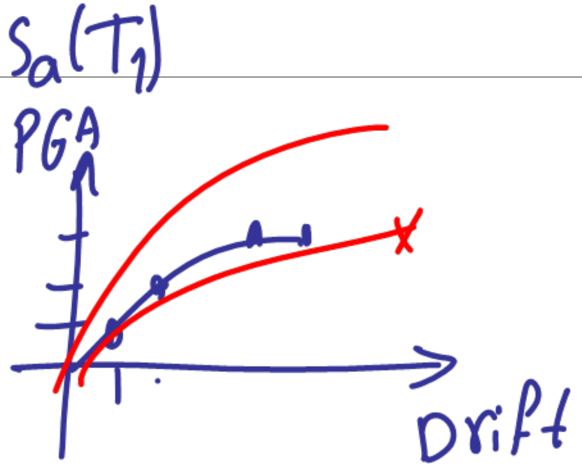
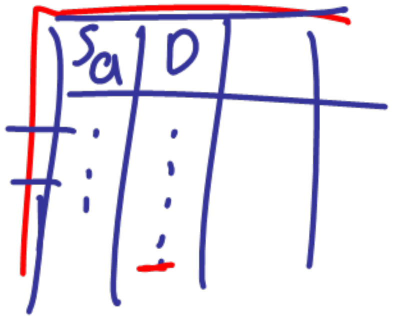
سیستم تعادلی

سازه‌های بلند



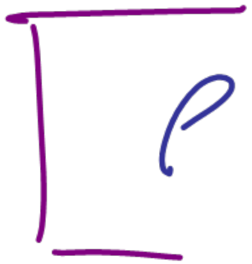
همبستگی ← IDA

مثال انتخابی



بررسی رفتار قاب و دیوار

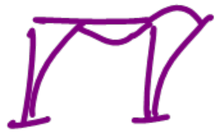
سختی خمشی نسبی تیر به ستون:



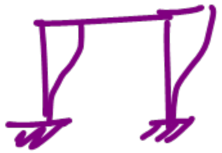
$$\rho = \frac{\left(\frac{EI}{l}\right)_b}{\left(\frac{EI}{h}\right)_c} = \frac{\text{سختی خمشی تیر}}{\text{سختی خمشی ستون}}$$

ρ ← در محدوده خطی رفتار قاب را خوب نشان می‌دهد

$\frac{3EI}{h^3}$



$\frac{12EI}{h^3}$



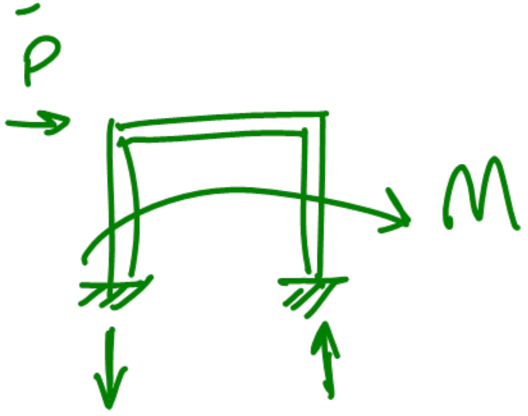
$\rho = 0$ ← سختی تیر کم ← ستون‌ها مثل طره

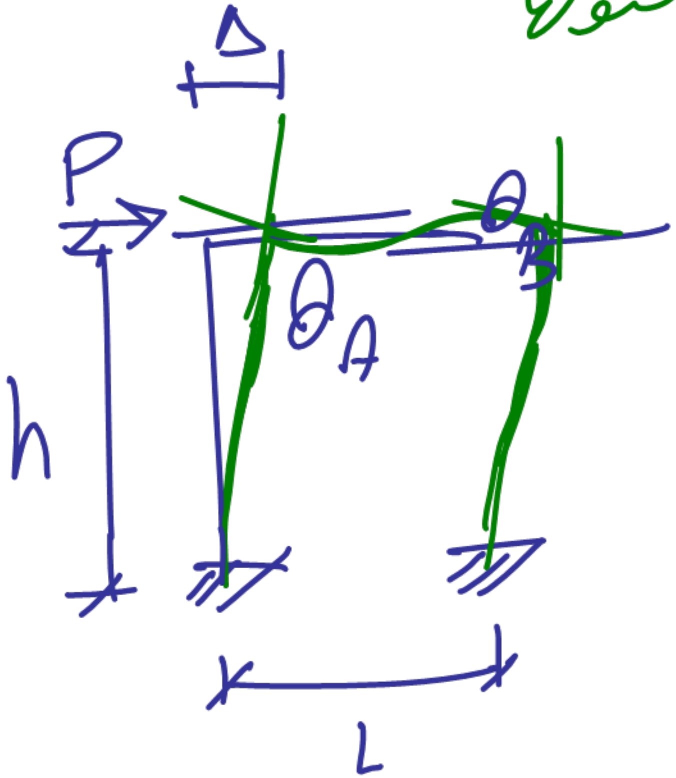
$\rho = \infty$ ← سختی تیر زیاد ← ستون‌ها دو سر گیردار

(همین سختی ناشی از ستون‌ها با لحاظ تأثیر تیرها را می‌شود سختی طبقه هم دانست)

عملکرد قابی: تأمین قسمتی از مقاومت در برابر لنگر واژگونی از طریق لنگر ناشی از

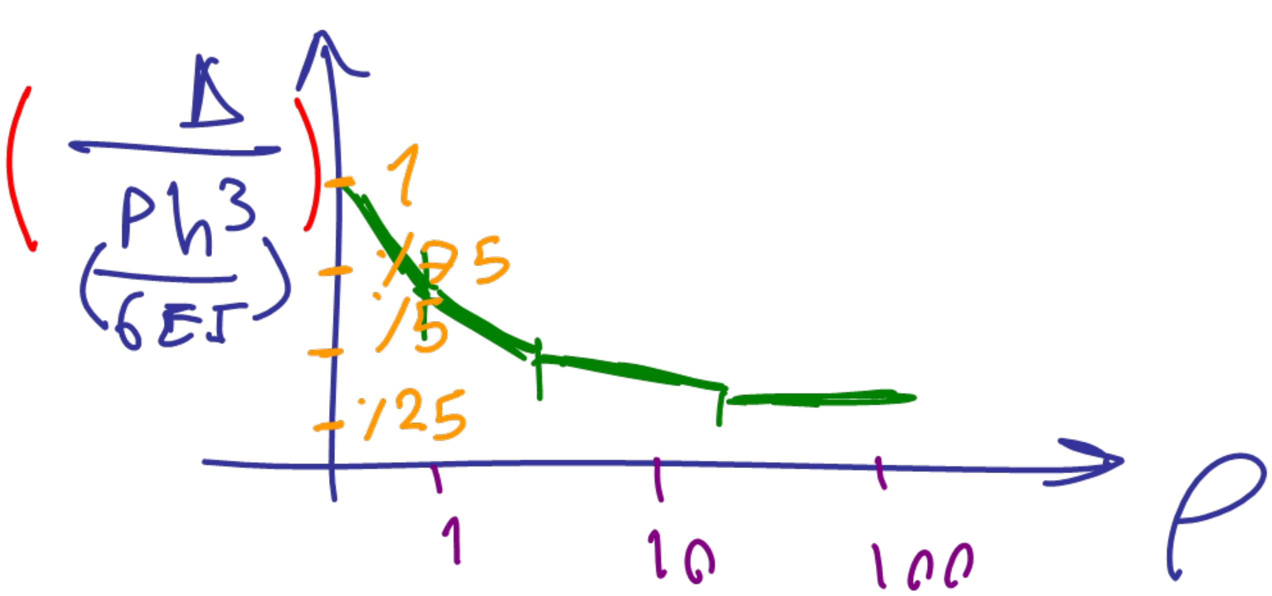
نیروهای محوری در ستونها

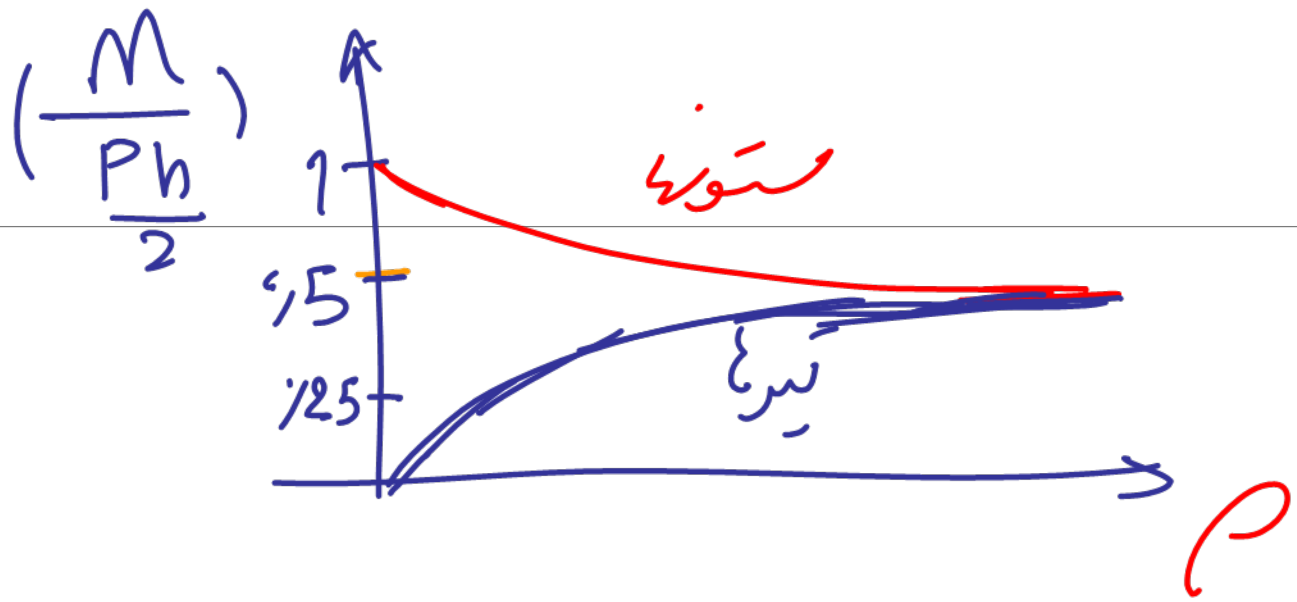


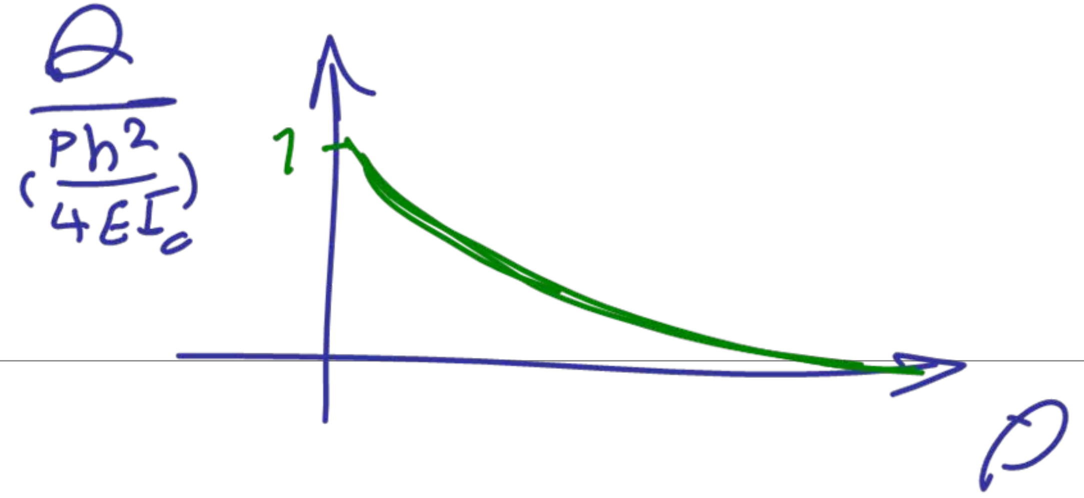


تغییرمکان های قاب	$\rho = 0$	$\rho = \infty$
$\Delta = \frac{Ph^3(3\rho+2)}{(EI_c)(72\rho+12)}$	$\frac{Ph^3}{6(EI)_c}$ دو ستون	$\frac{Ph^3}{24(EI)_c}$
$\theta_A = \theta_B = \frac{Ph^2}{4(EI)_c(6\rho+1)}$ دوران گره A و B	$\frac{Ph^2}{4(EI)_c}$	0
$M_c = \frac{Ph}{2}\left(1 - \frac{3\rho}{6\rho+1}\right)$ لنگر ستون	$\frac{Ph}{2}$	$\frac{Ph}{4}$
$M_b = \frac{P}{2}h\left(\frac{3\rho}{6\rho+1}\right)$ لنگر تیر	0	$\frac{Ph}{4}$

نرمالایز کردن Δ







قاب دو مود اصلی تغییر شکل دارد:

تغییر شکل یک سازه قابی

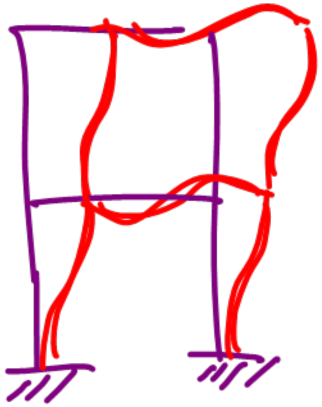
1 بخشی بصورت برشی

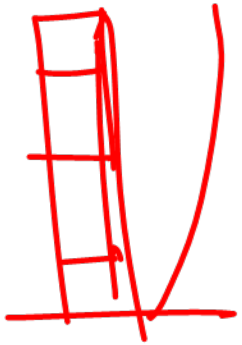
2 بخشی بصورت خمشی

تغییر شکل:
- کلی سازه
- اعضاء

* تغییر شکل برشی قاب
ناشی از تغییر شکل خمشی
اعضا است،

①





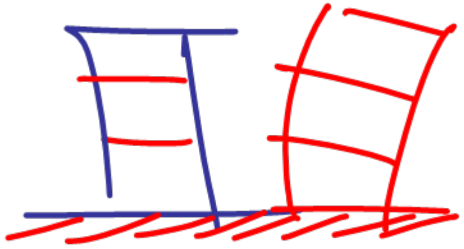
سهم تغییر شکل برشی

90%

* حتی ممکن است از تغییر شکل برشی اعضا صرف‌نظر شده باشد

②

بخش تغییر شکل خمشی قاب



* ناشی از تغییر شکل محوری ستون‌ها

۱۵٪

البته بستگی به تعداد (طبقات) و نسبت ارتفاع به بعد دارد

تغییر مکان کل ← مجموع تغییر مکان نسبی طبقات

$$\text{تغییر مکان نسبی طبقه } i = \left(\frac{\text{برش طبقه } i}{\text{سختی طبقه } i}\right)$$

$\frac{3EI}{h^3}$ اگر گره‌ها آزادانه بچرخند:

$\frac{12EI}{h^3}$ نچرخند: " "

انواع سختی:

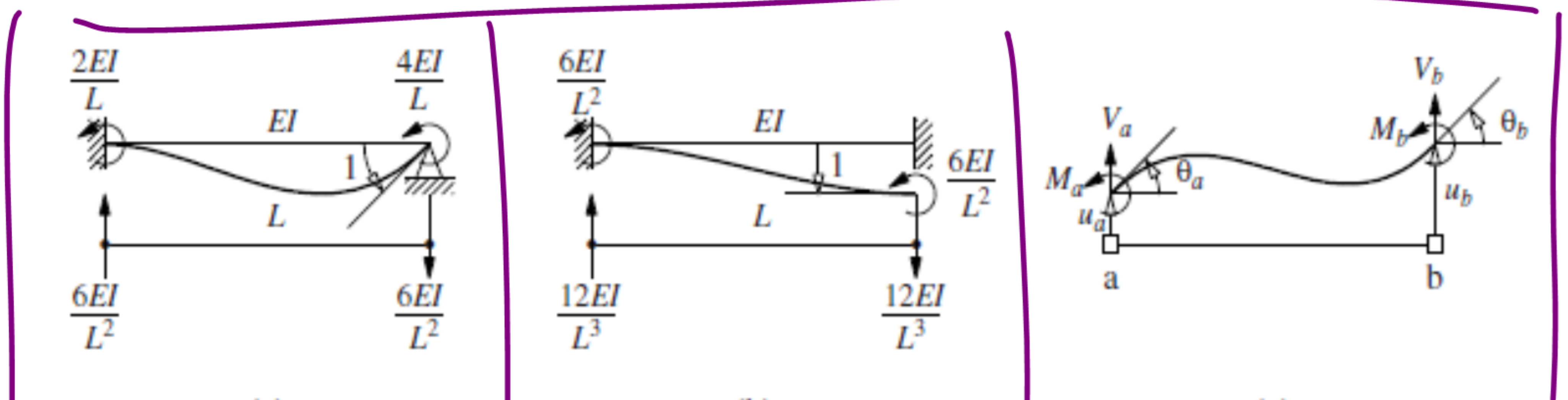
سختی محوری $\frac{EA}{L}$

سختی خمشی $\frac{EI}{L}$

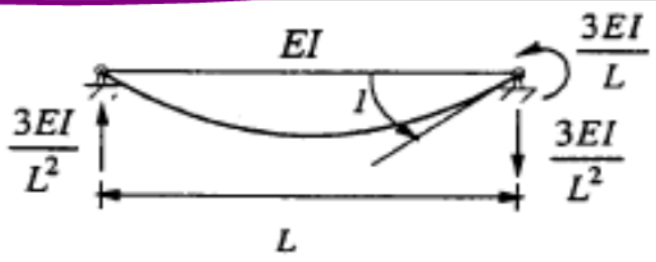
" برشی GA

" پیچشی GJ

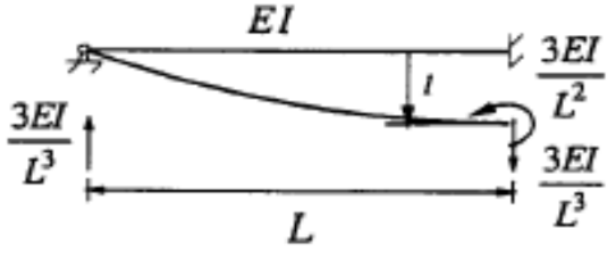
(بدست آوردن سختی قاب با روش‌های مختلف ؟)
روابط



(a) (b) (c)



nslation:

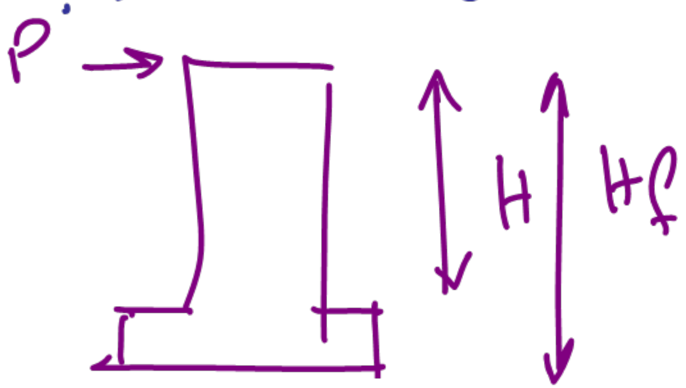


دیوار:

$$\delta = \delta_b + \delta_s + \delta_f$$

ناشی از خمش دیوار (δ_b)
ناشی از تغییرشکل برشی دیوار (δ_s) → مودهای تغییرشکل
ناشی از دوران پی (δ_f)

بیشتر خمشی و کمتر برشی



$$\delta_b = \frac{PH^3}{3EI}$$

تنش برشی

$$\delta_s = \frac{PH}{GA^*} = \frac{PH}{GA^*}$$

$\gamma \cdot H$

سطح مقطع برشی A^*

مستطیل $A^* = \frac{5}{6} A$

$$\frac{\tau}{G} = \gamma$$

کرنش برشی

$$A^{*} = \frac{A}{\alpha}$$

سطح وابسته به شکل سطح مقطع ۱ تا ۱

مستطیل ۱٫۲

زاویه دوران

ارتفاع دیوار تا تراز زیر تیر

$$\delta_f = \left(\frac{P H_f}{K_\varphi}\right) \cdot (H_f) = \left(\frac{P H_f^2}{K_\varphi}\right) \cong \frac{P H^2}{K_\varphi}$$

سختی به جای سیستم خارجی

دوران شالوده

فصل ۴ دستورالعمل ۳۶۰

$(H_f \cong H$ در سازه‌های بلند با تقریب خوب$)$

δ_s δ_f δ_b

$H < H^2 < H^3$ ⟶

میزان تأثیرپذیری پارامترها از فاکتور ارتفاع؟ ← در سازه‌های بلند مقدار اثر بیشتر

تأثیر تغییر شکل برشی

(همه سیستم‌های دنیا عملاً رفتاری خمشی و برشی دارند
که به صورت سری قابل مدلسازی هستند)

خمشی برشی

$$\delta_{b+s} = \frac{PH^3}{3EI} + \frac{PH}{G\frac{A}{\alpha}}$$

$$\delta_{b+s} = \frac{PH^3}{3EI}\left(1 + \frac{3EI}{GAH^2}\alpha\right)$$

می‌خواهیم ببینیم برش چه درصدی از تغییر شکل را تشکیل می‌دهد

$$\alpha = 1{,}2 \quad / \quad E = 2{,}4\,G$$

$$\delta_{b+s} = \frac{PH^3}{3EI}\left(1 + 8{,}6\,\frac{I}{AH^2}\right)$$

$$\frac{I}{A} = \frac{\frac{t\,(l_w)^3}{12}}{l_w t} = \frac{l_w^{\,2}}{12}$$

$$\delta_{b+s} = \frac{PH^3}{3EI}\left(1 + 0/7\,\frac{l_w^{\,2}}{H^2}\right)$$

وابسته به $\frac{l_w}{H}$

$(1 + \%2)$ 20%

$(1 + 0/7)$ 70%

$(1 + \%007)$

$\frac{l_w}{H} = \%5$ اگر مقدار

$\frac{l_w}{H} = 1$

$\frac{l_w}{H} = 10$

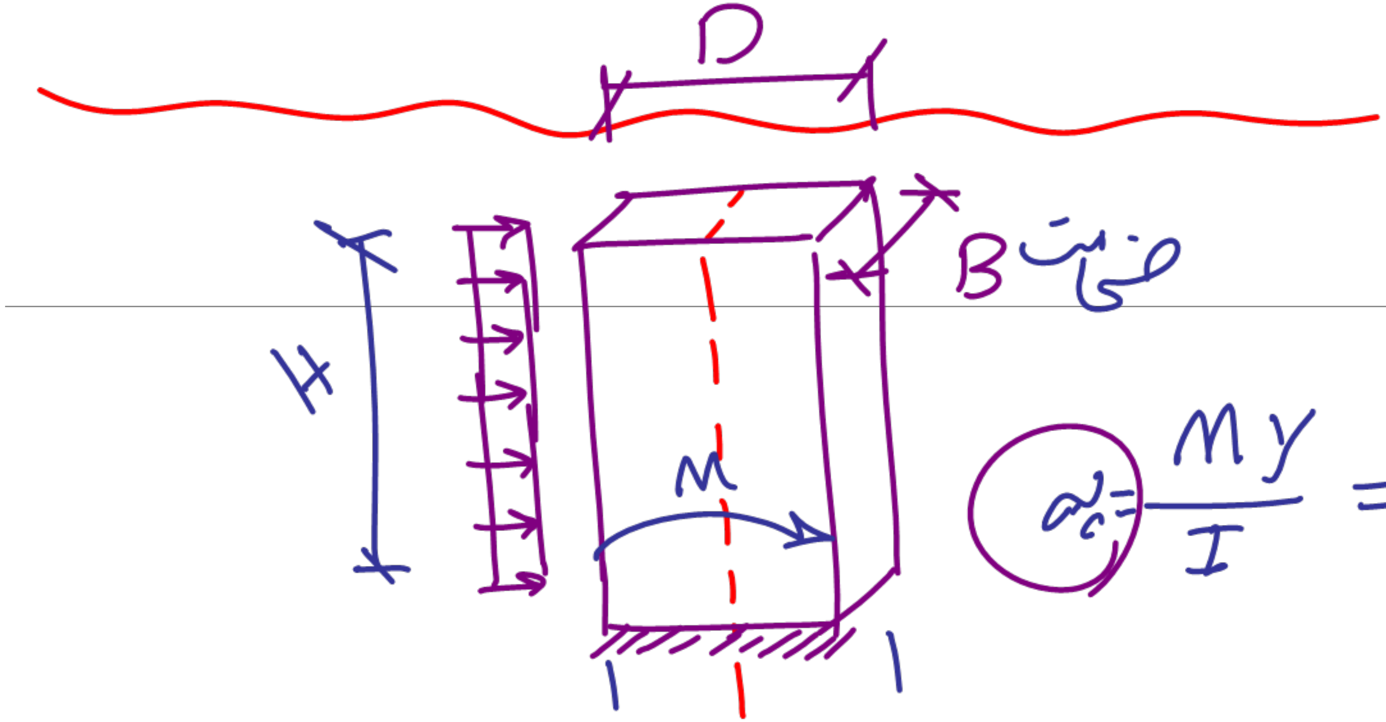
↓ چاق تر

δ_s در این مورد تقریباً ← (%7 %) در کل دخالت کرده

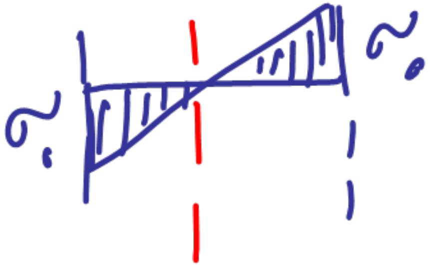
%07 درصد تغییر شکل‌ها

تغییر شکل برشی در دیوارهای بلندتر کم اهمیت‌ترند،

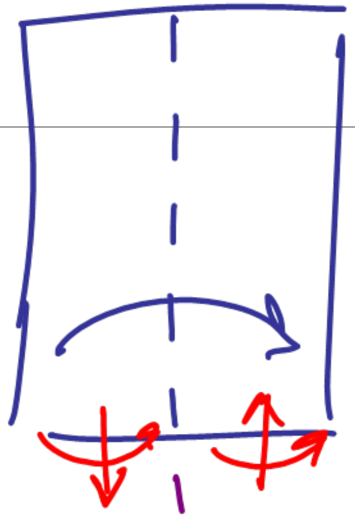
به ارتفاع تنه مستقیم دارد

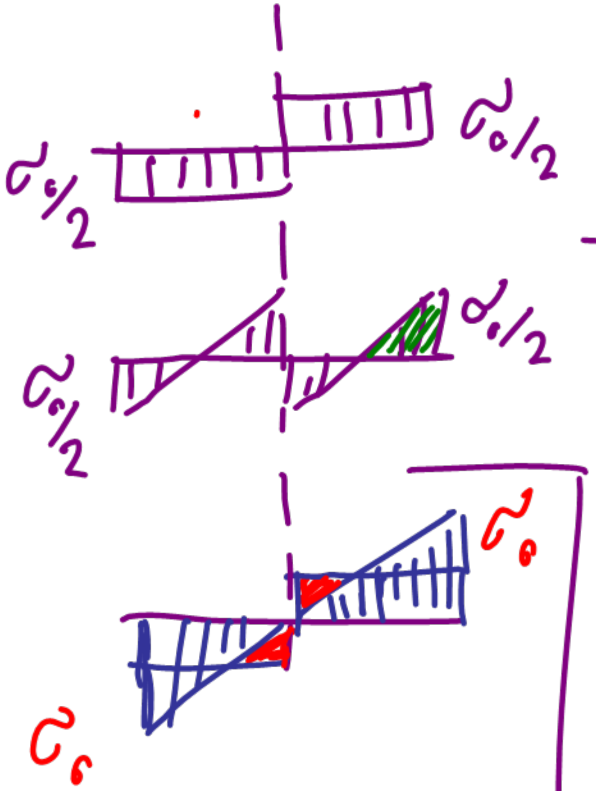


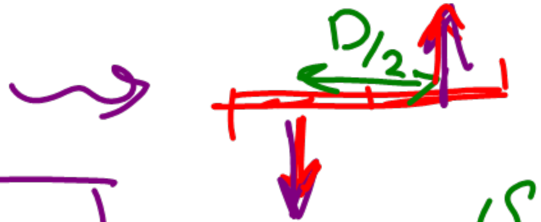
$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{M\,\frac{D}{2}}{\frac{BD^3}{12}} = \frac{6M}{BD^2}$$



با فرض دو دیوار مجازی ← نیمی از لنگر رخ داده توسط کوپل نیرویی تحمل می‌شود که در دو دیوار ایجاد شده

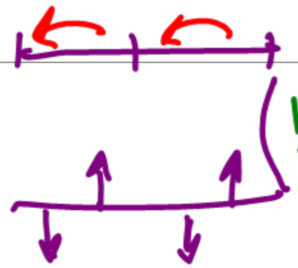






کوپل نیروی محوری

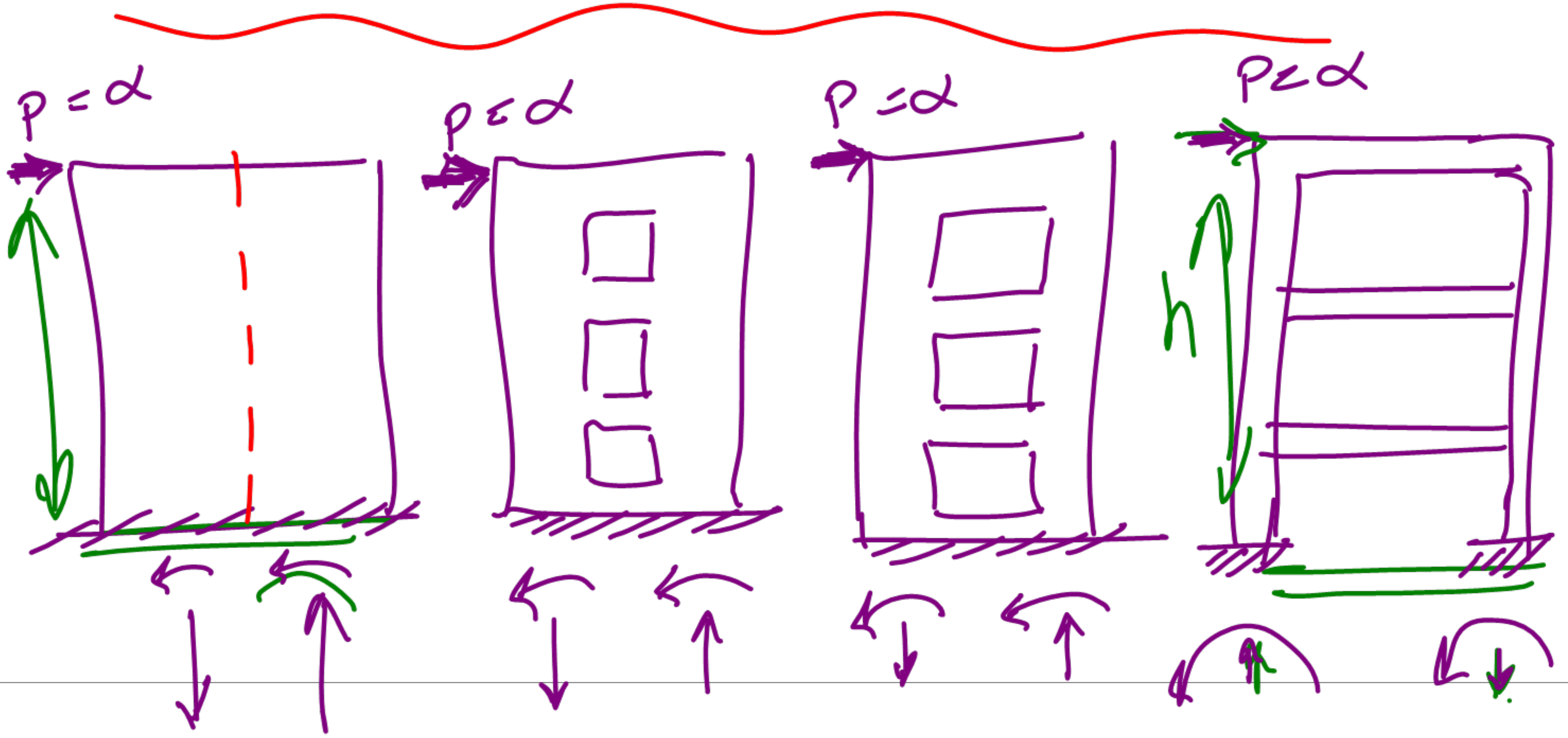
$$\left(\frac{\sigma_0}{2}\left(\frac{BD}{2}\right)\frac{D}{2}\right) = \frac{3}{4}M$$



$$\left(\frac{1}{2}\frac{\sigma_0}{2}\frac{BD}{4}\right)\left(\frac{2}{3}\frac{D}{2}\right) \rightarrow \frac{1}{4}M$$

* پس مطابق این استدلال

3/4 لنگر توسط کوپل تحمل می‌شود



سهم نیروی محوری کم‌تر می‌شود

لا به هندسه شکل داره ← گرچه سهم نیروی محوری

کمتر می‌شود ولی لنگر تحمل شده ازوها کم نمی‌شود؟

زیرا سهم لنگری که کوپل بار محوری تحمل می‌کند به فاصله نیروها هم بستگی داره.

اندرکنش قاب و دیوار

دیوار

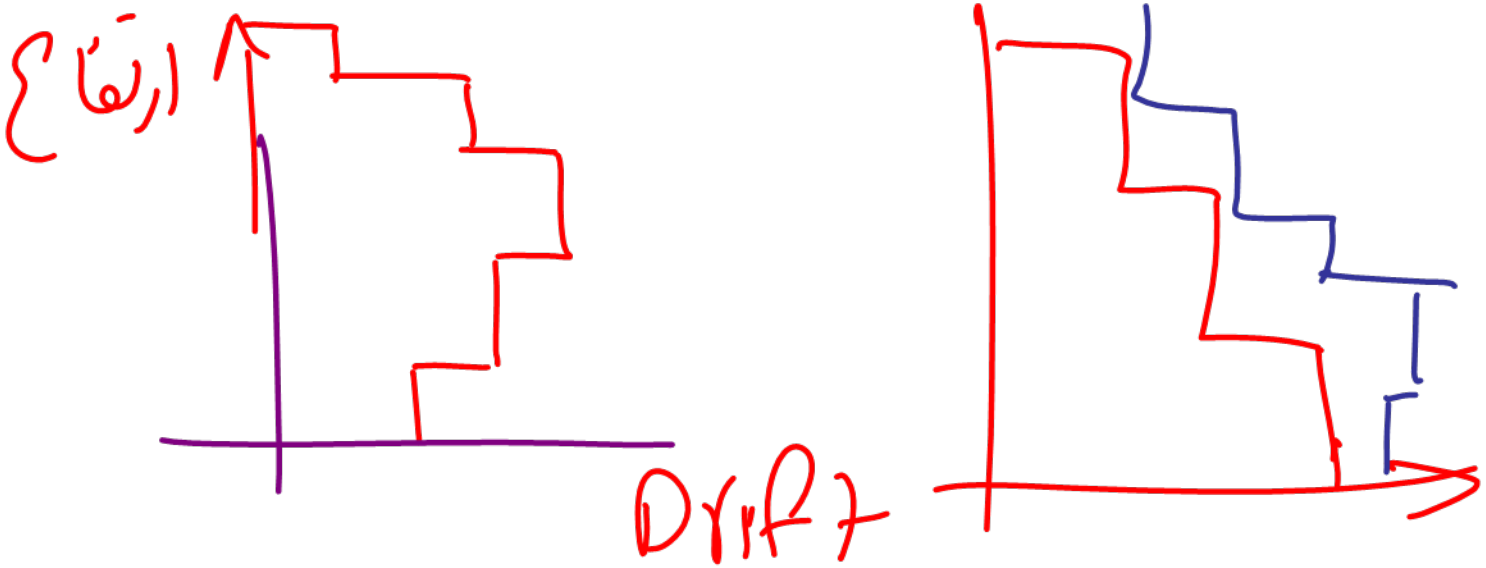
پایین سازه را سخت می‌کند

دریفت‌ها در طبقات پایین کمتر

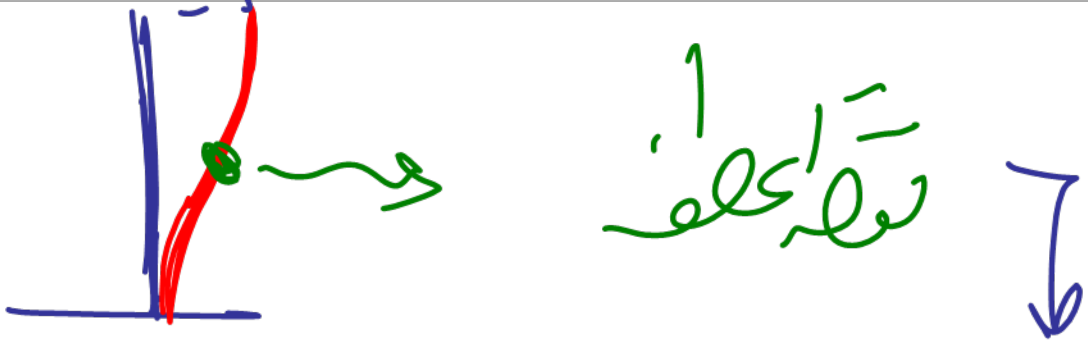
قاب

بالای سازه را سخت می‌کند

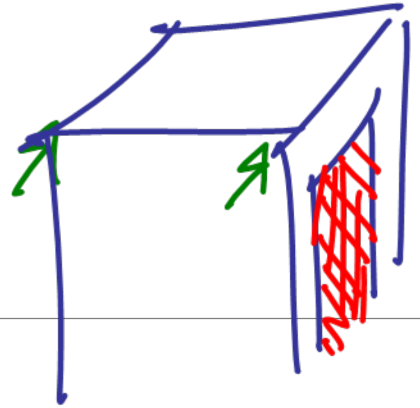
دریفت طبقات بالا کمتر



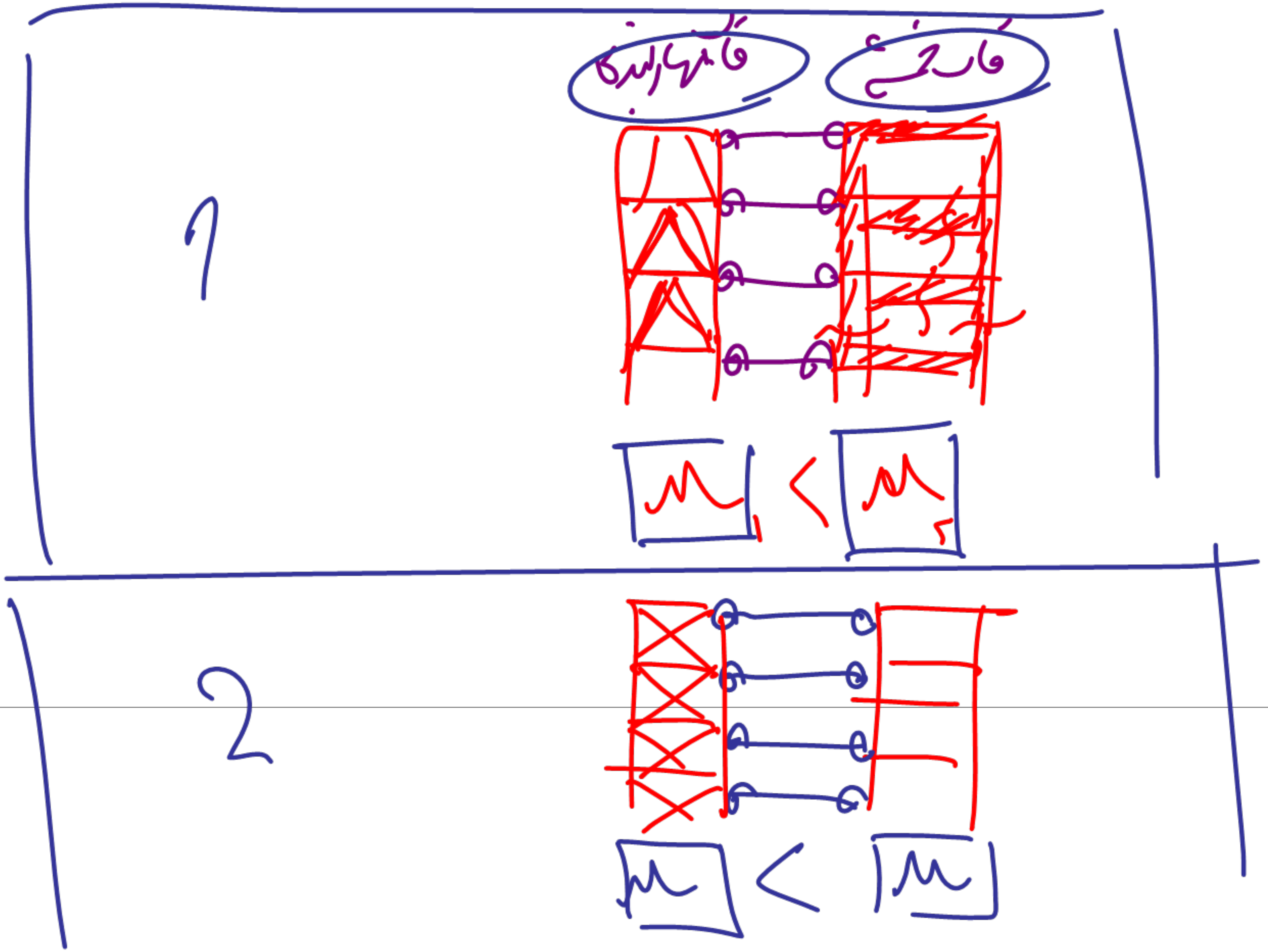
استفاده از هر دوی اینها می‌تواند بهینه‌تر باشد



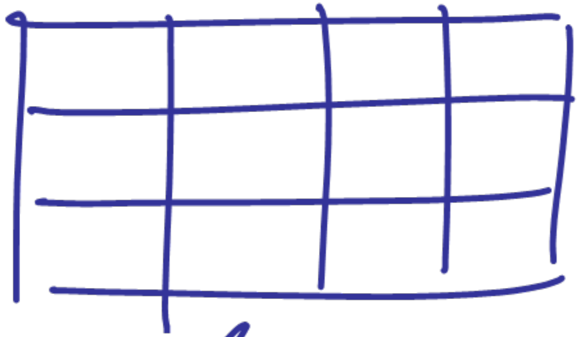
هرچه دیوار سخت‌تر باشد نقطه عطف را به بالاتر سوق می‌دهد و برعکس.



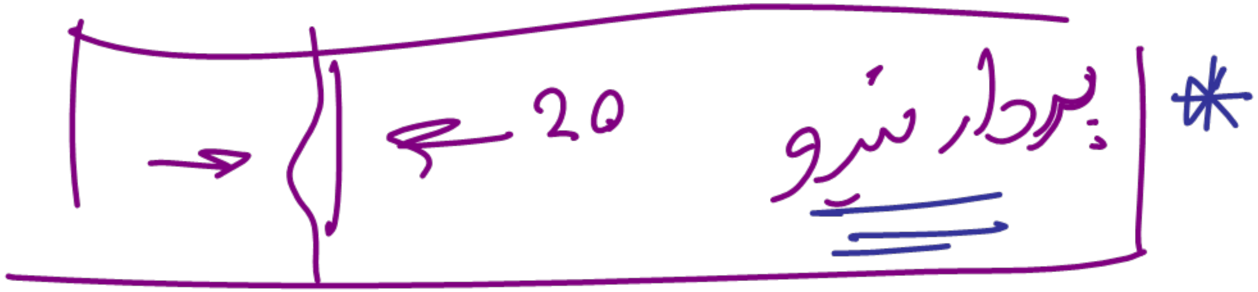
مفهوم شکل‌پذیری

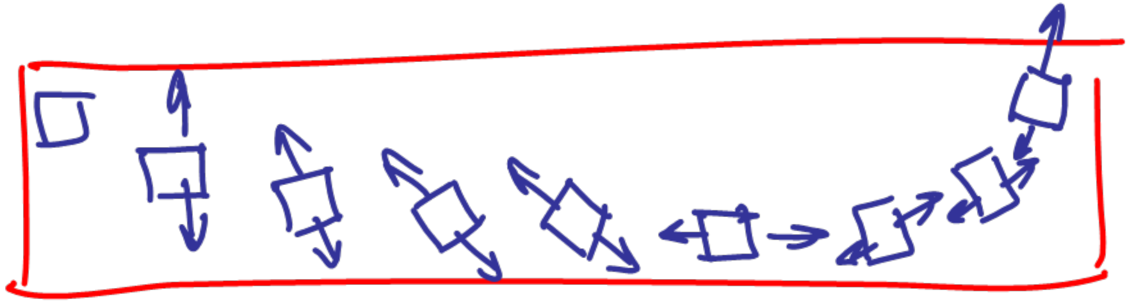


فاز جمع
1
2



دریافت نماینده‌ای از صورت‌های تغییرشکل احتمالی



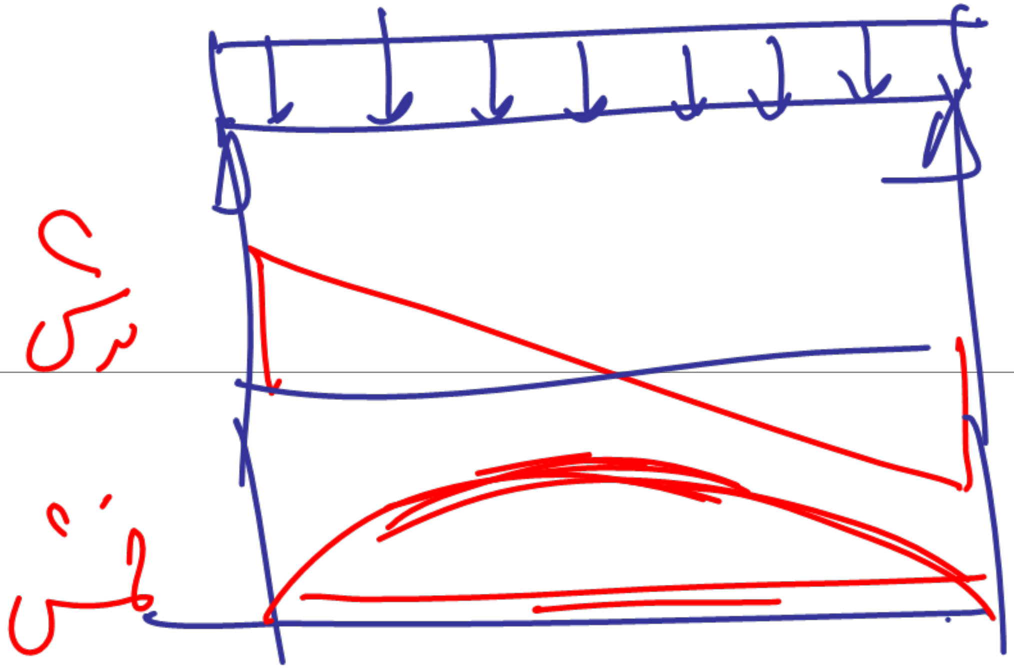


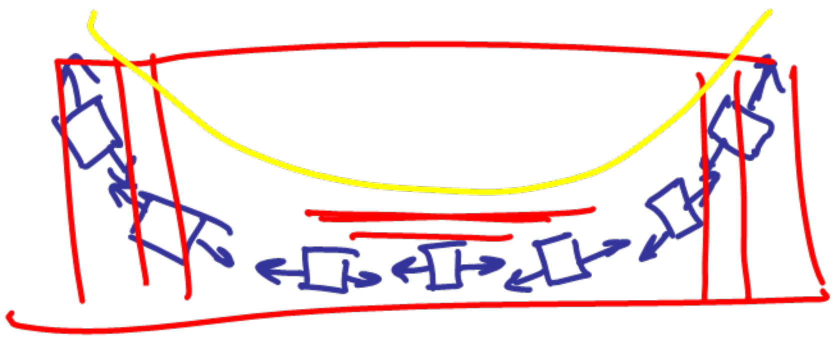
← برش ← نیرو

← خمش ناشی از برش

← تغییر زاویه ی کلی

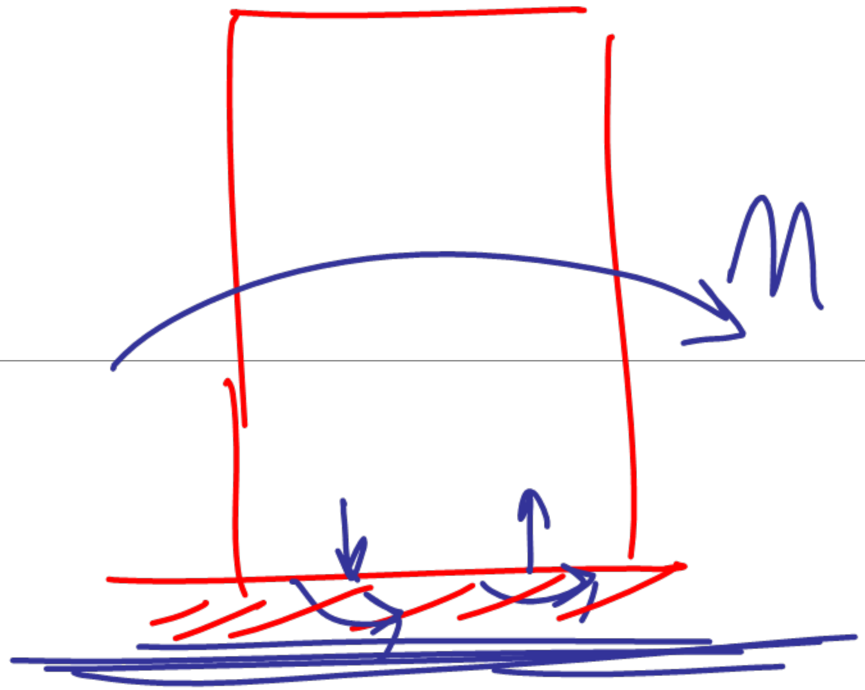
تنش قطری = ترک

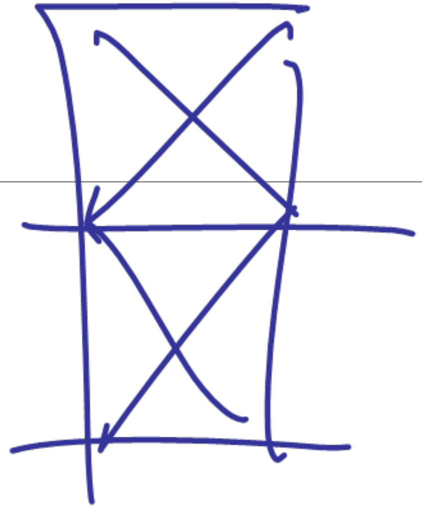


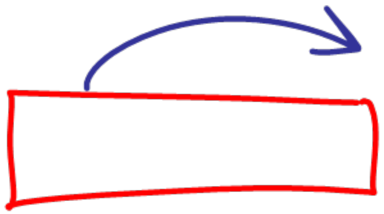


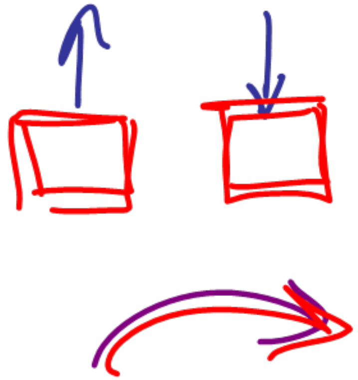
فلش‌های عمودی مفهوم برش

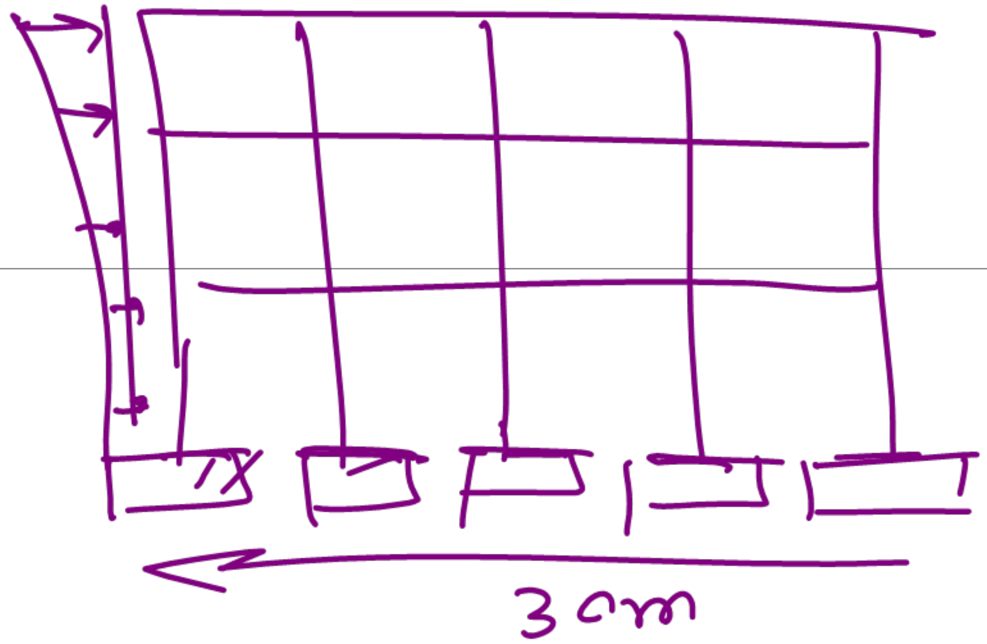
فلش‌های افقی مفهوم خمش

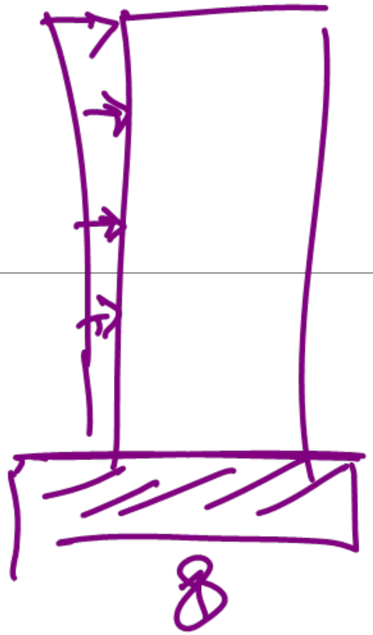


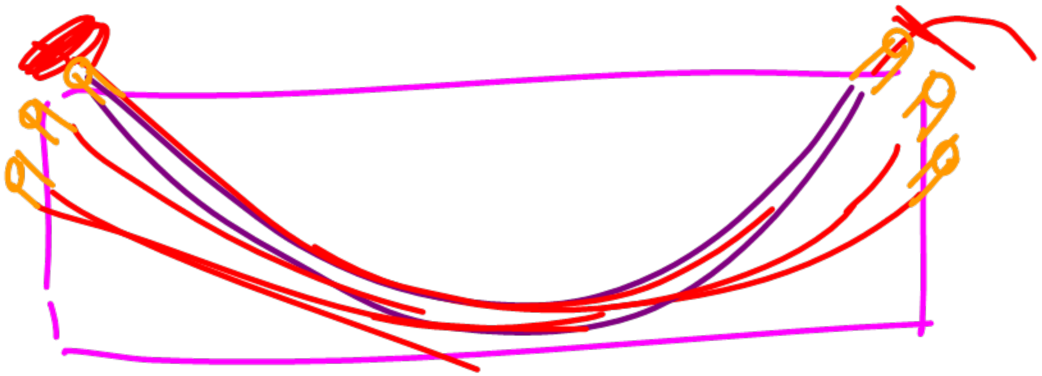


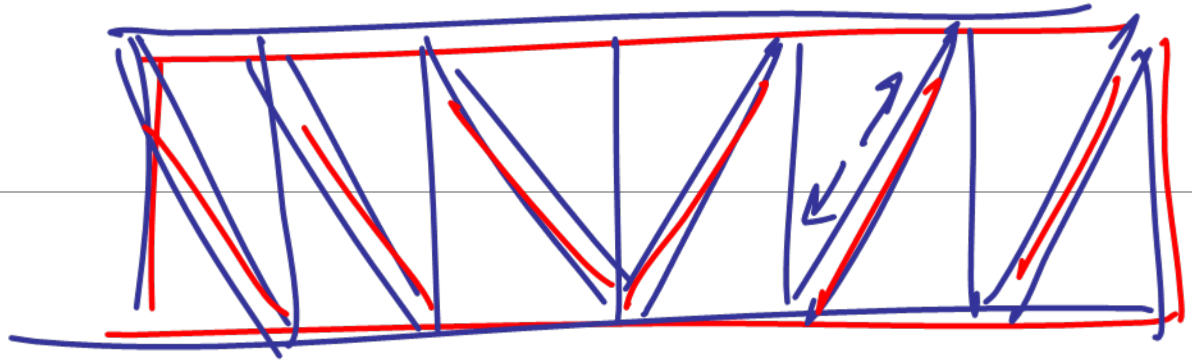


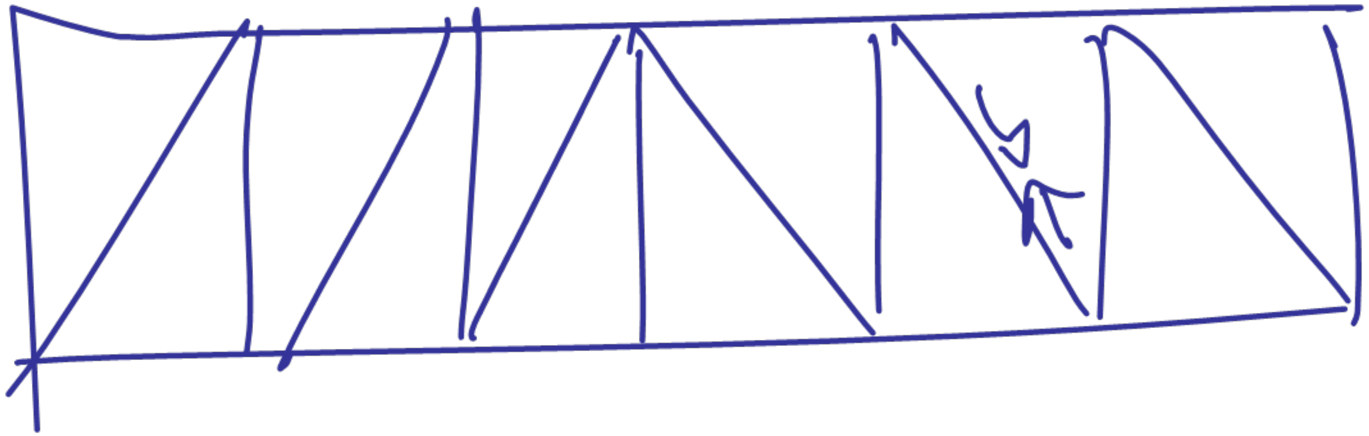


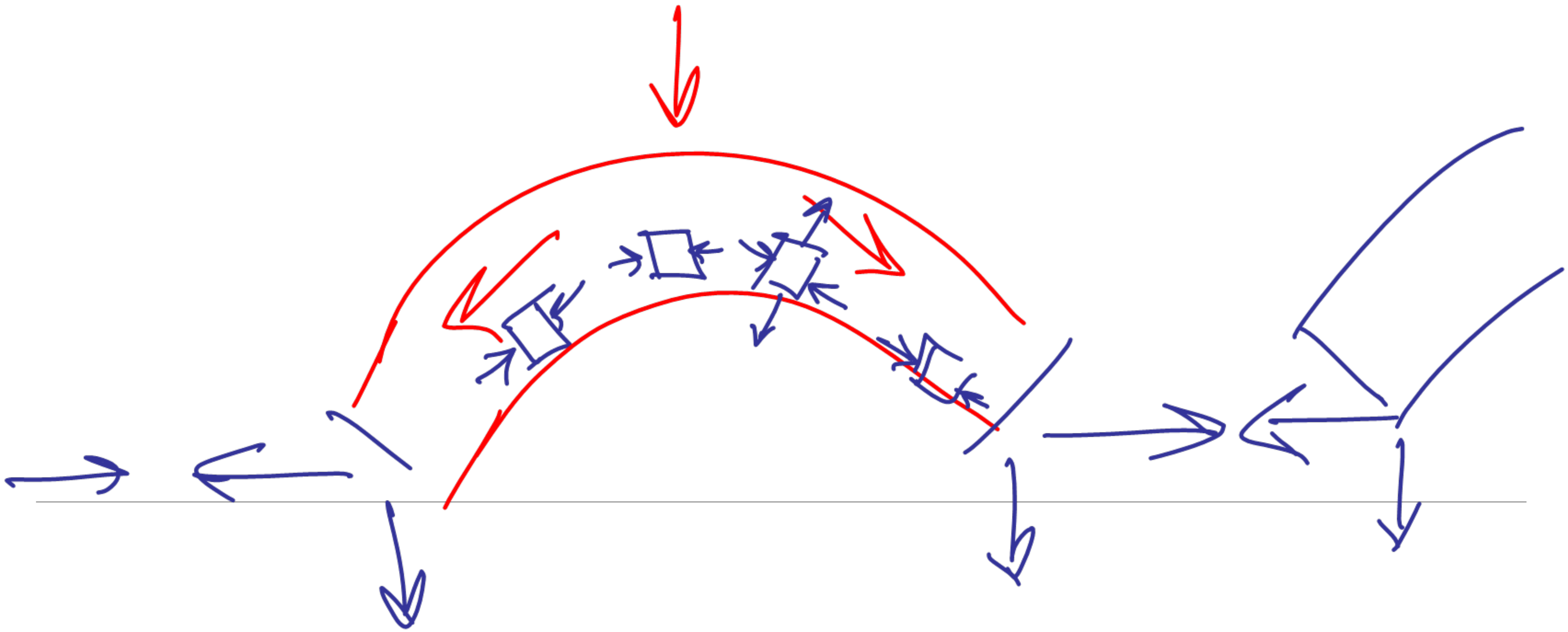

3 cm

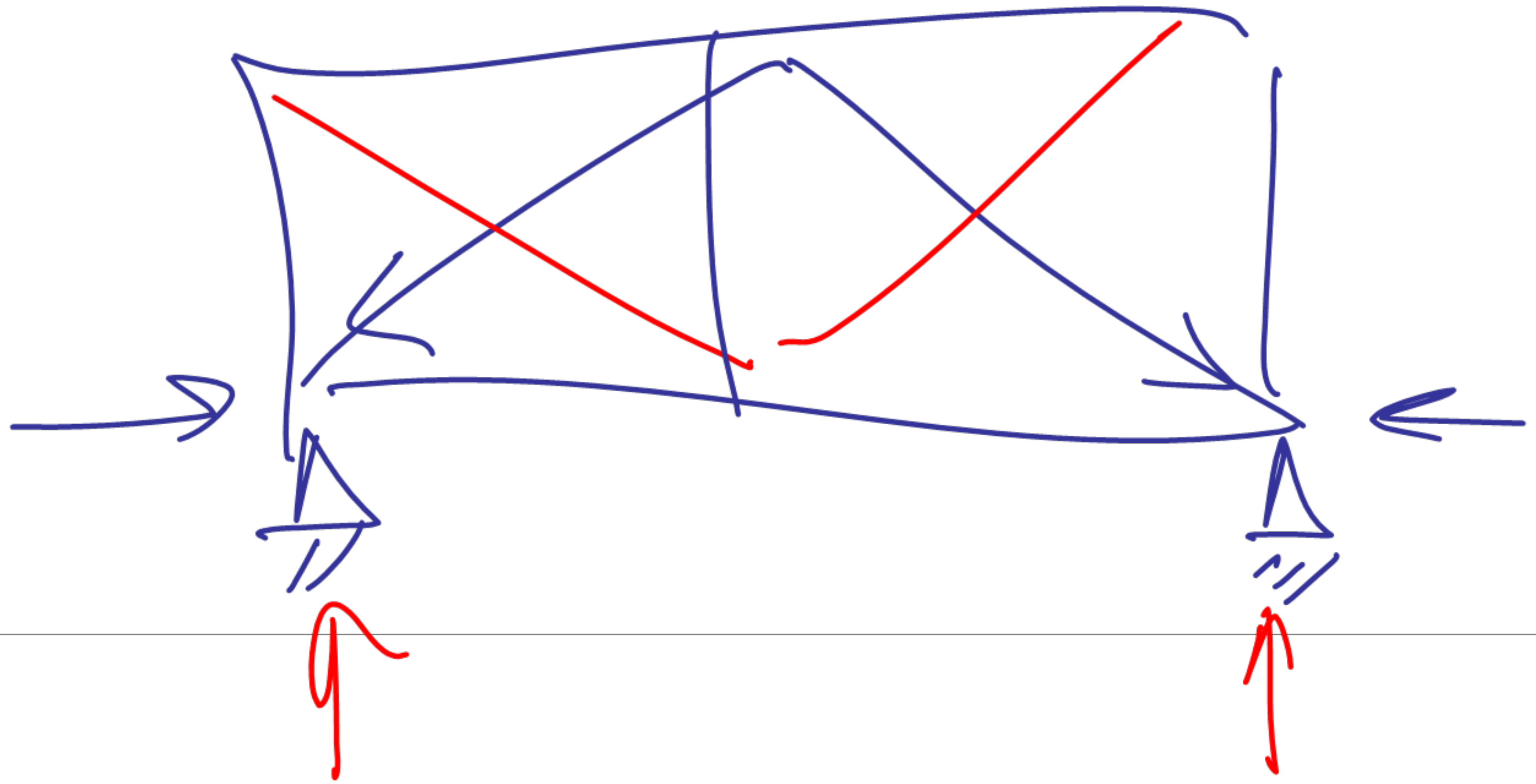

8

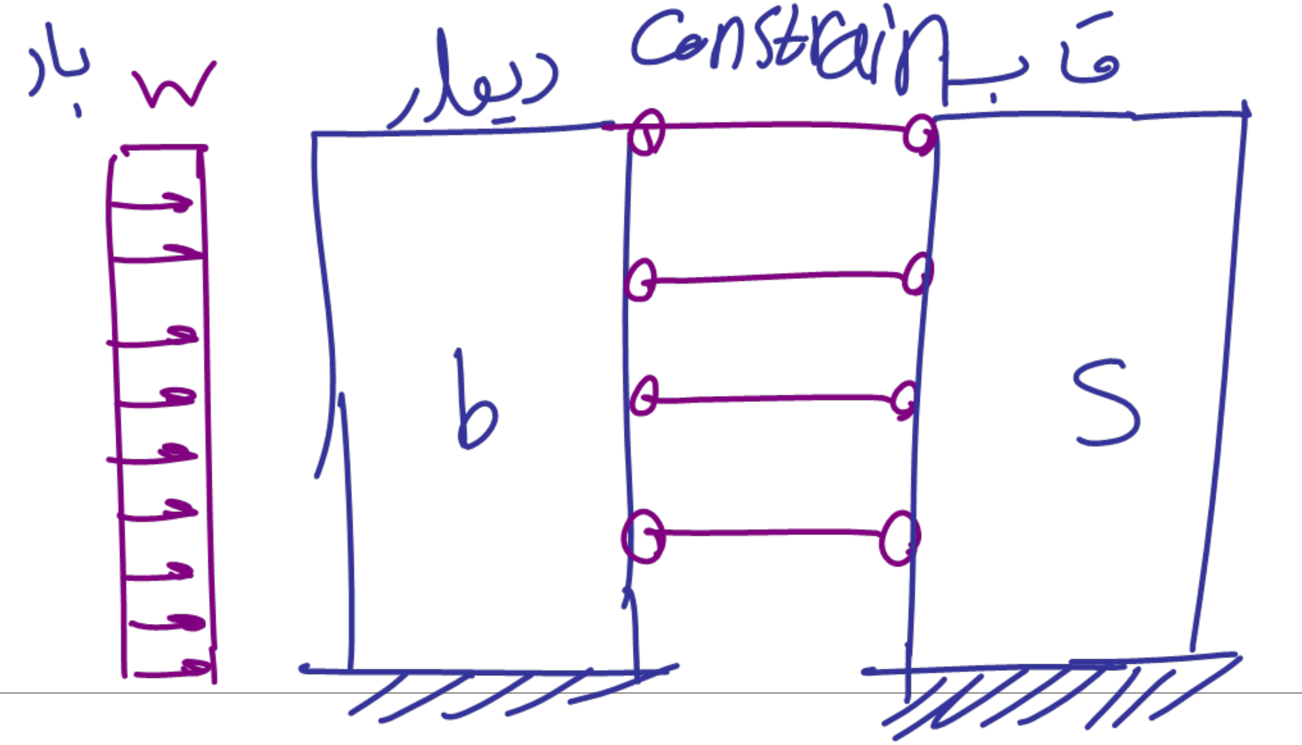




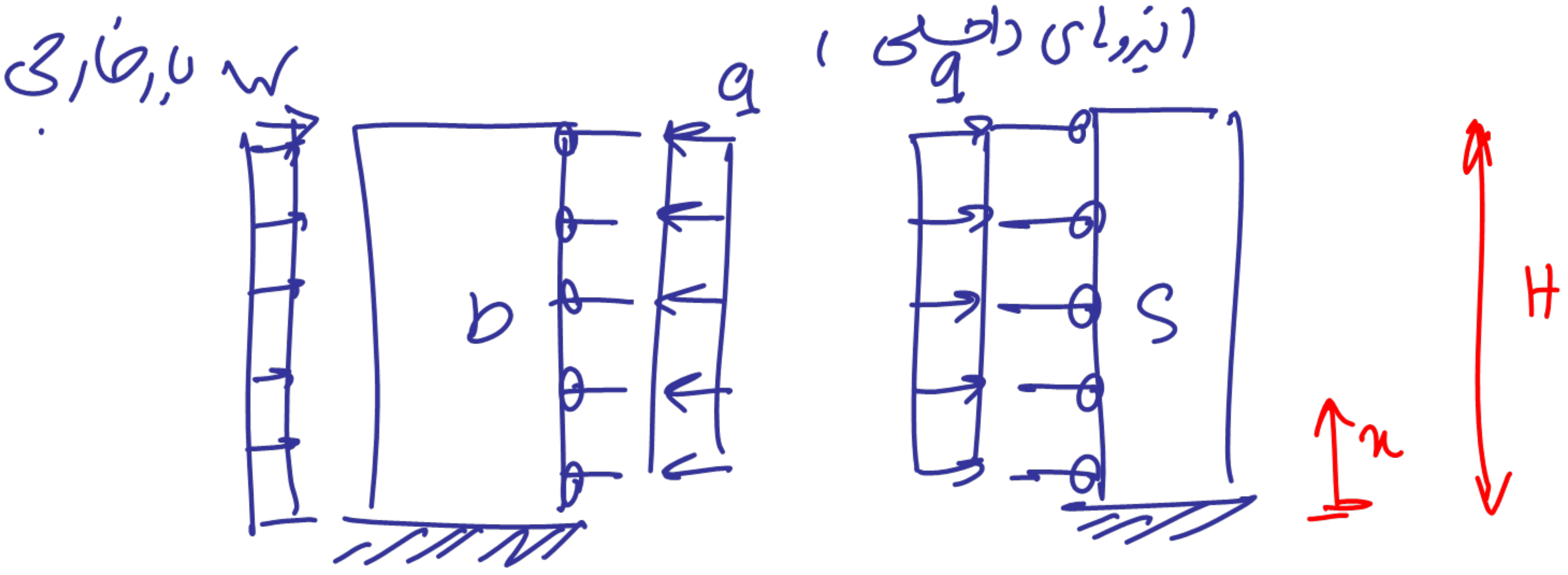








constrain کردن توسط دیافراگم انجام میشود



$$EI\, y_b^{IV} = w - q \qquad (1)$$

$$GA\, y_s'' = -q \qquad (2)$$

با حذف q بین رابطه 1 و 2

$$EI\,y_b^{IV} - GA\,y_s'' = W$$

$EI\,y_b^{IV}$: خمش دیوار

$GA\,y_s''$: برش قاب

سختی قاب = سختی طبقه × ارتفاع طبقه

$$\alpha^2 = \frac{GA}{EI}$$

GA: سختی قاب

EI: سختی خمشی دیوار

α^2: نسبت سختی قاب به دیوار

شرایط مرزی

$$\begin{cases} x = 0 & \rightarrow \quad y = 0 \\ x = 0 & \quad\;\;\; y' = 0 \end{cases}$$

لنگر صفر ← دوران در تراز دیوار حاکم است و شیب صفر است

$$\begin{cases} x = H & \rightarrow \quad \text{لنگر} = 0 \qquad EI\,y_s'' = 0 \\ x = H & \rightarrow \quad \text{برش} = 0 \rightarrow \underset{(GA\,y')}{\text{برش قاب}} + \underset{(EI\,y''')}{\text{برش دیوار}} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{پاسخ عمومی} \rightarrow C_1 + C_2 x + C_3 \cosh x + C_4 \sinh x + C_5 \\ \text{پاسخ خصوصی} \rightarrow \dfrac{-W_0 x^2}{2EI\alpha^2} \end{cases}$$

$$y(x) = \frac{W_0 H^4}{EI(\alpha H)^4}\left\{\left(\frac{\alpha H \sinh \alpha H + 1}{\cosh \alpha H}\right)(\cosh \alpha x - 1) - \alpha H \sinh \alpha x + (\alpha H)^2\left(\frac{x}{H} - \frac{x^2}{2H}\right)\right\}$$

$$\begin{cases} \text{لنگر در دیوار} = EIy'' \\ \text{لنگر در قاب} = \text{لنگر خارجی} - \text{لنگر دیوار} \\ \text{برش در دیوار} = -EIy''' \end{cases}$$

برای محاسبه سایر پاسخ‌ها ؟

(برش دیوار - برش طبقه) ← $GA\gamma' =$ برش در قاب

نیروی اندرکنش $= Q = -GA\gamma''$

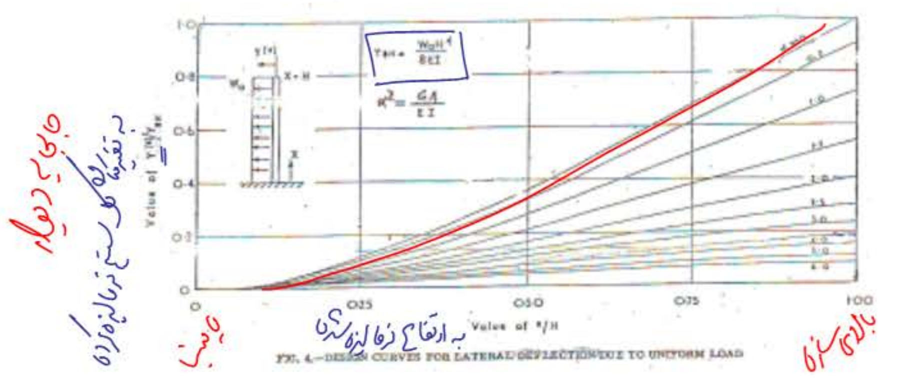


FIG. 4.—DESIGN CURVES FOR LATERAL DEFLECTION DUE TO UNIFORM LOAD

$\alpha^2 = \frac{GA}{EI}$ سختی قاب / دیوار

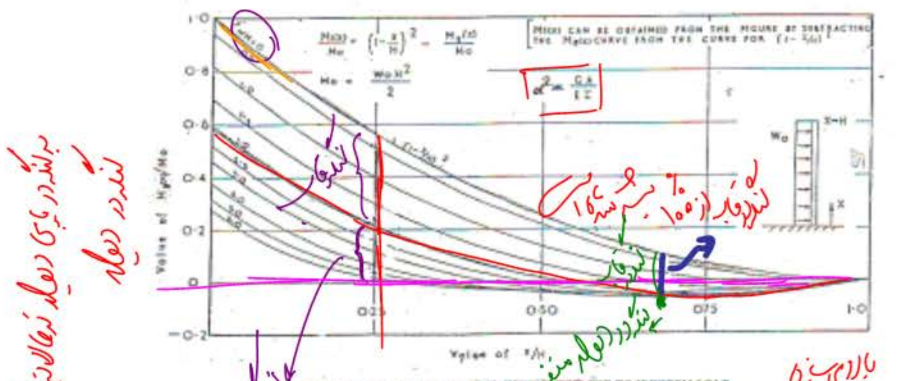
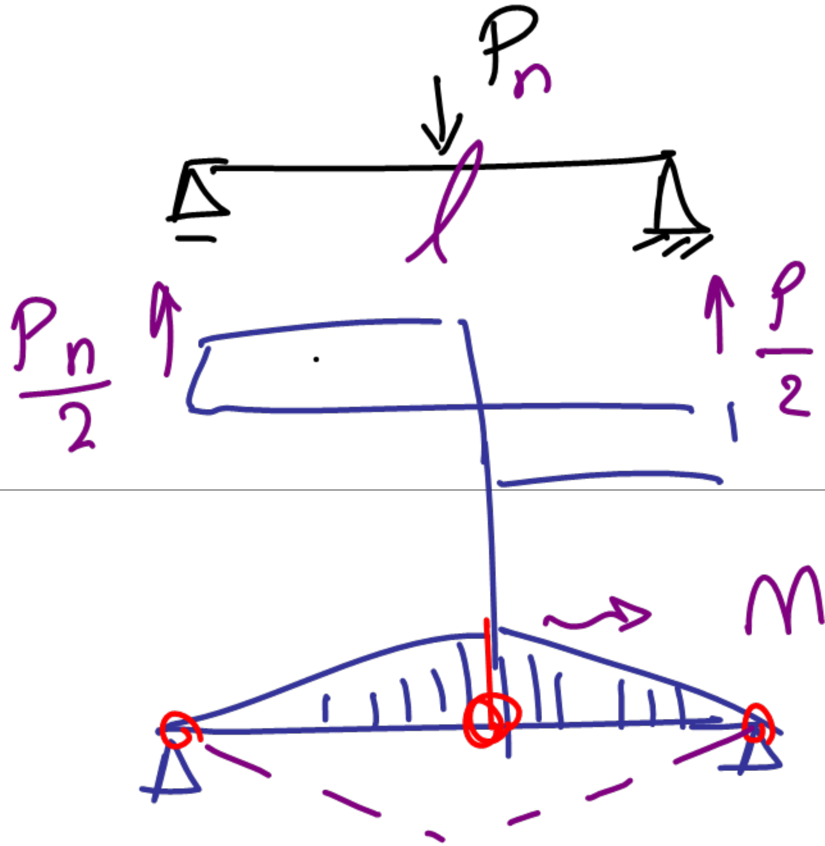


FIG. 5.—DESIGN CURVES FOR BENDING MOMENT DUE TO UNIFORM LOAD

بسمه تعالی

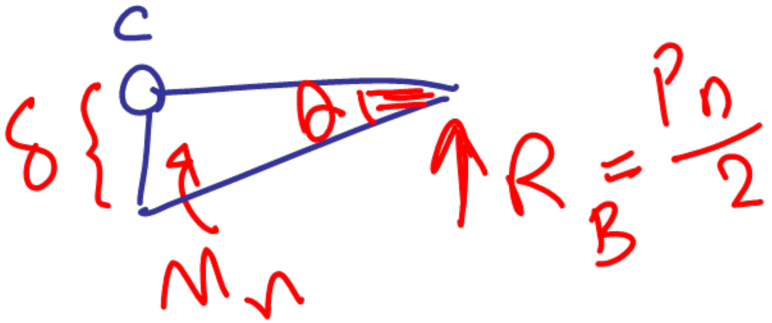
تحلیل پلاستیک

در سازه‌های معین



$$M_n = \frac{Pl}{4}$$

لنگر پلاستیک



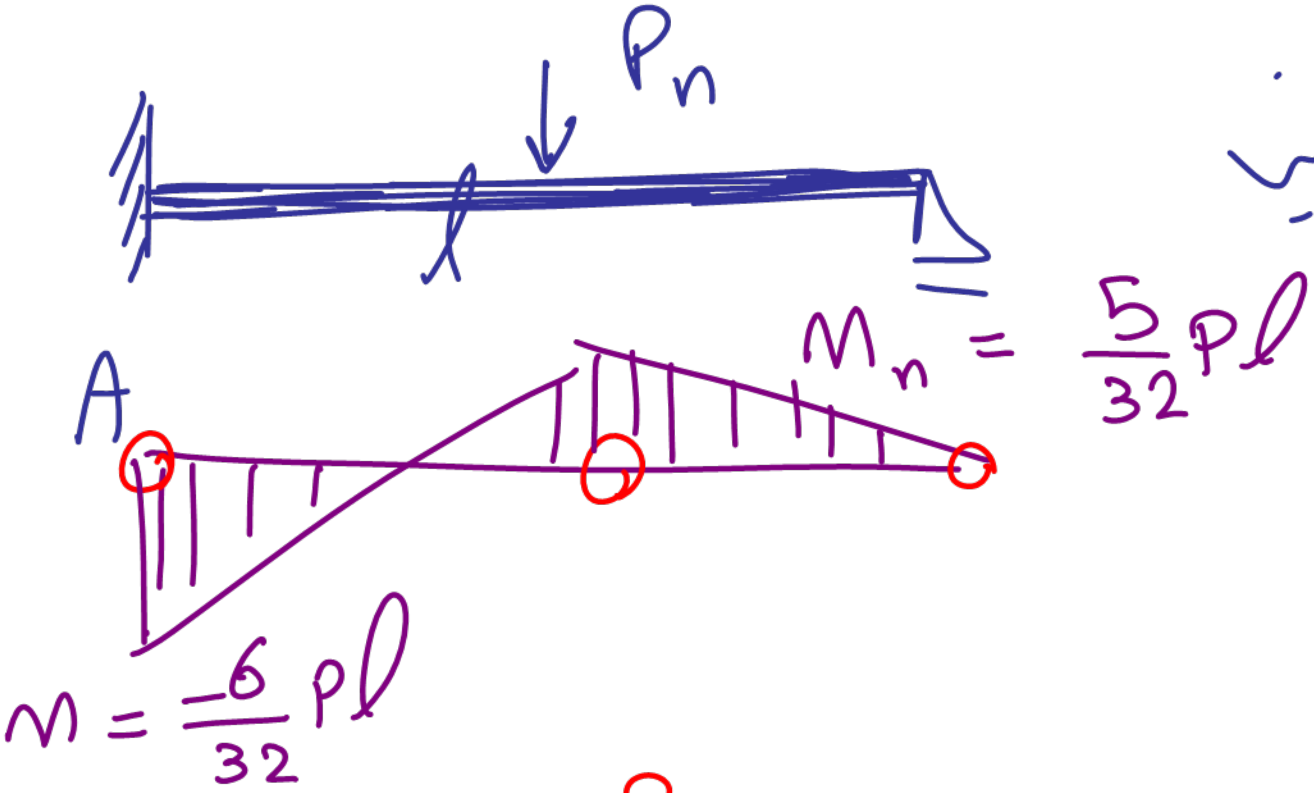
$$\sum M_c = 0$$

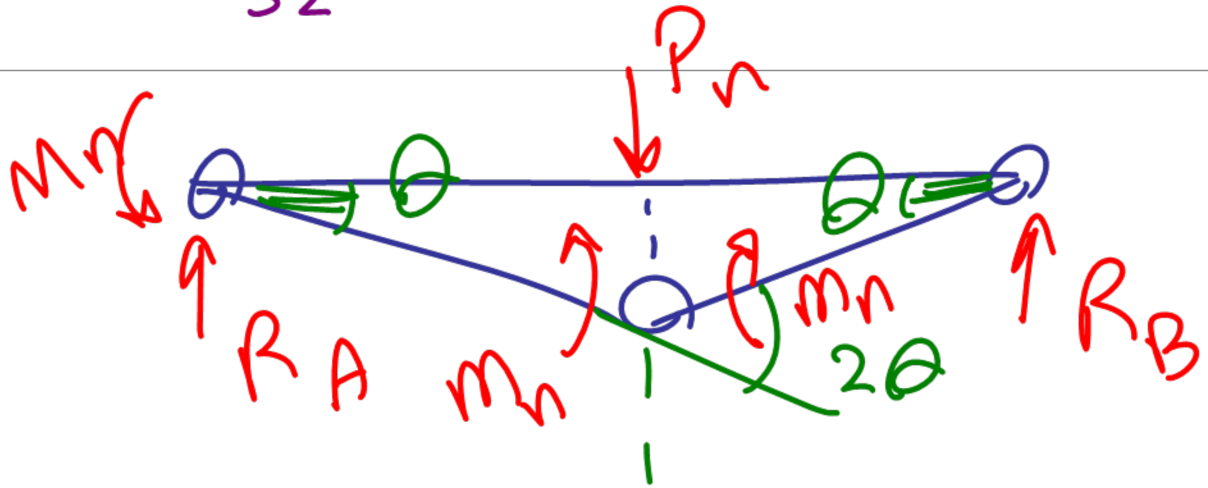
$$M_n = \frac{P_n}{2} \cdot \frac{l}{2} = \frac{P_n l}{4}$$

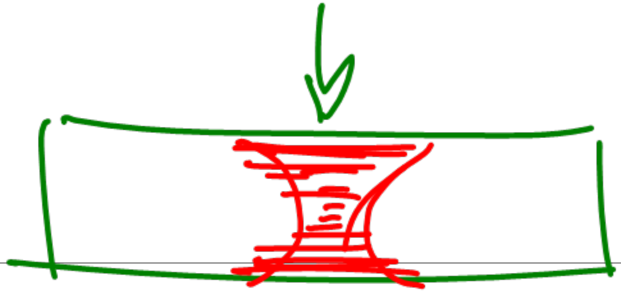
لنگر پلاستیک

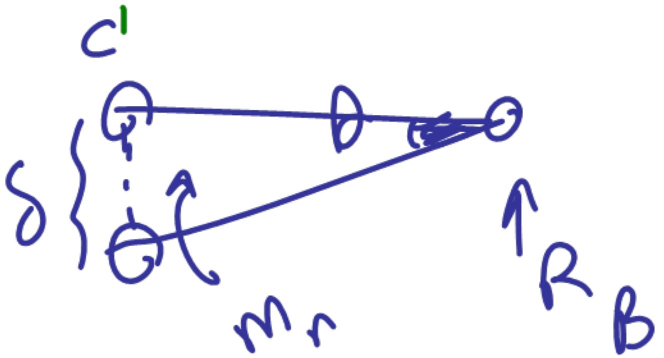
در سازه‌های معین تحلیل پلاستیک و تحلیل الاستیک نتیجه‌ی مشابه دارد

درسازه نامعین









$$\sum M_A = 0$$

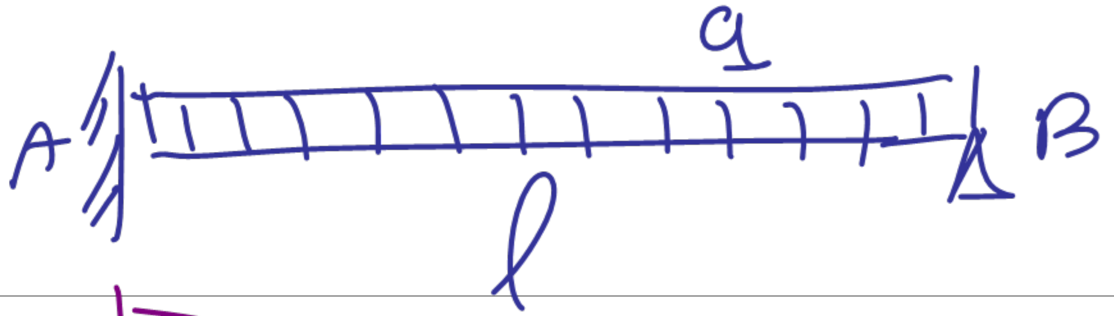
$$R_B l + M_n = \frac{P_n l}{2}$$

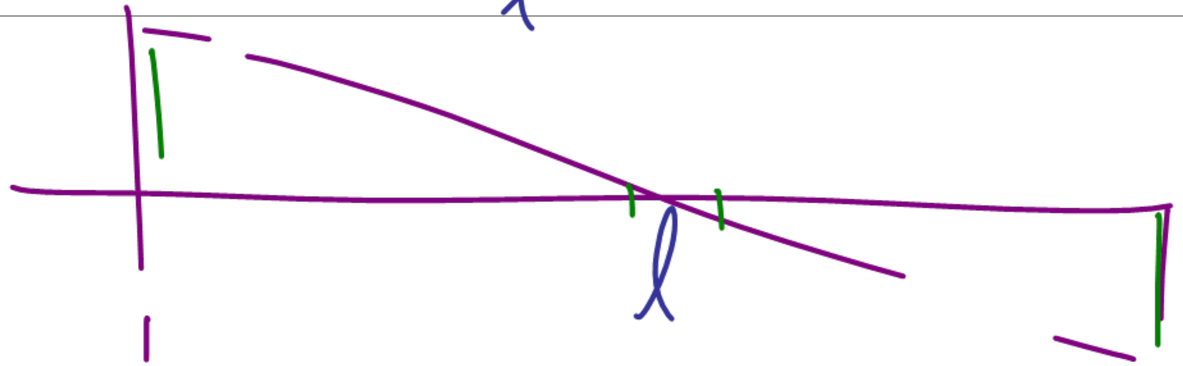
$$\sum M_C = 0 \Rightarrow R_B \frac{l}{2} = M_n$$

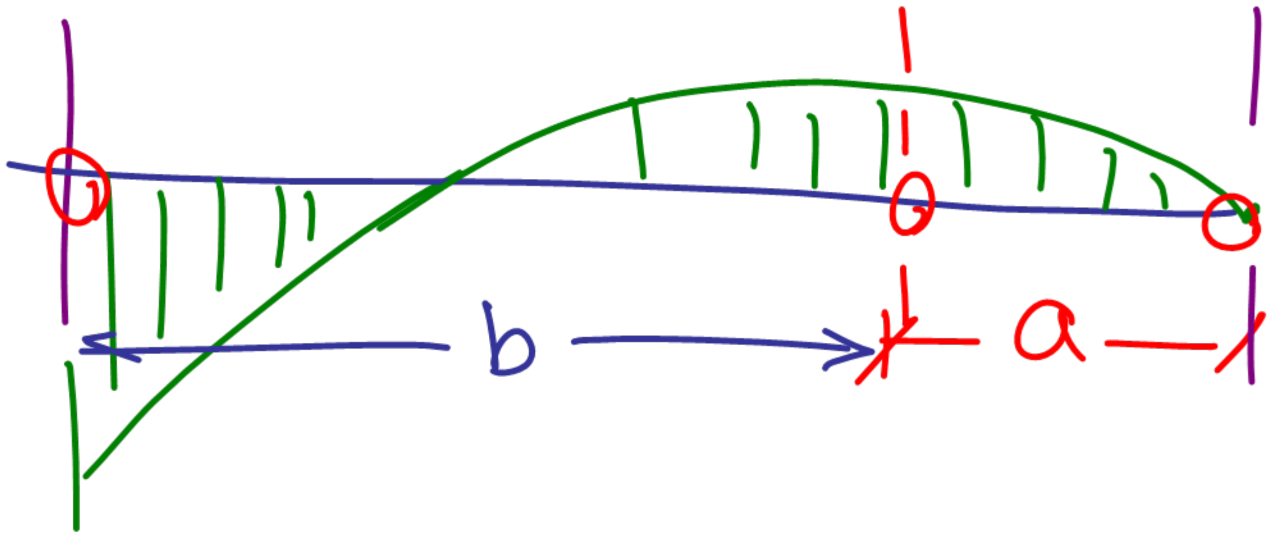
$$R_B = \frac{\frac{P_n l}{2} - M_n}{l}$$

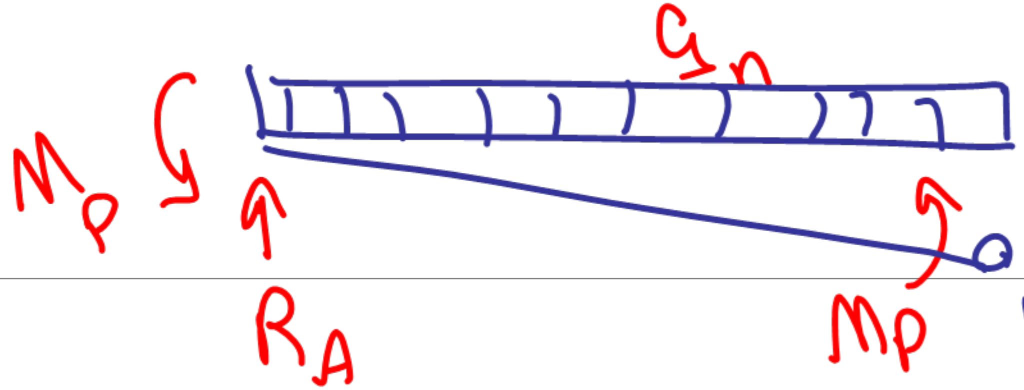
$$\boxed{M_n = \frac{P_n l}{6}}$$

$$P_n = \frac{6}{\ell} M_n$$



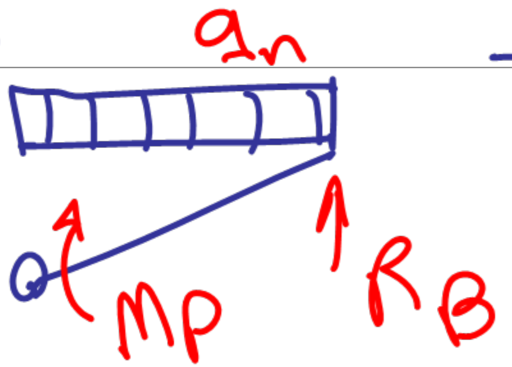






$$\Sigma M_A = 0$$

$$2M_p = \frac{q(l-a)^2}{2}$$



$$\Sigma M_B = 0$$

$$M_p = \frac{q a^2}{2}$$

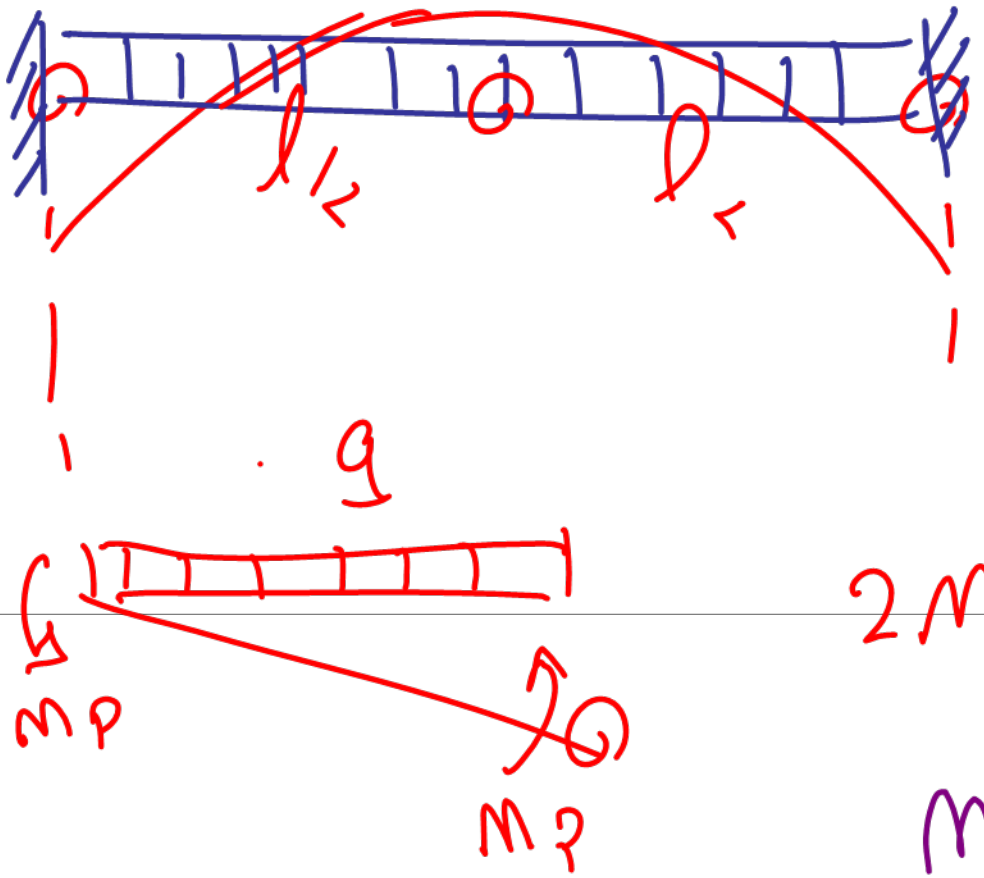
$$2a^2 = (l-a)^2$$

که از دو رابطه بالا

$$a = \frac{\sqrt{8}-2}{2} \cdot l \rightarrow a = 0/414\, l$$

جاگذاری در هرکدام از روابط:

$$M_p = 0/0857\, q l^2 \rightarrow q_p = 11{,}656 \frac{M_p}{l^2}$$



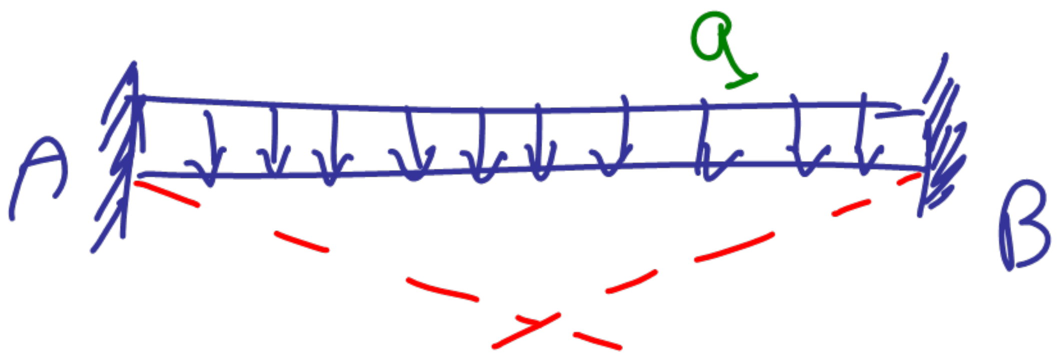
$$2M_p = \frac{ql^2}{8}$$

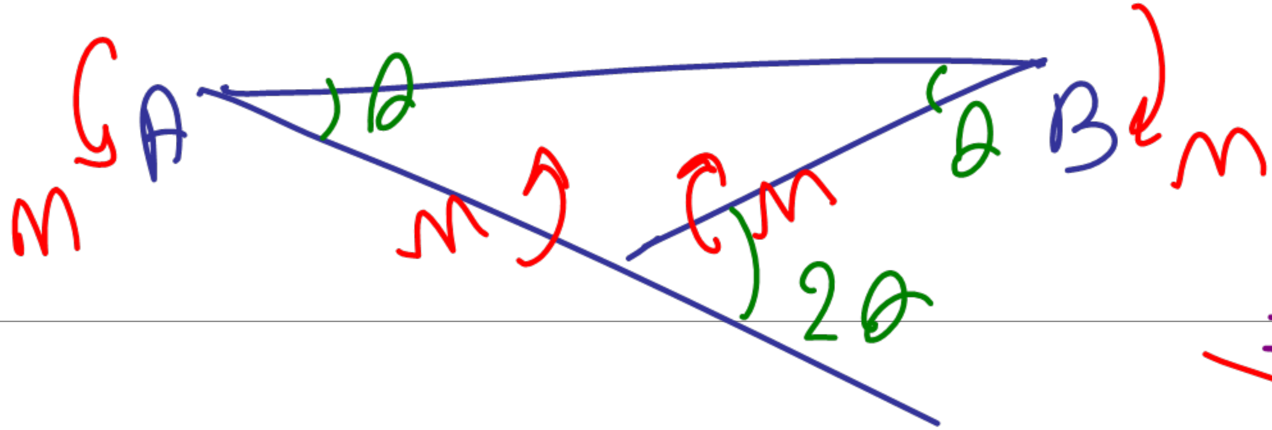
$$M_p = \frac{ql^2}{16}$$

$$q_p = 16 \frac{M_p}{\ell^2}$$

با روش کار مجازی

$$W_{Internal} = W_{External}$$





$$W_I = M \cdot \theta + M(2\theta) + M \cdot \theta$$

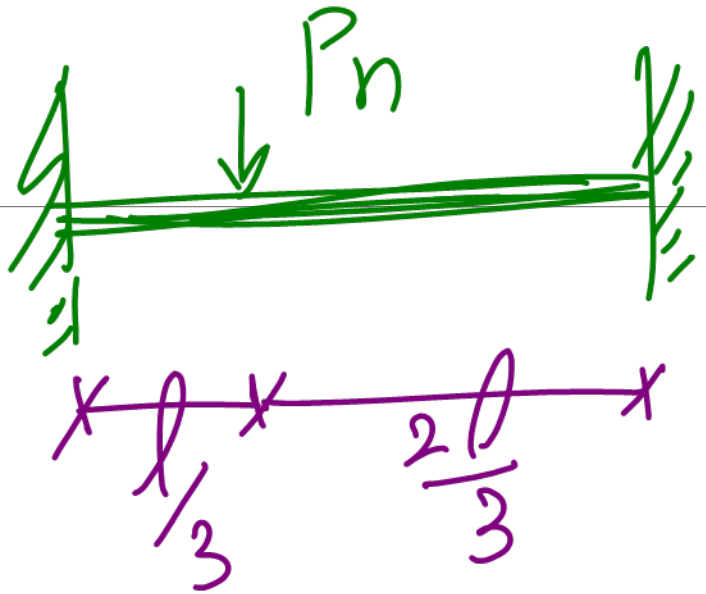
$$= 4m\theta$$

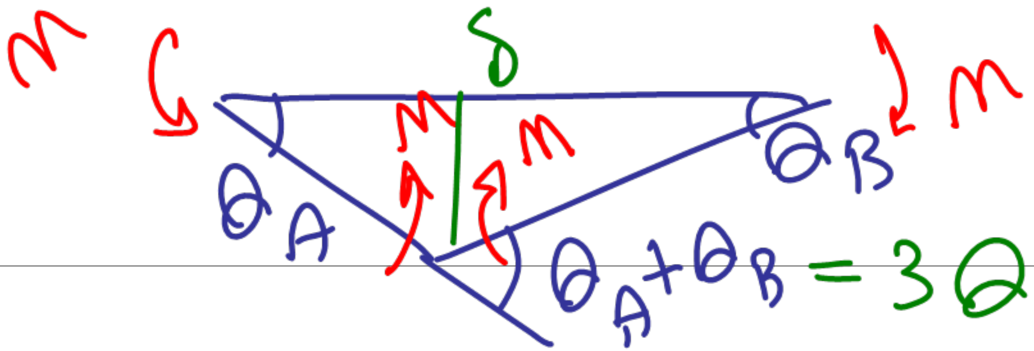
$$W_E = 2\int_0^{l/2} q\,dx \cdot x \cdot \theta = 2q\theta\,\frac{1}{2}\left(\frac{l^2}{4}\right)$$

$$= q\theta\,\frac{l^2}{4}$$

$$(W_E = W_I) \Rightarrow 4m\theta = q\theta\,\frac{l^2}{4}$$

$$M_p = q_p \frac{l^2}{16}$$





$$\theta_A + \theta_B = 3\theta$$

$$\left.\begin{aligned} \delta &= \frac{l}{3}\theta_A \\ \delta &= \frac{2l}{3}\theta_B \end{aligned}\right\} \Rightarrow \theta_A = 2\theta_B$$

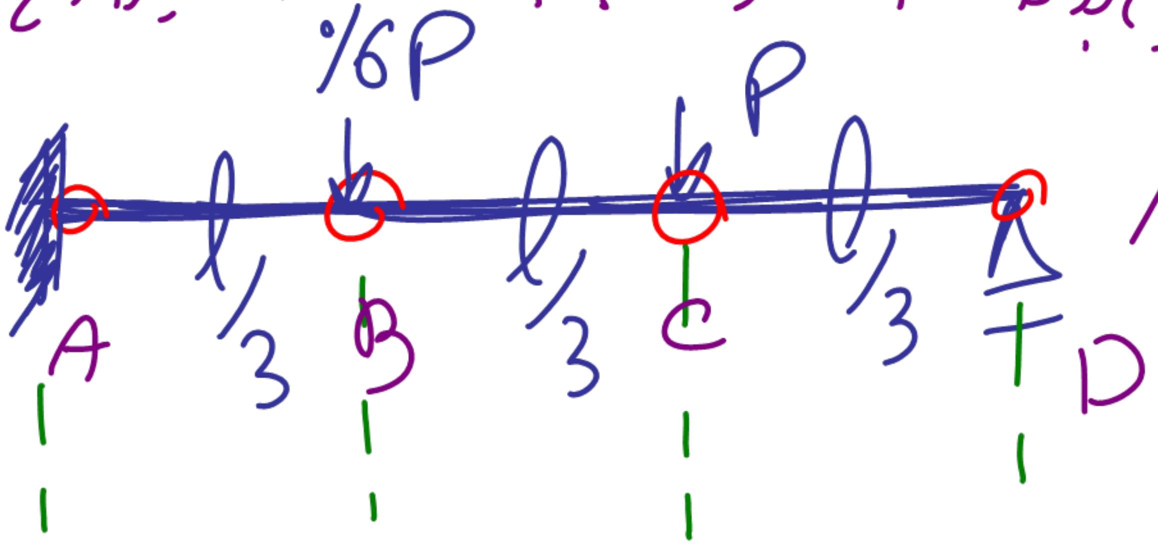
δ از سمت چپ

$$\theta_A \to 2\theta \qquad \theta_B \to \theta$$

$$W_I = 6M\theta \quad / \quad W_E = P\delta = P\frac{2l}{3}\theta$$

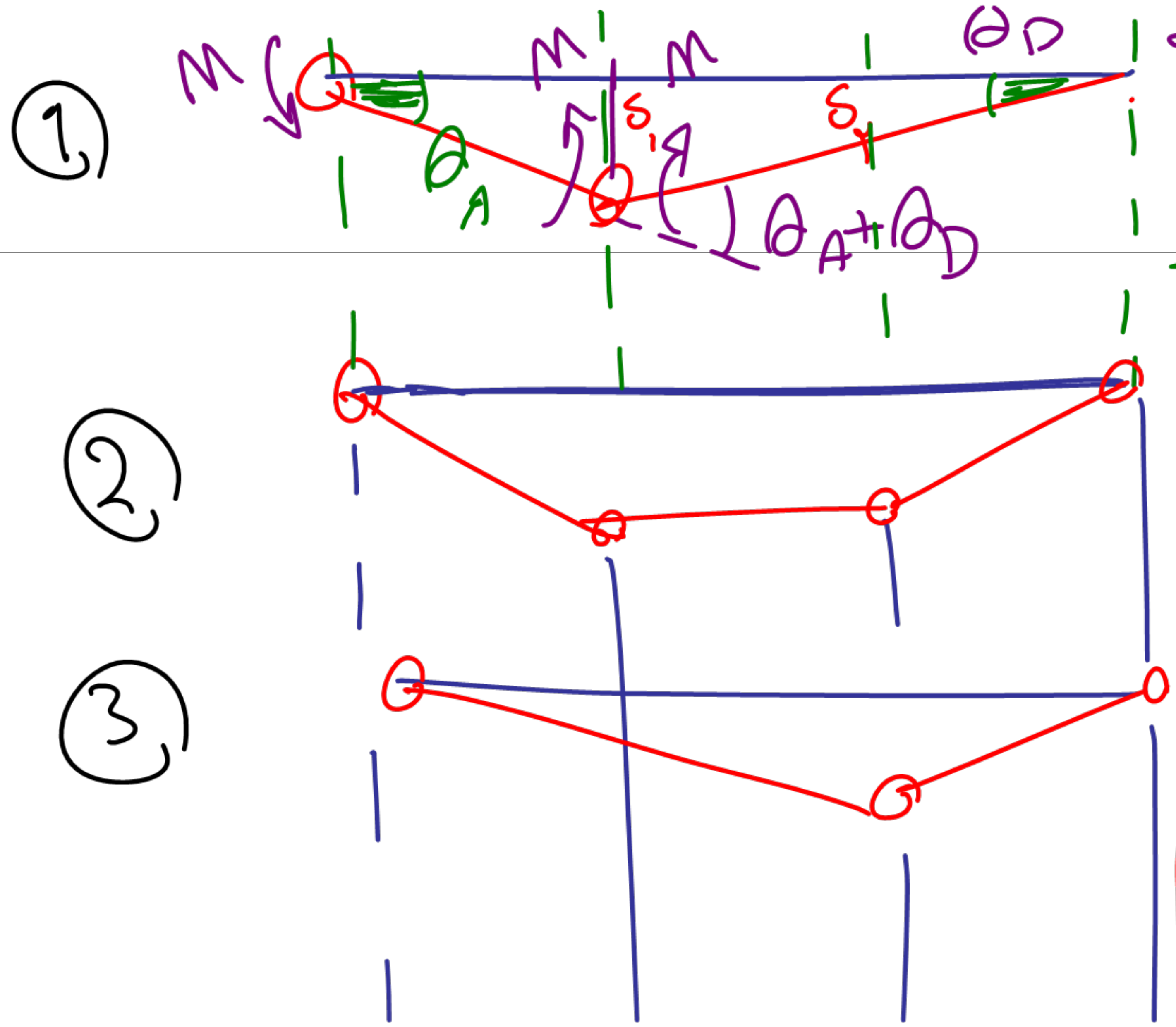
$$6M_p\theta = P_p\frac{2l}{3}\theta$$

* دنبال حالتی خواهیم بود که P کمتر خواهد بود با P کمتر مکانیزم رخ می‌دهد



در مورد اول

$$\begin{cases} \delta_1 = \theta_A \frac{l}{3} \\ \delta_1 = \theta_D \frac{2l}{3} \end{cases}$$



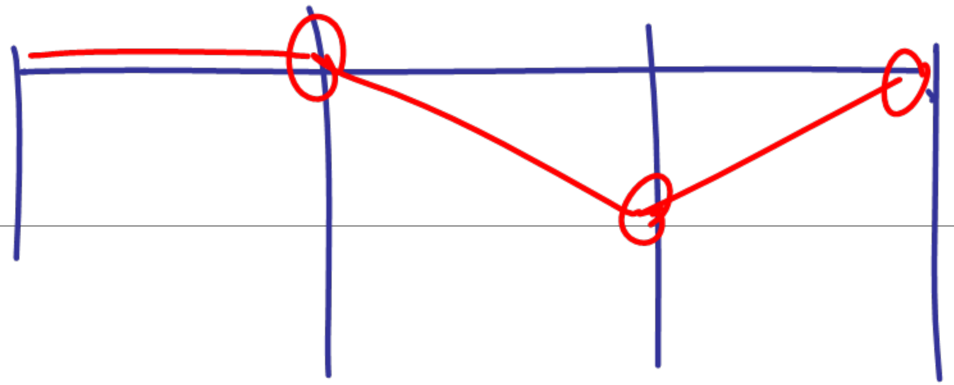
$$W_I = 5\theta M$$

$$W_E = \tfrac{1}{6}P\cdot\delta_1 + P\cdot\delta_2$$

$$= \tfrac{1}{6}P\,\frac{2\theta l}{3} + P\cdot\theta\, l/3$$

$$M_p = \frac{22}{150} P l$$

24



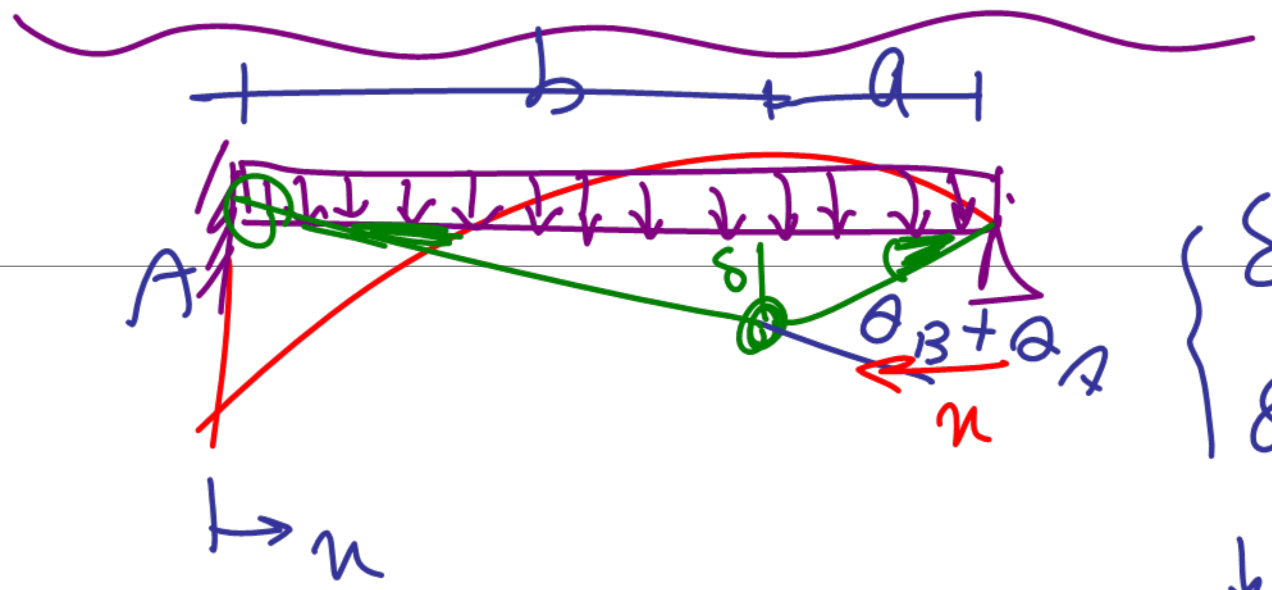
$P_1 = 6{,}8\ \frac{M_p}{l}$

$P_2 = 5{,}625\ \frac{M_p}{l}$

$P_3 = 4{,}62\ \frac{M_p}{l}$

$P_4 = 9\ \frac{M_p}{l}$

P_3 ، شکل 3 به عنوان محتمل‌ترین حالت انتخاب می‌شود



$$\begin{cases} \delta = \theta_A (l - a) \\ \delta = \theta_B \, a \end{cases}$$

$$\downarrow$$

$$\begin{cases} \theta_A = \theta \\ \theta_B = \theta \dfrac{(l-a)}{a} \end{cases}$$

$$W_I = M_p \left(2\theta + \frac{(l-a)}{a}\theta \right)$$

$$W_E = \int q\,dx\,\delta = \int_0^a q\,dx . x . \theta_B + \int_0^{l-a} q\,dx . x . \theta_A$$

$$= \frac{q\,\theta}{2}\left(l^2 - al\right)$$

$$W_E = W_I \Rightarrow M_p = \frac{q_n\, l\, a}{2}\left(\frac{l-a}{l+a}\right)$$

حل

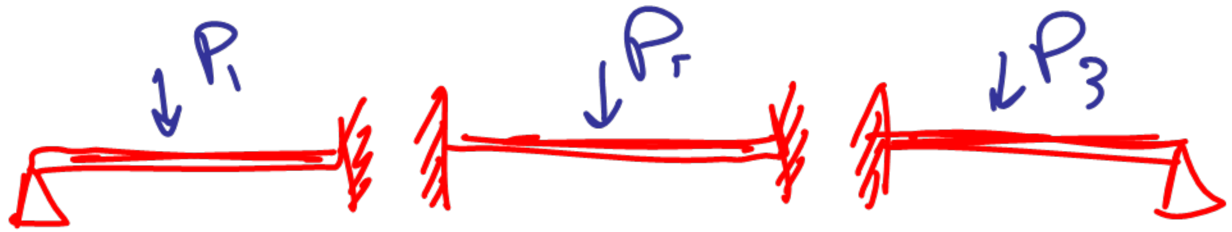
$$\text{برش} = \frac{dM_p}{da} = 0 \quad \Rightarrow \quad a = ?$$

(در لنگر ماکزیمم برش صفر)

$a =$

$\rightarrow$ $a = 0/414\,\ell$

اگر بیش از یک دهانه باشد،



کمترین P را بعنوان جواب

مراجع مطالعه ← کتاب دکتر علی کاوه ← تحلیل پلاستیک

Horne