigma P_u \Delta_0}{V_{us} L_c}$

طبقه ، مجموع ، بار محوری ، تغییرمکان جانبی ، برش کلی طبقه ، طول ستون

★ اگر از 0.05 بیشتر نباشد مهارشده است.

نمودار P-M، 3 قسمت دارد: ① فشار کنترل → $\varepsilon_s < \varepsilon_y$

② کشش کنترل → $\varepsilon_s > \varepsilon_y + \frac{0.003}{400}$

③ انتقالی

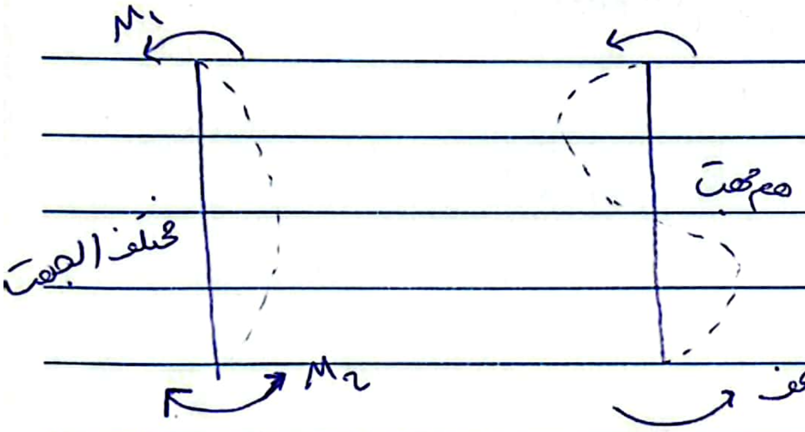
(EI) effective

ضرایب ترک‌خوردگی‌ها
- ستون‌ها → 0.7
- تیرها → 0.35
- دال‌ها → 0.25
- دیوارها → 0.35 / 0.7

$$\frac{\Sigma P\Delta}{V_{us} L_c} \uparrow$$

ستون‌های لاغر →
- مهارشده → شاخص پایداری $< 0.05 \rightarrow \frac{KL}{r} < \min\{34-12(\frac{M_1}{M_2}), 40\}$
- مهارنشده → $> 0.05 \rightarrow \frac{KL}{r} < 22$

صرف‌نظر از اثرات لاغری



انحنای مضاعف $\frac{M_1}{M_2} > 0$

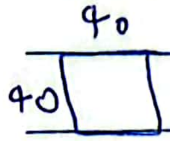
انحنای ساده $\frac{M_1}{M_2} < 0$

$\left|\frac{M_1}{M_2}\right| < 1$

مثال: در یک قطعه فشاری مهارشده در صورتی که ضریب لاغری یک و طول آزاد عضو 5 متر و ابعاد مقطع 40x40 باشد و لنگرهای خمشی موثر در انتهای عضو 60 و 80 و این لنگرها موجب انحنای دوطرفه شوند در چه حالتی می‌توان از اثرات لاغری صرف‌نظر کرد.

$K = 1.0$ $M_1 = 60$

$L = 5m$ $M_2 = 80$ شعاع ژیراسیون مقطع: $r = 0.3b = 0.3 \times 400 = 120\,mm$



نسبت لاغری $\lambda = \frac{KL}{r} = \frac{1.0 \times 5000}{120} = 41.7$

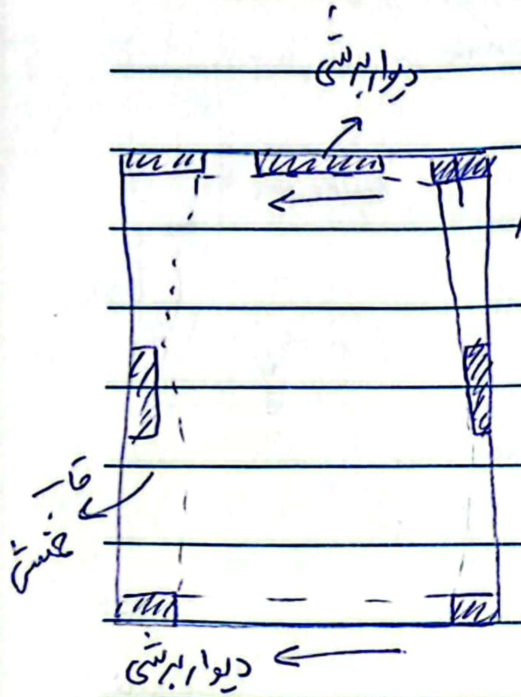
مهار شده

شرایط الف $\frac{KL}{r}$ را نمی‌توانیم استفاده کنیم چون لاغر است باید مقاطع را افزایش دهیم تا طراحی صورت گیرد.

$M_{طراحی} = M_1 + \delta M_1$

ضریب تشدید لنگر

دیوارها ← { برشی ← متصل / حایل ← متصل نیست

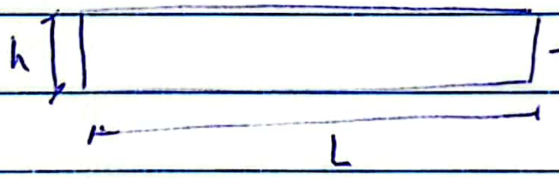


مقاومت محوری دیوار $P_n = 0.55 f'_c A_g \left(1-\left(\frac{kL_c}{32h}\right)^2\right)$

ارتفاع

سطح مقطع کل

ضخامت



$\rightarrow A_g = L \times h$

$k \sim$ { 1 ← مهار شده / 2 ← مهار نشده

$P_u \rightarrow \phi = 0.65$

$M_u \rightarrow \phi = 0.9$

$V_u \rightarrow \phi = 0.75$

مثال: یک دیوار باربر بتن آرمه با ضخامت 250mm و ارتفاع 4m با بتن c30 را در نظر بگیرید در صورتی که دیوار مهار شده باشد مقاومت فشاری اسمی این دیوار را محاسبه نمایید. $L = 2m = 2000^{mm}$ ، $K = 1$

$P_n = 0.55 \times 30 \times 2000 \times 250 \left(1-\left(\frac{1 \times 4000}{32 \times 250}\right)\right)$

$P_n = 6000 kN = 600 ton$

✓ دیوارها

← دیوارهای باربر ← مقاومت فشاری محوری

$\phi = 0.65$

مقاومت محوری خالص دیوار:

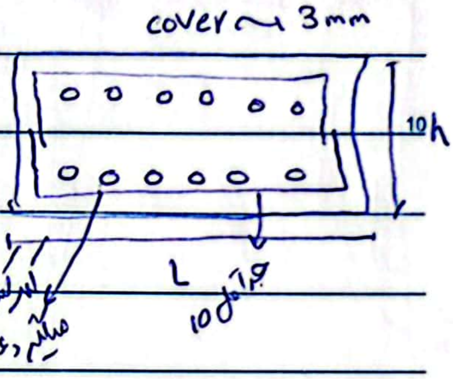
$$P_n = 0.55 f'_c A_g \left(1 - \left(\frac{kL_c}{32h}\right)^2\right)$$

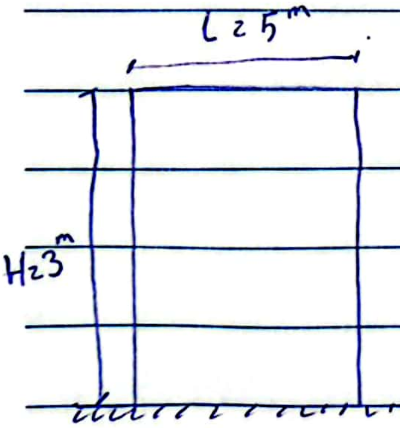
افقی طول دیوار — ارتفاع

در اجرا حداقل باید 200mm یا 20cm باشد.

حداقل ضخامت دیوار : $h_{min} = \min\left\{\frac{L}{25}, \frac{H}{25}\right\} \geq 100mm$

* در اجرا باید حداقل 200 میلی‌متر باشد.





مثال: $h_{min} = \min\left\{\frac{500}{25}, \frac{300}{25}\right\} = \max\{20, 12\}$ → 20cm

$\begin{cases} P_D = 3500kN \\ P_L = 1800kN \end{cases}$ ~ بارهای وارده

$\sim P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2(3500) + 1.6(1800)$

$P_u = 7080 kN$

$P_u \leq \phi P_n$

$7080 \leq 0.65 P_n$

$\sim P_n \geq \frac{7080}{0.65} = 10872 kN$

$P_n = 0.55 \times 25 \times \underbrace{5000 \times h}_{Ag} \left(1 - \left(\frac{1 \times 3000}{32h}\right)^2\right) \longrightarrow h \simeq 200 mm$

$32h \to 200$ $\longrightarrow P_n \simeq 10738$

(11)

$V_u = C \times W = \frac{ABI}{R} \times W$

ضریب رفتار ←
قاب خمشی متوسط 5
دیوار 4

آرماتور عرضی

Subject: Year: Month: Date:

✓ مقاومت برشی دیوارها

سهم از برش ↑ ضریب وزن بتن ↑ نسبت آرماتور عرضی به صفحه عمود ↑ مقاومت تسلیم ↑ مساحت برشی ↑

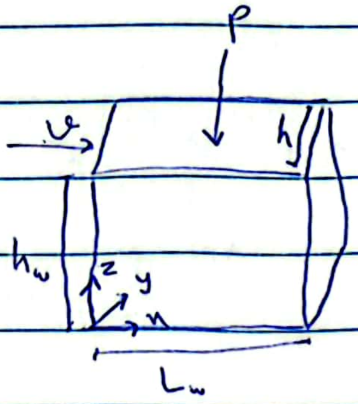
$$V_n = (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_{yt}) A_{cv}$$

$A_{cv} = h \times L_w$

بتن عادی 1 ← λ

آرماتور عرضی ← ρ_t

مقاومت برشی داخل صفحه xz در راستای طول دیوار



$\phi = 0.75$

$\frac{h_w}{L_w} \geq 2 \sim \alpha_c = 0.17$

$\frac{h_w}{L_w} \leq 1.5 \sim \alpha_c = 0.25$

$1.5 < \frac{h_w}{L_w} < 2 \sim$ با درون‌یابی $\simeq 0.2$ ، $\alpha_c \simeq 0.2$

$h = 200mm$
$L_w = 3m$
$f'_c = 25$

$A_{cv} = h \times L_w = 200 \times 3000$

$V_n \leq 0.66 \times \sqrt{25} \times 600$

$V_n \leq 1980\ kN$

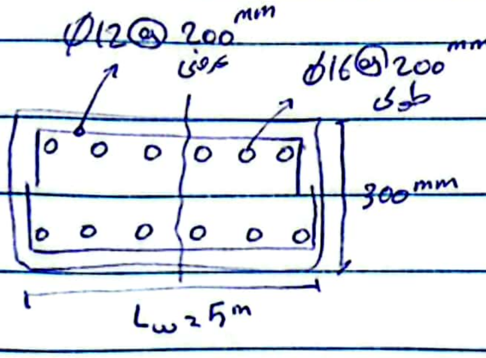
$V_n \leq 0.66 \sqrt{f'_c}\, A_{cv}$ حداکثر مقاومت برشی است

* حد فاصل 0.66 تا 0.2 مجاز هستیم از میلگرد عرضی (خاموت) استفاده کنیم.

مثال:

$h = 300mm$
$L_w = 5m$
$h_w = 6m$

C30
$f_y = 400MPa$



ارتفاع {H, L_c, h_w}

طول

ℓ_w , ℓ ها

h ضخامت

$V_n = (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_{yt}) A_{cv}$

$\frac{h_w}{L_w} = \frac{6}{5} = 1.2 \leq 1.5 \rightarrow \alpha_c = 0.25$

$\rho = \frac{50 \times 201}{300 \times 5000} \times 100 = 0.67\%$

$\rho_t = 2 \times \frac{1000}{200} \times 113 \times \frac{1}{A_{cv}} = 0.0038$

A_{cv}: 300×1000 ← 1^m

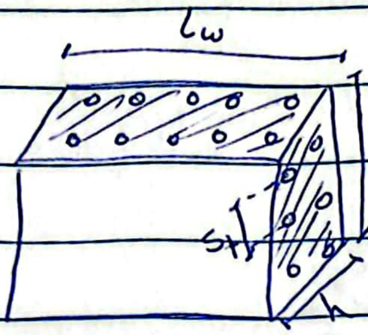
$6^m \sim 6000 - \frac{5900}{200} \sim \boxed{30}$

تعداد میلگرد ↑ دو طرف ↑

$\rho_t = \frac{30 \times 2 \times 113}{\underbrace{300 \times 6000}_{\text{مساحت صفحه عمود}}}$ ← مساحت میلگردها

$V_n = (0.25 \times 1 \times \sqrt{30} + 0.0038 \times 400) \simeq 4300\ kN$

حداکثر ← $0.66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 5000 = 5445\,KN$



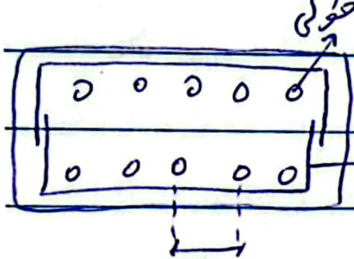
$A_g = L_w . h$

$A_{cv} = h . h_w$

طولی $\rho_L = \frac{A_{s,L}}{h.L_w \rightarrow A_g}$

میلگرد عرضی $\rho_t = \frac{A_{s,t}}{h.h_w \rightarrow A_{cv}}$

حداقل $(\rho_L, \rho_t)_{min} = 0.0025$



$S_L, S_t \le \min\{3h, 350^{mm}\}$
حداکثر

$v_u \le 0.5\,\phi\,\alpha_c\,\lambda\sqrt{f'_c}\,A_{cv}$

$\left(\frac{h_w}{L_w} \ge 2.0 \text{ or } v_u > 0.17\,A_{cv}\,\lambda\sqrt{f'_c}\right)$ ← باید دوشبکه میلگرد داشته باشیم

مثال $h = 300mm$ حداقل میلگرد طولی و عرضی را کنترل کنیم؟

$L_w = 3m$ شرط برش کم ← $v_u \le 0.5\,\phi\,\alpha_c\,\lambda\sqrt{f'_c}\,A_{cv}$

$f'_c = 25mpa$ اگر v_u کمتر از این مقدار باشد می‌توانیم به جای 0.0025 از 0.0015 استفاده کنیم.

میلگرد ← S400

$v_u = 125KN$ $\frac{h_w}{L_w} = \frac{6}{3} = 2 \rightarrow \alpha_c = 0.17$

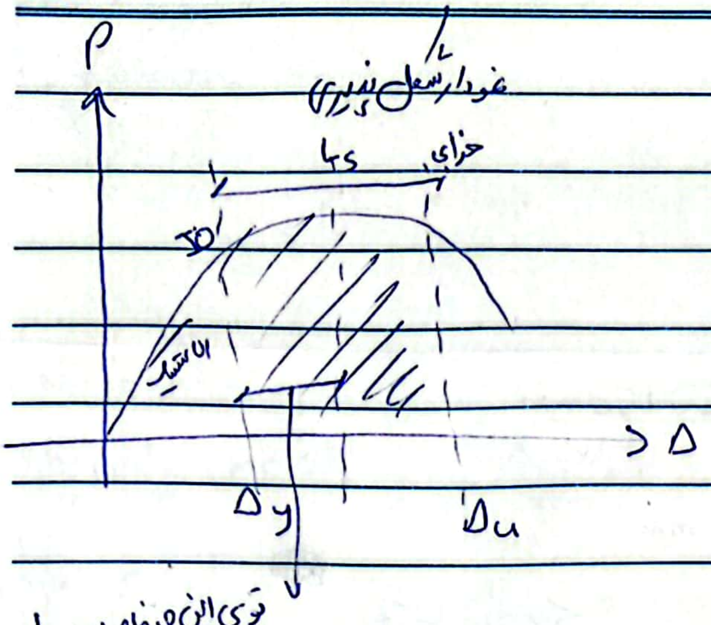
$h_w = 6m$

$0.5 \times 0.75 \times 0.17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \times 6000 \simeq 286\,KN$ ✓

پس شرط برقرار است.

$v_u < 286 \rightarrow \rho_{L_{min}} = 0.0015$

حداقل میلگرد طولی $A_{s\,min} = 0.0015 \times 300 \times 3000 = 1350\,mm^2 / 2 = 675\,mm^2 \rightarrow \phi 14 \rightarrow 2 \times 5\phi 14$



توی این حد فاصله باید طراحی را انجام داد.

ادامه مثال صفحه قبل 35cm

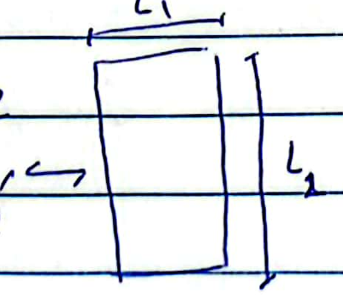
$$\underbrace{3000}_{\text{طول دیوار}} - \underbrace{2\times30}_{\text{دوتا کاور بتنی}} - \underbrace{2\times10}_{\text{میلگرد عرضی}} - \underbrace{14}_{\text{طولی}} \approx 2900$$

$$2900/4 = 725 > 350$$

دال‌های بتن آرمه ← slab
- one way یک طرفه
- two way دو طرفه

تقسیم بندی براساس انتقال بار

$\frac{L_2}{L_1} > 2$ یک طرفه است



$\frac{L_2}{L_1} < 2$ دو طرفه است

Subject : Year : Month : Date :

$$a = \beta_1 c = \frac{A_s f_y}{\alpha_1 f'_c b}$$

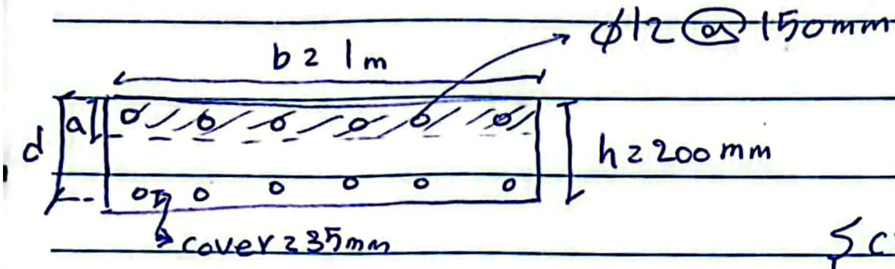
ارتفاع بلوک تنش وتنی

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

مثال :

ابعاد دال 7×3m

یک طرفه $\frac{7}{3} > 2$ ✓



بتن C30

میلگرد S400

$$d = h - \text{cover} = 200 - 35 = 165 \text{ mm}$$

$$a = \frac{A_s f_y}{\alpha_1 f'_c b} = \frac{7 \times 113 \times 400}{0.85 \times 30 \times 1000} = \frac{316400}{25500} = 12.4 \text{ mm}$$

$\frac{1000}{150} \simeq 7$ میلگرد

$$M_n = 7 \times 113 \times 400 (165 - 0.5 \times 12.4) \simeq 50 \text{ kN.m}$$

$$\Rightarrow M_u \leq 0.9 \times 50 \Rightarrow M_u \leq 45 \text{ kN.m}$$

✓ آرماتور حداقل دال

حرارت و جمع شدگی

$$A_{s,min} = 0.0018 A_g$$

$$A_g = bh$$

برای مثال قبل : $A_g = 1000 \times 200 = 200000$

$$A_{s,min} = 0.0018 \times 200000 = 360 \text{ mm}^2/\text{m}$$

$\phi 12 \rightarrow A_s = 113$

✓ $4\phi 12$ $\quad \phi 12 @ 350 \text{ mm}$

فاصله حداکثر میلگرد $S_{max} \leq \min\{5h , 350\}$

$S_{max} \leq \min\{5\times200 , \underline{350}\}$

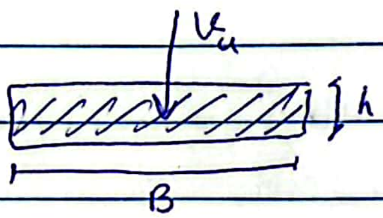
- برش در دال های یک طرفه

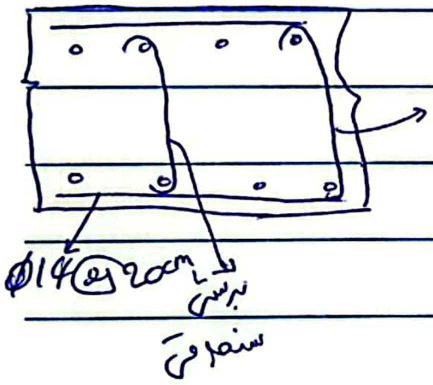
$V_u \leq \phi V_n$

$A_{s\,min} = 0.0018 A_g$

$\rho_{min} = 0.0018 \longrightarrow$ حرارت و جمع شدگی

$V_n = \underbrace{V_c}_{\text{مقاومت برشی}} + V_s$





$V_u > \phi V_c$

$$V_s = \frac{\overset{\text{سطح مقطع میلگرد عرضی}}{A_v} f_{yt} d}{\underset{\text{فاصله}}{S}}$$

معادله $V_c = 0.42 \lambda \sqrt{f'_c}\, b_w d$

cover میلگرد ها در دال 35 میلی متر است.

مثال $h = 200mm$

$f'_c = 25\ MPa$

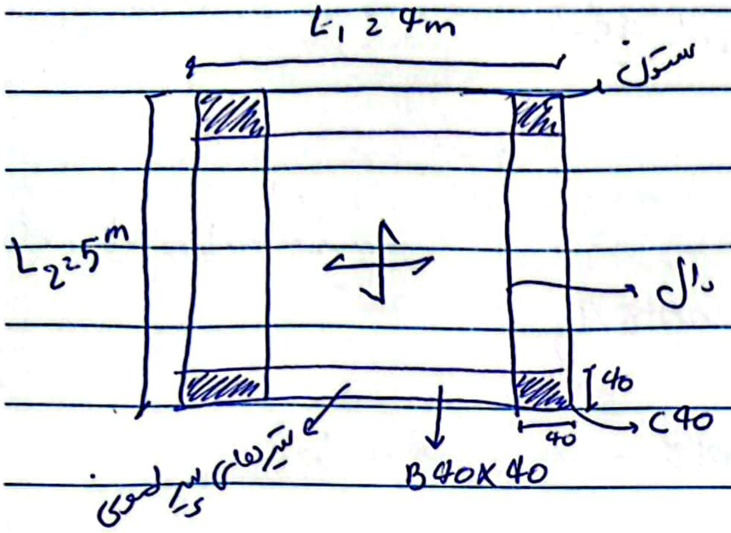
$d = h - 35 = 165mm$

$V_c = 0.42 \times 1 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 165 = 346500 N = 346 kN$

یکطرفه ← تیرچه

دوطرفه ← برشی

← قارچ


$L_1 = 4m$
ستون
$L_2 = 5^m$
دال
40
C40
40
تیرهای پیرامونی
L_s
B40×40

$\frac{L_1}{L_2} < 2$

✓ دال دوطرفه

✓ توزیع بار در دو جهت

$A = 4 \times 5 = 20 m^2$

$2(4+5) = 18 m$

$18 \times (0.4) = 7.2 m^2$ $\frac{7.2}{20} = 0.3$

$h = 20 cm$

$I_f = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{3.2 \times 0.2^3}{12} = 0.002$

$I_b = \frac{0.4^4}{12} = 0.002$

$\alpha_f = \frac{E_{cb} \; I_b}{E_{cs} \; I_s} = 1$ نسبت سختی خمشی

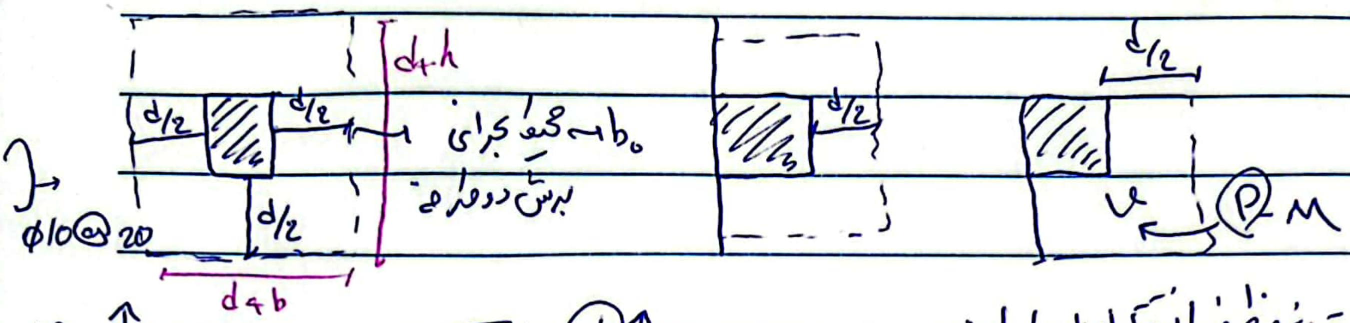
$\alpha_f > 2 \rightarrow$ تیر $\rightarrow$ دال تخت

قاب خمشی

برش ← یک طرفه ← $V_u \le \phi(V_c+V_s)$

دوطرفه

$b_0 = 2(d+b+d+h) \times h$


d+h
d/2
d/2
d/2
d/2
d/2
محیط بحرانی ← b_0
برش دوطرفه
$\phi 10 @ 20$
d+b
V
P-M

V_c ↑ → $0.42\lambda\sqrt{f'_c}\, b_w \textcircled{d}$ ↑

سهم

ستون وظیفه انتقال بار را دارد.

$\boxed{\text{سقف}}$ ← تیر ← ستون ← فونداسیون

P-M

V, M

برش دوطرفه $V_c = v_c b_0 d$

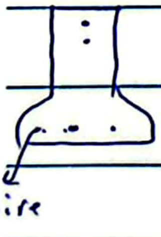
$\overset{m}{0.2} \times \overset{kg/m^3}{2500} = 500\, kgf/m^2$

$V = C W \to 1m^2 \to 250\, kg/m^2$

سقف:
- دال ← توپر / مجوف
- تیرچه ← خرپایی / پیش تنیده / کرمیت ← [illegible]
- عرشه
- کامپوزیت

$V_c = \min\{0.33\lambda_s\lambda\sqrt{f'_c}\} \le 8.3$ MPa

ضریب اصلاح اندازه $\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1+\frac{d}{250}}} \le 1$



4200 ← A3

$f_y = 18000\, kg/cm^3$