

کلیات و مفاهیم عمومی:

مکانیک: شاخه ای از علم فیزیک است که راجع به حرکت اجسامی که تحت اثر نیروها و محرک هایی قرار گرفته اند، بحث می کند و شامل سه قسمت می باشد:

۱- مکانیک اجسام صلب (تغییر شکل ناپذیر)

۲- مکانیک اجسام غیر صلب (تغییر شکل پذیر)

۳- مکانیک سیالات

مکانیک اجسام صلب شامل دو قسمت می باشد:

۱- استاتیک : که با اجسام ساکن سروکار دارد

۲- دینامیک : که با اجسام متحرک سروکار دارد

در واقعیت سازه ها هیچ گاه به طور کامل صلب نیستند و در عمل بر اثر بارهایی که به آنها وارد می شود تغییرشکل پیدا می کنند. اما این تغییرشکلها معمولاً کوچک هستند و اثر قابل ملاحظه ای روی شرایط تعادل و یا حرکت سازه مورد نظر نمی گذارند. با این حال وقتی از مقاومت سازه در مقابل شکست صحبت می کنیم این تغییرشکلها اهمیت پیدا می کنند و در مبحث مقاومت مصالح (که بخشی از مکانیک اجسام تغییر شکل پذیر است) بررسی می شوند.

در روند طراحی یک سازه، در نگاه اول دو موضوع باید توسط یک مهندس مدنظر قرار گیرد:

۱- شدت نیروهای ایجاد شده در عضو، نباید از مقدار مجاز بیشتر شود . (استحکام سازه چقدر است)

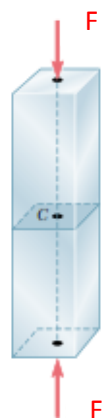
۲- تغییرشکلهای ایجاد شده در عضو، نباید از مقدار مجاز بیشتر شود. (تحت تاثیر بارگذاری تغییرشکل اعضا به چه صورتی و چه اندازه ای می باشد).

برای بررسی این دو موضوع لازم است به بررسی مفاهیمی با عنوان های تنش و کرنش بپردازیم. در این درس تلاش می کنیم که تنش و کرنش ایجاد شده در عضو در اثر بارگذاری های مختلف را محاسبه کنیم.

نیروهای محوری

نیروهای محوری، نیروهایی هستند که در امتداد محور طولی اجسام و عمود بر سطح مقطع آنها وارد می‌شوند. (شکل ۱-۱)

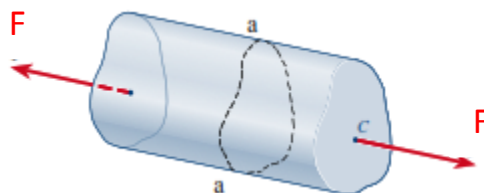
نیروهای محوری می‌توانند بصورت کششی یا فشاری به اجسام وارد شوند و در آنها افزایش یا کاهش طول ایجاد کنند.



شکل ۱-۱

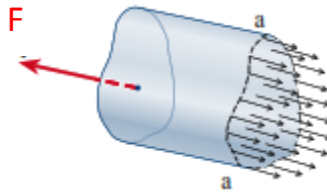
آشنایی با مفهوم تنش محوری

میله ای را مطابق شکل ۲-۱ در نظر بگیرید که تحت تاثیر نیروی کششی F واقع شده است. می‌توان تصور نمود که هر ذره جسم در مقطع (a-a) مقداری از نیروی F را تحمل می‌کنند.



شکل ۲-۱

در واقع تحت اثر بارگذاری وارده، در هر یک از نقاط مقطع جزء نیروهایی ایجاد می‌شود (شکل ۱-۳) و به نیروهای وارده بر سطح مقطع (a-a) تنش می‌گویند.



شکل ۱-۳

چنانچه نیروی وارده محوری باشد، تنش ایجاد شده را تنش محوری نامیده و با رابطه زیر نشان می دهیم:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

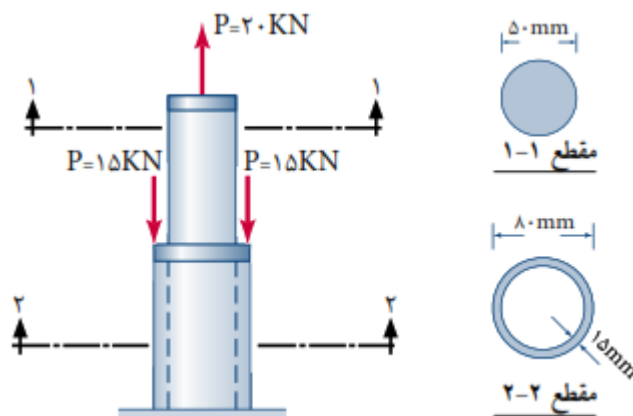
σ : تنش محوری (فشاری یا کششی)

F : نیروی محوری (کششی با علامت مثبت و فشاری با علامت منفی)

A : سطح مقطع

واحد تنش در سیستم SI باتوجه به رابطه آن، N/m^2 (پاسکال Pa) می باشد و بهتر است به منظور هماهنگی با آیین نامه ها در محاسبات، از واحد N/mm^2 (مگا پاسکال MPa) استفاده شود.

مثال: جسمی مطابق شکل تحت تاثیر نیروهای نشان داده شده قرار دارد. مطلوب است محاسبه تنش در هر قسمت از جسم.



تنش در مقطع ۱-۱:

$$F = 20 \text{ kN} = 20000 \text{ N}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 50^2}{4} = 1962.5 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{F}{A} = \frac{20000}{1962.5} = 10.19 \text{ MPa}$$

تنش در مقطع ۲-۲:

$$F = -15 - 15 + 20 = -10 \text{ KN} = -10000 \text{ N}$$

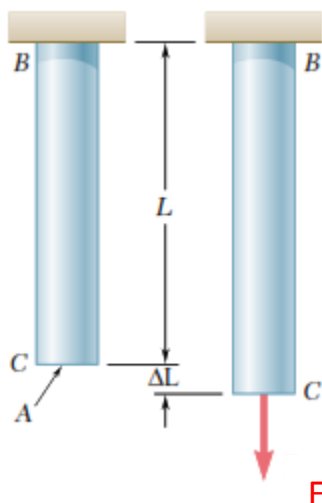
$$A = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 80^2}{4} - \frac{3.14 \times 50^2}{4} = 3061.5 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{F}{A} = \frac{-10000}{3061.5} = -3.27 \text{ MPa}$$

تغییر طول اجسام تحت تاثیر نیروی محوری

میله BC به طول L و سطح مقطع A را مطابق شکل ۴-۱ در نظر بگیرید. اگر نیروی کششی F به آن وارد شود سبب افزایش طول میله به اندازه ΔL می شود. کرنش ایجاد شده در عضو عبارت است از:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$



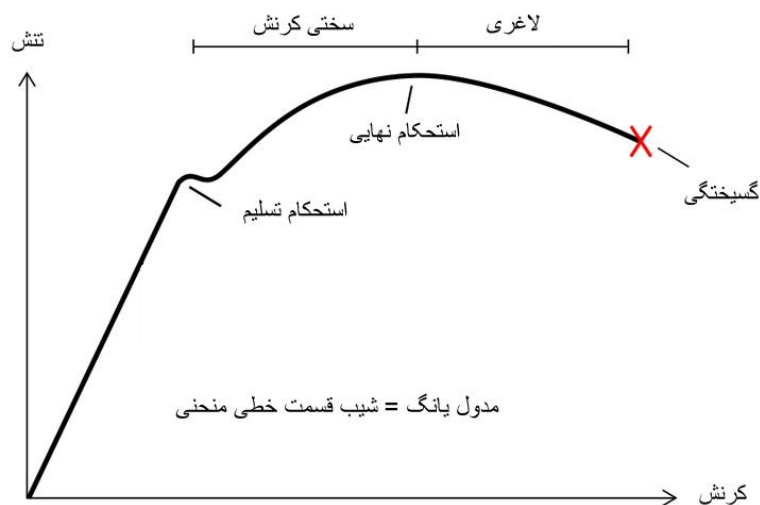
شکل ۴-۱

به عبارت ساده‌تر، کرنش ایجاد شده در میله فوق، معادل تغییر طول ایجاد شده برای میله تقسیم بر طول اولیه میله است.

بررسی منحنی تنش-کرنش در فولاد نرمه ساختمانی

در شکل ۱-۴ اگر نیروی F را به تدریج افزایش داده و مقادیر تنش و کرنش را به ازاء مقادیر مختلف F محاسبه کرده و در یک نمودار رسم کنیم، نمودار تنش-کرنش برای ماده مورد نظر به دست می‌آید که از نمودارهای بسیار مهم برای هر مصالح محسوب می‌شود. این آزمایش، آزمایش کشش مستقیم نام داشته و از آزمایشهای مهم مقاومت مصالح محسوب می‌شود.

با توجه به شیوه انجام آزمایش کشش مستقیم، یک میله فولادی را تحت اثر نیروی کششی F قرار داده و با افزایش نیروی F ، مقادیر تنش و کرنش در میله را بدست می‌آوریم. نمودار تنش و کرنش که می‌توان با تقریب مناسب برای فولاد ساختمانی رسم کرد، مطابق شکل زیر است:



شکل ۱-۵

در قسمت اول نمودار به صورت خطی تغییر کرده و شیب نمودار در این قسمت مقداری ثابت است. شیب نمودار در این ناحیه، پارامتر مهمی به نام مدول الاستیسیته یا مدول یانگ است که از ویژگی‌های مهم یک مصالح محسوب می‌شود.

$$\sigma = E\varepsilon \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

با توجه به اینکه ε بدون بعد می باشد واحد E مشابه واحد تنش یا همان MPa است.

رفتار سازه در ناحیه خطی به صورت الاستیک بوده و از قانون هوک ($\sigma = E\varepsilon$) پیروی می کند. بیشتر سازه ها طوری طراحی می شوند که فقط تغییرشکلهای نسبتا کوچکی داشته باشند و فقط قسمت خطی نمودار برای آنها صادق است.

با بیشتر کردن نیروی وارد میله تغییر شکلهای بزرگی در آن ایجاد شده و سازه از حالت الاستیک خارج شده و تغییر شکلهای دائمی در آن ایجاد می شود تا جایی که با افزایش بیش از حد نیرو سازه در نهایت می شکند.

در نتیجه تغییر طول اجسام را می توان به شکل زیر نیز نوشت:

$$\Delta L = \frac{FL}{AE}$$

F نیروی محوری وارد بر جسم

L طول اولیه جسم

A سطح مقطع جسم

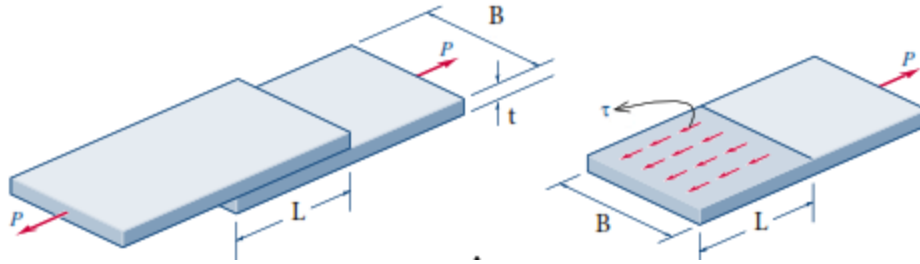
E مدول الاستیسیته

نیروی برشی (مماسی)

نیروی مماس بر سطح مقطع اجسام را نیروی برشی می گویند.

تنش برشی

نیروی برشی سبب ایجاد تنش برشی در سطح مقطع جسم می شود. شکل ۱-۶ دو صفحه را نشان می دهد که بوسیله چسب به یکدیگر متصل شده اند و نیروی F ، تنش برشی در محل اتصال دو صفحه ایجاد می کند.



شکل ۶-۱

به جهت آشنایی با رفتار برشی اعضا ساختمانی به بررسی اتصالات برشی ساده با پیچ یا پرچ می‌پردازیم.

بررسی اتصالات برشی ساده با پیچ یا پرچ

ممکن است حالت‌های مختلفی برای خرابی ایجاد شود (مودهای خرابی) که در ادامه به آنها می‌پردازیم:

الف) تنش کششی حداکثر ایجاد شده در ورق

با توجه به رابطه $\sigma = \frac{F}{A}$ ، تنش محوری ورق‌ها وقتی به حداکثر می‌رسد که سطح مقطع کاهش یابد لذا در محل پیچ به دلیل وجود سوراخ‌ها، سطح مقطع ورق ضعیف شده و تنش حداکثر در آن مقطع ایجاد می‌شود و امکان گسیختگی در مقطع وجود دارد. بنابراین برای بدست آوردن کمترین سطح مقطع لازم است سطح مختلف را در نظر گرفته و هر کدام تعداد بیشتری پیچ داشت در نظر بگیریم. آنگاه حداکثر تنش کششی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\sigma_{max}}{S.F} = \frac{nF}{(b - aD)t}$$

S.F ضریب اطمینان

F نیروی کششی

n ضریب بار

b عرض ورق

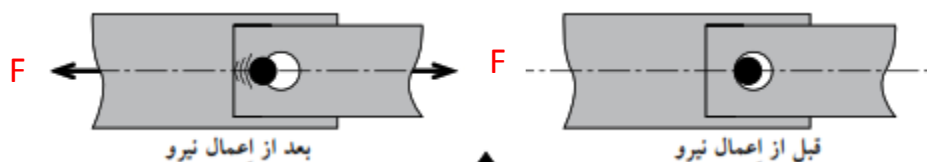
a تعداد پیچ

D قطر پیچ

t ضخامت ورق

ب) تنش لهیدگی

نیروی کششی اعمال شده در اتصال در محل سوراخ ها به جداره ورقها توسط پیچ فشار وارد می آورند که باعث لهیدگی σ_b سطح تماس آنها می شود و تنش حاصل، تنش لهیدگی نامیده می شود و از رابطه زیر بدست می آید:



شکل ۱-۷

$$\frac{\sigma_b}{S.F} = \frac{nF}{aDt}$$

S.F ضریب اطمینان

F نیروی کششی

n ضریب بار

a تعداد پیچ

D قطر پیچ

t ضخامت ورق

بدیهی است که تنش لهیدگی حداکثر در ورقی ایجاد می شود که کمترین ضخامت را داشته باشد.

ج) تنش برشی در پیچ ها

$$\frac{\tau_{max}}{S.F} = \frac{nF}{aA}$$

S.F ضریب اطمینان

F نیروی کششی

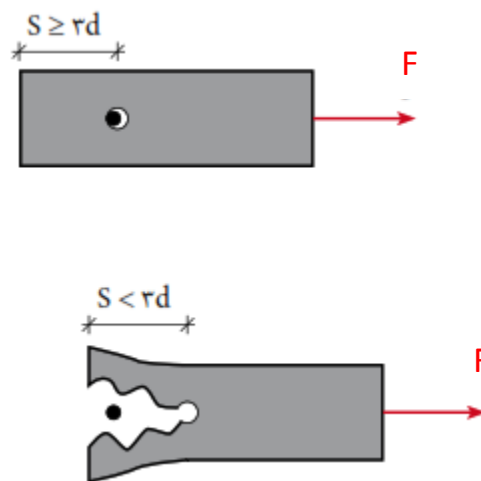
n ضریب بار

a تعداد پیچ

A سطح مقطع پیچ

(د) گسیختگی برشی ورق

هرگاه فاصله مراکز سوراخ ها از یکدیگر و یا از لبه های ورق، از حد معینی کمتر باشد، امکان پارگی ورق مطابق شکل زیر وجود دارد:



شکل ۸-۱

لذا براساس آیین نامه باید فاصله مرکز تا مرکز سوراخ ها و همچنین مرکز سوراخ ها از لبه های ورق از سه برابر قطر پیچ کمتر نباشد. یعنی:

$$S \geq 3d$$

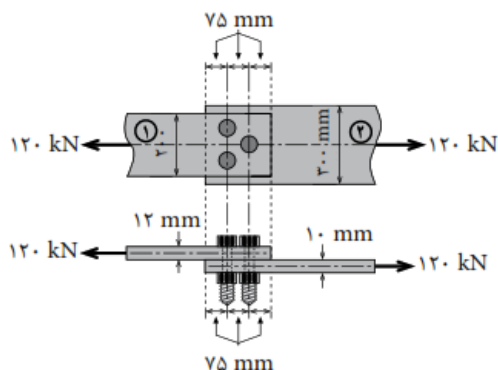
مثال: دو تسمه توسط سه پیچ هر یک به قطر ۲۰ میلیمتر مطابق شکل به هم متصل شده‌اند. مطلوب است محاسبه:

الف- تنش کششی حداکثر در هر تسمه

ب- تنش لهیدگی ماکزیمم در هر تسمه

ج- تنش برشی پیچ ها

د- کنترل پارگی برشی



الف- سطح مقطع هر تسمه را در مقطعی که بیشترین پیچ ها در آن وجود دارند محاسبه می کنیم، سپس تنش را در هر تسمه بدست می آوریم.

تسمه ۱:

$$A = (b_1 - nd)t_1 = (200 - 2 \times 20)12 = 1920 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{1max}}{S.F} = \frac{nF}{(b - aD)t} \Rightarrow \frac{\sigma_{1max}}{1} = \frac{120 \times 10^3 \times 1}{1920} \rightarrow \sigma_{1max} = 62.5 \text{ N/mm}^2$$

تسمه ۲:

$$A = (b_2 - nd)t_2 = (300 - 2 \times 20)10 = 2600 \text{ mm}^2$$

$$\frac{\sigma_{2max}}{S.F} = \frac{nF}{(b - aD)t} \Rightarrow \frac{\sigma_{2max}}{1} = \frac{120 \times 10^3 \times 1}{2600} \rightarrow \sigma_{2max} = 46.15 \text{ N/mm}^2$$

ب- تنش لهیدگی ماکزیمم در تسمه ۲ به وجود می آید. چون دارای ضخامت کمتری نسبت به تسمه شماره ۱ است.

در تسمه ۱:

$$\frac{\sigma_{1b}}{S.F} = \frac{nF}{aDt} \Rightarrow \frac{\sigma_{1b}}{1} = \frac{120 \times 10^3 \times 1}{3 \times 20 \times 12} \rightarrow \sigma_{1b} = 166.67 \text{ N/mm}^2$$

تسمه ۲:

$$\frac{\sigma_{2b}}{S.F} = \frac{nF}{aDt} \Rightarrow \frac{\sigma_{2b}}{1} = \frac{120 \times 10^3 \times 1}{3 \times 20 \times 10} \rightarrow \sigma_{1b} = 200 \text{ N/mm}^2$$

ج-

تسمه ۱:

$$\frac{\tau_{1max}}{S.F} = \frac{nF}{aA} \Rightarrow \frac{\tau_{1max}}{S.F} = \frac{120 \times 10^3 \times 1}{3 \times (\frac{\pi}{4}(20^2))} \Rightarrow \tau_{1max} = 127.39 \text{ N/mm}^2$$

تسمه ۲:

$$\frac{\tau_{2max}}{S.F} = \frac{nF}{aA} \Rightarrow \frac{\tau_{2max}}{S.F} = \frac{120 \times 10^3 \times 1}{3 \times (\frac{\pi}{4}(20^2))} \Rightarrow \tau_{2max} = 127.39 \text{ N/mm}^2$$

د- برای جلوگیری از پارگی تسمه، باید:

$$S \geq 3d \Rightarrow 75 \geq 3 \times 20 \Rightarrow 75 \geq 60 \quad ok$$

تحلیل تیرها

تیر یکی از اعضاء اصلی در مجموعه المان‌های مورد استفاده در سازه‌های ساختمانی است. در واقع وظیفه اصلی تیرها تحمل تنش‌های حاصل از نیروی برشی و لنگر خمشی ناشی از بارهای وارد بر آن و وزن خود تیر است. در طراحی سازه‌ها، معمولاً تیرها بر اساس لنگر خمشی موجود طراحی گشته و ضابطه برش در آنها کنترل می‌گردد. خصوصیت‌های اصلی تیرها عبارتند از نیمرخ (پروفیل)، طول و ماده سازنده. تیر، معمولاً در معماری و مهندسی سازه، به عنوان عضوی بلند، مستقیم و منشوری تعریف می‌شود که برای نگهداری بارهای مختلف وارده در طول عضو طراحی می‌گردد. با این حال در سازه‌های کوچکتر مانند کامیون‌ها و بدنه اتومبیل‌ها نیز تیرها کاربرد دارند و با راهکارهایی مشابه محاسبه می‌شوند. البته در کار اجرایی عنوان تیر غالباً فقط به اعضای افقی اطلاق گردیده و به اعضای عمودی ستون گویند. همچنین، تیرها بر اساس عملکرد خود در سازه‌های ساختمانی دسته‌بندی می‌شوند که در ادامه به آن می‌پردازیم :

تیر اصلی : تیری افقی که به ستون‌ها متصل است (با اتصال ساده یا اتصال برشی). عملکرد سازه‌ای این نوع از تیرها به گونه‌ای است که بار را از تیر فرعی (در صورت وجود) به ستون‌ها منتقل می‌کند.

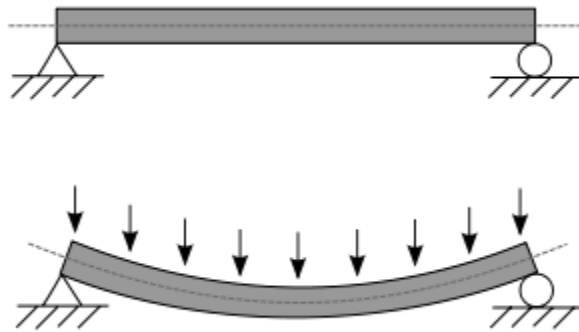
تیر فرعی : تیری افقی که به تیرهای اصلی متصل است (با اتصال ساده یا اتصال برشی). عملکرد سازه‌ای این نوع از تیرها به گونه‌ای است که بار را به تیر اصلی منتقل می‌کند و به صورت مستقیم به ستون‌ها متصل نمی‌باشد.

تیر کلاف : تیری افقی که متصل به دو تیر عرضی در سقف یا خرپای سقف است. عملکرد سازه‌ای این نوع از تیرها به گونه‌ای است که تیر، بار تیر عرضی را به ستون سازه منتقل می‌کند. عموماً در خرپای سقف به کار برده می‌شود

معمول‌ترین تیرها از نظر مصالح ساختمانی عبارتند از: تیر فولادی، تیر بتنی و تیر چوبی

معمول‌ترین تیرها از نظر تکیه‌گاهی عبارتند از : تیر دوسرگیردار، طره و تیر ساده

یک تیر بصورت عام با مقطع کاملاً متغیر را می‌توان بصورت زیر نشان داد.



شکل ۹-۱

این تیر می تواند تحت یک سری بارگذاری قرار گیرد، بارهای نقطه ای (دقت کنید عکس عملهای تکیه هایی نیز جزئی از بارهای نقطه ای هستند)، بارهای گسترده و لنگر خمشی. آنچه برای مهم است این می باشد که تحت بارگذاری دلخواه در هر مقطع از تیر چقدر نیروی برشی و چقدر لنگر خمشی وجود دارد.

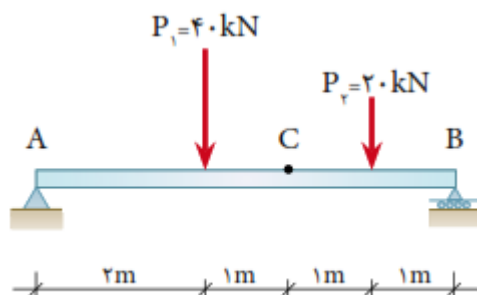
نیروهای داخلی در تیرهای با بار متمرکز

هنگامی که تیر تحت اثر بار قرار می گیرد در هر نقطه از طول تیر نیروهایی بوجود می آیند که به آنها نیروهای داخلی تیر می گویند. برای اینکه نیروهای داخلی در هر نقطه از تیر تعیین شوند، باید یک برش (مقطع) عمود بر محور تیر در آن نقطه در نظر گرفت و نمودار آزاد یکی از قطعات سمت چپ یا راست مقطع مورد نظر را رسم نموده و با توجه به بحث تعادل برش و لنگر را برای محاسبه کرد.

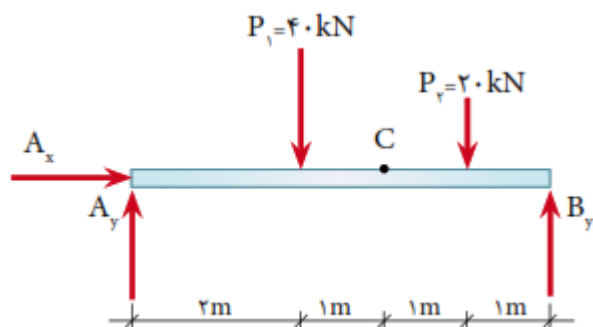
مثال: در تیر شکل مقابل مطلوب است:

الف- عکسالعمل تکیه گاهی

ب- محاسبه نیروی برشی و لنگر خمشی در مقطع C



الف-



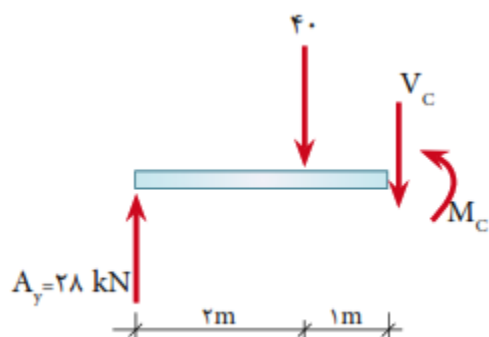
$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow A_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow A_y + B_y - 40 - 20 = 0 \Rightarrow A_y + B_y = 60$$

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow -40 \times 2 - 20 \times 4 + 5B_y = 0 \Rightarrow B_y = 32 \text{ KN}$$

$$\Rightarrow A_y + 32 = 60 \Rightarrow A_y = 28 \text{ KN}$$

ب-



$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow 28 - 40 - V_c = 0 \Rightarrow V_c = -12 \text{ KN}$$

$$\Sigma M_C = 0 \Rightarrow -28 \times 3 + 40 \times 1 + M_c = 0 \Rightarrow M_c = 44 \text{ KN.m}$$

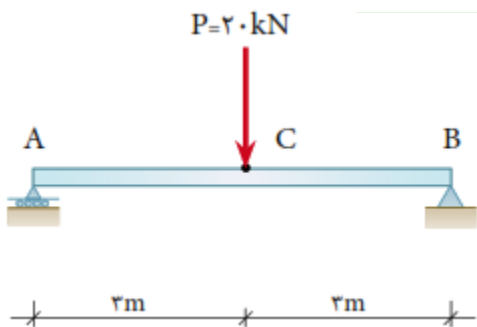
مقادیر حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی در تیرها با بار متمرکز

در مثال قبل چگونگی محاسبه نیروی برشی و لنگر خمشی در نقطه دلخواه C را مشاهده کردیم. برای مهندسین معمولاً مقدار ماکزیمم نیروهای داخلی و محل آنها مهم است. بهتر است مقادیر نیروی برشی و لنگر خمشی در طول تیر را بصورت نمودار نشان داده و از روی نمودار مقادیر حداکثر نیروی برش و لنگر خمشی و محل آنها را تعیین نمود.

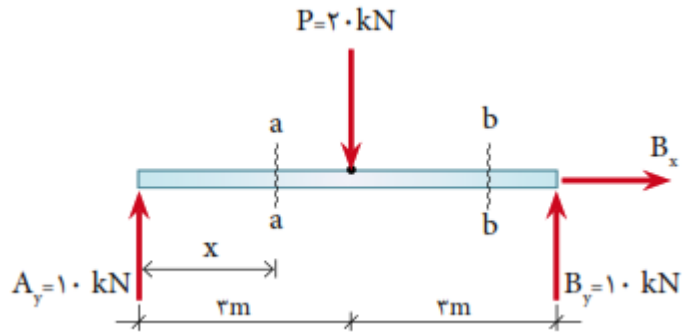
ترسیم نمودارهای نیروی برشی و لنگر خمشی در تیرها با بار متمرکز

نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی عبارت است از نموداری که مقادیر نیروی برشی و لنگر خمشی را در هر نقطه از تیر مشخص می کند. هدف از ترسیم چنین نمودارهایی تعیین نقاطی است که حداکثر نیروی برشی و لنگر خمشی در آنها بوجود می آید. برای رسیدن به این هدف تیر را در محلهایی که بارگذاری آن تغییر می نماید به چند ناحیه تقسیم نموده و در هر ناحیه معادلات نیروی برشی و لنگر خمشی را برحسب طول تیر تعیین و سپس نمودار معادلات مذکور ترسیم می گردد.

مثال: نمودار نیروی برشی و لنگر خمشی تیر مقابل را رسم کنید.



حل:

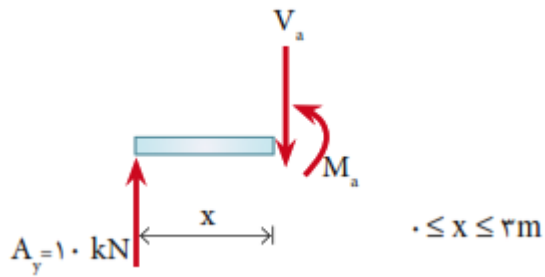


$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow B_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow B_y + A_y = 20$$

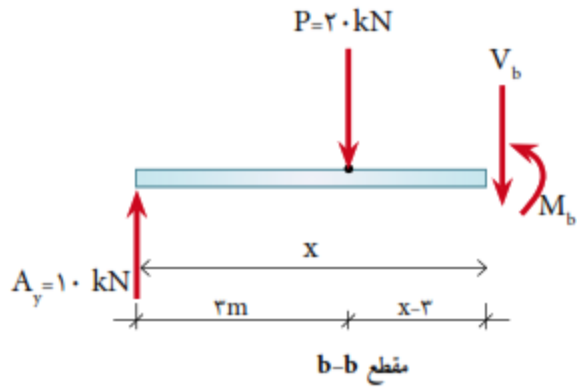
$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow 6B_y - 20 \times 3 = 0 \Rightarrow B_y = 10 \text{ KN}$$

$$B_y + A_y = 20 \Rightarrow A_y = 10 \text{ KN}$$



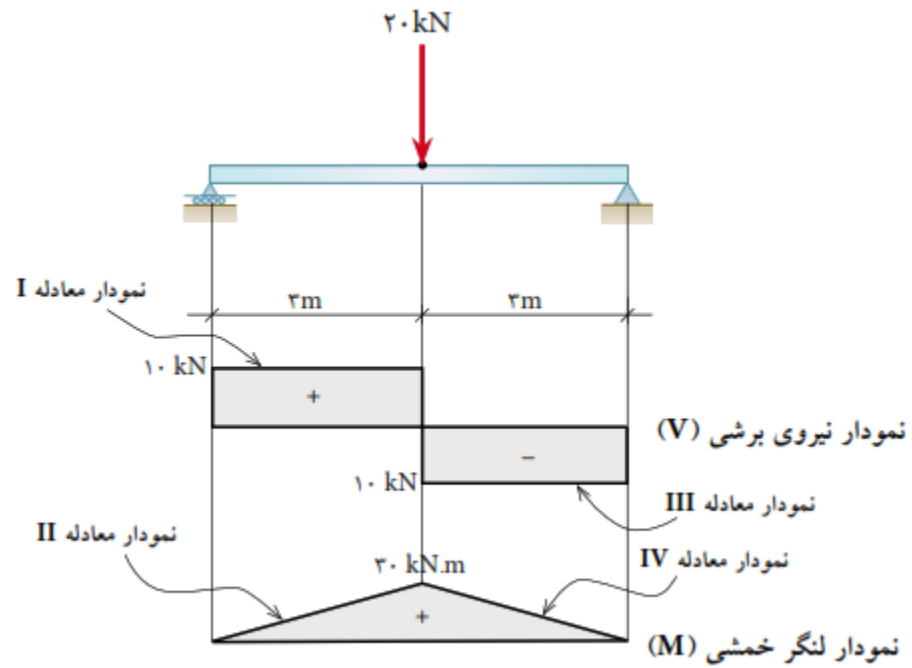
$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow -V_a + 10 = 0 \Rightarrow V_a = 10 \text{ KN} \quad 0 \leq x \leq 3 \text{ m} \quad \text{I}$$

$$\Sigma M_a = 0 \Rightarrow M_a - 10 \times x = 0 \Rightarrow M_a = 10x \quad 0 \leq x \leq 3 \quad \text{II}$$



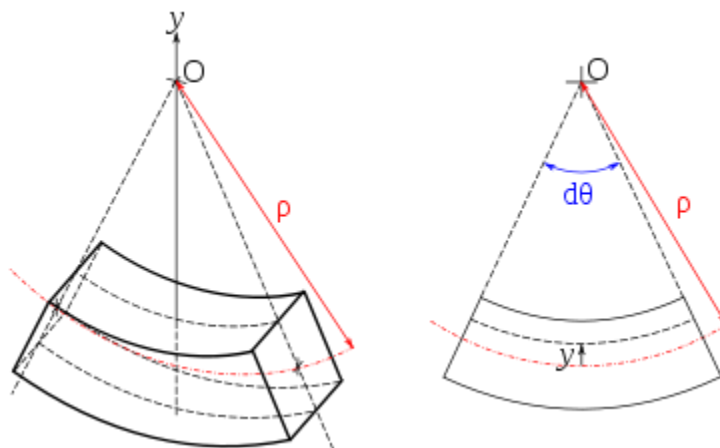
$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow -V_a + 10 - 20 = 0 \Rightarrow V_a = -10 \text{ KN} \quad 3 \leq x \leq 6 \text{ m} \quad \text{III}$$

$$\Sigma M_b = 0 \Rightarrow M_b - 10 \times x + 20(x - 3) = 0 \Rightarrow M_a = 60 - 10x \quad 3 \leq x \leq 6 \quad \text{IV}$$



خمش تیرها

تیر نشان داده شده در شکل زیر تحت اثر لنگر خمشی یکسان در دو انتها قرار داشته. به این حالت از بارگذاری، خمش خالص می‌گویند.



شکل ۱-۱۰

تحت لنگر خمشی نشان داده شده در شکل زیر، تارهای تحتانی تحت کشش بوده و افزایش طول می‌دهند. از طرفی تارهای فوقانی تحت فشار بوده و کاهش طول می‌دهند. به سادگی می‌توان فهمید که تارهای میانی نسبت به قبل از بارگذاری تغییر طولی ندارند. به این تار، تار خنثی می‌گویند و آن را با $N.A$ نشان می‌دهند.

تار خنثی

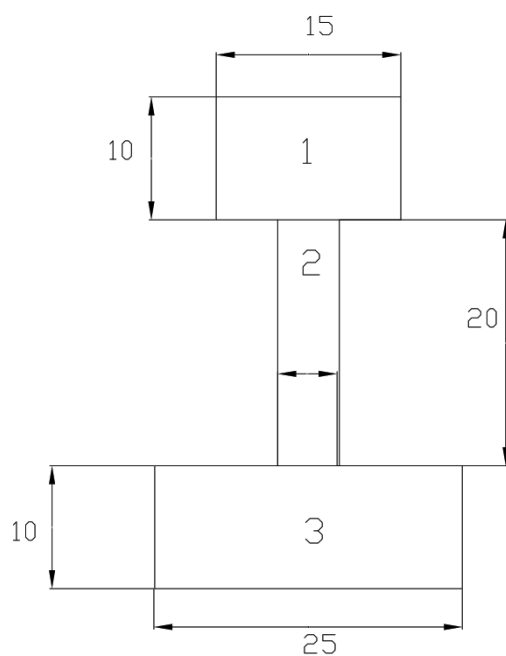
تار خنثی یک مقطع مکان هندسی نقاطی از مقطع است که دارای تغییر طول نسبی صفر در حین خمش هستند. چون تغییر طول در تار خنثی صفر می‌باشد، تنش نیز در تار خنثی صفر خواهد بود. جهت تنش‌ها در دو طرف تار خنثی مخالف یکدیگر است. یعنی اگر در بالای تار خنثی فشار داشته باشیم، در پایین کشش داریم. برای تعیین محل تار خنثی به روش زیر عمل می‌کنیم:

- ۱- فاصله تار خنثی از محور مبنا برابر با π فرض می‌شود. (محور مبنا را معمولاً تار پایین در نظر می‌گیریم)
- ۲- مقطع را به اجزای مستطیلی یا ساده تقسیم می‌کنیم.
- ۳- لنگر استاتیک هر جزء را نسبت به محور مبنا تعیین می‌نامیم که آن را با حرف M نشان می‌دهیم.
- ۴- این عمل را برای تمام اجزای مقطع انجام می‌دهیم.
- ۵- با جمع مساحت سطوح ساده، سطوح کل مقطع ΣA را بدست می‌آوریم.

۶- در انتها مقدار n را از رابطه زیر بدست می‌آوریم:

$$n = \frac{\Sigma M}{\Sigma A}$$

مثال: محل تار خنثی را برای شکل زیر محاسبه کنید:



$$A_1 = 15 \times 10 = 150$$

$$A_2 = 5 \times 20 = 100$$

$$A_3 = 25 \times 10 = 250$$

$$M_1 = 35 \times 150 = 5250$$

$$M_2 = 20 \times 100 = 2000$$

$$M_3 = 5 \times 250 = 1250$$

$$n = \frac{\Sigma M}{\Sigma A} = \frac{5250 + 2000 + 1250}{150 + 100 + 250} = 17$$

محاسبه تنش ناشی از خمش

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

در رابطه بالا، y فاصله تار خنثی تا خارجی ترین تار مقطع بوده و I ممان اینرسی مقطع حول محور x می باشد. M نیز مقدار لنگر خمشی وارد بر تیر می باشد.

مشخصات مکانیکی فولاد

فولاد از مهمترین مصالح ساختمانی می باشد. مشخصات مهم فولاد که آن را نسبت به سایر مصالح ساختمانی متمایز کرده، مقاومت زیاد، شکل پذیری و یکسان بودن مقاومت آن در فشار و کشش است. علاوه بر این فراوانی معادن سنگ آهن نیز از عوامل موثر در عمومیت یافتن مصرف فولاد است. مهمترین خاصیت مهندسی فولاد، نمودار تنش-کرنش آن در آزمایش کشش مستقیم است که از روی این نمودار، تنش تسلیم یا جاری شدن (σ_y) که عامل اصلی وجه تمایز فولادها در روابط محاسباتی است، بدست می آید.

نیمرخ های (پروفیل های) ساختمانی

برای استفاده از فولاد به عنوان عضو ساختمانی، باید آن را به شکل مناسب درآورد، برای فرم دادن فولاد، از نورد گرم استفاده می کنیم. بدین معنی که شمشهای فولاد را تا دمای سرخ شدن حرارت می دهیم و سپس با عبور دادن آن از میان غلتکهای مخصوص شکل موردنظر را بدست می آوریم. هر یک از نیمرخ های فولادی در اندازه ها و مشخصات هندسی متعددی تولید می شوند که در جدول اشتال آمده است.

تیر آهن و انواع آن

تیرآهن مهمترین نوع پروفیل های ساختمانی است که به سه صورت معمولی IPE (استاندارد اروپا و ایران)، INP (استاندارد چین و روسیه) و IPB (بال پهن) وجود دارد. تیرآهن معمولی به ارتفاع ۸۰ تا ۶۰۰ میلیمتر عرضه می شود و مورد استفاده آن در ستون ها، خرپا ها، نعل درگاه ها، بیم ها در پوشش سقف ها و پل های لانه زنبوری می باشد.

IPE

تیر آهن معمولی و استاندارد I شکل که در بازار ایران وجود دارد. این تیر آهن طبق استاندارد اروپا تولید شده‌اند و ضخامت بال آنها ثابت می‌باشد. (I Profile Euroenne)

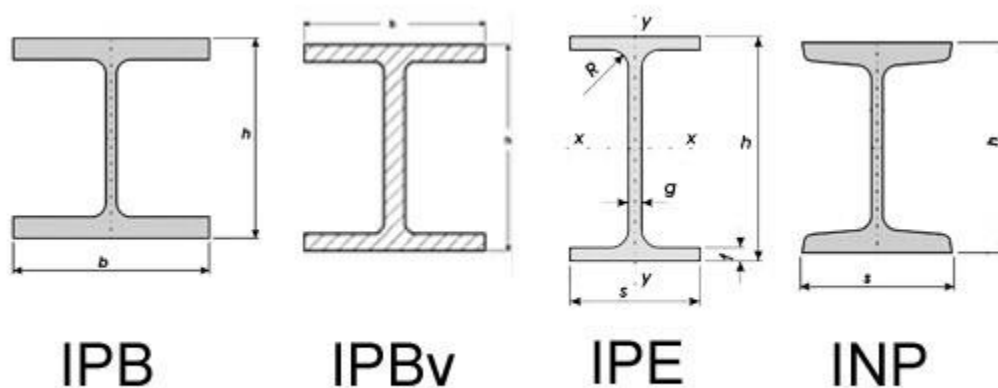
INP

تیر آهن نرمال I شکل که ضخامت بال آنها با فاصله گرفتن از جان تیر آهن کاهش می‌یابد که این استاندارد کارخانجات روسیه و چین می‌باشد.

IPB

تیر آهن H یا تیر آهن های عریض که در آنها طول بال ها نسبت به تیر آهنهای IPE افزایش یافته است.

علامت V نشان دهنده سنگین بودن و علامت L نشان دهنده سبک بودن تیر آهن می‌باشد. به عنوان مثال IPBV نشان دهنده تیر آهن عریض سنگین می‌باشد.



وزن		ابعاد و رواداریها (میلیمتر)								نمره تیر آهن I-2	
رواداری %	وزن یکمتر kg	شعاع انحنای مگوشه ها	ضخامت بال t		ضخامت جان S		عرض بال b		ارتفاع h		
			رواداری	مقدار اسمی	رواداری	مقدار اسمی	رواداری	مقدار اسمی	رواداری	مقدار اسمی	
± 6	۱۰/۴	۷	± ۱/۰	۶/۳	± ۰/۵	۴/۴	± ۲/۰	۶۴	± ۲/۰	۱۲۰	۱۲
	۱۲/۹	۷	± ۱/۵	۶/۹	± ۰/۷۵	۴/۷	+ ۳/۰ - ۲/۰	۷۳	+ ۳/۰ - ۲/۰	۱۴۰	۱۴
	۱۵/۸	۹		۷/۴		۵/۰		۸۲		۱۶۰	۱۶
	۱۸/۸	۹		۸/۰		۵/۳	± ۳/۰	۹۱	± ۳/۰	۱۸۰	۱۸
	۲۲/۴	۱۲		۸/۵		۵/۶		۱۰۰		۲۰۰	۲۰
	۲۶/۲	۱۲		۹/۲		۵/۹		۱۱۰		۲۲۰	۲۲
	۳۰/۷	۱۵		۹/۸		۶/۲		۱۲۰		۲۴۰	۲۴
	۳۶/۱	۱۵		۱۰/۲		۶/۶		۱۳۵		۲۷۰	۲۷
	۴۲/۲	۱۵	± ۲/۰	۱۰/۷	± ۱/۰	۷/۱		۱۵۰		۳۰۰	۳۰

فاصله بین محورهای تنش های کشش و فشار Sx cm	ممان ایستایی نیم مقطع Sx cm ³	مقادیر ایستایی نسبت به محورهای خمش						سطح جانبی یکمتر U m ²	سطح مقطع A cm ²	نمره تیر آهن I-2
		محور y-y			محور x-x					
		شعاع ژیراسیون i _y cm	مدول مقطع W _y cm ³	ممان اینرسی I _y cm ⁴	شعاع ژیراسیون i _x cm	مدول مقطع W _x cm ³	ممان اینرسی I _x cm ⁴			
۱۰/۵	۳۰/۴	۱/۴۵	۸/۶۵	۲۷/۷	۴/۹۰	۵۳/۰	۳۱۸	۰/۴۵۷	۱۳/۲	۱۲
۱۲/۳	۴۴/۲	۱/۶۵	۱۲/۳	۴۴/۹	۵/۷۴	۷۷/۳	۵۴۱	۰/۵۵۱	۱۶/۴	۱۴
۱۴/۰	۶۱/۹	۱/۸۴	۱۶/۷	۶۸/۳	۶/۵۸	۱۰۹	۸۶۹	۰/۶۲۳	۲۰/۱	۱۶
۱۵/۸	۸۳/۲	۲/۰۵	۲۲/۲	۱۰۱	۷/۴۲	۱۴۶	۱۳۲۰	۰/۶۹۸	۲۳/۹	۱۸
۱۷/۶	۱۱۰	۲/۲۴	۲۸/۵	۱۴۲	۸/۲۶	۱۹۴	۱۹۴۰	۰/۷۶۸	۲۸/۵	۲۰
۱۹/۴	۱۴۳	۲/۴۸	۳۷/۳	۲۰۵	۹/۱۱	۲۵۲	۲۷۷۰	۰/۸۴۸	۳۳/۴	۲۲
۲۱/۲	۱۸۳	۲/۶۹	۴۷/۳	۲۸۴	۹/۹۷	۳۲۴	۳۸۹۰	۰/۹۲۲	۳۹/۱	۲۴
۲۳/۹	۲۴۲	۳/۰۲	۶۲/۲	۴۲۰	۱۱/۲	۴۲۹	۵۷۹۰	۱/۰۴	۴۵/۹	۲۷
۲۶/۶	۳۱۴	۳/۳۵	۸۰/۵	۶۰۴	۱۲/۵	۵۵۷	۸۳۶۰	۱/۱۶	۵۳/۸	۳۰

مشخصات هندسی مقاطع فولادی

ممان اینرسی

ممان اینرسی سطح را با نماد (I) نشان داده و نسبت به محورهای مختلف با اندیس آن محور نام گذاری می شود. به عنوان مثال (I_x): یعنی گشتاور اینرسی سطح نسبت به محور (X) ها. بعد ممان اینرسی سطح را از نوع طول می باشد و بر حسب توان چهارم سانتی متر (cm⁴) یا میلی متر (mm⁴) بیان می شود. محاسبه ممان اینرسی

سطح بستگی به محوری دارد که نسبت به آن سنجیده می‌شود که در مسائل مربوط به محاسبه آن ممان اینرسی را نسبت به تار خنثی جسم بدست می‌آورند.

اساس مقطع

از تقسیم ممان اینرسی مقطع بر فاصله تار خنثی از تارهای خارجی بدست می‌آید.

$$S = \frac{I}{y}$$

I ممان اینرسی مقطع

y فاصله تار خنثی تا تار خارجی

شعاع ژیراسیون

شعاع ژیراسیون کمیتی است که در مکانیک کاربرد فراوان دارد. شعاع دوران یک سطح عبارت است از ، جذر نسبت ممان اینرسی سطح به مساحت آن. یعنی:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

I ممان اینرسی مقطع

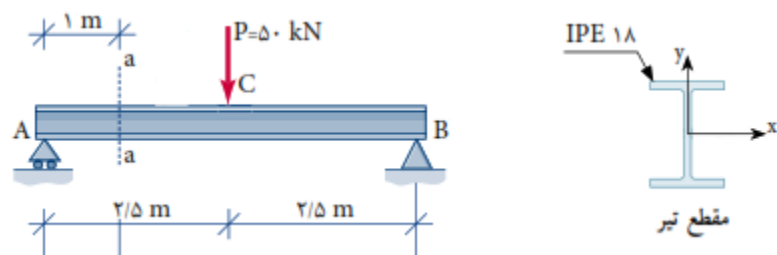
A مساحت مقطع

شعاع ژیراسیون بیانگر میزان پراکندگی مقطع نسبت به محورهاست. این پارامتر در طراحی ستونها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مثال: در شکل زیر که از یک IPE180 mm تشکیل شده است، با توجه به نمودار لنگر خمشی تیر مطلوب است محاسبه :

الف- تنش خمشی حداکثر در مقطع a-a به فاصله ۱ متر از تکیه گاه سمت چپ

ب- تنش خمشی حداکثر تیر



الف- برای بدست آوردن لنگر خمشی حداکثر باید نمودار لنگر تیر را رسم کرده مقدار ماکزیمم لنگر خمشی را از روی آن بدست آوریم.

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow B_x = 0$$

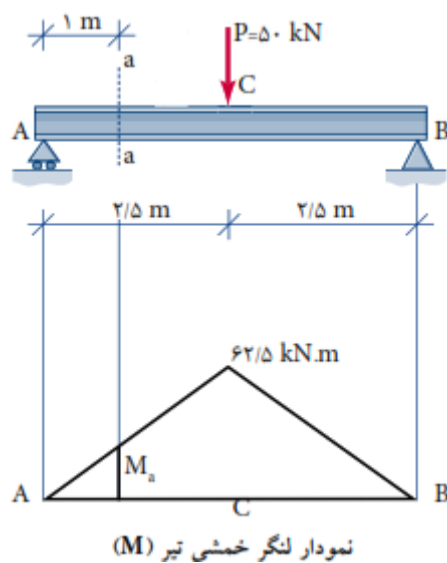
$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow B_y + A_y - 50 \Rightarrow B_y + A_y = 50$$

$$\Sigma M_A = 0 \Rightarrow 5B_y - 50 \times 2.5 = 0 \Rightarrow B_y = 25 \text{ KN}$$

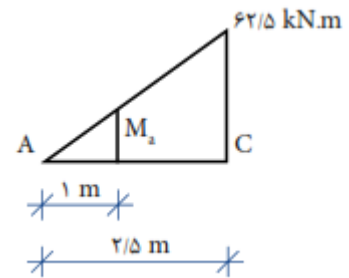
$$B_y + A_y = 50 \Rightarrow A_y = 25 \text{ KN}$$

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow M - 25 \times x = 0 \Rightarrow M = 25x \quad 0 \leq x \leq 2.5$$

$$\Sigma M = 0 \Rightarrow M - 25 \times x + 50(x - 2.5) = 0 \Rightarrow M = -25x + 125 \quad 0 \leq x \leq 2.5$$



مقدار لنگر خمشی در مقطع a-a به فاصله یک متر از تکیه گاه سمت چپ با توجه به نمودار لنگر خمشی و استفاده از تناسب به صورت زیر بدست می آید.



$$\frac{M_a}{62.5} = \frac{1}{2.5} \Rightarrow M_a = 25 \text{ KN.m} = 25 \times 10^6 \text{ N.mm}$$

تنش خمشی در مقطع a-a از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

با استخراج مشخصات مقطع IPE18 از جدول اشتال داریم:

$$I = 1320 \text{ cm}^4 = 132 \times 10^5 \text{ mm}^4$$

$$y = \frac{d}{2} = \frac{180}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{25 \times 10^6 \times 90}{132 \times 10^5} = 170.45 \text{ N/mm}^2$$

ب- حداکثر لنگر خمشی از روی نمودار را در فرمول تنش خمشی قرار داده و مقدار ماکزیمم تنش خمشی ناشی از تیر را محاسبه می کنیم

$$M_{max} = 62.5 \text{ KN.m} = 62.5 \times 10^6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{62.5 \times 10^6 \times 90}{132 \times 10^5} = 426.14 \text{ N/mm}^2$$

آشنایی با آیین نامه های طراحی سازه

منظور از طرح یک سازه تعیین پیکربندی، ابعاد و مشخصات قطعات آن به نحوی است که سه هدف اصلی تعیین شده در بندهای تامین شوند.

۱- ایمنی

۲- عملکرد مطلوب

۳- پایایی

بر این اساس در طراحی سازه های فولادی و بتنی عمدتاً از سه روش استفاده می شود.

الف) روش طراحی تنش مجاز (ASD)

ب) روش طراحی مقاومت نهایی

ج) روش طراحی حالات حدی (LSD)

تشریح مسئله:

همانطور گفته شده طراحی یک سازه برای رسیدن به اهداف ایمنی، عملکرد مطلوب و پایایی می باشد. و بر این اساس روشهای طراحی از سوی آیین نامه های معتبر تدوین گردیدی. حال با این اهداف و روشهای طراحی آشنا می شویم...

اهداف طراحی یک سازه:

۱- ایمنی:

منظور از ایمنی این است که مجموعه سازه، شامل قطعات و اتصالات آن، طوری سازمان داده شود که سازه از انسجام و پایداری کافی برخوردار باشد و:

الف - تحت اثر بارها و سربارهای متعارف آسیب نبیند.

ب - در اثر بارها و سربارهای استثنایی گسیخته نشود و فرو نریزد.

۲- عملکرد مطلوب:

منظور از عملکرد مطلوب اینست که سازه برای بهره برداری پیش بینی شده از آن مزاحمت فراهم نکند و:

الف - تحت اثر بارها و سربارهای متعارف در آن ترک خوردگی و تغییر شکل بیش از حد بوجود نیاید

بطوریکه نسبت به ایمنی سازه ایجاد نگرانی نکند.

ب - در اثر لرزش در بهره برداری کنندگان احساس ناامنی بوجود نیاید.

۳- پایایی:

منظور از پایایی این است که مصالح سازه کیفیت خود را در تمام طول عمر پیش بینی شده حفظ کند، بطوریکه

در اثر پیری، فرسودگی، خوردگی و مانند آن، ایمنی و قابلیت بهره برداری سازه بیش از حد تقلیل نیابد.

روشهای طراحی سازه بر اساس آیین نامه های معتبر

الف) روش طراحی تنش مجاز(ASD)

در روش طراحی تنش مجاز برخورد ضرایب اطمینان به این صورت است که مقاومت ماده به ضرایب اطمینان تقسیم می شود و در محاسبات مقادیر کمتری برای مقاومت منظور می شود. تا سال ۱۹۵۰ این نوع سازه‌ها براساس روش ASD یا تنش مجاز طراحی می‌شدند و به عبارت دیگر طراحی اعضاء فلزی این نوع سازه بگونه ای صورت می‌گرفت که اعضاء بر اثر بارهای وارده از حد الاستیک خود خارج نشوند و استفاده از این روش تاکنون نیز در اکثر کشورهای جهان از جمله ایران ادامه داشته و آئین نامه‌های داخلی کشور ایران و فصل دهم مقررات ملی ساختمان نیز براساس این روش تدوین گردیده است.

ب) روش طراحی مقاومت نهایی

در این روش طراحی، ضرایب اطمینان در بارها ضرب می‌شود و بارها افزایش داده می‌شوند و در مقابل در محاسبات، خود مقاومت‌های اصلی وارد می‌شوند. این روش طراحی در روش LRFD در فولاد و در روش USD بتن در آیین نامه‌های آمریکا به کار گرفته می‌شود.

وارد کردن اصل مقاومت در محاسبات خصوصیات تازه ای به وجود می‌آورد و امکانات تازه‌ای را در اختیار طراح قرار می‌دهد که در روش ASD امکان‌پذیر نیست. برای مثال در طراحی بتن می‌توان رفتار غیر خطی بتن را وارد محاسبات کرد در حالی که این کار در روش قبلی امکان پذیر نیست.

ج) روش طراحی حالات حدی(LSD)

در این روش طراحی قسمتی از ضریب اطمینان در بارها اثر داده می‌شوند و قسمتی از ضرایب اطمینان در مقاومت‌ها، یعنی هم بارها بزرگ می‌شوند و هم مقاومت‌ها کاهش داده می‌شود. توضیح اینکه عدم اطمینانی که در طراحی وجود دارد هم ناشی از بارها و هم ناشی از مقاومت هاست. بنابراین بهتر است هر دو عدم اطمینان به صورت جداگانه در نظر گرفته شود. در این روش می‌توان با آگاهی بیشتر نسبت به ضرایب اطمینان تصمیم گرفت. در این روش بجای استفاده از یک ضریب اطمینان شکسته شده که ضرایب جزئی اطمینان نامیده می‌شوند استفاده می‌شود.

در آیین نامه بتن ایران (آبا) روش طراحی، روش حالات حدی است. در این آیین نامه آبا برای طراحی ساختمان دو حالت پیشنهاد شده است.

این دو روش عبارتند از:

۱- حالات حدی نهایی

به حالاتی گفته می‌شود که به حداکثر ظرفیت باربری سازه یا قسمتی از آن مربوط می‌شوند این حالات ممکن است به یکی از صورتهای زیر اتفاق بیافتد:

الف- از دست رفتن تعادل سازه و یا قسمتی از آن به عنوان یک جسم صلب.

ب- تغییر شکل یا تغییر مکان سازه یا قسمتی از آن در حدی که شکل هندسی و در نتیجه رفتار سازه را به کلی تغییر دهد.

پ- رسیدن سازه به حداکثر ظرفیت باربری خود به یکی از صورتهای زیر:

-درهم شکستن مقاطع قطعات و یا اتصالات آنها به دلیل گسیختگی یا تغییر شکل های بیش از حد و یا خستگی در مصالح آنها. این حالت "حالت حدی نهایی مقاومت" نامیده می شود.

-تبدیل شدن سازه یا قسمتی از آن به مکانیزم.

-از دست رفتن پایداری کل سازه و یا قسمتی از آن.

۲-حالات حدی بهره برداری

به حالاتی گفته می شود که به معیارهای قابلیت بهره برداری سازه و یا پایداری آن مربوط می شوند. این حالات ممکن است به یکی از صورتهای زیر اتفاق بیافتد:

الف - تغییر شکل بیش از حد سازه یا اجزای آن به نحوی که به منظر یا عملکرد مناسب سازه اثر نامطلوب گذاشته و به سازه آسیب برساند.

ب - لطمات موضعی نظیر ترک خوردگی، پوسته شدن یا از هم پاشیدن بیش از حد بتن بطوری که لزوم نگهداری بیش از حد متعارف را ایجاد کند و یا خطر خوردگی در آرماتور را افزایش دهد و در نتیجه به منظر و عملکرد مناسب سازه آسیب برساند.

پ- لرزش بیش از حد سازه در اثر بارهای بهره برداری، نیروی باد و یا عوامل دیگر بطوری که در استفاده کنندگان از سازه ایجاد نگرانی کند و یا عملکرد سازه را مختل نماید.

ت - در مواردی که سازه برای عملکرد نامتعارف خاصی طراحی می شود ممکن است حالت های حدی دیگری متناسب با این شرایط خاص مطرح شوند، که وقوع آنها عملکرد سازه را دچار اختلال کنند. این حالت ها با تشخیص و قضاوت مهندس محاسب تعیین می شوند.

تیرها

تیرها قطعات سازه‌ای هستند که بارهای قائم بر محور خود را تحمل می‌کنند. در اثر این بارها در مقاطع مختلف تیر، نیروی برشی و لنگر خمشی ایجاد می‌شود. تیرها ممکن است بصورت ساده یا یکسره باشند. تیر ساده، تیری است که دهانه که بصورت ساده در دو انتهای خود تکیه گاه دارد. تیر یکسره در روی بیش از یک دهانه بصورت ممتد ادامه یافته و یا بصورت گیردار به تکیه گاههای خود متصل باشد. در واقع تیر ساده تیری است که در دو انتهای آن هیچ گونه لنگری وارد نمی‌شود، ولی تیر یکسره در یک یا دو انتهای خود دارای لنگر خواهد بود. بارهای وارد بر تیر شامل بارهای مرده و زنده می‌شود. بارهای مرده شامل وزن خود تیر می‌شود. در دهانه‌های کوتاه، وزن خود تیر تاثیر مهمی بر طراحی ندارد ولی در دهانه‌های بزرگ وزن تیر عامل مهمی در طراحی خواهد بود. در یک ساختمان، بر حسب وظیفه ای که یک تیر برعهده دارد، بصورت زیر نامگذاری می‌شود:

- ۱- تیرچه : تیر سبکی که با سقف را به شاهتیرها انتقال می‌دهد.
- ۲- شاهتیر : عضو باربر اصلی در سقف است که بارهای وارد از تیرچه را به ستون‌ها انتقال می‌دهد.
- ۳- تیر نعل درگاهی : تیری است که در بالای بازشوهای ساختمان نظیر در و پنجره وجود دارد.
- ۴- تیر لبه ای : تیرهایی که پیرامون ساختمان قرار دارند و علاوه بر کف، بارهای دیوارهای پیرامونی ساختمان را نیز تحمل می‌کنند.
- ۵- لایه : تیر سبکی که از آن برای حمل بار پوششهای سبک در ساختمانهای صنعتی استفاده می‌شود.

طراحی تیرها

اولین گام در طراحی تیرها، تعیین بارهای وارده بر آن است. گام بعدی رسم نمودار تغییرات نیروی برشی و لنگر خمشی برای بدست آوردن حداکثر مقدار برش و خمش است. پس از این کار نوبت به طراحی تیر می‌رسد که باید معیارهای زیر در آن در نظر گرفته شود:

الف) معیار فشردگی

مقررات ملی ساختمان (مبحث ۱۰) مقاطع فولادی را به سه دسته تقسیم می‌کند:

- ۱- مقطع فشرده
- ۲- مقطع غیر فشرده
- ۳- مقطع لاغر

مقطع فشرده

به مقطعی فشرده گفته می شود که در آن تناسبات ابعاد پروفیل فولادی به گونه ای باشد که خطر کمزش موضعی وجود نداشته باشد. شرایط مقطع فشرده بصورت زیر می باشد:

۱- اتصال جان به بال ها پیوسته بوده و بریده بریده نباشد.

۲- رابطه مقابل زیر برقرار باشد:

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{545}{\sqrt{\sigma_y}} \quad b = \frac{b_f}{2}$$

در رابطه بالا b_f عرض بال و t_f ضخامت بال مقطع فولادی می باشد.

۳- جان مقطع به صورتی باشد که :

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{5365}{\sqrt{\sigma_y}}$$

شرط سوم برای آن است که ورقهای نازک جان، تحت فشار کمانه نکند.

نکته : در صورتی که هر سه شرط بالا برقرار باشد، آنگاه مقطع مورد نظر فشرده می باشد. در صورتی که یکی از شرایط بالا برقرار نباشد مقطع غیر فشرده است.

ب) معیار اتکاء جانبی

در یک تیر با مقطع متقارن نسبت به محور خمش که تحت بار جانبی قرار گرفته است، در نیمی از مقطع تنشهای فشاری و در نیم دیگر تنشهای کششی ایجاد می شود. اگر تیر دارای تکیه گاههای جانبی کافی در قسمت فشاری نباشد، ممکن است قبل از رسیدن به حد تسلیم در آن کمانش ایجاد شود. این کمانه زدن در تیرها خرابی محسوب می شود و باید از آن جلوگیری کرد. برای اینکه یک تیر اتکا جانبی داشته باشد باید فاصله بین تکیه گاههای جانبی آن (L_b) از دو مقدار L_1 و L_2 که بصورت زیر محاسبه می شوند، کمتر باشد. یعنی:

$$L_b \leq (L_1, L_2)$$

$$L_1 = \frac{635 b_f}{\sqrt{\sigma_y}} \quad , \quad L_2 = \frac{14 \times 10^5}{\frac{d}{A_f} \times \sigma_y}$$

در فرمولهای بالا L_b فاصله بین تکیه های جانبی تیر، b_f عرض بال، d ارتفاع مقطع، A_f برابر مساحت بال مقطع ($A_f = b_f \times t_f$) است و σ_y تنش تسلیم فولاد می باشد.

نکته: اگر تیری هم دارا مقطع فشرده بوده و هم دارای اتکاء جانبی باشد، آنگاه طبق مقررات ملی ساختمان ایران تنش مجاز خمشی آن برابر رابطه زیر خواهد بود:

$$\sigma_b = 0.66 \sigma_y$$

در رابطه بالا σ_b تنش مجاز خمشی و σ_y تنش تسلیم فولاد است.

(ج) معیار تیرهای بدون اتکاء جانبی

اگر فواصل تکیه گاههای جانبی در تیر به گونه ای باشد که $(L_1, L_2) > L_b$ ، در این صورت تیر اتکاء جانبی نداشته و نمی توان از تنش مجاز $\sigma_b = 0.66 \sigma_y$ استفاده کرد. چون در اینجا تیر در معرض خطر کمانش جانبی (کمانش کلی) قرار داشته، لذا در عمل برای طراحی تیر بدون اتکاء جانبی مقررات ملی ساختمان ایران روال زیر را برای مقاطع فشرده یا غیر فشرده بیان می کند.

در یک مقطع تیر دو تنش σ_{b1} و σ_{b2} را محاسبه می کنیم، هر کدام بزرگتر باشد بع عنوان تنش مجاز خمشی محسوب می شوند مشروط بر آن از مقدار $0.6\sigma_y$ بزرگتر نباشد.

برای بدست آوردن σ_{b1} ابتدا باید ضریب لاغری مقطع تیر را با استفاده از فرمول زیر بدست آوریم:

ضریب لاغری را با λ نشان می دهند.

$$\lambda = \frac{L_b}{r_T}$$

در فرمول بالا L_b فاصله تکیه گاههای جانبی و r_T شعاع ژیراسیون ناحیه فشاری است.

نکته: مقدار r_T را میتوان بصورت تقریبی 1.2 برابر شعاع ژیراسیون بحرانی مقطع فولادی در نظر گرفت، یعنی:

$$r_T = 1.2 r_y$$

سپس مقدار ضریب لاغری که از رابطه بالا بدست آمده با مقادیر λ_1 و λ_2 که بصورت زیر بدست می آیند مقایسه می کنیم:

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{72 \times 10^5 C_b}{\sigma_y}}$$

$$\lambda_2 = \sqrt{5} \lambda_1$$

سه حالت ایجاد می شود:

۱- اگر $\lambda < \lambda_1$ باشد در این صورت اثر لاغری ناچیز بوده و تنش مجاز خمشی قطعه فقط به تنش تسلیم فولاد بستگی دارد. بنابراین تنش مجاز خمشی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\sigma_{b1} = 0.6 \sigma_y$$

۲- اگر $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$ باشد در این صورت تنش تسلیم و ضریب لاغری هر دو موثر هستند و تنش مجاز از رابطه زیر بدست می آید:

$$\sigma_{b1} = \left[\frac{2}{3} - \frac{\lambda^2 \times \sigma_y}{1075 \times 10^5 C_b} \right]$$

۳- اگر $\lambda \geq \lambda_2$ باشد در این صورت فقط ضریب لاغری تعیین کننده است و تنش مجاز خمشی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\sigma_{b1} = \frac{120 \times 10^5 C_b}{\lambda^2}$$

تنش خمشی مجاز σ_{b2} نیز از رابطه زیر بدست می آید:

$$\sigma_{b2} = \frac{84 \times 10^4 C_b}{\frac{L_b \times d}{A_f}}$$

نکته: در نتیجه مقدار σ_{b1} و σ_{b2} را با هم مقایسه کرده و هر کدام که بزرگتر بود با مقدار $0.6\sigma_y$ مقایسه کرده و هر کدام کوچکتر بود به عنوان تنش مجاز خمشی انتخاب می شود.

د) معیار برش در تیرها

توزیع تنش برشی در مقطع I شکل نشان می دهد که از نظر برش، جان تیر به خاطر اینکه ضخامت آن نسبت به عرض بال خیلی کوچک است، در وضعیت بحرانی بوده و برش را جان تیر تحمل می کند. مقدار تنش برشی حداکثر در مقطع I شکل از رابطه زیر بدست می آید:

$$\tau_{max} = \frac{F}{d \times t_w}$$

در رابطه بالا F نیروی برشی وارد بر تیر، d ارتفاع مقطع فولادی و t_w ضخامت جان می باشد.

برای کنترل مقاومت مقطع تیر در برابر برش بصورت زیر عمل می کنیم:

$$\tau = 0.4 \sigma_y \iff \text{اگر } \frac{h}{t_w} \leq \frac{3185}{\sqrt{\sigma_y}} \text{ باشد، در این صورت}$$

در رابطه بالا τ مقدار تنش برشی مجاز است.

طراحی مقطع تیر باید به گونه ای باشد که $\tau_{max} \leq \tau$ بدست آید.

ه) معیار خیز تیر

هنگامی که بر یک تیر بار وارد می شود، تیر تغییرشکل داده و به شکل منحنی درمی آید که به آن خیز تیر می گویند. حداکثر مقدار خیز تیر بسته به مکان استفاده از آن باید به مقداری محدود شود. طبق مقررات ملی ساختمان ایران تیرها و شاهیتهایی که سقفهای گچکاری شده را تحمل می کنند، باید طوری محاسبه شوند که تغییر مکان ماکزیمم نظیر بار مرده و زنده از $\frac{1}{240}$ طول دهانه و تغییر مکان نظیر بار زنده از $\frac{1}{360}$ طول دهانه تیر بیشتر نشود.

ستون ها

ستونها قطعاتی هستند که تحت اثر نیروی محوری فشاری قرار دارند. هرگاه بارهای وارده به نوعی باشند که بتوان از دوران انتهای قطعه صرفنظر کرد و یا اینکه بارهای وارده که از طریق تیرهای متصل به ستون وارد می شوند وضعیت متقارن داشته باشند به نحوی که لنگر خمشی انتهای ستون نسبت به نیروی فشاری محوری بسیار اندک باشد، می توان این قطعه را با اطمینان کامل به مانند ستونی با نیروی محوری تنها طراحی کرد.

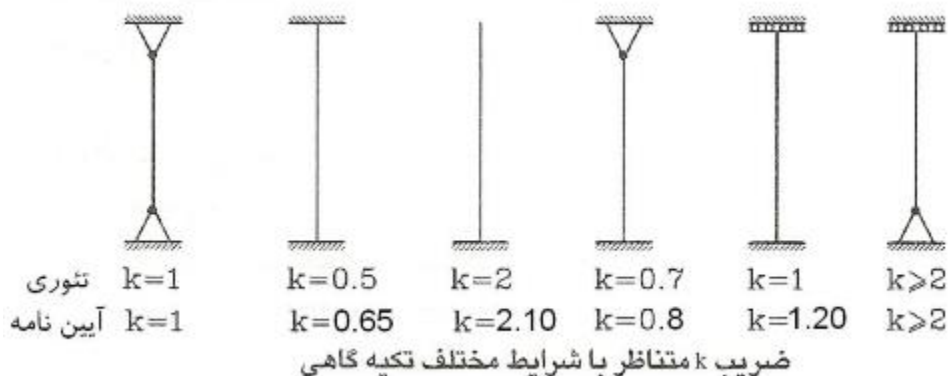
کمانش ارتجاعی اولر

نظریه و بحث کمانش ارتجاعی نخستین بار در سال ۱۷۵۹ توسط اولر مطرح شده است. برای قطعه ای تحت اثر بار محوری، تنش بحرانی تحت اثر کمانش از رابطه زیر بدست می آید:

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

در رابطه بالا E مدول الاستیسیته، K فاکتور ضریب طول، L طول تیر، r شعاع ژیراسیون مقطع و σ_{cr} تنش بحرانی تحت کمانش است.

نکته: K ضریب طول موثر است که به شرایط تکیه گاهی مقطع تیر بستگی دارد. در شکل زیر چند نمونه از شرایط تکیه گاهی و ضریب طول موثر را مشاهده می کنید:



شکل ۱-۱۰

براساس مطالعات صورت گرفته تا وقتی تنش در ستون از حد خاصی که σ_{cr} نامیده می شود کمتر باشد، بار کمانش ستون تابع تئوری اولر است ولی پس از این حد تئوری غیر ارتجاعی بر رفتار ستون

حاکم خواهد بود. مقدار σ_{cr} براساس آیین نامه ایران برابر $0.5\sigma_y$ در نظر گرفته می شود. براین اساس می توان نوشت:

$$0.5\sigma_y = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \Rightarrow \frac{KL}{r} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}}$$

مقدار $\frac{KL}{r}$ در اصطلاح C_c نامیده می شود.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_y}} = \frac{6440}{\sqrt{\sigma_y}}$$

نکته:

اگر $\frac{KL}{r} > C_c$ باشد $\Leftarrow$ در این صورت کمانش ارتجاعی است.

اگر $\frac{KL}{r} < C_c$ باشد $\Leftarrow$ در این صورت کمانش غیرارتجاعی است.

ضوابط آیین نامه ای جهت طراحی اعضای فشاری (ستونها)

در محدوده کمانش ارتجاعی ستون لاغر خواهد بود. مقدار تنش مجاز فشاری ستون از رابطه زیر بدست می آید:

$$\sigma_a = \frac{105 \times 10^5}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$