

## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

### ۱- تحلیل خرپا

برای تحلیل خرپا یعنی به دست آوردن نیروهای خرپا، دو روش وجود دارد؛ روش گره و روش مقطع زدن.

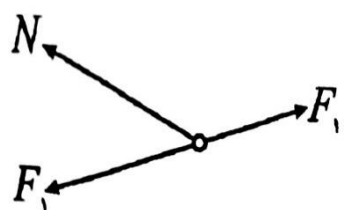
(۱) روش گره: در روش گره ابتدا عکس‌المعمل‌های تکیه‌گاهی را در صورت نیاز محاسبه می‌کنیم، سپس گره مورد نظر را بیرون آورده و با نوشتن معادلات تعادل در صفحه ( $\sum F_x = 0, \sum F_y = 0$ ) برای آن گره، مجهولات را به دست می‌آوریم.

قابل ذکر است بهتر است از گره‌ای شروع کنیم که کمترین نیروهای مجهول را در آن گره داشته باشیم.

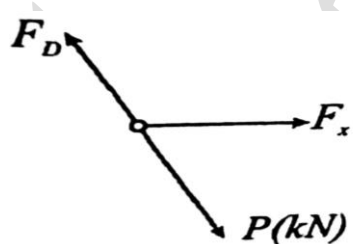
(۲) روش مقطع زدن: در این روش با یک مقطع، سازه‌ی مورد نظر را بُرش می‌دهیم و با نوشتن معادلات تعادل در صفحه ( $\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum M = 0$ ) می‌توانیم مجهول مورد نظر را به دست آوریم.

قابل ذکر است بُرش مورد نظر باید سراسری بوده و سازه را به دو قسمت تقسیم کند. بُرش باید عضوی که نیروی آن مدنظر است را قطع کند. در ضمن؛ برش مورد نظر باید کمترین اعضاء را قطع کند.

اعضای صفر نیرویی:



اعضای صفر نیرویی اعضایی هستند که با توجه به بارگذاری موجود وارد بر سازه، نیروی داخلی آنها صفر است ولی ممکن است با تغییر محل بارگذاری، آن اعضاء دیگر صفر نیرویی نباشند. برای مثال:



الف) اگر به یک گره‌ای که سه عضو وارد شود، دو عضو در یک

امتداد باشند و نیروی خارجی نیز بر آن گره اثر نکند، آنگاه

نیروی عضو سوم قطعاً صفر خواهد بود

(مطابق شکل مقابل،  $F_N = 0$  است).



ب) اگر بر یک گره دو عضو و یک نیروی خارجی وارد شود

که نیروی خارجی در امتداد یکی از اعضاء باشد، آنگاه

نیروی این عضو برابر با نیروی خارجی وارد و نیروی عضو

دیگر قطعاً صفر خواهد بود (مطابق شکل مقابل،  $F_x = 0$  است).

## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

پ) هرگاه در یک خرپا دو عضو به یک گره وارد شوند که در یک امتداد نباشد، و نیروی خارجی به آن گره وارد نشود، نیروی آن دو عضو صفر خواهد بود (مطابق شکل مقابل،  $F_{AB} = F_{CD} = 0$  است).

### ۲- پایداری سازه دوبعدی

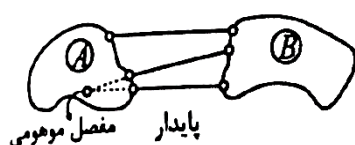
شرط لازم برای پایداری خارجی یک سازه دو بعدی (صفحه‌ای)، وجود حداقل سه مؤلفه تکیه‌گاهی غیرموازی و غیرمتقارب می‌باشد.

الف) ترکیب پایدار دو جسم صلب: ترکیب دو جسم صلب وقتی تشکیل یک سیستم صلب را می‌دهد که به یکی از حالات زیر به یکدیگر متصل شوند:

(۱) توسط سه میله غیرموازی و غیرمتقارب.

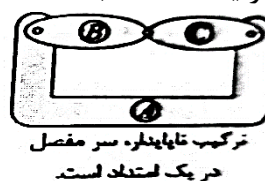
(۲) توسط یک مفصل و یک میله رابط که محور میله از مفصل عبور نکند.

(۳) توسط یک اتصال صلب.

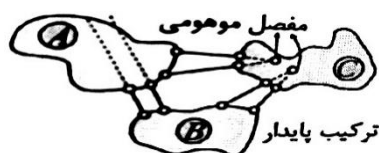


ب) ترکیب پایدار سه جسم صلب: سه جسم صلب وقتی تشکیل یک سیستم صلب را می‌دهد که به یکی از روش‌های زیر به یکدیگر متصل شوند:

(۱) توسط سه مفصل که در یک امتداد نباشند.



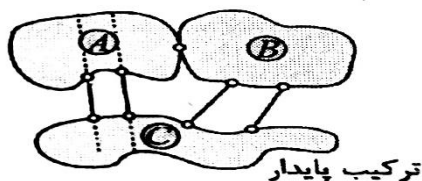
(۲) توسط شش میله رابط که هر دو میله دو جسم صلب را به هم وصل کند و محل تقاطع این دو میله که مفصل موهومی نام دارد، در یک راستا نباشد.



## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

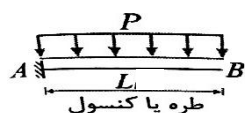
۳) توسط ترکیبی از مفصل ها و میله ها به طوری که مفصل های واقعی و موهومی در روی یک خط قرار

نگرفته باشند.

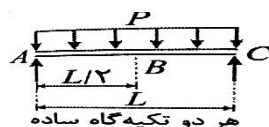


### ۳- لنگرها و تغییر شکل های مهم

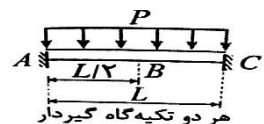
$R$ : عکس العمل تکیه گاه       $T$ : تلاش برشی       $M$ : لنگر خمشی       $V$ : خیز (تغییر مکان قائم)



$$\begin{cases} R = R_A = PL \\ M = M_A = \frac{P(L)^2}{2} \end{cases}, \quad \begin{cases} T = T_A = T_{max} = PL \\ V = V_B = V_{max} = \frac{P(L)^3}{6EI} \end{cases}$$

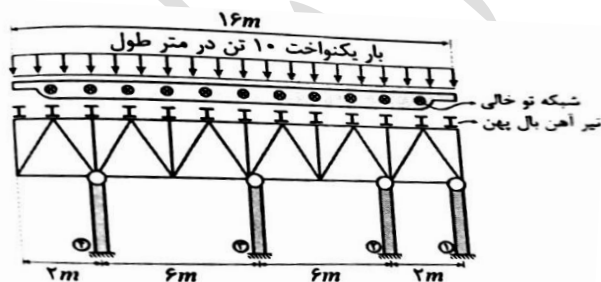


$$\begin{cases} R = R_A = R_C = \frac{PL}{2} \\ M = M_B = M_{max} = \frac{PL^2}{8} \end{cases}, \quad \begin{cases} T = T_A = T_C = T_{max} = \frac{PL}{2} \\ V = V_B = V_{max} = \frac{5PL^3}{384EI} \end{cases}$$



$$\begin{cases} R = R_A = R_C = \frac{PL}{2} \\ M = \frac{PL^2}{12} \end{cases}, \quad \begin{cases} T = T_A = T_C = T_{max} = \frac{PL}{2} \\ V = V_B = V_{max} = \frac{PL^3}{384EI} \end{cases}$$

### ۴- سطح بارگیر



سطح باربر پایه ۱، برابر با یک متر، سطح باربر پایه ۲،

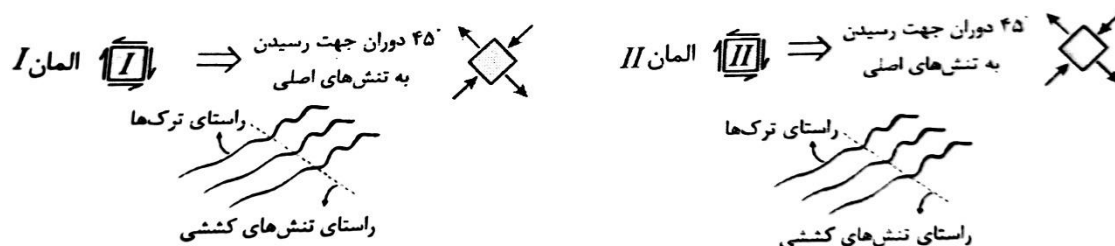
برابر با چهار متر (۳+۱)، سطح باربر پایه ۳، برابر با

۶ متر (۳+۳) و سطح باربر پایه ۴، برابر با ۵ متر

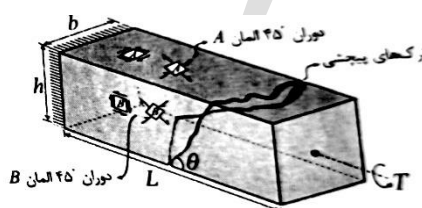
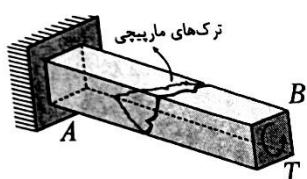
(۲+۳) متر می باشد. بنابراین بارهای قائم وارده به پایه ها از حداکثر تا حداقل به ترتیب عبارتند از:

بارهای قائم وارده به پایه ۳، پایه ۴، پایه ۲ و پایه ۱.

## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها



بار قائم وارده به هریک از پایه ها را محاسبه می کنیم. داریم:

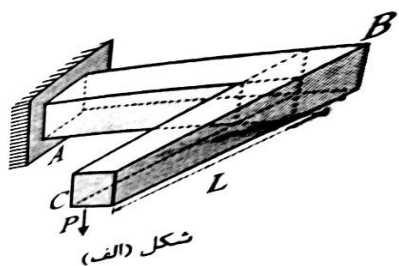


$$۱ \text{ پایه} = ۱ \times ۱۰ = ۱۰ \text{ ton} \quad ۲ \text{ پایه} = ۴ \times ۱۰ = ۴۰ \text{ ton}$$

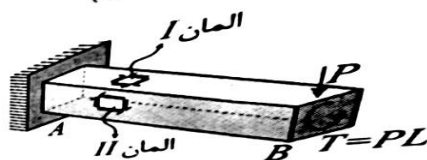
$$۳ \text{ پایه} = ۶ \times ۱۰ = ۶۰ \text{ ton} \quad ۴ \text{ پایه} = ۵ \times ۱۰ = ۵۰ \text{ ton}$$

### ۵- مفهوم پیچش

شکل (الف) را در نظر بگیرید که از دو قسمت AB و BC تشکیل شده است. تحت اثر بار P، در قسمت AB از سازه پیچش ایجاد می شود که تمایل به تابیدن این عضو دارد. مقدار لنگر پیچشی ایجاد شده در این عضو برابر با  $T=PL$  است.



از طرفی از مقاومت مصالح می دانیم، که ترکها در جهت عمود بر نیروی کششی اصلی ایجاد می شوند، که مطابق شکل (ب) داریم.



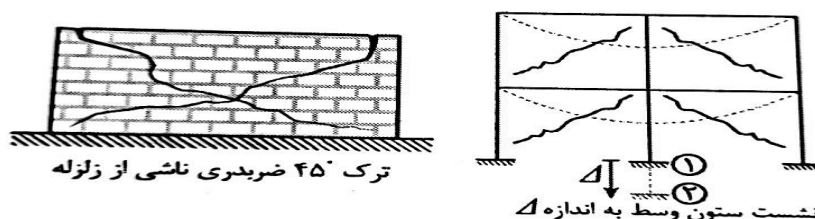
حال اگر در چهار بُعد تیر AB وضعیت المان ها را بررسی کنیم، متوجه خواهیم شد که ترکها به صورت مارپیچی در طول تیر ایجاد می شوند، مطابق شکل زیر:

## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

در واقع ترک ها با زاویه  $45^\circ$  درجه نسبت به محور تیر و به صورت مارپیچ (اسپیرال) و در سرتاسر عضو به وجود می آیند. در یک مقطع پیچش، ابتدا یک ترک مورب با زاویه حدود  $45^\circ$  درجه بر روی وجه بزرگتر مقطع ایجاد می شود و سپس این ترک با زاویه  $\theta$  بر روی وجه بالا و بر روی وجه پایین در دو جهت مخالف پیش رفته و در انتها در وجه چهارم این دو به هم می رسند. مقدار زاویه  $\theta$  بین  $30^\circ$  تا  $60^\circ$  درجه خواهد بود. برای جلوگیری از شکست تیر تحت اثر پیچش باید آرماتورهای طولی و عرضی بنابر ضوابط خاصی درون مقطع قرار بگیرد. در صورتی که آرماتورگذاری تیر برای پیچش به نحو مناسبی انجام نشود تیر تحت اثر این ترک ها گسیخته خواهد شد.

### ۶- ترک های کششی

ترک ضربدری  $45^\circ$  درجه نسبت به افق ناشی از اعمال نیروی زلزله به دیوار محصور در داخل کلاف ها می باشد. ترک  $45^\circ$  درجه نسبت به افق ناشی از نشست ستون ها می باشد.



### ۷- محاسبات پیچش

در حالت کلی؛ مقاطع بسته نسبت به مقطع باز، مقاومت پیچشی بیشتری دارند. یعنی وقتی تحت اثر لنگر پیچشی قرار می گیرند، مقاومت بیشتری در مقابل اعوجاج از خود نشان می دهند. مقاومت پیچشی مقاطع جدار نازک باز و بسته به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\left( \text{مقطع جدار نازک باز} \right): T_{max} = \frac{J}{t} \tau_{all} \quad , \quad J = \frac{1}{3} \sum a t^3 \Rightarrow T_{max} \propto a t^2$$

$$\left( \text{مقطع جدار نازک بسته} \right): T_{max} = 2 A_m t \tau_{all} \quad , \quad A_m = a^2 \Rightarrow T_{max} \propto a^2 t$$

$a$ : بعد مقطع  $t$ : ضخامت مقطع  $\tau_{all}$ : تنش برشی مجاز

با مقایسه دو رابطه فوق و با توجه به اینکه بعد مقطع ( $a$ ) از ضخامت مقطع ( $t$ ) بسیار بزرگتر است، خواهیم دید که مقاومت پیچشی مقطع جدار نازک بسته بیشتر می باشد.

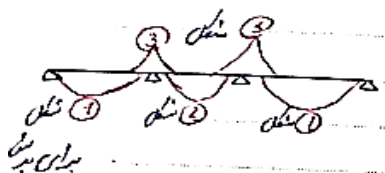
## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها



### ۸- دیاگرام خمش و برش

منحنی برش :

این منحنی از جمع کل این سه منحنی بدست می آید (تلفیق) و در هر نقطه و هر قسمت بحرانی ترین مقدار را چه مثبت چه منفی در یک منحنی رسم می کنیم.



اساس طراحی میلگرد طولی

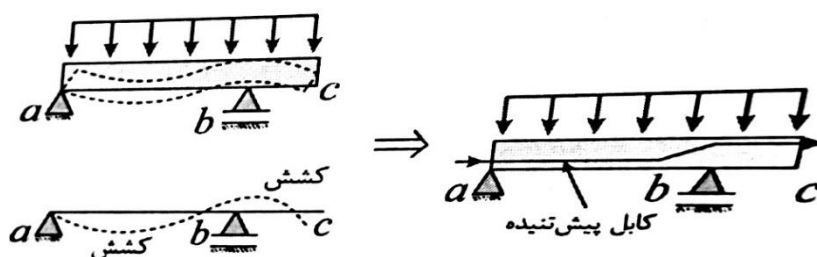


اساس طراحی خاموت

منحنی برش برش

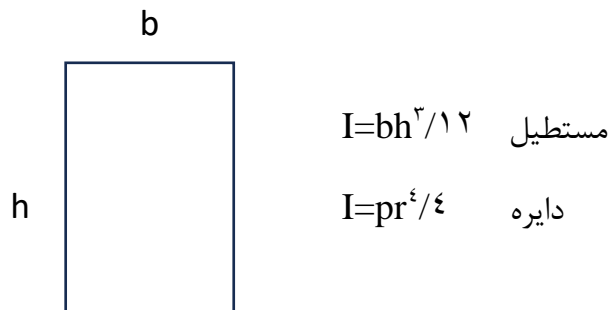


برای رسم منحنی برش اول سه حالت بارگذاری را رسم می کنیم بعد منحنی برش را می کشیم اما آیین نامه روابط ساده ای برای این کار به ما داده



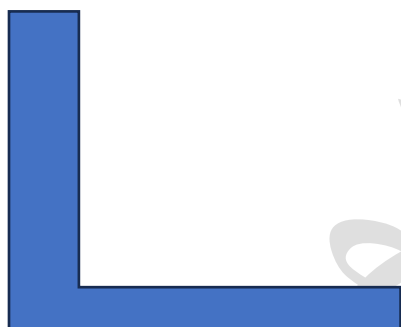
## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

### ۹- ممان اینرسی و شعاع ژیراسیون



اگر ممان اینرسی را نسبت به مرکز شکل نخواهیم پارامتر  $Ad^2$  اضافه خواهد شد. در مقاطع بال دار برای بالها چون ضخامت کم است از  $bh^3/12$  (قسمت ۱) صرف نظر می شود و فقط  $Ad^2$  (قسمت ۲) حساب می شود.

برای ممان اینرسی مقطع بال دار ابتدا مرکز سطح با استفاده از قضیه لنگر سطح محاسبه می شود بعد برای جان قسمت ۱ و ۲ هر دو محاسبه می شوند ولی برای بال فقط قسمت ۲



استفاده از قضیه لنگر سطح :



$$X = \frac{EA_m}{EA} = \frac{bx^2 + \alpha_e Asd}{bx + \alpha_e As} \Rightarrow bx^2 + \alpha_e Asx = \frac{bx^2}{2} + \alpha_e Asd$$

## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

### شعاع ژیراسیون

$$r = \sqrt{\left(\frac{I}{A}\right)}$$

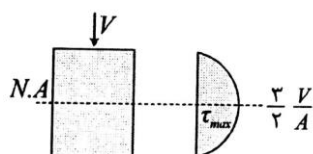
شعاع ژیراسیون برای مستطیل  $۰/۳$  بعد می شود برای دایره نصف شعاع

### ۱۰- خمش

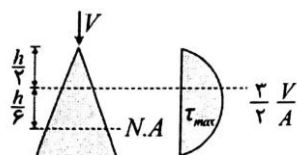
$$\sigma = MC/I = M/S$$

### ۱۱- تغییرات تنش برشی در مقطع

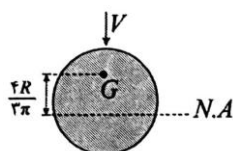
تنش برشی در انواع مقاطع :



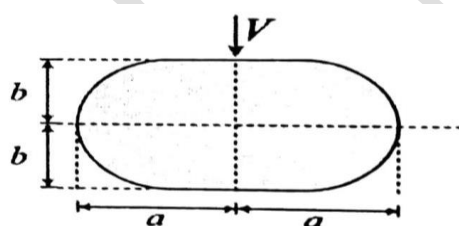
$$\tau_{max} = \frac{3}{2} \frac{V}{A}$$



$$\tau_{max} = \frac{3}{2} \frac{V}{A}$$

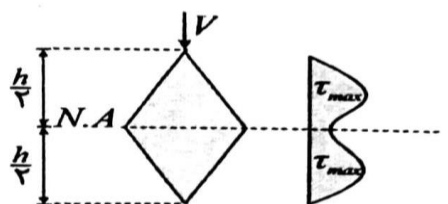


$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \frac{V}{A}$$



$$\tau_{max} = \frac{4}{3} \frac{V}{A} = \frac{4}{3} \frac{V}{\pi ab}$$

$$s = \pi ab \text{ مساحت بیضی}$$



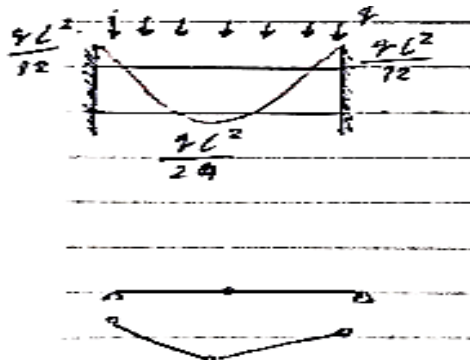
$$\tau_{max} = \frac{9}{8} \frac{V}{A}$$



## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

### ۱۲- مفصل پلاستیک

لنگر پلاستیک لنگری است که باعث میشود تمام تارهای مقطع به تنش تسلیم برسند، در واقع هدف از ایجاد مفصل پلاستیک در اعضای سازه ای افزایش شکل پذیری و قابلیت جذب انرژی است. مثلا در سازه ی شکل زیر برای اینکه سازه ناپایدار شود باید دو مفصل پلاستیک در نقاط a و b تشکیل گردد



تحلیل پلاستیک (نامعین):

$$N = \frac{mc}{I} = \frac{m}{S} \leq F_b = \sigma - \epsilon F_y$$

$$m_{max} = \frac{qL^2}{12}$$

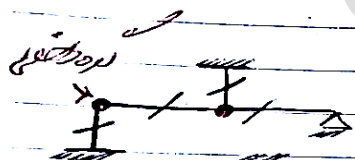
### ۱۳- درجه نامعینی خراباها و قاب ها

$$n = (m + R) - 2j \Rightarrow \text{روابط - مجهولات} = \text{درجه نامعینی سازه خرابا}$$

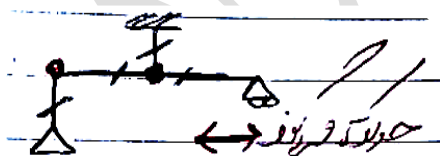
n: درجه نامعینی R: عکس العمل های تکیه گاهی m: تعداد اعضای خرابا j: تعداد گره های خرابا

تعیین درجات آزادی قاب ها:

$$(\text{تعداد اعضا}) - (\text{تعداد تغییر تکان های تکیه گاهی}) + (\text{تعداد گره های داخلی غیر تکیه گاهی} \times 2) = \text{تعداد درجه آزادی}$$



$$0 = (4) - 0 - (2 \times 2) = \text{تعداد درجات آزادی}$$



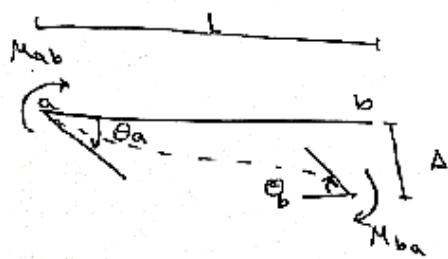
$$1 = (4) - 1 - (2 \times 2) = \text{تعداد درجات آزادی}$$

## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

### ۱۴- روش شیب افت برای قاب های نامعین

معادلات اسامی شیب افت

معادلات اسامی شیب افت نگرانی انتهایی هر عضو را بر حسب دوران و انتقال نسبی در انتهای آن عضو بیان می کند.



عضو  $ab$  از یک تیر یا قاب نامعین بار گذاری شده جدا شده است :

تغییر شکل تیر شامل دوران ها (چرخش های)  $\theta_a$  و  $\theta_b$  و انتقال نسبی دو انتهای عضو می باشد. بدیهی است مقدار لنگر های انتهایی  $M_{ab}$  و  $M_{ba}$  بستگی تغییر شکل ۱ و بارگذاری دهانه تیر خواهد داشت.

علائم قرار دادی مورد استفاده در روش شیب - افت :

۱- لنگر های انتهایی یک عضو در جهت عقربه های ساعت، شیب در نظر گرفته می شود.

۲- دوران انتهای یک عضو زمانی مثبت است که مماس بر ذهنی تغییر شکل نسبت به وضعیت قبل از بارگذاری عضو، جهت عقربه ای، ساعت چرخیده باشد.

۳- تغییر مکان نسبی دو انتهای یک عضو نهایی مثبت فرض می شود که خط مستقیم ما بر انتهای عضو تغییر شکل یافته ، در جهت عقربه های ساعت.

$$M_{ab} = 2Ek(2\theta_a + \theta_b - 3R) \pm M_{ab}^F$$

$$M_{ba} = 2Ek(\theta_a + 2\theta_b - 3R) \pm M_{ba}^F$$

$$R = \frac{r}{L} \quad \text{ضریب سختی عضو} \quad R = \frac{\Delta}{L} \quad \text{دوران عضو}$$

$M_{ba}^F$  و  $M_{ab}^F$  : لنگر های انتهایی یک عضو، در اثر بارهای خارجی موثر بدون تغییر وضعیت در انتهای آن (همان لنگر های گیر داری)

علامت مقادیر  $M_{ba}^F$  و  $M_{ab}^F$  بستگی به نحوه بارگذاری دانه  $ab$  داشته و اگر بر روی عضو خارجی اثر

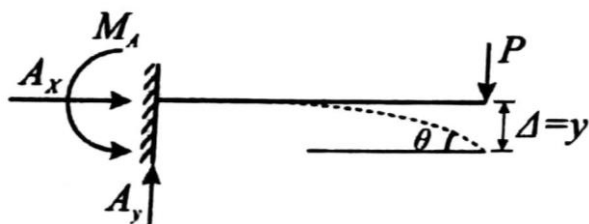
$$M_{ba}^F = M_{ab}^F = 0 \quad \Leftarrow \text{نکند}$$

## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

چند مورد از لنگر های گیر داری یک عضو مستقیم با EI ثابت :

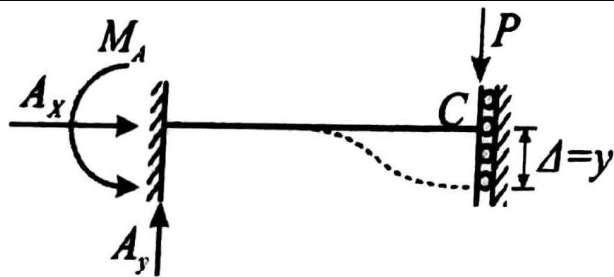
$\frac{M_{ab}^F}{\frac{-pl}{\lambda}}$		$\frac{M_{ba}^F}{\frac{+pl}{\lambda}}$ حفظ شود
$\frac{-Pcd^f}{\Omega^f}$		$\frac{+Pc^f d}{\Omega^f}$
$-\alpha(1-\alpha)p$		$+ \alpha(1-\alpha)pl$
$\frac{-wl^2}{12}$		$\frac{+wl^2}{12}$
$\frac{-wl^2}{20}$		$\frac{+wl^2}{20}$
$\frac{-11wl^4}{192\Omega}$		$\frac{+11wl^4}{192\Omega}$
$\frac{-wl^2}{15}$		$\frac{+wl^2}{15}$
$\frac{+Md(2c-d)}{\Omega^2}$		$\frac{+Mc(2d-c)}{\Omega^2}$

۱۵- شرایط مرزی



$$A \text{ نقطه : } \begin{cases} M \neq 0 \\ \frac{dy}{dx} = \theta = 0 \end{cases}, \quad V \neq 0, \quad y = 0, \quad B \text{ نقطه : } \begin{cases} M = 0 \\ \frac{dy}{dx} = \theta \neq 0 \end{cases}, \quad V = 0, \quad y \neq 0$$

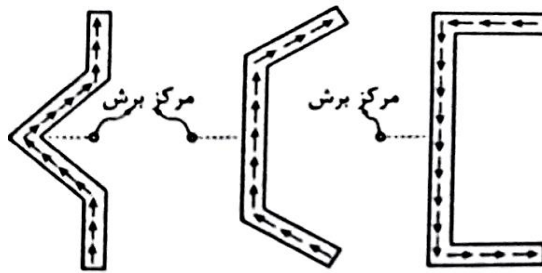
## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها



$$\text{نقطه } C : \begin{cases} M \neq 0, & V = 0 \\ \frac{dy}{dx} = \theta = 0, & y \neq 0 \end{cases}$$

### ۱۶- مرکز برش

برای محاسبه ی مرکز برش باید نقطه ای را پیدا کنیم که لنگر پیچشی ناشی نیروهای برشی حول آن نقطه برابر صفر باشد. مرکز برش چند نمونه مقطع جدار نازک باز در شکل مقابل ارائه شده است.



نقطه ای در هر مقطع که با اعمال نیروی برشی در آن نقطه در مقطع لنگر پیچشی ایجاد نگردد، مرکز برش نام دارد.

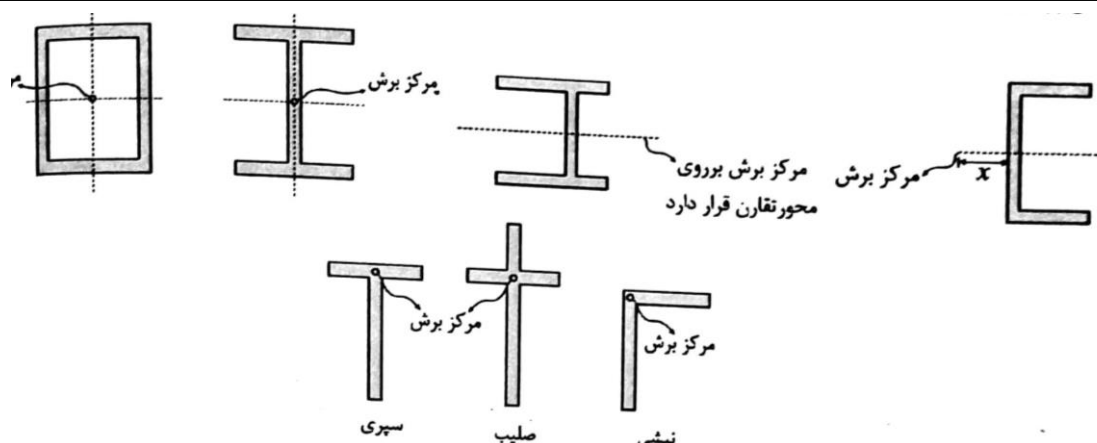
(۱) در مقاطع دارای یک محور تقارن مرکز برش لزوماً بر روی آن محور قرار دارد.

(۲) اگر مقطعی از اتصال چند قطعه در یک نقطه تشکیل شده باشد مرکز برش در محل اتصال قطعات قرار دارد.

(۳) در صورتی که مقطع دارای دو محور تقارن باشد مرکز برش در محل تقاطع دو محور تقارن خواهد بود.

برای محاسبه ی مرکز برش باید نقطه ای را پیدا کنیم که لنگر پیچشی ناشی نیروهای برشی حول آن نقطه برابر صفر باشد. مرکز برش برخی مقاطع پرکاربرد در شکل های زیر ارائه شده است.

## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها



### ۱۷- انواع تنش و ترکیب آنها

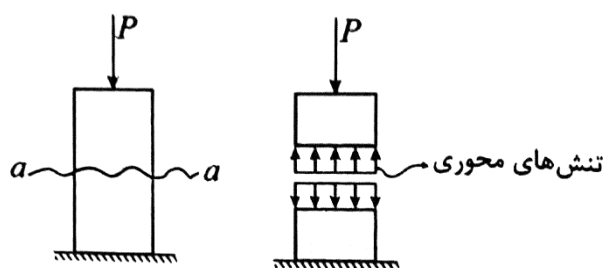
تنش انواع مختلفی دارد:

الف) تنش محوری      ب) تنش خمشی      پ) تنش برشی

که در ادامه به شرح تنش محوری و تنش خمشی خواهیم پرداخت.

تنش محوری: اگر مطابق شکل زیر یک عضو تحت اثر نیروی محوری  $P$  قرار گیرد. درون آن عضو، یک سری جزء نیروها ایجاد خواهد شد که در مقابل اعمال بار وارده از خود مقاومت نشان می دهد، به مجموع جزء نیروی ایجاد شده در آن مقطع، تنش در آن مقطع گویند.

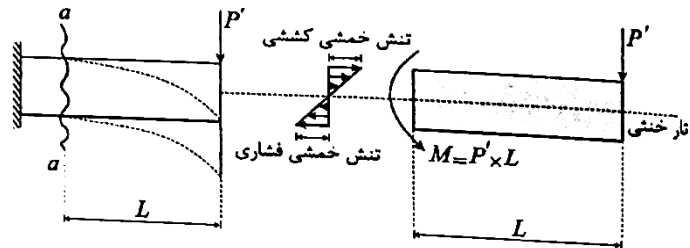
$$\sigma = \frac{P}{A} \rightarrow \text{تنش محوری} \leftarrow \text{نیروی محوری} \rightarrow \text{سطح مقطع}$$



## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

تنش خمشی : وقتی یک عضو تحت اثر یک لنگر خمشی قرار گیرد در آن تنش خمشی ایجاد خواهد شد قابل ذکر است که در اثر اعمال لنگر خمشی، یک قسمت از عضو تحت کشش و یک قسمت از آن تحت فشار قرار خواهد گرفت، مطابق شکل زیر :

$$\text{تنش خمشی} \leftarrow \sigma = \frac{M \cdot C}{I} \xrightarrow{S=\frac{I}{C}} \sigma = \frac{M}{S}$$



$\sigma$  : تنش خمشی در نقطه مد نظر  $M$  : لنگر خمشی  $C$  : فاصله نقطه مد نظر تا تار خنثی

$I$  : ممان اینرسی حول محور خمشی  $S$  : اساس مقطع الاستیک (مدول الاستیک مقطع)

حال اگر یک عضو تحت اثر ترکیب این نیروها (محوری، خمشی، برشی، پیچشی) قرار گیرد. طبق اصل جمع آثار قوا، در آن عضو تنش های ترکیبی ایجاد خواهد شد. مثلاً اگر یک عضو تحت اثر نیروی محوری و لنگر خمشی قرار گیرد آنگاه رابطه تنش در آن به صورت زیر خواهد بود.

$$\sigma = \pm \frac{P}{A} \pm \frac{M \cdot C}{I} \quad \text{تنش ترکیبی ناشی از اثر همزمان نیروی محوری و لنگر خمشی}$$

$$\pm \frac{P}{A} \quad \text{تنش ناشی از نیروی محوری} \quad \pm \frac{M \cdot C}{I} \quad \text{تنش ناشی از لنگر خمشی}$$

### ۱۸- دایره موهر

$$\sigma_{max} = \left[ \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right] + \sqrt{\left[ \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right]^2 + \tau_{xy}^2} \quad , \quad \sigma_{min} = \left[ \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right] - \sqrt{\left[ \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right]^2 + \tau_{xy}^2}$$

مرکز دایره شعاع دایره

### ۱۹- تقارن

تقارن سازه بر دو نوع می باشد؛ تقارن محوری و تقارن مرکزی.

سازه ی متقارن محوری سازه ای است که کلیه خواص سازه از قبیل خواص هندسی خواص الاستیک و تکیه گاه ها نسبت به یک محور متقارن باشند.

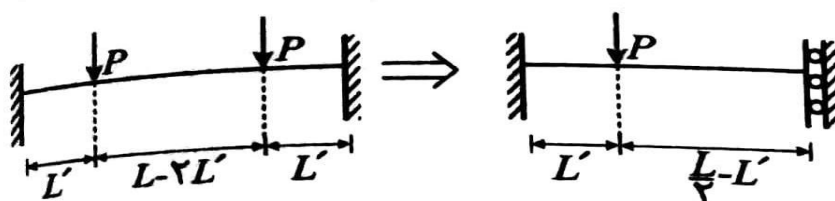
سازه ی متقارن مرکزی سازه ای است که کلیه خواص سازه نسبت به یک نقطه تقارن داشته باشند.

## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

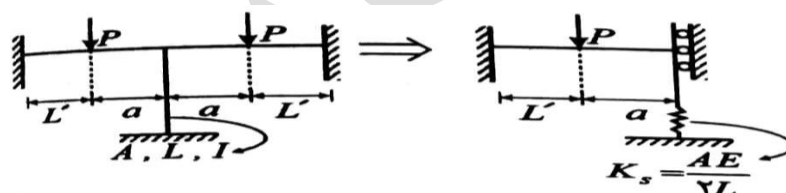
بارگذاری سازه می تواند متقارن محوری باشد که به اختصار متقارن نامیده می شود و همچنین می تواند متقارن مرکزی باشد که به اختصار پادمتقارن یا متقارن معکوس گویند.

### سازه متقارن محوری با بارگذاری متقارن :

در این حالت جابجایی و لنگر متقارن و شیب و برش متقارن معکوس است، بنابراین شیب و برش در مرکز تقارن و همچنین جابجایی در راستای عمود بر بارگذاری صفرمی باشد.

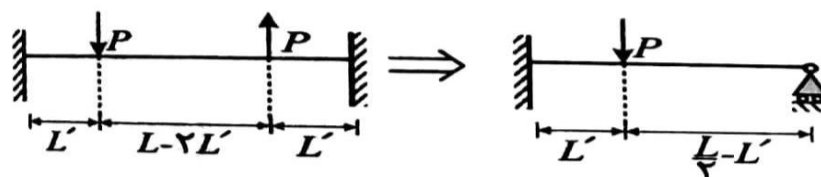


برای استفاده از تقارن باید تکیه گاه گیردار غلتکی در مرکز سازه قرار داده و چنانچه در سازه اصلی در محل مرکز تقارن تکیه گاهی وجود داشته باشد، باید به جای تکیه گاه گیردار غلتکی، تکیه گاه گیردار قرار داده شود. چنانچه محور تقارن از میان محور طولی عضو عبور کند و از سختی این عضو صرف نظر شده باشد، باز باید در مرکز تقارن تکیه گاه گیردار قرار داده شود و اگر از سختی محوری این عضو صرف نظر نشده است، باید در زیر تکیه گاه گیردار غلتکی در (مرکز تقارن) فنری با سختی برابر با نصف سختی محوری عضو قرار داد.



### سازه متقارن محوری با بارگذاری متقارن معکوس:

اگر سازه ای را به اندازه  $180^\circ$  حول محور تقارن آن دوران دهیم و با سازه ی اصلی جمع آثار کنیم و سازه های بدون بارگذاری به دست آید این سازه متقارن محوری با بار متقارن معکوس خواهد بود. در این حالت جابجایی و لنگر پادمتقارن و شیب برش متقارن است بنابراین جابجایی در راستای بارگذاری و لنگر در مرکز تقارن صفرمی باشد.



## مقاومت مصالح و تحلیل سازه ها

مطابق شکل فوق برای استفاده از تقارن چنانچه روی محور تقارن عضوی وجود نداشته باشد باید تکیه گاه غلتکی و نه مفصلی در مرکز تقارن سازه قرار دهیم چون نیروی محوری در مرکز تقارن صفر است و نقطه ی تقارن امکان تغییر مکان افقی را دارد، ولی اگر محور تقارن از میان محور طولی عضو عبور کند، سطح مقطع و ممان اینرسی این عضو نصف می گردد.

