

مواد کلاسیک ایتم و ذره

⊕ مفهم تنش: نیروی که در موکول شدن کند. تنش = نیرو تقسیم بر سطح مقطع

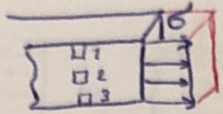
انواع تنش:

$\sigma = P/A$



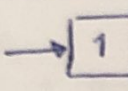
$\sigma = P/A$

$\sigma = P/A$



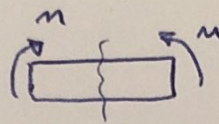
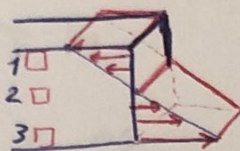
الف) نیروی محوری کشش - فشرسی

$\sigma = m \cdot c / I$



$\sigma = m \cdot c / I$

$\sigma = \frac{m \cdot c}{I}$

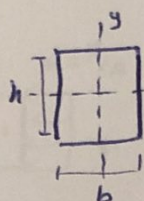


ب) کرنش:

$I = \frac{1}{4} \pi r^4$: I برای مقطع دایره ای

$I_x = \frac{1}{12} b h^3$

$I_y = \frac{1}{12} h b^3$



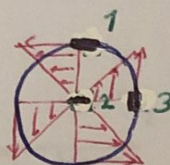
I برای مقطع مستطیل

$\tau = \frac{T \cdot c}{J}$

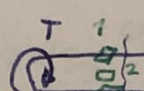


$\tau = \frac{T \cdot c}{J}$

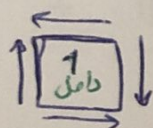
$\tau = \frac{T \cdot c}{J}$



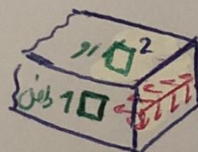
$\tau = \frac{T \cdot c}{J}$



$J = \frac{1}{2} \pi r^4$: J برای دایره



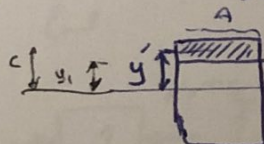
$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$



$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$

$Q = \int y \cdot dA = \bar{y} \cdot A$

$Q = \int y \cdot dA = \bar{y} \cdot A$



$Q = y' \cdot A'$

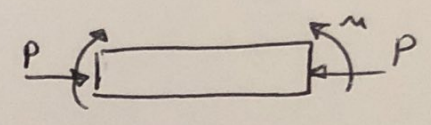
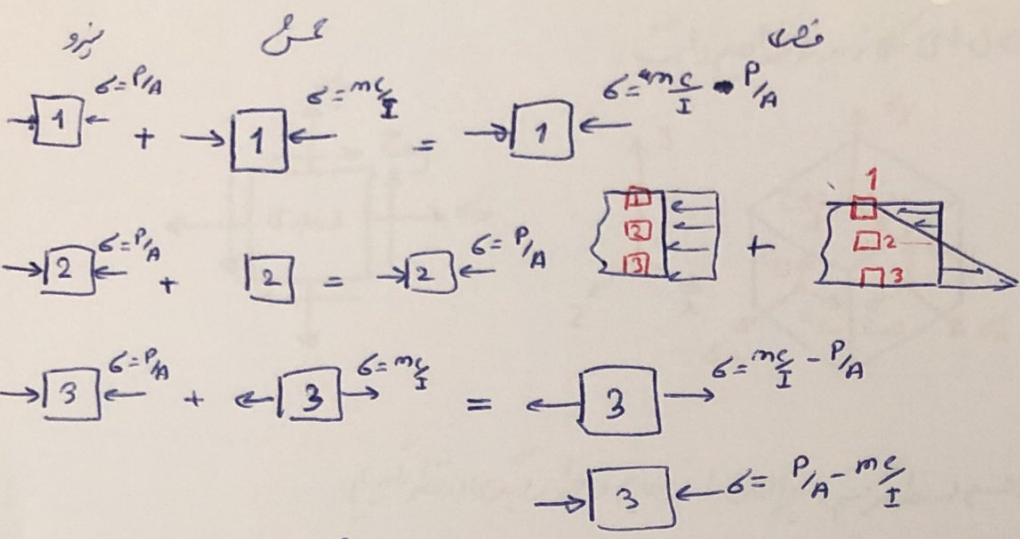
I - I

t: ضخامت مقطع

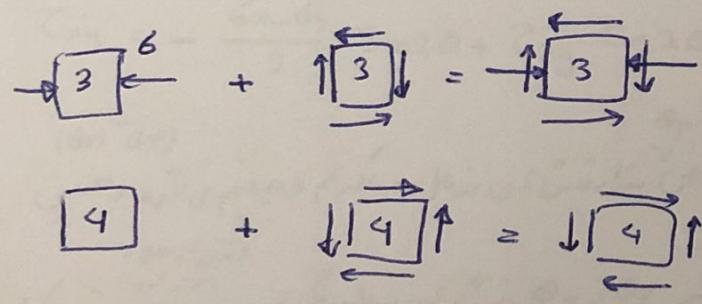
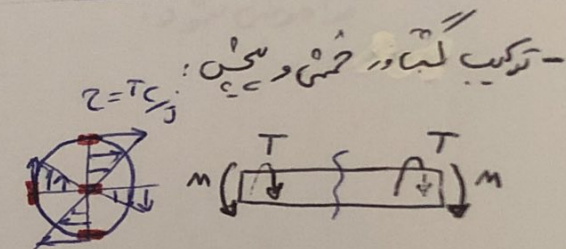
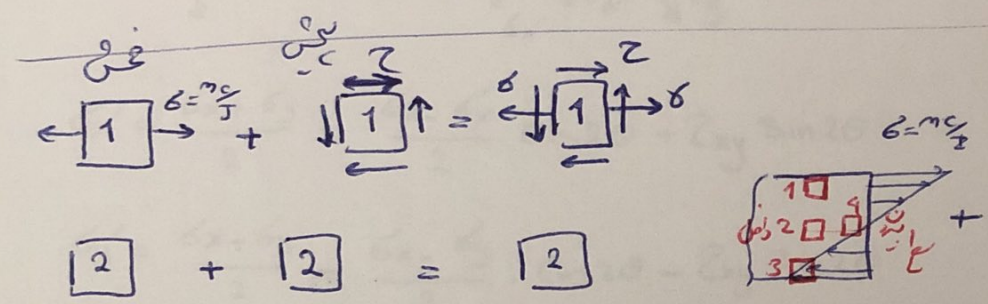
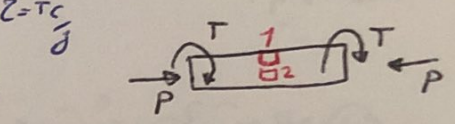
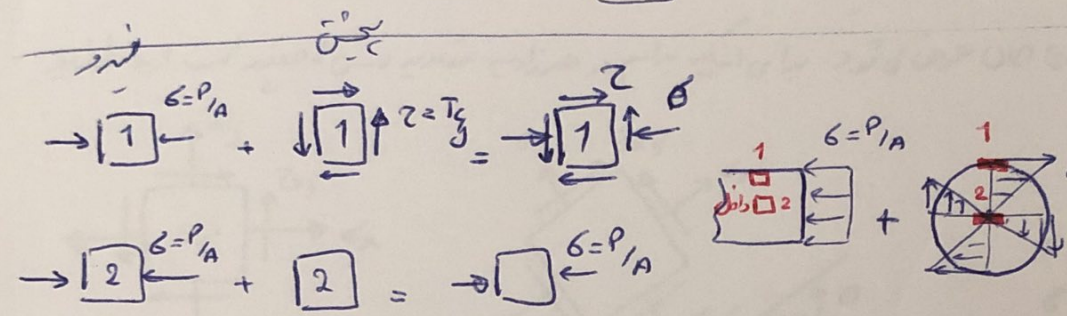
نوعت ۲

حالت تنش ترکیبی (دو بعدی):

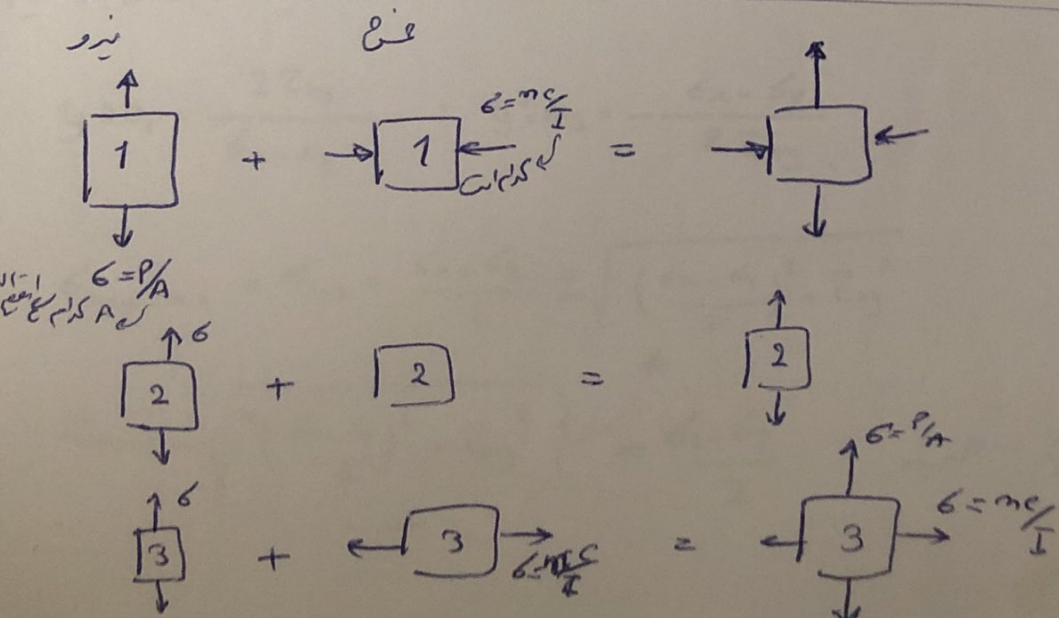
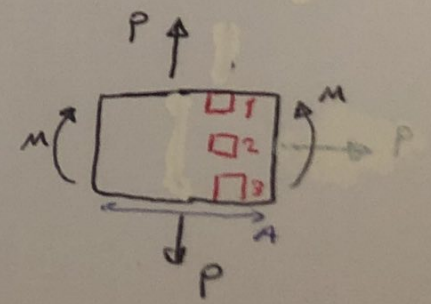
ترکیب نیروی کششی و نیروی دغشی



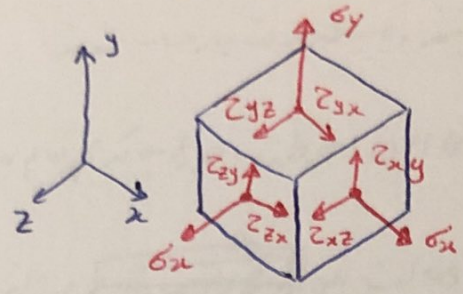
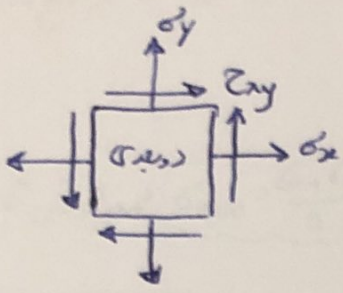
ترکیب نیروی کششی و نیروی برشی:



ترکیب نیروی کششی و نیروی دغشی در دو بعد



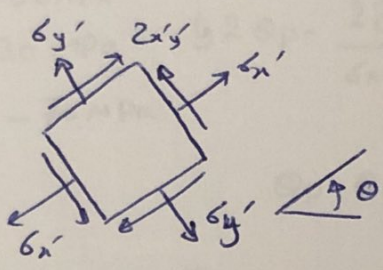
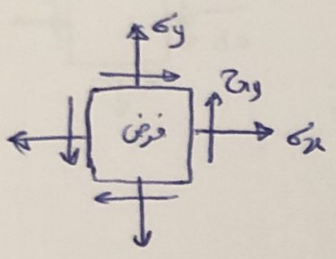
تشریح
⊕ حالتی که مختلف ترکیبی از تنش‌های بدنه دارند در دو بعد و یک سه بعد اتفاق می‌افتد. در سه بعد هر یک پس از یکدیگر در یک
تنش که در حالتی دو بعدی و سه بعدی، همان‌طور که زیر را خواهیم دید:



پایین نمودار کلاس

+ نکته: حیات این را به صورت مواری با خطوط صعب در نظر گیریم. چرا این را نمی‌فهمیم و طور دیگری در نظر نمی‌گیریم.

- با فرض این، مقدار تنش عمودی این عوض می‌شود. برای اینکه بدانیم در هر زاویه مقدار تنش که تغییرات از روابط زیر استفاده می‌کنیم.



⊕ علامت‌های مثبت و منفی
فراهم می‌شود.

$$\sigma'_x = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

$$\sigma'_y = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} \sin 2\theta$$

$$\tau'_{xy} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

⊕ با چرخاندن این، همان‌طور که مقدار تنش‌ها عوض می‌شود در یک زاویه خاص مقدار تنش‌های نرمال، ماکزیمم و مینیمم می‌شود و همچنین در یک زاویه خاص دیگر مقدار تنش برشی ماکزیمم می‌شود. مقدار θ_p و θ_s تنش‌های نرمال ماکزیمم و مینیمم و تنش برشی ماکزیمم (تنش برشی اصلی) است.

حقیقتات و علل‌های سببی می‌شود؟

$$\tan 2\theta_p = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad ; \quad \tan 2\theta_s = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}}$$

$$\sigma_{\max, \min} = \sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad \text{همچنین: } \tau_{\min} = 0$$

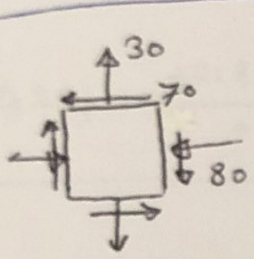
نت

مقدار 2

1- هر موقع تنش کمی در حال مقادیر σ_{max} و σ_{min} پیدا کردند تنش برشی همزمانی شود و بالعکس. این هر موقع تنش برشی ساکنیم شد تنش کمی در حال همزمانی شود و بالعکس صورت نیاز می شود.

2- همیشه تنش میانگین ثابت است یعنی $\sigma_{ave} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$ و این را هر طور و با هر راهی که بخواهیم به دست می آوریم مقدارش ثابت می ماند.

3- اختلاف زوایای θ_p و θ_s برابر 45° است یعنی $\theta_p + \theta_s = 45^\circ$



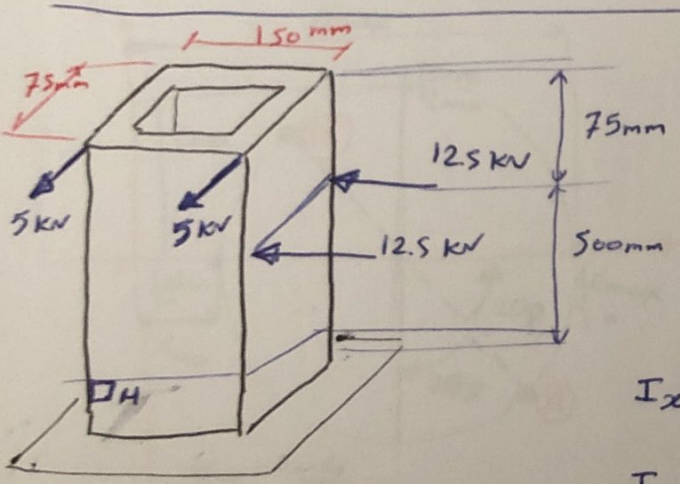
$\sigma_x = -80 \text{ MPa}$
 $\sigma_y = 30 \text{ MPa}$
 $\tau_{xy} = -70 \text{ MPa}$

$\tan 2\theta_p = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} = \frac{-2 \times 70}{-80 - 30} = \frac{-140}{-110} \Rightarrow \theta_p = 25.92^\circ$

$\theta_p - \theta_s = 45 \Rightarrow \theta_s = -19.1^\circ$

$\sigma_{min, max} = \frac{-80 + 30}{2} \pm \tau_{max} = \frac{-50}{2} \pm 89.02 \Rightarrow \begin{cases} \sigma_{max} = 64.02 \text{ MPa} \\ \sigma_{min} = -114.02 \text{ MPa} \end{cases}$

$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{-80 - 30}{2}\right)^2 + (-70)^2} = 89.02 \text{ MPa}$



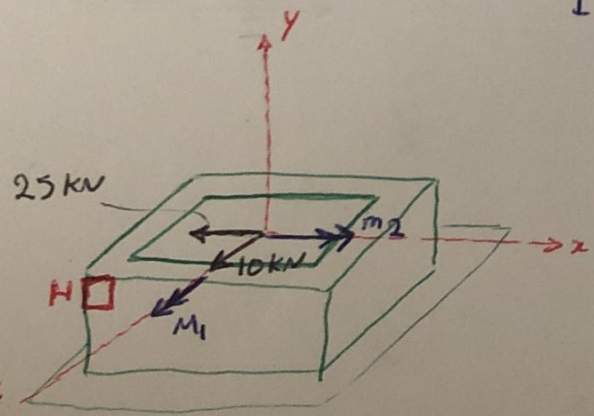
مثال: ضریب قوت 6 است و تنش کمی برشی در حال می شود. این H و هفتین صفت مربوط به تنش برشی و تنش کمی در حال می شود.

$m_1 = 25 \times 500 = 12.5 \text{ kN.m}$

$m_2 = 10 \times 575 = 5.75 \text{ kN.m}$

$I_x = \left(\frac{1}{12} \times 150 \times 75^3 - \frac{1}{12} \times 138 \times 63^3 \right) \times 10^{-12} = 2.4 \times 10^{-6}$

$I_z = \left(\frac{1}{12} \times 75 \times 150^3 - \frac{1}{12} \times 63 \times 138^3 \right) \times 10^{-12} = 7.3 \times 10^{-6}$

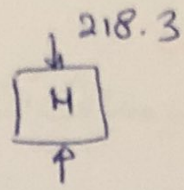


$\sigma_1 = \frac{m_1 \cdot c_1}{I_z}$

$\sigma_2 = \frac{m_2 \cdot c_1}{I_x}$

تیرگی برشی 25 kV و 10 هج کندی ندارند.

$$\sigma_1 = \frac{m_1 C_1}{I_z} = \frac{12.5 \times 10^3 \times 75 \times 10^{-3}}{7.3 \times 10^{-6}} = 128.5 \text{ MPa}$$



$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 = 218.3$$

$$\sigma_2 = \frac{m_2 C_2}{I_x} = \frac{5.75 \times 10^3 \times 37.5 \times 10^{-3}}{2.4 \times 10^{-6}} = 89.8$$

$$\sigma_1 = \sigma_{\max} = 218.3$$

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{218.3}{2}\right)^2 + 0^2} = 109.15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\min} = 0$$

$$\tan 2\theta_s = -\frac{+218.3}{0} \Rightarrow 2\theta_s = 90 \Rightarrow \theta_s = 45 \quad , \quad \theta_p = 0$$

پایان درس

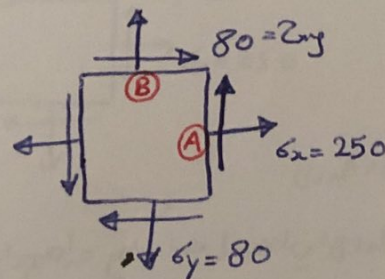
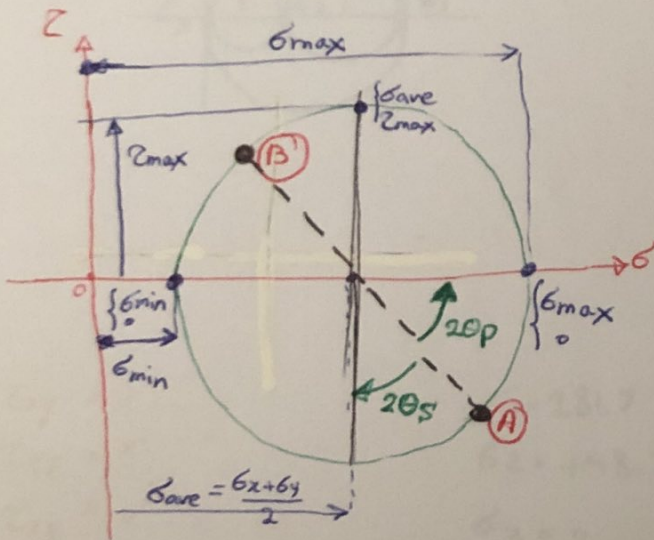
دایره مور:

برای تدبیر دایره مور دو وجه کناری یک مربع را در نظر گرفته و تدبیر کنیم.

همزمان قرارداد زیر را نیز در نظر بگیریم.

در مورد نیروهای فشاری و کششی:
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{کشی} + \\ \text{فشاری} - \end{array} \right.$

در مورد نیروهای برشی:
 $\left\{ \begin{array}{l} \text{ساعتگرد} + \\ \text{عکس ساعتگرد} - \end{array} \right.$



* توضیحات کامل:

۱) چرا ابعاد θ_p و θ_s برابر 45° است؟

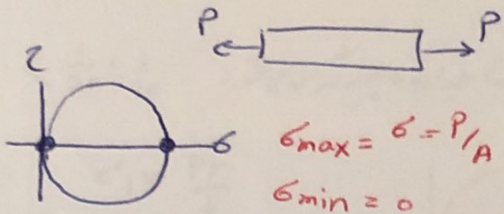
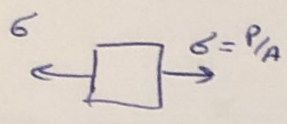
۲) چرا σ_{ave} همیشه برای یک آن ثابت است؟

۳) چرا وقتی تنش برشی زیاد می‌شود، تنش نرمال هم تغییر می‌کند؟

۴) چرا وقتی تنش برشی زیاد می‌شود، تنش نرمال هم تغییر می‌کند؟

مکانی از دایره مور

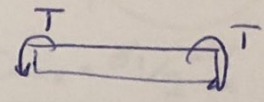
الف) دایره مور یک میله تحت کشش:



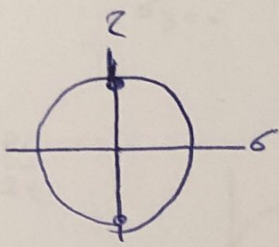
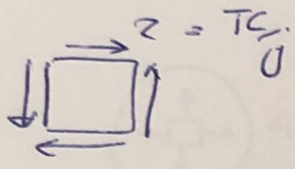
$$\sigma_{max} = \sigma = P/A$$

$$\sigma_{min} = 0$$

$$\tau_{max} = P/2A = \sigma/2$$



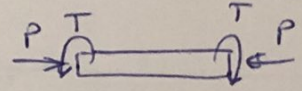
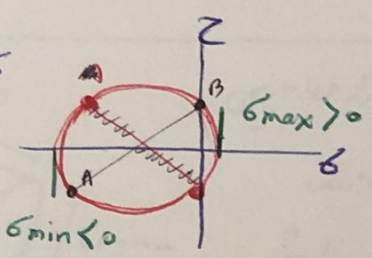
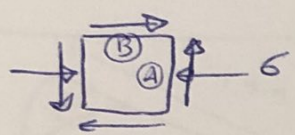
ب) یک میله تحت پیچش:



$$\sigma_{max} = \tau = \frac{TC}{J}$$

$$\sigma_{min} = -\tau = -\frac{TC}{J}$$

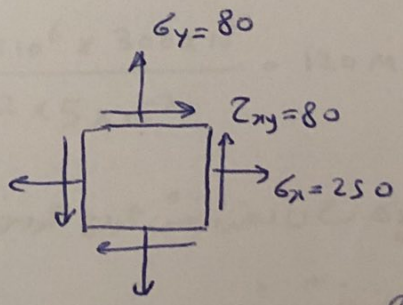
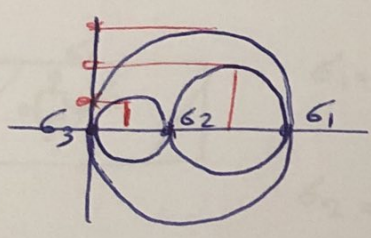
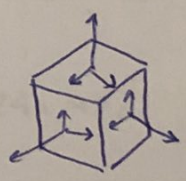
$$\tau_{max} = \tau = \frac{TC}{J}$$



ج) میله تحت برش و کشش:

+ برای کشش و - برای برش

حالت سه بعدی:



فرض کنیم که این میله را داریم.

این را می توان به عبارات دیگری

تعبیر کرد. تنش های عمود بر یکدیگر

مضرب است. تنش های عمود بر این یکدیگر را یک نیم فضا می دانیم.

$$\tau_{xy} = \tau$$

$$\tau_{yz} = \tau$$

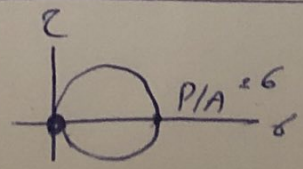
$$\tau_{xz} = \tau$$

$$\sigma_1 = 281.7$$

$$\sigma_2 = +48.3$$

$$\sigma_3 = 0$$

لذا تنش میانی را می توانیم از تقاطع $\sigma_1 = \sigma_2$ به دست می آوریم.



$$\sigma_1 = P/A$$

$$\sigma_2 = 0$$

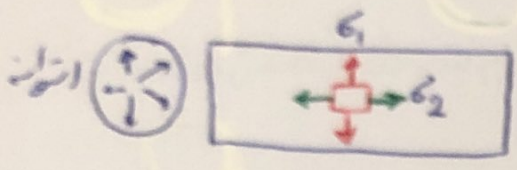
$$\sigma_3 = 0$$

میله یک میله تحت کشش است.

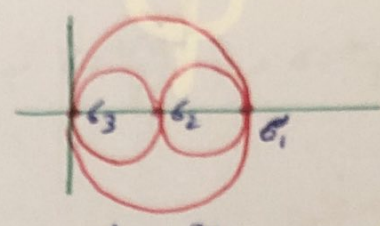
و لذا می توانیم از دایره مور یک نقطه را به دست آوریم.

در مکانیک جدار نازک تنش در جهت عمود بر جدار ناپدید می شود.

$$\frac{t}{r} < \frac{1}{20} \approx \frac{1}{10}$$



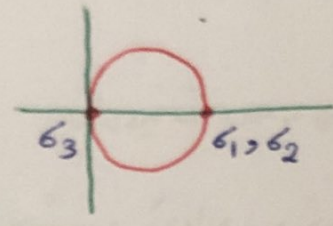
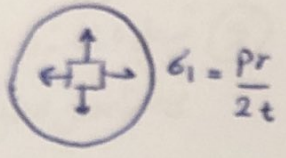
$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{Pr}{t} \\ \sigma_2 &= \frac{Pr}{2t} \\ \sigma_3 &= 0\end{aligned}$$



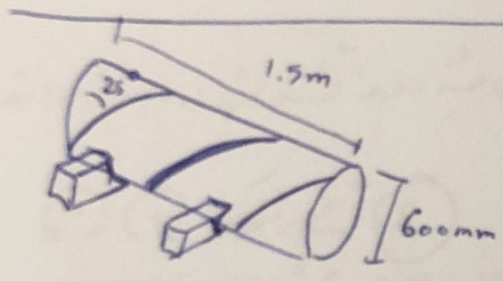
P فشار داخلی
 r شعاع
 t ضخامت

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \sigma_1 = \frac{Pr}{t} \\ \sigma_{\min} &= 0\end{aligned}$$

برای یک

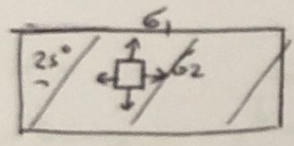


$$\sigma_{\max} = \frac{Pr}{4t}$$



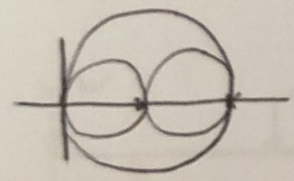
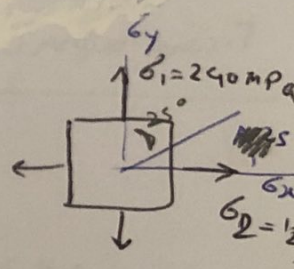
مثال: گدن تخت در سربورداری قوس جدار 5mm است و در امتداد خط مرکزی.

بزاویه 25° جوشکاری شده است. فشار داخل گدن 4MPa است.
مطلوب است تنش عمودی عمود بر خط جوش (تنش برش موازی با خط جوش)



$$\sigma_1 = \frac{Pr}{t} = \frac{4 \times 10^6 \times 300 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-3}} = 240 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \frac{Pr}{2t} = \frac{4 \times 10^6 \times 300 \times 10^{-3}}{2 \times 5 \times 10^{-3}} = 120 \text{ MPa}$$



اگر الان 25° چرخانده شود که ن دهنده تنش عمودی عمود بر خط جوش

خواهد بود و گنج نیز ن دهنده تنش برشی موازی با خط جوش

$$\sigma_x' = \frac{120 + 240}{2} + \frac{120 - 240}{2} \cdot \cos 50^\circ = 141.4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy}' = - \frac{6x - 6y}{2} \cdot \sin 2\theta + \tau_{xy} \cdot \cos 2\theta$$

$$= - \frac{120 - 240}{2} \cdot \sin(50^\circ) + 0 = 45.9 \text{ MPa}$$

محاسبه تنش برشی

۴) برای طراحی تیرک باید در هر مقطع و در هر نقطه مقدار M و V یعنی مقدار گشت دورگشتی و نیز مقدار نیروی برشی می باشد.

تبدیل از روابط $\sigma = \frac{m \cdot e}{I}$ و $\tau = \frac{VQ}{It}$ تیر طراحی شود. بدین اسس باید در یکم نیروی برشی و گشت دورگشتی در طول تیر بدیم تا کوچک

مقدارهای تیر برشی و گشت دورگشتی :

برای تعیین این موارد قواعد و نکات زیر را مدنظر داریم :

۹) تبدیل بار گسسته به متمرکز فقط برای محاسبه گشت دورگشتی اصل کلیه بارها می باشد.

۱- در یکم از سمت چپ می بارند

۲- نیروی برشی متمرکز به گشت چگش موارد نیروی برشی به همان سمت نیروی شود.

۳- عکس العمل می تکیه ها در تیرهای امروزی می باشد و در محاسبه عنوان یک نیروی برشی در نظر گرفته شود.

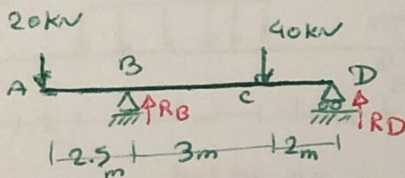
۴- در صورت مواجه شدن با بار گسسته ، درجه بار هر چه باشد درجه نیروی برشی یکی باشد و درجه گشت دورگشتی دو باشد می باشد.

۵- ممت سطح زیر منحنی بار برابر نیروی برشی است . $\frac{dV}{dx} = w$

۸) تیر متحرک (+) (-)

۶- ممت سطح زیر منحنی نیروی برشی برابر گشت دورگشتی در آن نقطه است . $\frac{dM}{dx} = V$ فقط در ممت سطح چگش ایجابی کند

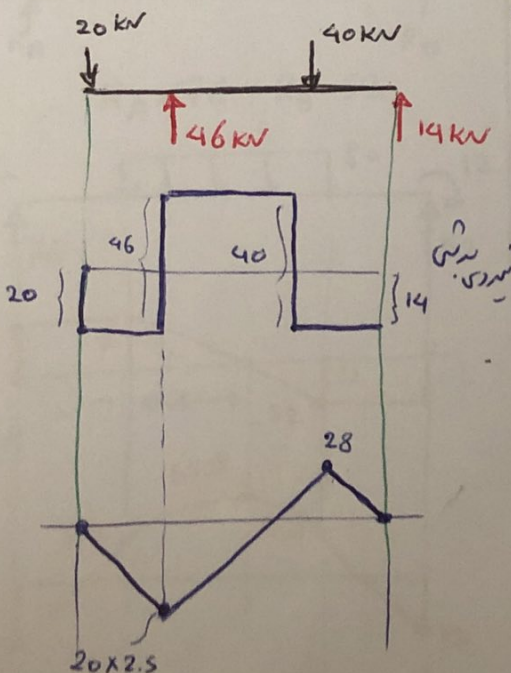
۷- در نقطه اتکا می توان متوجه شد که مسیر حرکت تیر می گذرد یا نه

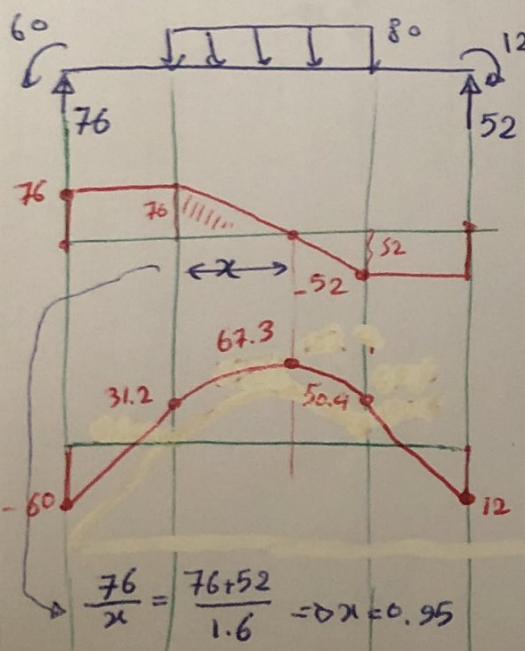
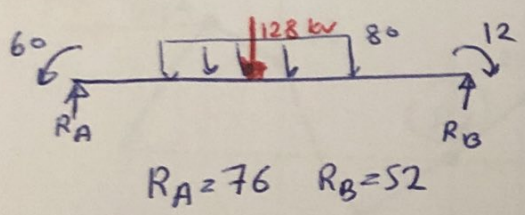
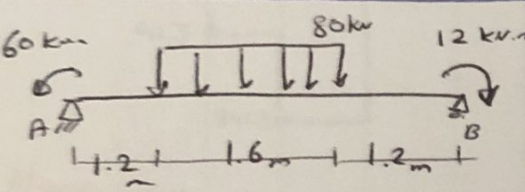
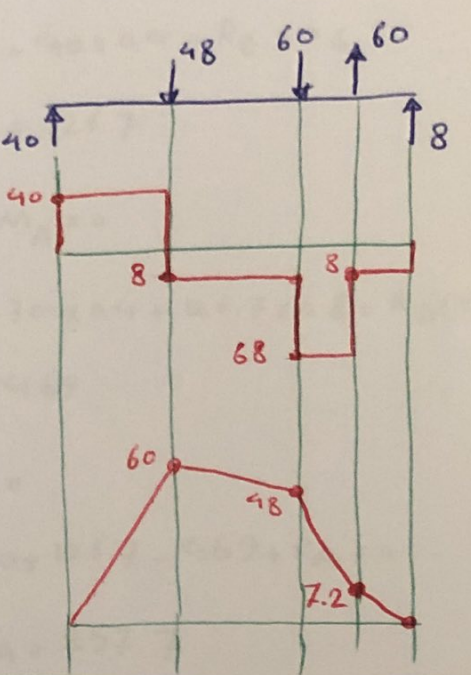
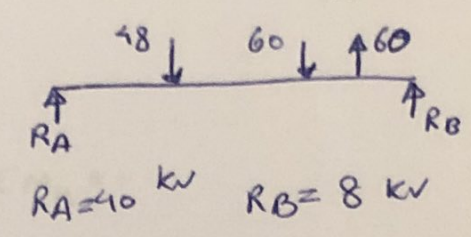
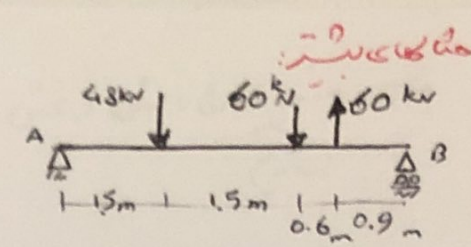
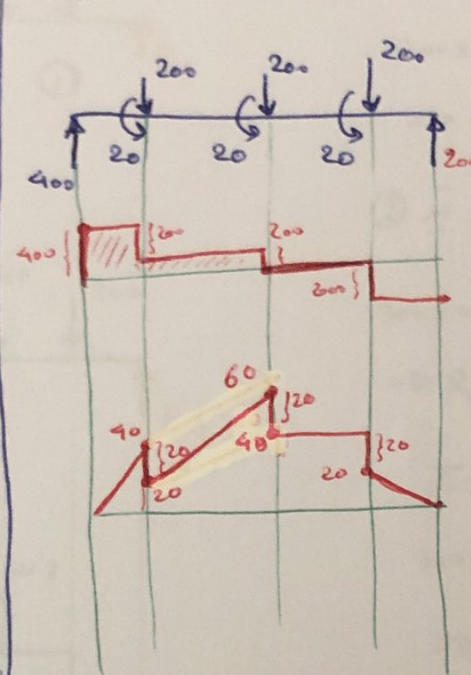
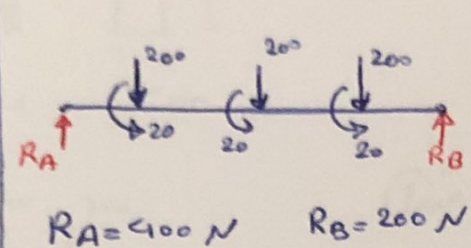
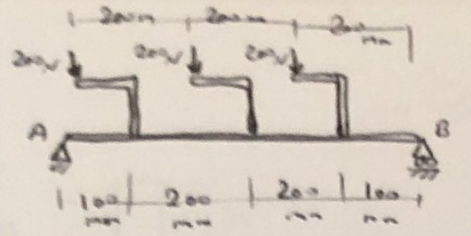
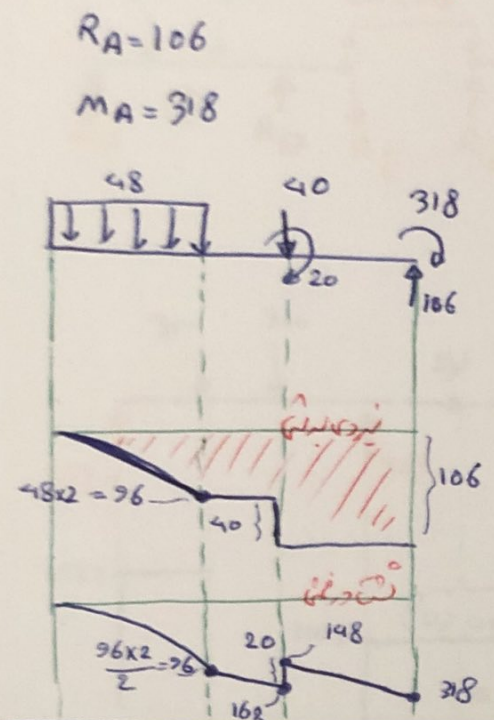
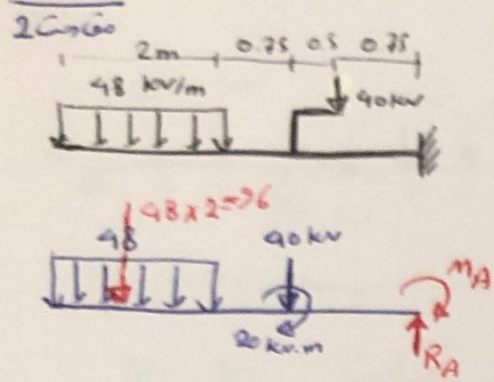


$$\sum M_B = 0 \Rightarrow 20 \times 2.5 + R_D \times 5 = 40 \times 3$$

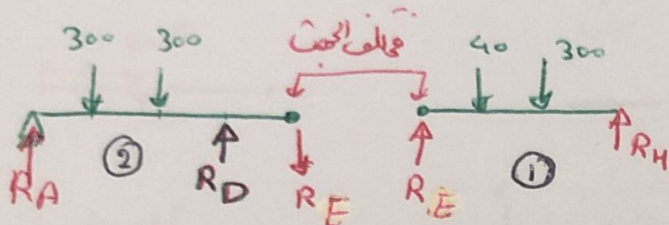
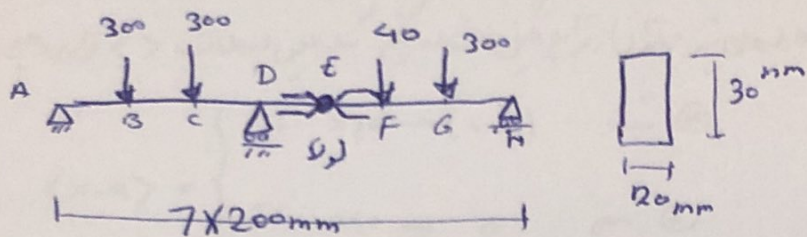
$$R_D = 14 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow 20 + 40 = 14 + R_B \Rightarrow R_B = 46 \text{ kN}$$





مسئله: تنش عموماً ناشی از تنش و از این رو به آن تنش عموماً می‌گویند.



$$\textcircled{1} \quad \sum M_H = 0$$

$$300 \times 0.2 + 40 \times 0.4 = R_E \times 0.6$$

$$\Rightarrow R_E = 126.7$$

$$\textcircled{2} \quad \sum M_A = 0$$

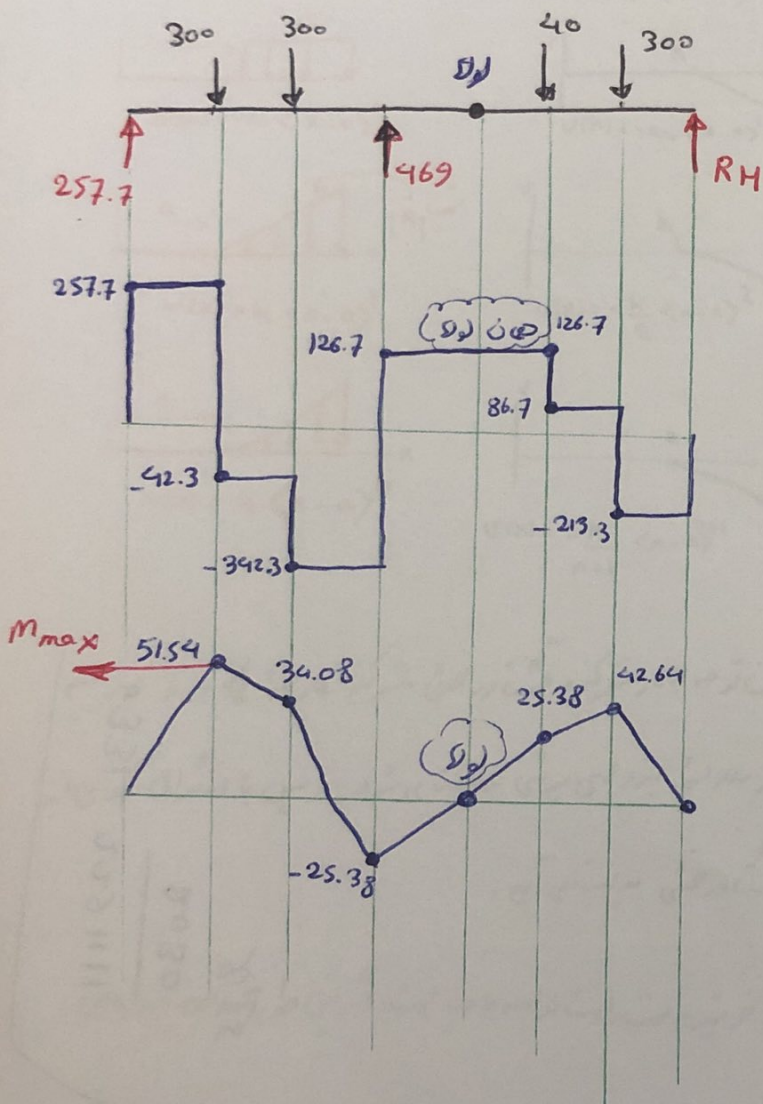
$$300 \times 0.2 + 300 \times 0.4 + 126.7 \times 0.8 = R_D \times 0.6$$

$$\Rightarrow R_D = 469$$

$$\sum F_y = 0$$

$$300 + 300 + 126.7 - 469 + R_A = 0$$

$$\Rightarrow R_A = 257.7$$



$$\sigma = \frac{m c}{I} = \frac{51.54 \times 15 \times 10^{-3}}{\frac{1}{12} \times 20 \times 30^3 \times 10^{-6}} = 17.18 \text{ MPa}$$

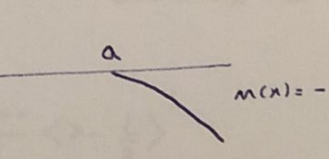
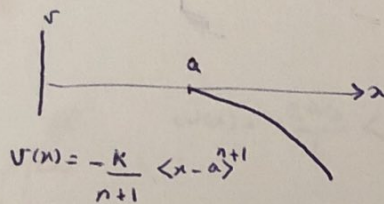
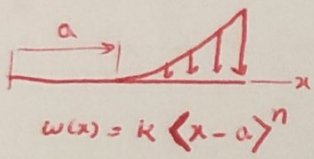
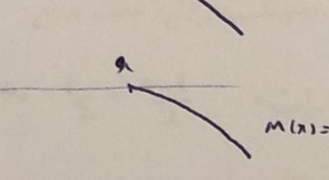
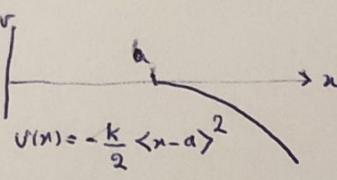
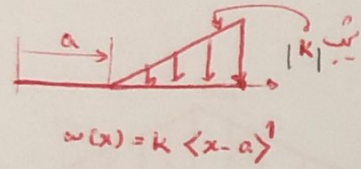
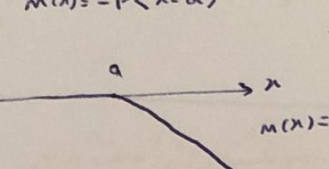
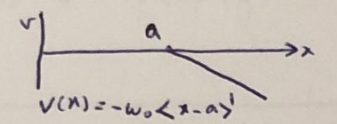
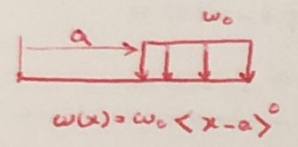
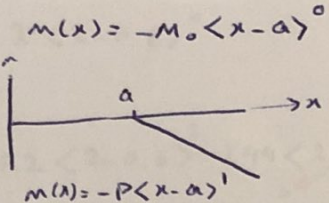
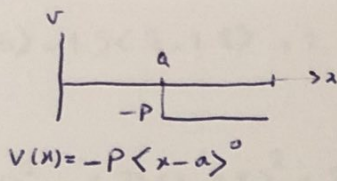
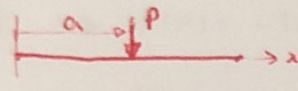
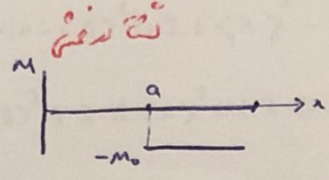
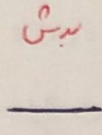
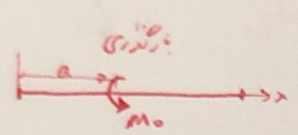
این تنش عموماً ناشی از تنش

برای بدست آوردن معادله می نویسیم: $\langle x-a \rangle$ معادله ای می توان از توابع پلین استفاده کنیم. که در این دو علامت $\langle \rangle$ قرار دهیم.

مثبت (۱) $\langle x-a \rangle = \begin{cases} \text{IF } x > a \rightarrow (x-a) \\ \text{IF } x \leq a \rightarrow 0 \end{cases}$

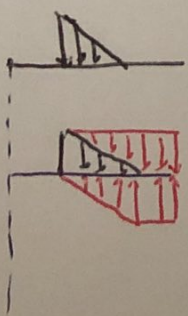
مثبت (۲) $\langle x-a \rangle = \begin{cases} \text{IF } x > a \rightarrow (x-a) \\ \text{IF } x \leq a \rightarrow 0 \end{cases}$

مجموع نموداری مورد استفاده به صورت زیر است.

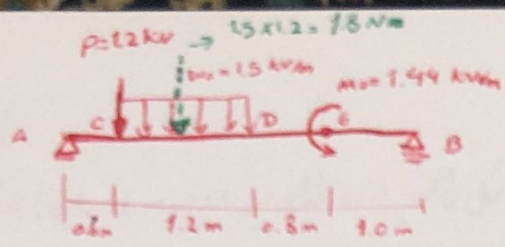


+ برای حل این نوع مسائل ابتدا عکس العمل نیکی گاه ج- می شود پس بدون توجه به بار متوزع و گشت درختی متوزع عارضه بار را می نویسیم.
پس: انتقال گیری از معادله بار و اضا نه کردن نرم نیردلی بدنی متوزع عارضه نیردلی بدنی نوشت می شود. در این با انتقال گیری از
از معادله نیردلی بدنی اضا نه کردن نرم های گشت درختی متوزع عارضه گشت درختی بدلی می آید.

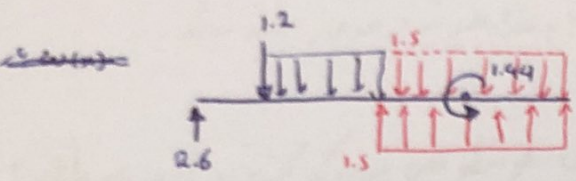
این نکته باید توجه شود که برای استفاده در توابع پلین تا آخر تیر به سمت راست ادا می یافد است و اگر تیرین طور نبود باید بارهای
عباری، بار را کم و زیاد نمود تا تیر کامل شود مثلاً



+ فقط برای میسب عکس العمل نیکی گاه می توان بارهای گسترده را به صورت بار متوزع در مرکز بار نیکی گاه کرد

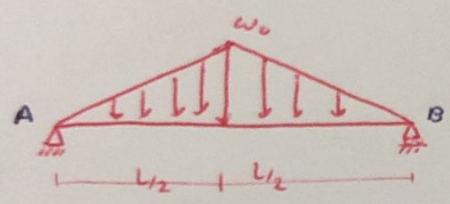


مثال: معادله نیروی برشی و گشتاور را بنویسید.
 معادله نیروی برشی و گشتاور را بنویسید؟
 $\Sigma M_B = 0 \Rightarrow$
 $1.44 + 1.8 \times 2.4 + 1.2 \times 3 = R_A \times 3.6$
 $\Rightarrow R_A = 2.6 \text{ kV}$

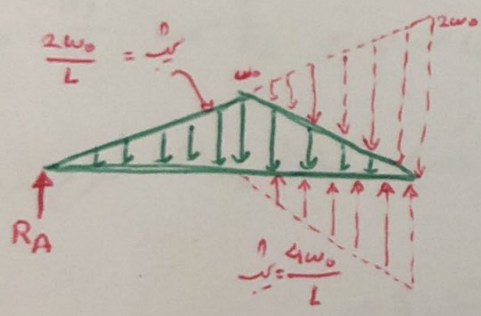


$w(x) = -1.5 \langle x - 0.6 \rangle^0 + 1.5 \langle x - 1.8 \rangle^0$
 $V(x) = -1.5 \langle x - 0.6 \rangle^1 + 1.5 \langle x - 1.8 \rangle^1 + 2.6 \langle x \rangle^0 - 1.2 \langle x - 0.6 \rangle^0$
 $M(x) = -\frac{1.5}{2} \langle x - 0.6 \rangle^2 + \frac{1.5}{2} \langle x - 1.8 \rangle^2 + 2.6 \langle x \rangle^1 - 1.2 \langle x - 0.6 \rangle^1 - 1.44 \langle x - 2.6 \rangle^0$

$x = 2 \Rightarrow V(x) = -1.5 \langle 2 - 0.6 \rangle + 1.5 \langle 2 - 1.8 \rangle + 2.6 \langle 2 \rangle^0 - 1.2 \langle 2 - 0.6 \rangle^0$
 $V(x) = -0.4 \text{ kV}$
 $M(x) = -0.75 \langle 2 - 0.6 \rangle^2 + 0.75 \langle 2 - 1.8 \rangle^2 + 2.6 \langle 2 \rangle^1 - 1.2 \langle 2 - 0.6 \rangle^1 - 1.44 \langle 2 - 2.6 \rangle^0$
 $M(x) = 2.08 \text{ kV.m}$



مجموع کل بار برابریست با:
 $2 \times \frac{1}{2} \omega_0 \cdot \frac{L}{2} = \frac{\omega_0 L}{2}$
 جهت تعادل مقدار R_A برابریست با:
 $R_A = \frac{\omega_0 L}{4}$



$w(x) = -\frac{2\omega_0}{L} \langle x \rangle^1 + \frac{4\omega_0}{L} \langle x - \frac{L}{2} \rangle^1$
 $V(x) = -\frac{\omega_0}{L} \langle x \rangle^2 + \frac{2\omega_0}{L} \langle x - \frac{L}{2} \rangle^2 + \frac{\omega_0 L}{4} \langle x \rangle^0$
 $M(x) = -\frac{\omega_0}{3L} \langle x \rangle^3 + \frac{2\omega_0}{3} \langle x - \frac{L}{2} \rangle^3 + \frac{\omega_0 L}{4} \langle x \rangle^1$

- + تیر به عصبی گفته می شود به صورت افقی قرار گرفته و بارگذاری های مختلف را تحمل می کند. برای طراحی تیر باید دو مورد اساسی را مد نظر قرار داد.
 (الف) تیر از لحاظ تنش باید دارای سطح مقطع باشد که تحمل بارگذاری را داشته باشد. (ب) باید مقدار خمیدگی از حد مجاز بیشتر نباشد.
- + برای طراحی تیر باید همچون دو مورد بالا در نظر گرفته شود و با این اطلاعات کوچکترین سطح مقطع عصبی تیری که کمترین وزن در واحد طول را داشته باشد انتخاب شود.

+ تیرها معمولاً دارای سطح مقطع مستطیل هستند و بارگذاری سطح مقطع I شکل می باشد.

+ روابط تنش مورد نیاز برای طراحی تیرها:

(*) مقادیر M و V مقدار ماکزیمم گشت درختی و نیروی برشی در تیر است.

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{M}{I/c} = \frac{M}{S}$$

مدول مقطع S:

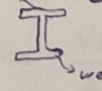
$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

برای حالت کلی

$$\tau = \frac{3}{2} \frac{V}{A}$$

برای مستطیل

$$\tau = \frac{V}{A_{web}}$$

برای مقطع I شکل


فناپذیری تیر منشوری

1. ابتدا مقادیر تنش می مجاز مربوط به جنس تیر از جداول مربوط آورده و به ضریب ایمنی تقسیم می کنیم. $\sigma_{all} = \frac{\sigma_y}{F.S}$ $\tau_{all} = \frac{\tau}{F.S}$
2. نمودارهای گشت درختی و نیروی برشی تهیه شده و در هر حالتی استخراج می شود و مقادیر ماکزیمم M_{max} و V_{max} استخراج می شود.
3. معمولاً عامل محتمل در طراحی تیر گشت درختی است بنابراین با استفاده از رابطه مربوط مقدار S یابی
 مدول مقطع برای تیر مورد نظر می سب می شود.

$$\sigma = \frac{M}{S} \rightarrow S = \frac{\sigma_{all}}{M_{max}}$$

4. از جدول مربوط به تیرهای I شکل، شماره ای انتخاب می کنیم که در آن مقدار S تیر از مقدار بدست آمده در قسمت سوم بیشتر باشد.

توجه: علاوه بر S های مربوط به تیر و نیز وزن در واحد طول ها همچنین تیر از نظر وزن ایمنی - مورد توجه باید تیرهایی که شرایط مربوط به خمیدگی را نیز داشته باشد.

5. حال تیر انتخابی را برای بررسی می کنیم: استفاده از روابط مربوط

تیر استاندارد است آمده برای Z_m

$$Z_m = \frac{V_{max} \cdot Q}{I \cdot t}$$

$$\tau_m = \frac{3}{2} \frac{V_{max}}{A}$$

برای مستطیل

$$\tau_m = \frac{V_{max}}{A_{web}}$$

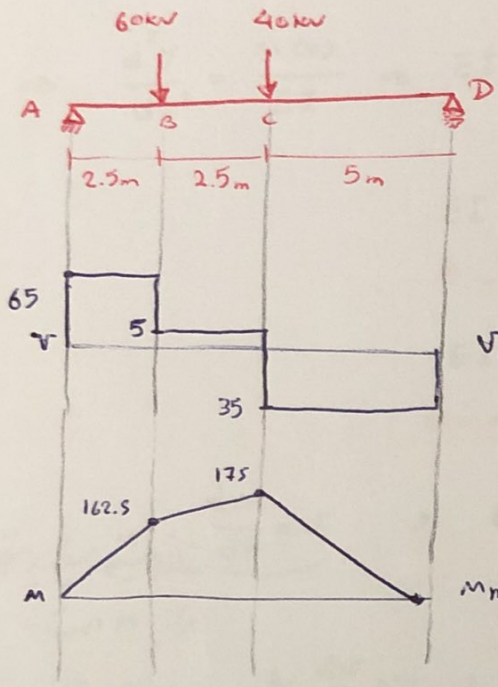
برای I شکل

از مقدار Z_{all} که به دست آمده است قبول است

وگرنه تیر را عوض کرد.

ک- مقدار که در محل اتصال جان بهال باید بررسی شود. همچنین بررسی شود که اندرزن تیر در اینجه بتوان یک تیر در تیر
می تیریم آیا مشکلی برای تیر پش می آید یا نه. این مورد را در آخر اندرزن ابتدای تکمیل که بعد در تیر گرفته شود، چون سطح مقطع معمول است
اسکان پذیر شود لذا در اینجا بتوان یک عبارت که فقط باستی یک تیر در تیر گرفته می شود.

مثال: فرض کنید $\sigma_{all} = 160 \text{ MPa}$ و $\tau_{all} = 100 \text{ MPa}$ مقطع تیر بال چپ را ببینید.



$$\sum M_D = 0 \Rightarrow 60 \times 7.5 + 40 \times 5 = R_A \times 10 \Rightarrow R_A = 65 \text{ kN}$$

$$S = \frac{M_{max}}{\sigma_{all}} = \frac{175 \times 10^6}{160 \times 10^3} = 1093$$

$$V_{max} = 65 \text{ kN}$$

$$W_{530 \times 66}$$

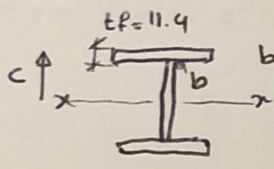
اینجا -
برای سگرتن وزن

$$I_x = 351, c = 262.5, S_x = 1337$$

$$A_{web} = 1.88 \times 10^{-3}$$

$$M_{max} = 175 \text{ kN.m}$$

$$\tau_m = \frac{V_{max}}{A_{web}} = \frac{65 \times 10^3}{1.88 \times 10^{-3}} = 34.6 \text{ MPa} < 100$$



بررسی تنش عمودی در نقطه b

$$\sigma = \frac{m c}{I} = \frac{175 \times 10^3 \times (262.5 - 11.4) \times 10^{-3}}{351} = 125 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V}{A_{web}} = \frac{65 \times 10^3}{1.88 \times 10^{-3}} = 34.57 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \sigma_{max} = 133.94 \text{ MPa} < 160 \text{ MPa}$$

فاصله مختلف تنش ها با تنش می باز در صورت اجتناب کردن وزن تیر، بتوان یک بار سگرتن را به هم تقی می رانی -
ضع تیر منخ نخواهد داد

شعاعی

از مقاومت مصالح ۱ داریم: $\frac{1}{\rho} = \frac{M(x)}{EI}$

از روابط ۲: $\frac{1}{\rho} = \frac{d^2y/dx^2}{[1 + (dy/dx)^2]^{3/2}} \Rightarrow \frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2}$

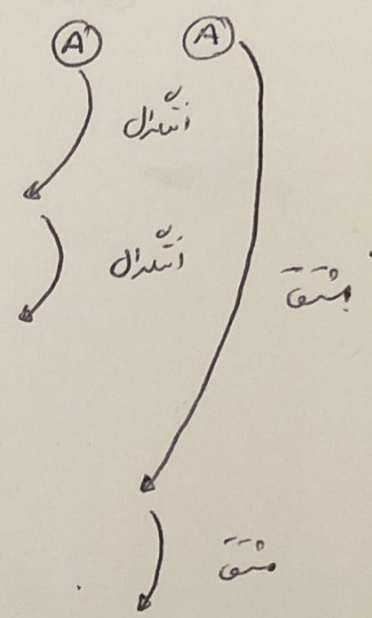
$\Rightarrow \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI}$

نیم تیر یا مفتی به معنی لولک است «در مقابل با ۱»

$\Rightarrow \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \Rightarrow EI \frac{d^2y}{dx^2} = M(x)$

$EI \frac{dy}{dx} = \int^x M(x) dx + C_1$
نیم ۵

$EI y = \int^x dx \int^x M(x) dx + C_1 x + C_2$
خیز یا تغییر مکان



$\frac{dM}{dx} = V$ و $EI \frac{d^3y}{dx^3} = \frac{dM(x)}{dx} = V(x)$
مقدار دایره - سطح زیر منحنی

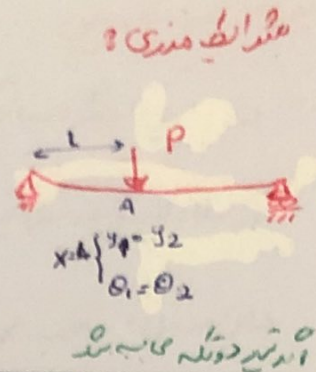
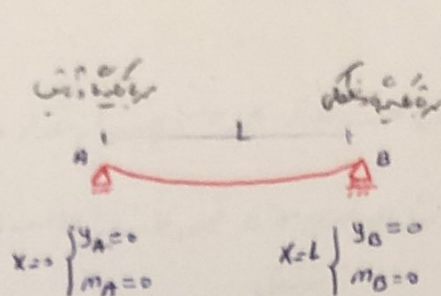
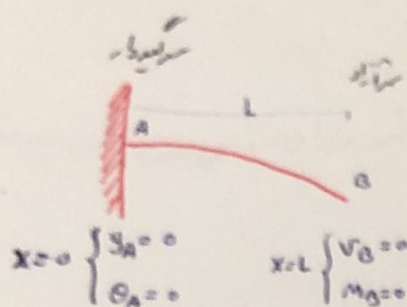
برای M است
 $\frac{dV}{dx} = w$ و $EI \frac{d^4y}{dx^4} = \frac{dV(x)}{dx} = w(x)$
مقدار دایره - سطح زیر منحنی

خلاصه:

این سه مرحله را ابتدا پیدا کرده ایم
و می توانیم روابطی را بنویسیم اگر توانستیم
کامل بنویسیم اگر نتوانستیم به حسب کردن
نیم ۵

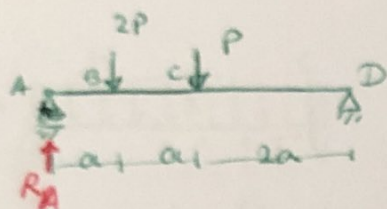
- الف) $EI \frac{d^4y}{dx^4} = w(x)$
- ب) $EI \frac{d^3y}{dx^3} = \int w(x) dx + C_1$
- ج) $EI \frac{d^2y}{dx^2} = \int dx \int w(x) dx + C_1 x + C_2 = M(x)$
- د) $EI \frac{dy}{dx} = \int dx \int dx \int w(x) dx + \frac{1}{2} C_1 x^2 + C_2 x + C_3 = EI \theta(x)$
- ه) $EI y = \int dx \int dx \int dx \int w(x) dx + \frac{1}{6} C_1 x^3 + \frac{1}{2} C_2 x^2 + C_3 x + C_4$

پیدا کردن ثابت است



در تیر دو تکیه می باشد

مثال ۱: با استفاده از تابع تغییرات: مطلوب است تعیین در نقطه C:



$$\sum M_D = 0 \Rightarrow P \cdot 2a + 2P \cdot 3a = R_A \cdot 4a \Rightarrow$$

$$R_A = 2P$$

$$w = 0$$

$$V = 2P \langle x \rangle^0 - 2P \langle x-a \rangle^0 - P \langle x-2a \rangle^0$$

$$m = 2P \langle x \rangle^1 - 2P \langle x-a \rangle^1 - P \langle x-2a \rangle^1$$

$$EI \theta(x) = P \langle x \rangle^2 - P \langle x-a \rangle^2 - \frac{P}{2} \langle x-2a \rangle^2 + C_1$$

$$EI y(x) = \frac{P}{3} \langle x \rangle^3 - \frac{P}{3} \langle x-a \rangle^3 - \frac{P}{6} \langle x-2a \rangle^3 + C_1 x + C_2$$

$$\text{شرایط مرزی: } \begin{cases} x=0 \\ y=0 \end{cases} \Rightarrow 0 = 0 - 0 - 0 + 0 + C_2 \Rightarrow C_2 = 0$$

$$\begin{cases} x=4a \\ y=0 \end{cases} \Rightarrow 0 = \frac{64Pa^3}{3} - 9Pa^3 - \frac{8P}{6}a^3 + 4aC_1 \Rightarrow C_1 = -2.75 Pa^2$$

$$\Rightarrow EI y(x) = \frac{P}{3} \langle x \rangle^3 - \frac{P}{3} \langle x-a \rangle^3 - \frac{P}{6} \langle x-2a \rangle^3 + -2.75 Pa^2 x$$

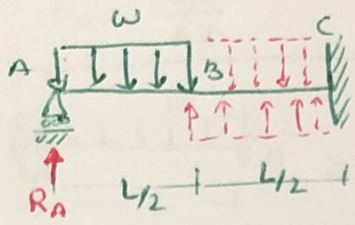
in point C: $x=2a$

$$EI y(x) = \frac{8}{3} Pa^3 - \frac{Pa^3}{3} - 0 - 2.75 \times 2 Pa^3 \Rightarrow EI y(x) = -\frac{19}{6} Pa^3$$

در تیرهای که از نظر استاتیکی نامعین هستند تعداد مجهولات بیشتر از تعداد معادلات می‌باشد و لذا می‌توانیم مجهولات امکان پذیر نیست. اما با استفاده از معادلات تغییر شکل تیرهای می‌توان در برخی موارد مجهولات را مناسب نمود.

در این مثال، بر حسب مجهولات، معادلات تغییر شکل را نوشته و پس با استفاده از شرایط مرزی، مجهولات را به هم می‌بندیم.

مثال: در شکل معادله‌های تغییر شکل را بنویسید.



$$w = -w \langle x \rangle^0 + w \langle x - L/2 \rangle^0$$

$$V = R_A \langle x \rangle^0 - w \langle x \rangle^1 + w \langle x - L/2 \rangle^1$$

$$M = R_A \langle x \rangle^1 - \frac{w}{2} \langle x \rangle^2 + \frac{w}{2} \langle x - L/2 \rangle^2$$

$$EI \theta(x) = \frac{R_A}{2} \langle x \rangle^2 - \frac{w}{6} \langle x \rangle^3 + \frac{w}{6} \langle x - L/2 \rangle^3 + C_1$$

$$EI y(x) = \frac{R_A}{6} \langle x \rangle^3 - \frac{w}{24} \langle x \rangle^4 + \frac{w}{24} \langle x - L/2 \rangle^4 + C_1 x + C_2$$

شرایط مرزی: $\begin{cases} x=0 \\ y=0 \end{cases} \Rightarrow C_2 = 0$

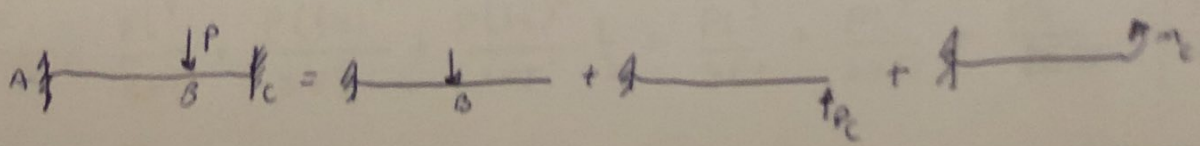
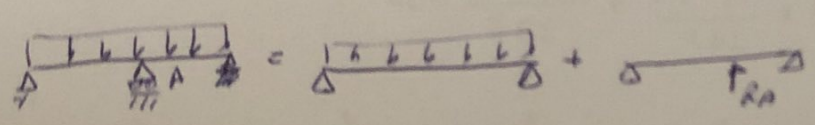
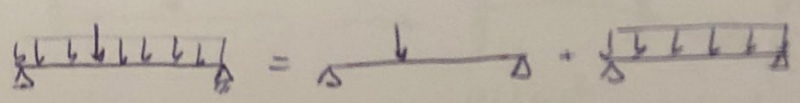
$\begin{cases} x=L \\ y=0 \end{cases} \Rightarrow \frac{R_A}{6} L^3 - \frac{w}{24} L^4 + \frac{w}{24} \times \frac{L^4}{16} + C_1 L = 0 \quad (A)$

$\begin{cases} x=L \\ \theta=0 \end{cases} \Rightarrow \frac{R_A}{2} L^2 - \frac{w}{6} L^3 + \frac{w}{6} \frac{L^3}{8} + C_1 = 0 \quad (B) \times (-L)$

$-\frac{R_A}{3} L^3 + \frac{41}{384} w L^4 = 0 \Rightarrow R_A = \frac{41}{128} w L$

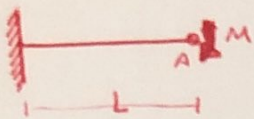
روش برعکس: Superposition

اگر تیر را به چند قسمت تقسیم کنیم و برای هر قسمت معادلات استاتیکی بنویسیم و با استفاده از اصل برعکس می‌توانیم نتایج را به هم اضافه کنیم.



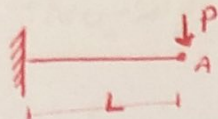
برای استفاده از روش بدم نمی و بدست آوردن یک یا تغییر مکان و یا عکس العمل نیکی و در حالت استاتیکی تعیین نقطه مورد

از رابط زید می تواند مفید باشد.



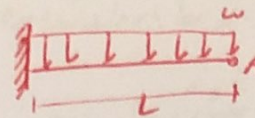
$$y_A = \frac{PL^2}{2EI}$$

$$\theta_A = \frac{PL}{EI}$$



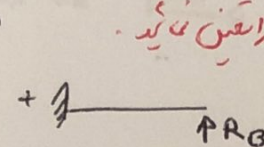
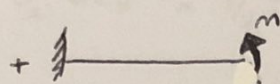
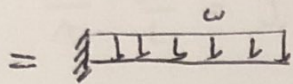
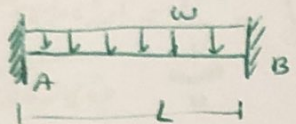
$$y_A = \frac{PL^3}{3EI}$$

$$\theta_A = \frac{PL^2}{2EI}$$



$$y_A = \frac{wL^4}{8EI}$$

$$\theta_A = \frac{wL^3}{6EI}$$



مکان: عکس العمل نقطه B را تعیین کنید.

$$y_B = \frac{-wL^4}{8EI} + \frac{ML^2}{2EI} + \frac{R_B L^3}{3EI} = 0 \Rightarrow -3wL^2 + 12M + 8R_B L = 0 \quad (A) \quad \times -2$$

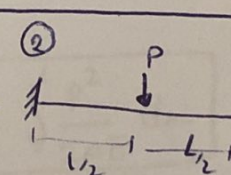
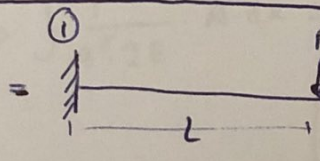
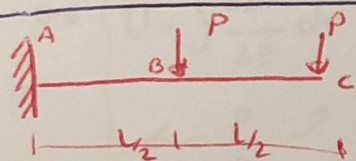
$$\theta_B = \frac{-wL^3}{6EI} + \frac{ML}{EI} + \frac{R_B L^2}{2EI} = 0 \Rightarrow -wL^2 + 6M + 3R_B L = 0 \quad (B)$$

$$(A) - 2(B) \Rightarrow -3wL^2 + 12M + 8R_B L + 2wL^2 - 12M - 6R_B L = 0$$

$$-wL^2 + 2R_B L = 0 \Rightarrow R_B = \frac{wL}{2}$$

از تعادل می توان
در ابتدا متوجه شد

$$(B) \text{ جایگزین: } -wL^2 + 6M + \frac{3wL^2}{2} = 0 \Rightarrow M = -\frac{wL^2}{12}$$



در: مقدار تغییر مکان در نقطه C را پیدا

$$(1): y_C = \frac{PL^3}{3EI}$$

$$(2): y_C = \frac{P(L/2)^2}{3EI} + \frac{P(L/2)^2}{2EI} \times \frac{L}{2}$$

$$y_C = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{P(L/2)^3}{3EI} + \frac{P(L/2)^2}{2EI} \cdot \frac{L}{2} = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{PL^3}{24EI} + \frac{PL^3}{16EI} = \frac{7}{16} \frac{PL^3}{EI}$$

+ انرژی کشش برابر است با کار انجام شده توسط بار وارد شده بدینگونه بدینجمله اقدایش می باشد.

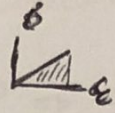
+ انرژی کشش همدوم برابر با سطح زیر منحنی تنش کشش آن جسم می شود.

+ انرژی کشش، کمیتی است که بدو همدوم جسم در نقطه کشش می شود.

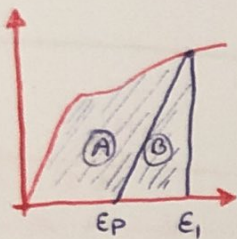
$$\text{انرژی کشش} = U = \int_0^{x_1} p \cdot dx$$

انرژی کشش P تغییر مکان را ایجاد می کند انرژی برابر است با

$$\text{انرژی کشش همدوم} = \frac{U}{V} = \int_0^{x_1} \frac{P}{A} \cdot \frac{dx}{L} = \int_0^{\epsilon_1} \sigma_x \cdot d\epsilon_x = \frac{1}{2} \sigma_x \cdot \epsilon_x$$



$$u = \int_0^{\epsilon_1} \sigma_x \cdot d\epsilon_x$$



③ + ④ کل انرژی کشش ← مدل جفتی (نیمه)

④ انرژی کشش در حالت کشش شده و تغییر شکل داده و به صورت کشش ظاهر می شود.

③ انرژی کشش که بازگشت می شود.

$$u = \int_0^{\epsilon_1} \sigma_x \cdot d\epsilon_x = \int_0^{\epsilon_1} E \cdot \epsilon_x \cdot d\epsilon_x = \frac{E \epsilon_x^2}{2}$$

در محدوده الاستیک: $\sigma_x = E \epsilon_x$

$$U = \int \frac{\sigma_x^2}{2E} dV \quad \text{انرژی کشش}$$

$$U = \int \frac{\sigma_x^2}{2E} dV = \int \frac{P^2}{A^2 \cdot 2E} \cdot A \cdot dx = \int \frac{P^2}{2AE} dx$$

$$U = \int \frac{P^2}{2AE} dx$$

$$U = \frac{P^2 L}{2AE}$$

موتی که در طول تغییر یافته شد "شد" سطح مقطع

در حالت کشش

$$U = \int_0^L \frac{M^2}{2EI} dx$$

انرژی کشش در حالت خمش:

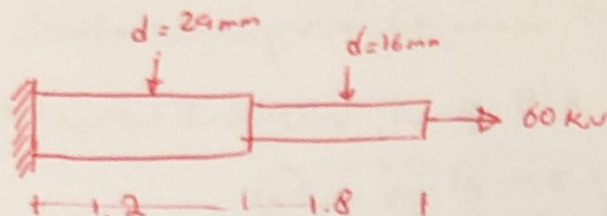
$$U = \int_0^L \frac{T^2}{2GJ} dx$$

$$U = \frac{T^2 L}{2GJ}$$

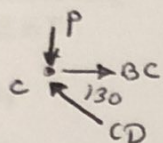
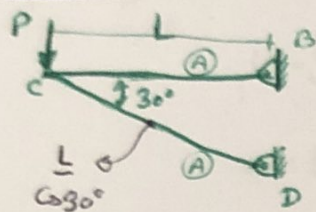
انرژی کشش در حالت تنش برشی:

و در $u = \frac{1}{2} \sigma \epsilon$

مثال: اند $E = 15 \text{ GPa}$ اندر کشش میله او برادر است - کنید.



$$U = \int_0^L \frac{P^2}{2EA} dx = U_1 + U_2 = \frac{(60 \times 10^3)^2 \times 1.2}{2 \times 12^2 \times 10^{-6} \times \pi \times 75 \times 10^9} + \frac{(60 \times 10^3)^2 \times 1.8}{2 \times 8^2 \times 10^{-6} \times \pi \times 75 \times 10^9} = 279 \text{ J}$$

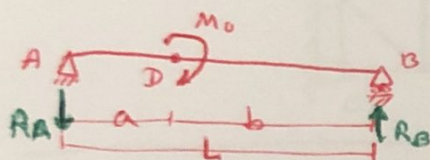


مثال: در مثل او برادر کلیه مقاطع ها مثل اند. اندر کشش فرمایید.

$$CD \cdot \sin 30 = P \Rightarrow CD = 2P$$

$$CD \cdot \cos 30 = BC \Rightarrow BC = 1.732 P$$

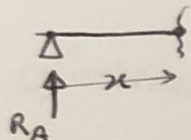
$$U = U_{CB} + U_{CD} \Rightarrow U = \frac{(2P)^2 L}{2AE} + \frac{(1.732P)^2 \cdot L / \cos 30}{2AE} = \frac{3.732 P^2 L}{AE}$$



اندز کشش در تیر مقابل را حساب کنید. تنها اندر کشش شعوری را منظور کنید.

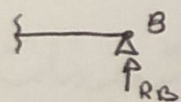
$$\sum M_A = 0 \Rightarrow M = R_B \cdot L \Rightarrow R_B = \frac{M}{L}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_B = R_A \Rightarrow R_A = \frac{M}{L}$$



نیمه چپ: $M = R_A \cdot x = \frac{M}{L} \cdot x$

$$U_{AD} = \int_0^a \frac{\left(\frac{Mx}{L}\right)^2}{2EI} dx = \int_0^a \frac{M^2 x^2}{2L^2 EI} dx = \frac{M^2 a^3}{6L^2 EI}$$



نیمه راست: $M = R_B \cdot x = \frac{M}{L} \cdot x$

$$U_{BD} = \int_0^b \frac{\left(\frac{Mx}{L}\right)^2}{2EI} dx = \int_0^b \frac{M^2 x^2}{2L^2 EI} dx = \frac{M^2 b^3}{6L^2 EI}$$

$$U_{tot} = U_{AD} + U_{BD} = \frac{M^2 a^3}{6L^2 EI} + \frac{M^2 b^3}{6L^2 EI} = \frac{M^2}{6L^2 EI} (a^3 + b^3)$$

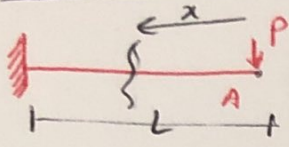
⊕ در وقت کمی قبل اندرزی کنشی هم راست با بارگذاری می باشد. از طرف دیگر مقدار کار انجام داده روی جسم گت اندر

نیروی P که مقدار x جابجایی شود برابر است با
توان از بارگذاری در قانون کار و اندرزی مقدار $w = \frac{1}{2} P \cdot x$

$$\omega = \frac{1}{2} m \dot{\theta} \quad \text{برای زاویه}$$

$$\omega = \frac{1}{2} T \dot{\phi}$$

گهول x که تغییر مکان می دهد را جابجایی خود

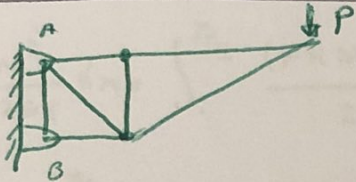


$$m = P \cdot x$$

$$U = \int_0^L \frac{(P \cdot x)^2 L}{2EI} dx = \int_0^L \frac{P^2 L \cdot x^2}{2EI} dx = \boxed{\frac{P^2 L^3}{6EI} = U}$$

$$w = \frac{1}{2} P \cdot x_1$$

$$U = w \Rightarrow \frac{1}{2} P \cdot x_1 = \frac{P^2 L^3}{6EI} \Rightarrow \boxed{x_1 = \frac{PL^3}{3EI}} \quad \text{که جابجایی را بدین صورت}$$



مثال: همان درین حالت را برای شکل می دهیم و بدین کاربرد

~~قصد~~ قضیه کاستیگی

اندرزی کنشی u برای یک سازه با ترکیبی از بارگذاری می مختلف برابر جمع اندرزی کنشی تک تک بارهای باشد. پس از محاسبه این

اندرزی برای می باشد مقدار تغییر مکان یا زاویه در هر نقطه می توان به صورت زیر عمل نمود.

اگر در نقطه مورد نظر مقدار تغییر مکان را بخواهیم، باید در آن نقطه یک بار متغیر متمرکز وجود داشته باشد و آنرا وجود داشته باشد.

یک بار مجازی P_i در آن نقطه قرار می دهیم. و اگر در نقطه مورد نظر مقدار زاویه را بخواهیم، باید در آن نقطه یک گشتاور متمرکز M_i وجود داشته باشد.

و آنرا وجود داشته باشد یک گشتاور مجازی M_s در آن نقطه قرار می دهیم.

$$x_i = \frac{\partial U}{\partial P_i}$$

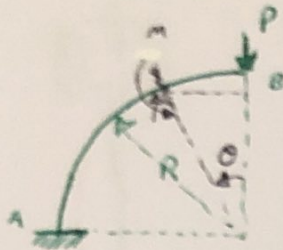
$$u = x_i = \frac{\partial U}{\partial P_i}$$

مقدار تغییر مکان در نقطه مورد نظر از رابطه برود

$$\theta_i = \frac{\partial U}{\partial M_i}$$

$$\theta = \theta_i = \frac{\partial U}{\partial M_i}$$

مقدار زاویه در نقطه مورد نظر از رابطه برود
بدین فرایند



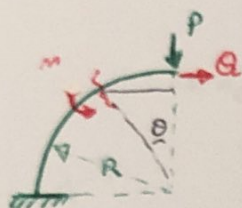
$$M = P \cdot R \cdot \sin \theta$$

$$U = \int_0^L \frac{M^2}{2EI} dx = \int_0^{\pi/2} \frac{(PR \sin \theta)^2}{2EI} \cdot R d\theta$$

$$= \frac{P^2 R^3}{2EI} \int_0^{\pi/2} \sin^2 \theta d\theta$$

$$y_P = \frac{\partial U}{\partial P} = \frac{PR^3}{EI} \int_0^{\pi/2} \sin^2 \theta d\theta = \frac{PR^3}{EI} \int_0^{\pi/2} \left(\frac{1 - \cos 2\theta}{2} \right) d\theta$$

$$y_P = \frac{P \pi R^3}{4EI}$$



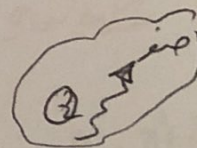
$$M = P \cdot R \cdot \sin \theta + Q (R - R \cos \theta)$$

$$M = PR \sin \theta + QR (1 - \cos \theta)$$

$$U = \int_0^L \frac{M^2}{2EI} dx = \int_0^{\pi/2} \frac{(PR \sin \theta + QR - QR \cos \theta)^2}{2EI} R d\theta$$

$$U = \frac{R^3}{2EI} \int_0^{\pi/2} (P^2 \sin^2 \theta + Q^2 + Q^2 \cos^2 \theta + 2QP \sin \theta - 2Q^2 \cos \theta - 2PQ \sin \theta \cos \theta) d\theta$$

$$x_B = \frac{\partial U}{\partial Q} = \frac{R^3}{2EI} \int_0^{\pi/2} (2Q + 2Q \cos^2 \theta + 2P \sin \theta - 4Q \cos \theta - 2P \sin \theta \cos \theta) d\theta$$



$$x_B = \frac{\partial U}{\partial Q} = \frac{R^3}{2EI} \int_0^{\pi/2} (2P \sin \theta - 2P \sin \theta \cos \theta) d\theta = \frac{R^3}{2EI} \int_0^{\pi/2} (2P \sin \theta - P \sin 2\theta) d\theta$$

$$= \frac{R^3}{2EI} \left(-2P \cos \theta + \frac{P \cos 2\theta}{2} \right) \Big|_0^{\pi/2} = \frac{R^3}{2EI} \left(-2P \cos \frac{\pi}{2} + 2P \cos 0 + \frac{P \cos \frac{\pi}{2}}{2} - \frac{P \cos 0}{2} \right)$$

$$x_B = \frac{PR^3}{2EI}$$



ستونها: آلتیته دارای سطح مقطع A باشند و در رابطه $\sigma = \frac{P}{A}$ مقدار کم از مقدار کم می باشد
 تیر که باشد تیر توانا نه نیروی P را تحمل کند. اما ممکن است تیر قبل از تسلیم، گشت
 کند. پس باید در طراحی ستونها مشورت گشت نیز بررسی شود.
 به مقدار باری که باعث گشت ستون شود P_{cr} گویند.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

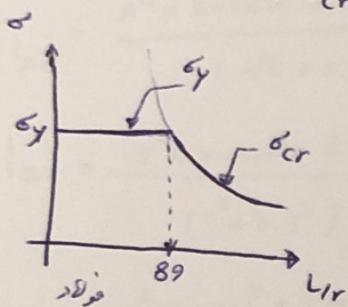
آقای اولیتر اینت می کند که ببینی شکل بار:

$$\sigma = \frac{P}{A} \Rightarrow \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 EI \rightarrow Ar^2}{L^2 \cdot A}$$

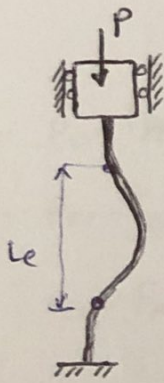
شکل دیرایون

$$\Rightarrow \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$$

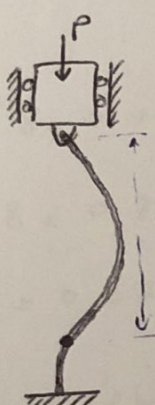
L/r : نسبت لاغری ستون نام دارد.



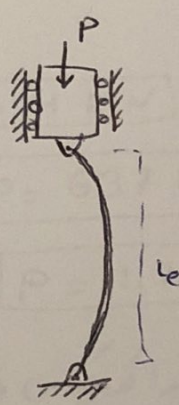
شکل دیرایون



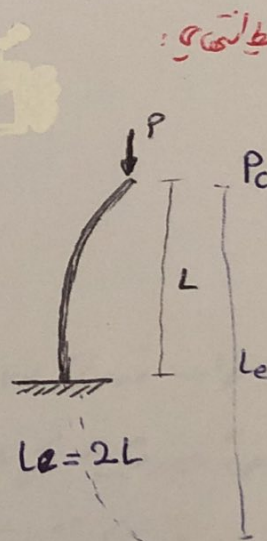
$$Le = 0.5L$$



$$Le = 0.7L$$



$$Le = L$$

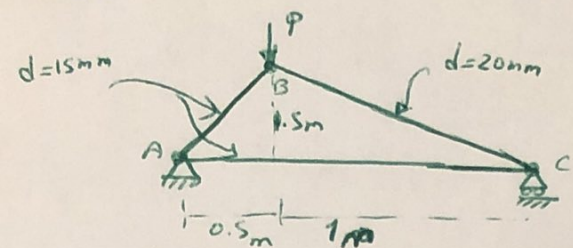


$$Le = 2L$$

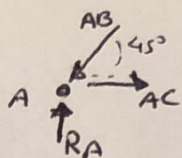
شکل دیرایون

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(Le)^2}$$

مثال: با استفاده از قضیه آیین 2.6، بیشترین بار P که می توان بدون تغییر شکل بار داد را بیابید.
 $E = 200 \times 10^9$

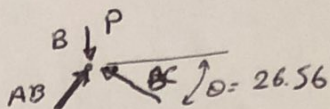


$$\sum M_C = 0 \Rightarrow P \times 1 = R_A \cdot 1.5 \Rightarrow R_A = 0.67 P$$



$$R_A = AB \cdot \sin 45^\circ \Rightarrow \boxed{AB = 0.94 P - C-}$$

$$AB \cdot \cos 45^\circ = AC \Rightarrow \boxed{AC = 0.67 P - T-}$$



$$AB \cdot \cos 45^\circ = BC \cdot \cos 26.56^\circ \Rightarrow$$

$$\boxed{BC = 0.75 P - C-}$$

$$I_{AB} = \frac{1}{64} \pi (15)^4 \times 10^{-12} = 2.49 \times 10^{-9}$$

$$I_{AC} = 2.49 \times 10^{-9}$$

$$I_{BC} = \frac{1}{64} \pi (20)^4 \times 10^{-12} = 7.86 \times 10^{-9}$$

$$P_{cr}|_{AB} = \frac{\pi^2 \times 200 \times 10^9 \times 2.49 \times 10^{-9}}{(\sqrt{2} \times 0.5)^2} = 9830.1 \xrightarrow{F.S} P_{cr} = 3780.8 \text{ N}$$

$$P_{cr}|_{BC} = \frac{\pi^2 \times 200 \times 10^9 \times 7.86 \times 10^{-9}}{(1^2 + 0.5^2)} = 12412 \xrightarrow{F.S} P_{cr} = 4773.8 \text{ N}$$

$$P_{cr}|_{AC} = \frac{\pi^2 \times 200 \times 10^9 \times 2.49 \times 10^{-9}}{(1.5)^2} = 2180.12 \xrightarrow{F.S} P_{cr} = 840 \text{ N}$$

$$AB: P_{cr} = F_{AB} \Rightarrow 3780.8 = 0.94 P \Rightarrow \boxed{P = 4 \text{ kN}} \quad \text{⊕} \quad \text{جواب}$$

$$BC: P_{cr} = F_{BC} \Rightarrow 4773.8 = 0.75 P \Rightarrow \boxed{P = 6.37 \text{ kN}}$$

$$AC: P_{cr} = F_{AC} \Rightarrow 840 = 0.67 P \Rightarrow \boxed{P = 1.25 \text{ kN}}$$

جواب نهایی ۱.۲۵ است. زیرا کمترین بار است که می توان وارد نمود.

عنصر AC می تواند کمترین بار را تحمل کند و لذا با اینکه کمترین بار را می تواند تحمل کند، چون تحت کشش است، نمی توان آن اتفاق نخواهد افتاد.