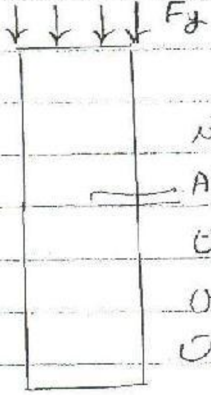
اگر شود که بیار طرح خوبی خواهد بود اما چون اعضای فشاری لاغرند اگر بخواهیم $P < P_{cr}$ باشد از نظر ریاضی می شود

اما نمی توان یک مسئله چنین داشت

۱۰-۱-۵ ص ۵۹



اگر همه تارها
به تنش تسلیم برسند

$$P_y = A \cdot F_y.$$

از بالا تا پایین همه ستون
و همه جزء تنش تحت تنش
تسلیم قرار گرفته است

بهترین عضو فشاری
که در طبیعت وجود دارد عضو کوتاه است

سه طریق خرابی

- بار کمانشی باری است که اگر به عضو وارد شود ایجاد کمانش در مقطع می کند   کمانش خمشی حول محور x
  y ״ ״ ״
  z پیچشی ״ ״

K به شرایط تکیه گاهی بستگی دارد

$$* \quad (P_{cr})_x = \frac{\pi^2 E I_x}{(Kl)_x^2} \qquad * \quad (P_{cr})_y = \frac{\pi^2 E I_y}{(Kl)_y^2}$$

$$* \quad (P_{cr})_z = \frac{\pi^2}{(Kl)_z^2}\left[GJ + \frac{C_w E}{r_0^2}\right]$$ کمانش پیچشی حول z

- برای این که معیار ① و ② با هم ارضا شود باید ۴ تا معادله ارضا شود ؟

$$f_a = \frac{P}{A} < F_y$$

$$f_a = \frac{P}{A} \leqslant \frac{\pi^2 E \frac{I_x}{A}}{(Kl)_x^2} \quad \left(\frac{1}{r_x^2}\right)^{-1} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{Kl}{r}\right)_x^2}$$

$$f_a = \frac{P}{A} \leqslant \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{Kl}{r}\right)_y^2}$$

$$f_a = \frac{P}{A} \leqslant \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{Kl}{r}\right)_z^2}$$

بین ۳ تا معیار هر کدام از همه کمتر باشد
می‌شود معیار حاکم یعنی max مقدار $\frac{Kl}{r}$
برای ما مهم است.

E ثابت است

Fy متفاوت است

— $\frac{Kl}{r}$ معیار ناپایداری است ؛

$$* \quad f_a = f_a \left(F_y, \left(\frac{Kl}{r}\right)_x, \left(\frac{Kl}{r}\right)_y, \left(\frac{Kl}{r}\right)_z \right)$$

K boundary condition   K, l, r مشخصات هندسی عضو هستند، شرایط مرزی

Fy مشخصه مادی —

$$* \quad f_a = f_a \left[F_y, \text{Max} \left(\left(\frac{Kl}{r}\right)_x, \left(\frac{Kl}{r}\right)_y, \left(\frac{Kl}{r}\right)_z \right) \right]$$

دو تا پارامتر داریم

$$\lambda = \text{Max} \left(\left(\frac{Kl}{r}\right)_x, \left(\frac{Kl}{r}\right)_y, \left(\frac{Kl}{r}\right)_z \right)$$

$$* \quad f_a = f_a (F_y, \lambda)$$

l طول عضو است   r معرف موقعیتی است که می‌توان مصالح را جمع کرد و در آن نقطه سطح مقطع متمرکز
قرار داد

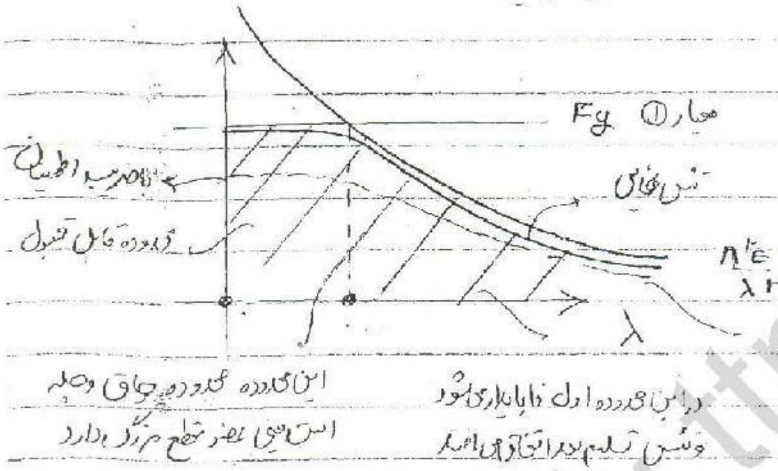
slenderness Ratio

– $\frac{Kl}{r}$ ضریب لاغری
نسبت لاغری
هرچه $l \uparrow$ و $r \downarrow$ باشد عضو لاغرتر است ؟

لاغری نسبت اسمی تعریف مطابق دست نسبت ارتفاع به قطر می شود لاغری

پارامتر لاغری باعث ناپایداری در عضو خواهد شد برای هر عضوی یک عدد است

K قیدهای روی گره های عضو است اگر روی هر گره عضو قید بگذاریم کمانش آن محدود می شود



تنش مجاز = $\frac{\text{تنش بحرانی}}{\text{ضریب اطمینان}}$

– تنش دو تا پارامتر اصلی حاکم بر طراحی Fy و یکی هم هندسه عضو است

* در ناحیه ای که تسلیم حاکم است ضریب اطمینان ما باید یک مقدار کوچکتر باشد نسبت به جائی که ناپایداری حاکم است

چون شناخت ما نسبت به تسلیم بیشتر است چون در کارخانه مصالح تهیه می شوند و حک می شوند و Fy توسط آزمایش

تعیین می شود. تنش این که این Fy خطائی در آن صورت گرفته باشد خیلی کم است

در $\frac{kl}{r}$ خطا زیاد است قیدها کامل تعریف نشده و مشخص نیست خطاها زیاد است در محاسبه k و l و r ؟

$\frac{P}{F_y}$ کرده حول و حوش آن یک مقطع را از جدول انتخاب می کنیم بعد محاسبات را طوری انجام می دهیم که در این حالت صدق کند

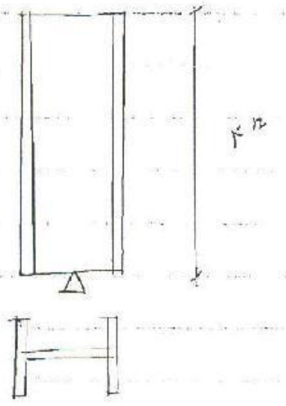
مثال :

$K = 1$ حداکثر باری توان

$r_x = ۵$ روی این عضو در

$r_y = ۳$ حالت بحرانی قرار داد

$A = ۴۰$



$$\frac{Kl}{r_x} = \frac{1(۴۰۰)}{۵} = ۸۰$$

$$\frac{Kl}{r_y} = \frac{1(۴۰۰)}{۳} = ۱۳۳$$

$$\left(\frac{Kl}{r}\right)_z = ---$$ عدد کوچکی است

$$\Rightarrow \lambda_{max} = ۱۳۳$$

$$P_{cr} = (۴۰)\frac{(\pi^2 E)}{(۱۳۳)^2} \qquad P_y = AF_y$$

min دو را انتخاب می کنیم

اگر بار داده هندسه مقطع را بخواهند باید به صورت سعی و خطا یک مقطع انتخاب کنیم و باری که به دست می آید را با بار داده شده مقایسه کنیم

در اعضای فشاری می خواهیم یک مقطعی را انتخاب کنیم که با سطح مقطع کم بیشترین باربری را در عضو فراهم کنیم

- طراحی ستونهای فشاری :

۱ـ معیار تسلیم : $f_a = \frac{P}{A} < \frac{F_y}{S.F}$

۲ـ معیار کمانش کلی : شامل کمانش خمشی حول محور x
کمانش خمشی حول محور y
کمانش پیچشی حول محور z
} اعضای محوری با دو محور تقارن

یک محور تقارن

$(P_y)_{cr}$ کمانش خمشی حول محور y

$(P_{TF})_{cr}$ کمانش خمشی پیچشی حول محور x-z Tortion Flexure

هر دو باهم کمانه می کنند 〃 〃 〃 〃 〃 $(P_{TF})_{cr}$

بار کمانشی تعیین کننده → $Min\left[(P_y)_{cr}, (P_{TF})_{cr}, (P_{TF})_{cr}\right]$

کمانش خمشی - پیچشی حول محور x-y-z اعضای محوری بدون محور تقارن

〃 〃 〃 〃 〃

〃 〃 〃 〃 〃

بار کمانشی تعیین کننده → Min (۱ تا ۳ مقدار)

هر کدام از این حالت ها یک بار نظیر کمانش دارند

$(P_x)_{cr}$

$(P_y)_{cr}$ کمانش وقتی حاصل می شود که بار محوری به کوچکترین مقدار این ۳ می رسد

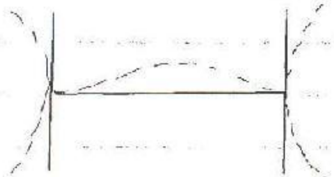
$(P_z)_{cr}$ وقتی کمانش حاصل شود ستون سختی سازه از بین رفته و دیگر باری را نمی تواند تحمل کند

* بار کمانشی تعیین شده می شود : $Min\left[(P_x)_{cr}, (P_y)_{cr}, (P_z)_{cr}\right]$

تنش کمانشی $f_a = \frac{P}{A} < \frac{\text{بار کمانشی}}{A}$

www.tthar.ir

۳ - معیار کمانش موضعی   یعنی انسجام کلی مقطع برقرار باقی بماند لیکن اجزای مقطع بدلیل نسبت $\frac{b}{t}$ بزرگ چین خوردگی در آنها ایجاد شود.



می‌توان معیار کمانش موضعی را با انتخاب یک مقدار برای $\frac{b}{t}$
از محاسبات خارج کرد و دیگر آن را بررسی نکرد
فعلاً کمانش کلی و تسلیم را بررسی می‌کنیم

* با فرض آنکه معیار کمانش موضعی معیار تعیین کننده‌ای نمی‌باشد با فرض این که

عدم موضعی $>$ $\frac{b_i}{t_i}$ اجزای مقطع

* بنابراین در این حالت معیارهای اصلی حاکم بر طراحی اعضای فشاری عبارت اند از:

- معیار تسلیم
- معیار کمانش کلی   حالت کلی $P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{(k\ell)^2}$ *

* یعنی باری که ایجاد کمانش می‌کند به E که مشخصه مادی است و I که مشخصه هندسی مقطع است و l که مشخصه هندسی عضو است و به K که مشخصه مربوط به شرایط مرزی عضو و نحوه توزیع بارگذاری محوری است

1- $f_a = \frac{P}{A} \leqslant \frac{F_y}{F.S}$

2- $f_a = \frac{P}{A} \leqslant \frac{P_{cr}}{A.F.S} \leqslant \frac{\pi^2 E}{(\frac{k\ell}{r})^2 . F.S}$

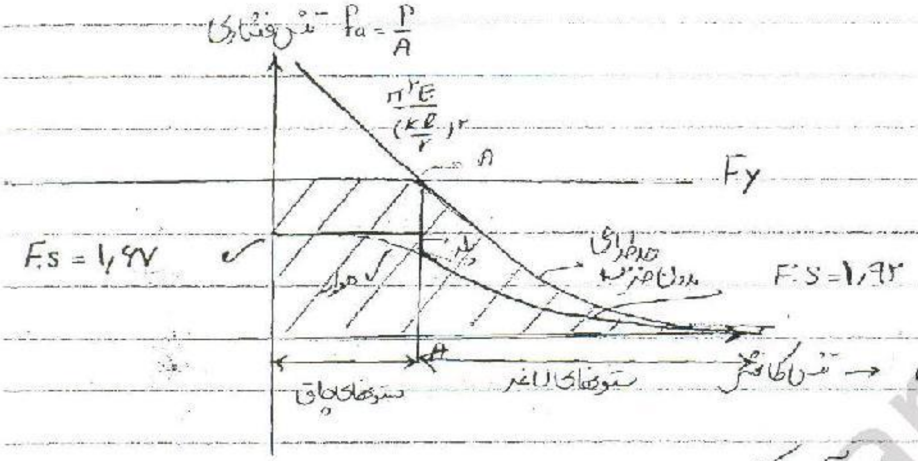
- E پارامتر مادی
- $\frac{k\ell}{r}$ لاغری

www.ttmar.ir

هرچه عضو لاغرتر باشد $\frac{kl}{r}$ بزرگتر باشد بار کمتری را می توان روی آن قرار داد ؟

دو تا ستون داریم هر دو ۵ متری اند یکی نازک ، r کوچک ، یکی کلفت ، r بزرگ دارد عضوی که r کوچک دارد نسبت

به ناپایداری حساس است ؟



* زیرخط = منطقه مجاز

اگر عضوی بخواهد هر دو بای این معیارها را برآورده کند
باید در فصل مشترک این دو منحنی باشد

مثلاً تا مرز A با تنش مجاز و البته به کاهش نیست یعنی اول تسلیم اتفاق می افتد بعد کمانش

سطح اطمینان باید کمی پایین تر بیاید این که چقدر پایین بیاید بستگی به این دارد که اهمیت سازه در کدام شرایط بهتر می شود

یعنی در منحنی دوم ضریب اطمینان بزرگتری را اعمال کردیم چون اطمینان کمتری نسبت به آن داریم ؟

در نتیجه در منحنی یک پله ایجاد می شود که در جهت اطمینان است سپس با یک منحنی هموار ارتباط بین دو منحنی را برقرار کرد

$$* \quad \overset{A \text{ مرز}}{\underset{A \text{ لاغری در نقطه}}{C_c}} = \sqrt{\frac{2\pi^2E}{F_y}} \quad ; \quad \frac{F_y}{2} = \frac{\pi^2E}{C_c^2}$$

$$1- \quad \frac{kl}{r} < C_c \Rightarrow f_a \leq \frac{\left(1-\frac{(\frac{kl}{r})^2}{2C_c^2}\right)F_y}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\frac{\frac{kl}{r}}{C_c}-\frac{1}{8}\frac{(\frac{kl}{r})^3}{C_c^3}}$$

۲- $\frac{kl}{r} > C_c \; ; \; f_a \leqslant \frac{\pi^2 E}{1.92\left(\frac{kl}{r}\right)^2}$

در واقع در نقطه $\frac{F_y}{2}$ منحنی تسلیم با کمانش یکی می‌شود که از روابط ریاضی بدست آمده است !

* تنش مجاز فشاری F_a

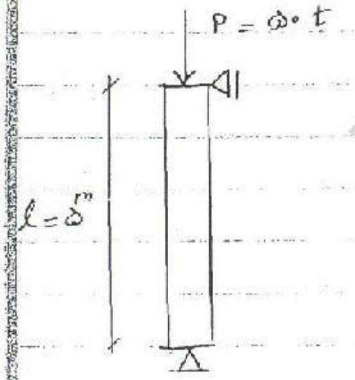
$$F_a \nearrow \frac{kl}{r} < C_c \longrightarrow F_a = \frac{\left(1-\frac{\left(\frac{kl}{r}\right)^2}{2C_c^2}\right)F_y}{\frac{5}{3}+\frac{3}{8}\frac{\frac{kl}{r}}{C_c}-\frac{1}{8}\frac{\left(\frac{kl}{r}\right)^3}{C_c^3}}$$

ض.ا = ۱٫۹۲

* اگر ۰ = $\frac{kl}{r}$ شود F.S = ۱٫۶۷ خواهد شد ؛

$$F_a \searrow \frac{kl}{r} > C_c \longrightarrow F_a = \frac{\pi^2 E}{1.92\left(\frac{kl}{r}\right)^2}$$

بنابراین $\Rightarrow f_a < F_a$

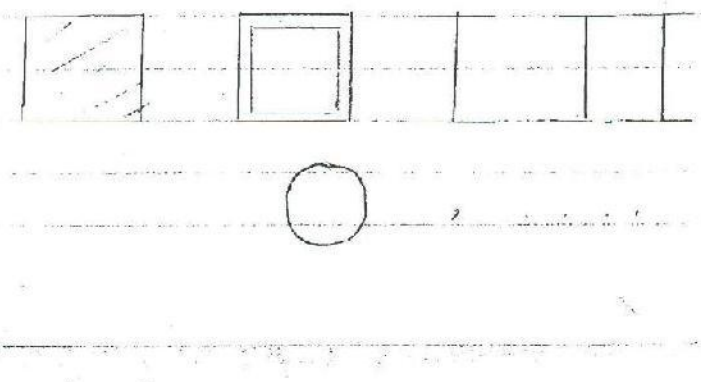


– طراحی کنید که بار ۵۰t را تحمل کند ؟

$E_s = 2.1 \times 10^6$

$F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}$

– اولین سوالی که مطرح می‌شود این است که شکل مقطع چه باشد ؟ با فرض اطلاعات داده شده .



انتخاب شکل به عواملی مثل بازار، مقطع و ... بستگی دارد

مثلاً یک شکل می‌تواند خوردگی آن در برابر هوا زیاد باشد و در یک منطقه این موضوع بود موارد اصلی

یا تیزی مقطع در یک جاهایی تواند باعث قفل و بست شود یا حتی در بعضی مواقع نامناسب باشد ؛

چیزی که برای ما به لحاظ اقتصادی مطرح است پارامتر وزن است ؛

در طراحی یک طرح در واقع مطالعات از این دست است و خواص هندسی را برمی‌شمارد

دومین مسئله اندازه مقطع است ؛ شامل ابعاد و مساحت

پس مجهولات ما می‌شود ; $A , b_۱ , b_۲ , \dots$
$t_۱ , t_۲ , \dots$

; ۲

$\frac{P}{A} \leq F_a \rightarrow ۲$ مجهول

A ≤

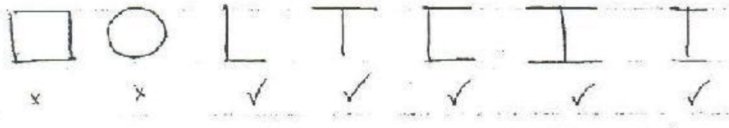
چون هنوز مسئله مقطع نیست
یعنی یک معادله مقطع با یک مجهول نداریم

ممکن است مقطع مورد نظر در این رابطه صدق کند اما فاصله در طرف زیاد باشد

* مقاطع فولادی دو دسته‌اند ؛

- مقاطع نورد شده Rolled Sections
- مقاطع ساخته شده Builtup //

مقاطع نورد شده شامل



✓ مقاطع باز: open section

x مقاطع بسته

مقطع I در ایران از شماره ۱۴ تا ۳۰ داریم

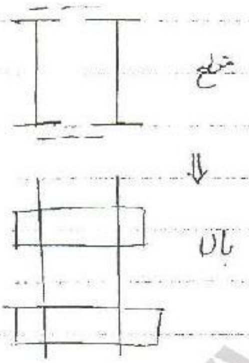
I نداریم

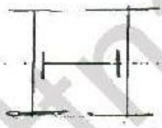
T نداریم

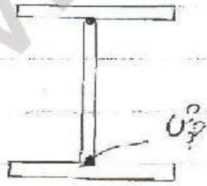
L از ۶ تا ۱۲

⊏ ۱۲ تا ۳۰

مقاطع ساخته شده یا از پروفیل ساخته می‌شوند یا پروفیل و ورق یا ورق؛







www.ttmarf.ir

در ایران بیشتر از مقاطع پروفیلی ساخته شده با ورق و بست استفاده می‌شود

از محسنات مقاطع ساخته شده این است که طراح کنترل بیشتری روی مشخصات مقطع دارد

ج ۱۵ «به نام خدا» - ۸۴،۱،۲۰ -

باربری ستون

$\overline{\text{تابع هدف}}$ باربری ستون (نظری) $= f\left[E, F_y, \left(\frac{kl}{r}\right)_{max}\right] +$ محدودیت‌های فرعی

تنش‌های کناری

شرایط پیش‌ساز ⟵

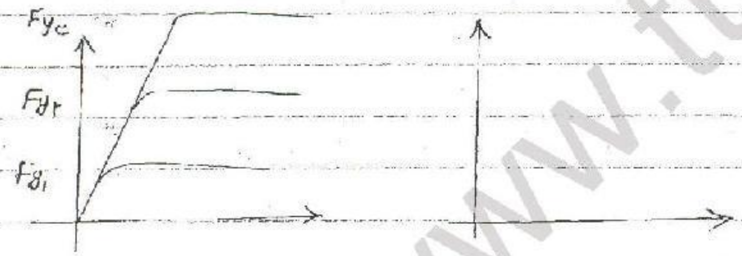
- محدودیت‌های فرعی شامل کمانش موضعی، شرایط اتصال بار و ...

در این تابع E برای فولاد تقریباً ثابت است ولی با تغییر F_y و $\frac{kl}{r}$ می‌توان باربری‌های مختلف را برای ستون فراهم کرد

- برای سازه‌های فولادی، یکی از ویژگی‌های فولاد این بود که انواع مختلف فولاد $\underline{E}$ یکسانی دارند .

در مورد فولاد E ، α ، γ و ν ثابت اند این باربری ستون فولادی فقط تابعی از F_y و $\left(\frac{kl}{r}\right)_{max}$ خواهد بود .

$$\text{باربری ستون فولادی} = f\left[F_y, \left(\frac{kl}{r}\right)_{max}\right]$$



هرچه F_y بالاتر باشد بار بیشتری را تحمل خواهد کرد

- $\left(\frac{kl}{r}\right)_{max}$ شامل ۳ پارامتر است و معرف کمانش خمشی کلی است معمولاً برای ستون‌هایی که دارای محور تقارن اند مصداق پیدا می‌کند .

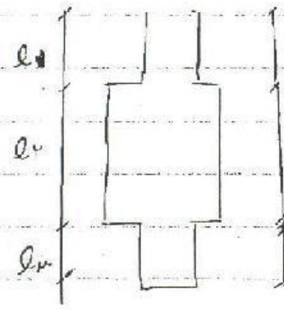
K -- ضریب طول مؤثر و معرف شرایط مرزی ستون + نوع بارگذاری محوری روی ستون .

- ℓ طول کل ستون تحت فشار

- ۲ شعاع ژیراسیون مقطع ستون

این تعاریف با این فرض است که ستون در کل طول خود دارای یک مقطع باشد

اگر مثلاً ۳ تا مقطع داشته باشیم باید باربری هر مقطع را جدا حساب کرد و min این ۳ تا می‌شود باربری کلی ؟



$$\text{باربری} = f\left(F_{y1}, \frac{k_1 l_1}{r_1}\right) \sim \text{مثلاً}\ ۵۰\,t$$

$$\text{باربری} = f\left(F_{y2}, \frac{k_2 l_2}{r_2}\right) \sim ۶۵\,t$$

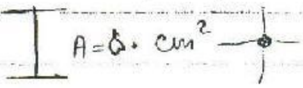
$$\text{باربری} = f\left(F_{y3}, \frac{k_3 l_3}{r_3}\right) \sim ۳۵\,t$$

- از این ۳ تا باربری این ستون حاصل می‌شود مینیمم آنها یعنی ۳۵ ؛ چون پشت سرهم قرار دارند ؟

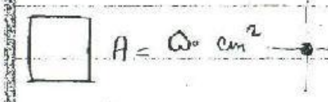
- اگر چنین حالتی داشته باشیم برای یک طرح مناسب این ۳ عدد باید به هم نزدیک باشند ؟

* ۲ معرف نحوه توزیع یک خاصیت فیزیکی در مقطع است

پارامترهای مقطع عضو $A \sim \Sigma dA_i$;
h
b
t
I_x
I_y
J
S_x
S_y
r_x
r_y

* 

یعنی A ها یکی شد

* 

یعنی روی محور عضو مصالح را
متمرکز کردیم و در این جاها
مقدار و شیوه مصالح
روی محور دو عضو یکسان است
این توزیع برای مشخص در مقطع کافی نیست

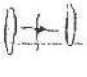
شعاع ژیراسیون این عبارت ریاضی را به عبارت فیزیکی تبدیل می کند

r — در واقع نحوه چیدمان مصالح نسبت به مرکز است ؟

یعنی مصالح A به جای این که در مرکز مقطع [illegible] شوند در فاصله r از مرکز مقطع چیده شده باشند ؟

در واقع فاصله مرکز ثقل توزیع شده مصالح به مرکز ثقل کل ؟

rx نحوه پخش را در جهت x می دهد

ry نحوه پخش را در جهت y " 

$$\begin{cases} I_x = \int y^2 dA \\ I_y = \int x^2 dA \end{cases}$$

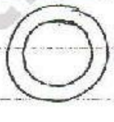
– هر چه مصالح فاصله دار باشند I بزرگتری خواهند داشت « دورتر از مرکز »

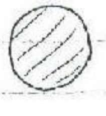
مقاطعی که تو در تو مرکز چیده شده باشند شعاع ژیراسیون زیادی ندارند

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$I_x = r_x^2 \cdot A$$

$$I_y = r_y^2 \cdot A$$



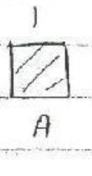


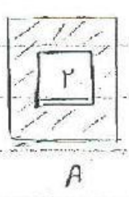
با یک واحد سطح

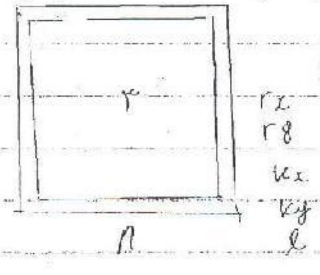
– مقطع جدار نازک بهتر است چون I بیشتری دارد

پس r بیشتری دارد پس $\frac{kl}{r}$ کوچکتر است (یعنی باربری ناشی از کمانش در یک عدد گنده تری اتفاق می افتد.

مقطعی مربع باربری فشاری خوب است که مصالح آن با فاصله از مرکز ثقل آن قرار داشته باشد

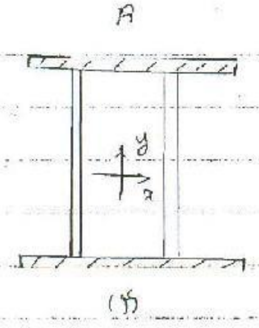






– مقطع ۳ از همه بهتر است چون r گنده تری دارد.

www.ttmar.ir



r_x
r_y
l
k_x
k_y

فی نفسه مقطع ۳ بهتر از ۴ است

اما $(\frac{kl}{r})_x$ ، $(\frac{kl}{r})_y$ هست که برای ما در طراحی ملاک است

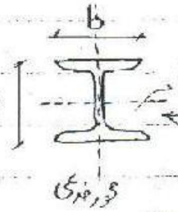
- در انتخاب شکل مقطع فقط دیدن شعاع ژیراسیون ملاک نیست البته در طراحی ؛ به عبارتی K هم به عنوان یک پارامتر جداگانه مورد بحث است

مقطع ۳ با جوش دادن قابل بهم کردن نیست البته با Extrusion قابل تهیه است

- انتخاب شکل باید بر اساس حالتی باشد که مصالح حتی الامکان دور از مرکز باشند
پس اگر مقطع را با ورق نازک فرم گرفته ترسیم ش باربری آن بیشتر خواهد بود به عبارتی کمانش جانبی را بهبود می دهیم اما در عین حال خطر کمانش موضعی شروع به کار می کند و از اینجاست که نسبت های $\frac{b}{t}$ مرز کوچکتر کردن مقطع خواهد بود

- در جدول اشکال پروفیل های ساختمانی 8

مقاطع I شکل



INP Normal نوع آلمانی ←

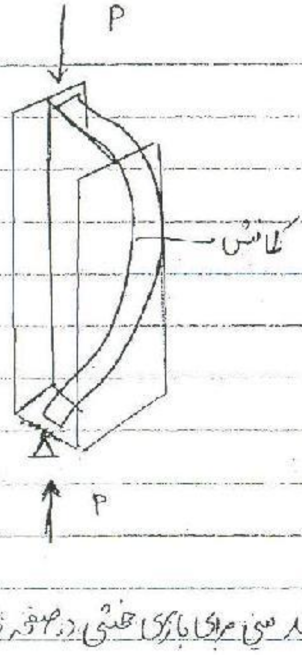
* $b \simeq h/2$ آهن ۱۶ یعنی ارتفاع آن ۱۶ cm و عرض آن حدود ۸ cm

IPE European نوع اروپائی ←

جان نازک دارند نسبت به INP

- ویژگی های این پروفیل مانند $\underline{I_x}, \underline{I_y}$ ، S_y, S_x ، r_x, r_y یکی فرعی است یکی اصلی یعنی یکی خیلی بزرگ است یکی خیلی کوچک
اصلی = primary
فرعی secondary

این نوع مقاطع برای ستون مناسب نیست چون فاصله فاحشی بین r_x ، r_y وجود دارد



با شیب ($\frac{kl}{r}$) ها در دو جهت یکسان باشند

ترها در کل صورت به عنوان مقاطع فشاری خوب عمل می‌کند

اگر شرایط برجستگی حول محور x مفصلی و حول y گیردار باشد

یعنی $K_x = 2K_y$ است و چون به $\frac{kl}{r}$ ها جهت مقاطع‌ها تا حدی نزدیک به هم

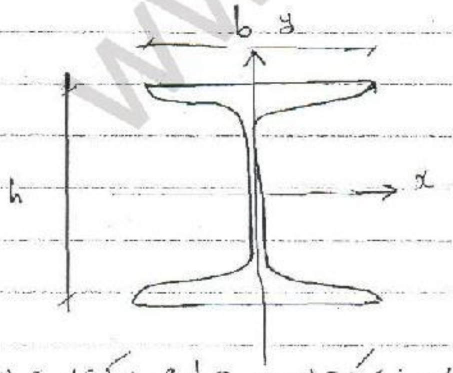
می‌رسیم؛

ولی در رفتار خمشی این مقاطع خیلی خوب هستند چون حول محور قوی خود خم می‌شوند پس برای بارهای خمشی در صفحه جان مناسب هستند ؛

- مقاطع ناودانی [UNP و UPE

این مقاطع پتانسیل پیچش را دارد علاوه بر خمش ؛ اگر نخواهیم بپیچد باید بار در مرکز برش آن وارد شود تا پیچش اتفاق نیفتد

- مقاطع H شکل ؛



$h \simeq b$

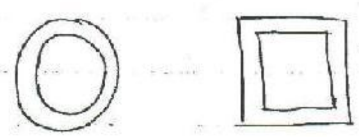
سبک IPBl
متوسط IPB
سنگین IPBv

- در مقایسه با I شکل فاصله ژیراسیون‌ها های اصلی و فرعی کمتر است حول محور y کمتر از x است اما بیشتر از I

- با توجه به نزدیک بودن خصوصیات هندسی نزدیک تر حول دو محور برای اعضای فشاری بکار برده می‌شوند ؛

برعکس برای کشش خیلی خوب نیستند چون از خاصیت قوی آن استفاده نکردیم .

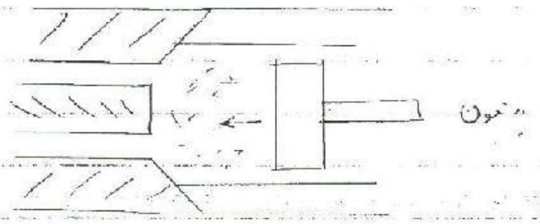
- مقاطع قوطی و لوله :



تزریق یا extrusion

مقاطع بدون درز ← با اکستروژن

یا درزدار



با روش اکستروژن همه جور مقاطعی را می توان ساخت

در مقاطع بدون درز مثلاً قوطی را با خم مثلاً ۳ خم می سازند

لبه را به هم جوش می دهند

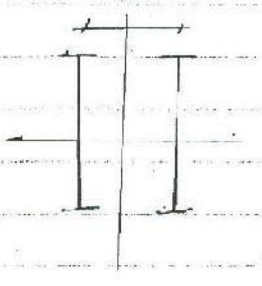
ورق را رول می کنند بعد از رول به هم جوش می دهند

- این نوع مقاطع می توانند فشاری یا خمشی باشند .

- در صنایع نفت و گاز از لوله زیاد استفاده می شود چون فشار داخلی زیاد داریم و در مقطع لوله کوچکترین تنش داخلی به وجود می آید . چون در مقطع لوله فشار داخلی به تنش های محیطی تبدیل می شود ؛ از طرفی مقاطع لوله نسبت به خوردگی آسیب پذیری کمتری دارد چون لبه گوشه ندارد . از نظر حمل و نقل مقاطع ۴ گوشه بهتر است . !!!

مقاطع نبشی و سپری و تسمه بیشتر عملکرد اتصالاتی دارند و به عنوان اجزای کمکی بکار می روند T L ▭

- مقاطع built up ساخته شده



چون محور x عوض نمی شود اگر دو تا از این ها را

پهلوی هم بگذاریم

$I_{x\,\text{کل}} = 2 I_{x\,\text{تکی}}$

$A_{\text{کل}} = 2 A_{\text{تکی}} \Rightarrow r_{x\,\text{کل}} = \sqrt{\frac{2 I_{x\,\text{تکی}}}{2 A_{\text{تکی}}}} = (r_x)_{\text{تکی}}$

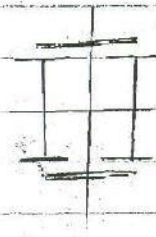
$$* \quad I_{y\,\text{کل}} = 2I_{y\,\text{تکی}} + 2A_{\text{تکی}}\left(\frac{a}{2}\right)^2$$

$$A_{\text{کل}} = 2A_{\text{تکی}}$$

$$* \quad r_{y\,\text{کل}} = \sqrt{\frac{2I_{y\,\text{تکی}} + 2A_{\text{تکی}}\left(\frac{a}{2}\right)^2}{A_{\text{کل}}}} = \sqrt{(r_y)^2_{\text{تکی}} + \left(\frac{a}{2}\right)^2}$$

_ پس با تامین فاصله می توان کاری کرد که ry به میزان دلخواه به rx نزدیک شود ؛ مقدار a در جدول اشتال برای مساوی شدن rx و ry آمده است ؛

برای این که مطمئن باشیم که محور دو I یکسان خواهد بود یعنی مقطع یکپارچه خواهیم داشت باید یک جریان برشی بین این دو مقطع وجود داشته باشد پس از یک المان واسط استفاده می کنیم که به آن بست می گویند ؛

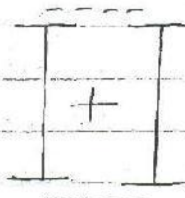


_ وظیفه بست ها :

۱ یکپارچه نمودن اجزای مقطع مرکب

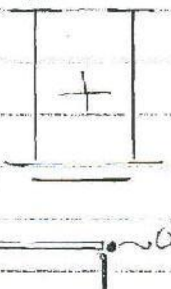
۲ تامین جریان برشی بین دو قسمت مقطع مرکب

اگر فاصله دو نیمرخ را بخواهیم زیاد کنیم باید بست قوی تر با I بیشتر بکار ببریم

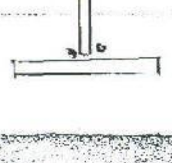


_ علامت خط چین یعنی در محاسبات وارد نمی شوند.
چون در کل طول نیستند

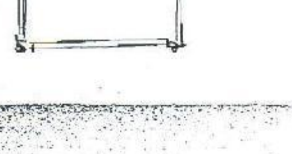
در I ، ∩ ، ۲ ← همه جای مقطع ← ورق در طول پیوسته
محاسبه می شوند . هستند



مقطع مرکب بستی



مقطع مرکب ورقی



در مقاطع با نبشی

در مقاطع با نیروی محوری بزرگ از مقطع مرکب ورقی استفاده می کنند

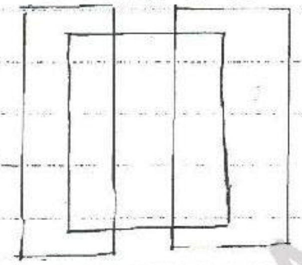
یکی دیگر از پارامترهای مهم کره دهانه مقطع است

رفتار بار محوری این است که در تمام مقطع یک بار محوری ثابتی داریم یعنی همراه خود ضعیف‌ترین مقطع را در نظر می‌گیرد

بیشترین تنش را ایجاد خواهد کرد

در سازه هایی که عملکرد موازی دارند این مطلب خیلی اهمیت ندارد.
اگر بار بخواهد به صورت سری منتقل شود مقطع بار بر ضعیف‌ترین مقطع در این سری خواهد بود
اگر بار بخواهد به صورت موازی از چند بال عبور کند قوی‌ترین مقطع مؤثر خواهد بود

مثلاً می خواهیم یک باری را از ارتفاعی به زمین برسانیم با اندازه 10 t ، ضعیف‌ترین مقطع در این راستا مؤثر خواهد بود



دو تا ناودانی + یک ورق جلو
یک ورق عقب
پس در این مقطع در وسط بحرانی
نیست در ابتدا و انتها که ورق
نداریم مقطع بحرانی است.

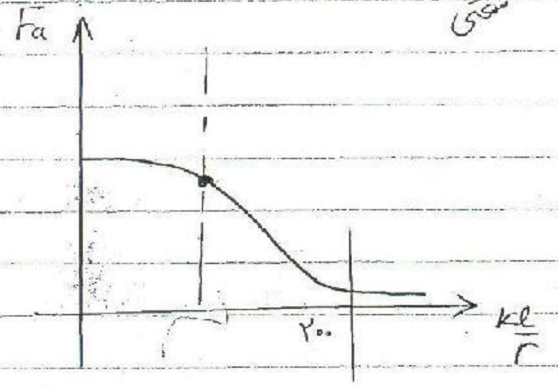
$*\quad f_a = \frac{P}{A} \leq F_a\left(F_y, E, \frac{kl}{r}\right)$

مقاومت

منحنی

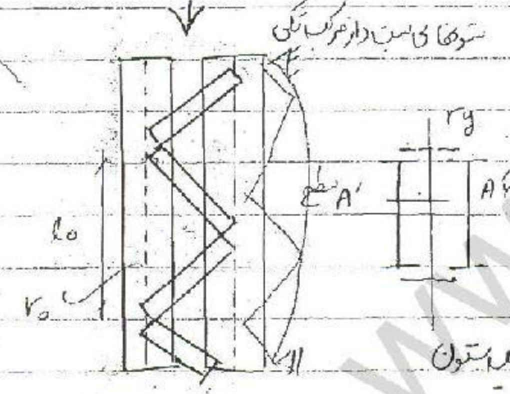
اثرات مربوط به هندسه و شرایط مرزی

- ستونهای تکی 6
که معیارهای حاکم تنها معیار کمانش کلی باشد در تسلیم 6 کمانش موضعی اتفاق نیفتد



ستونهای مرکب 8

رفتار خرپایی



اگر این ستون بخواهد فقط تحت اثر تسلیم و کمانش کلی باشد باید حرکتی که برای ستون قائل هستیم یک تغییر شکل کلی باشد یعنی این ستونها را خوب به هم وصله باشد که مثل یک ستون تکی باشد

تنها در حالتی چنین تمایلی اتفاق می افتد که در فاصله آزاد هر پنل تک l_0 نسبت به r_0 همان تک پنل باید کمتر از $\frac{kl}{r}$ کل باشد

$\frac{l_0}{(r_0)_{min}} << \frac{kl}{r}$ ستون مرکب

[illegible] هر پنل حد فاصل دو تا بست

کل $f_a = \frac{P}{2A'}$

تک پنل $f_a = \frac{P/2}{A'}$

یعنی یک حد کمانشی بین دو بست در تک پروفیل اتفاق می افتد در حالیکه f_a در دو حالت یکی است

– یکپارچگی که متشکل از چند عضو است ، علاوه بر رابطه ① باید در حد فاصل بست ها تک پروفیل ها زودتر از پروفیل مرکب کمانش نکنند .

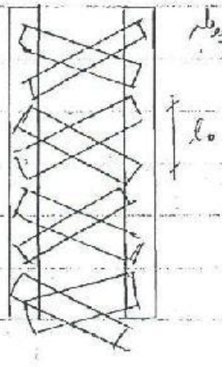
– مهمترین نقشی که یک ستون مرکب در مقایسه با یک ستون مجرد غیرمرکب دارد احتمال کمانش اجزای آن است بیش از کل ستون .

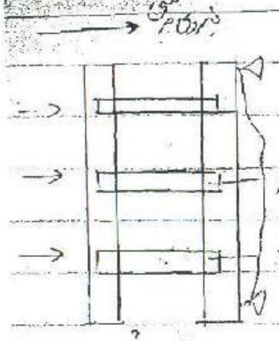
رابطه $\frac{l_0}{r_0}$ رابطه مورد نظر ما است اما نه یک رابطه ریاضی ، فیزیک بست ها هم برای ما اهمیت دارد اگر به جای بست تخت باشد هیچ قیدی نداریم و سختی محو هم داشت . می باید قیدهای با سختی کافی این فاصله را تولید کنند به عبارتی بست ها هم باید دارای یک مقاومت و سختی کافی باشند

– طراحی بست ها

– غیر پیوسته بودن ستونها   چون در فاصله ای که بست نداریم سوراخ داریم

* اگر بست ها ضعیف باشند می توان دوبله بکار برد .


ستون مشبک دارای بست دوبله
l_0
در حرکت خارج صفحه عکس العمل
کمتری از دو قید خواهیم داشت



ستون بست‌دار کلی به صورت یک جزء عمل می‌کند اما این ستون مثل یک سیستم قاب شکل عمل می‌کند

* ستونهای مرکب با بستهای موازی

در این حالت تغییر شکل برشی وجود دارد اما در تکی ما این برش‌ها نداریم

در حالت ستون تکی تحت اثر بار جانبی نیروهای داخلی محوری در اعضا داریم ؛

اما در این ستون تحت بار جانبی در اعضا نیروی داخلی به صورت خمشی و برشی عمل می‌کند

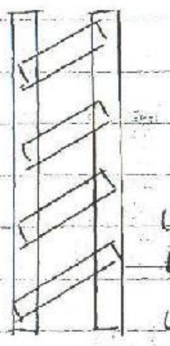
سختی محوری اعضا خیلی بیشتر از سختی خمشی است پس این ستون خیلی نرم خواهد بود .

رفتار برشی «نرم‌تر»

در جزء با حرکت جانبی ناشی از کوتاه شدن یک سمت و بلند شدن سمت دیگر است

خرپایی

— رفتار برشی سختی کمتری دارد نسبت به رفتار جزء‌ای ؛



این ستون خرپایی نیست ؛ بلکه مثل ستون قبلی است چون بستها در محل تقاطع با ستون به هم متصل نیستند

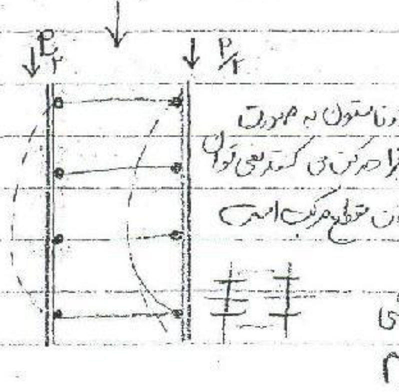
* در بست موازی باید کمانش تک جزء در فاصله بین بست‌ها زودتر از کمانش کل ستون نباشد

به عبارتی حد فاصل دو قید تک جزء محل جای تمرکز کل ستون مرکب باشد

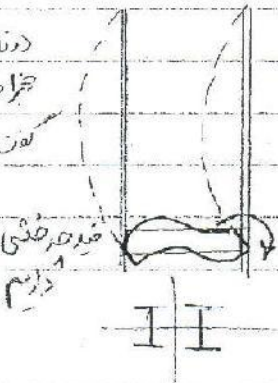
$$\underset{\text{تک جزء منفرد}}{\frac{l_0}{(r_0)_{min}}} << \frac{kl}{r} \quad \text{ستون مرکب}$$

* طراحی بست‌ها

اثرات غیر پیوسته بودن

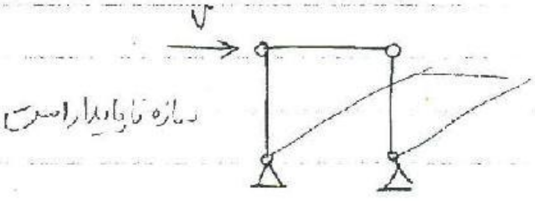


دو تا ستون به صورت جزء جزء کار می‌کنند یعنی توان ستون منطبق مرکب است

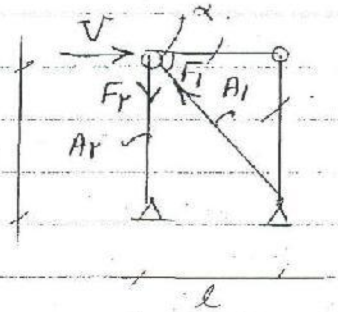


برای حفظ زاویه در محل اتصال باید تغییر شکلی داشته باشیم

قاب خمشی



ـ برای این که برای سازه مقاومت برشی فراهم کنیم یک راه این است :



۱ـ تعبیه عضو مورب

می خواهیم ببینیم چقدر مقاومت ایجاد شده ؟

$$F_1 = \frac{V}{\cos\alpha} \quad , \quad F_2 = \frac{V \cdot \tan\alpha}{1}$$

یک عضو فشاری $V = F_1 \cos\alpha$ عضو کششی $V = F_2 \cot\alpha$

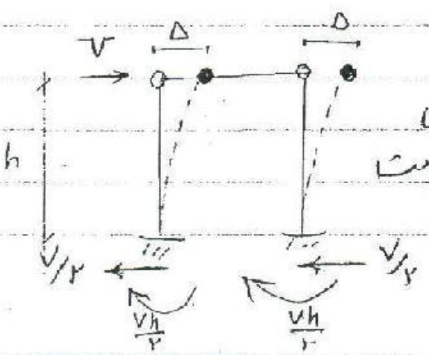
$= F_a A_1 \cos\alpha$ $= F_t A_2 \cot\alpha$

ـ V_{min} که از این روابط بدست می آید می شود مقاومت جانبی برای این سازه :

$$* \quad V = \mathrm{Min}\,(F_a \cdot A_1 \cos\alpha \ , \ F_t A_2 \sin\alpha)$$

ـ یعنی این قدر V می توان روی آن اعمال کرد ؟

ـ برای تعیین سختی باید تغییر مکان عضو را بدست آوریم معکوس کنیم



۲ـ مقید کردن اتصالات : اگر بخواهیم مثلا بشود Δ حالتش
است با اصولاً سختی محوری
اعضا بیشتر از سختی برشی و خمشی است

* $\frac{V}{۲}_{max} \leq F_v \cdot A_v$

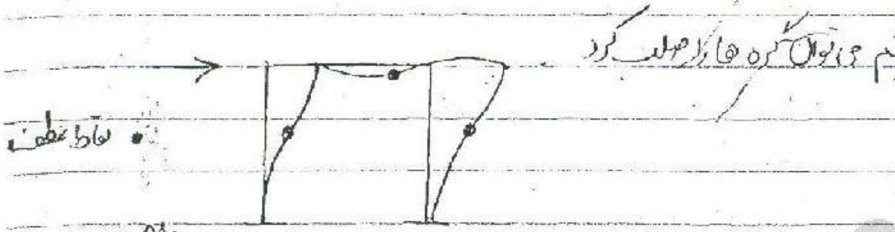
جدول خمشی

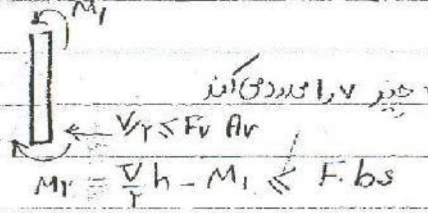
* لنگر خمشی $\frac{Vh}{۲} \leq F_b \cdot S = F_b \cdot \frac{I}{c}$

* $V \leq Min\left(۲F_v A_v, ۲\frac{F_b S}{h}\right)$

پس با صلب کردن گره این مقدار
مقاومت اضافی ایجاد شده است

برای این که مقاومت بیشتر فراهم کنیم می توان گره ها را صلب کرد





$V_۲ \leq F_v A_v$

$M_۲ = \frac{V}{۲}h - M_1 \leq F_b s$

$M_1 \leq F_b . S$

۳ چیز V را محدود می کند

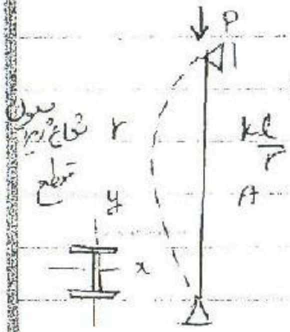
- ما هر گره ای را در سازه صلب کنیم مقاومت سازه را
در مقابل آن حرکت بیشتر کردیم.
تشکیل نقاط عطف در داخل ستون ها دیگر برای ایجاد مقاومت مهم است
هرچه نقاط عطف بیشتر شود یعنی مقدار انرژی تلف شده بیشتر خواهد شد.

- ستونهای دوبله با بست اگر قیدها را نبندیم یک عضو ضعیف است که می تواند به راحتی کمانش کند.

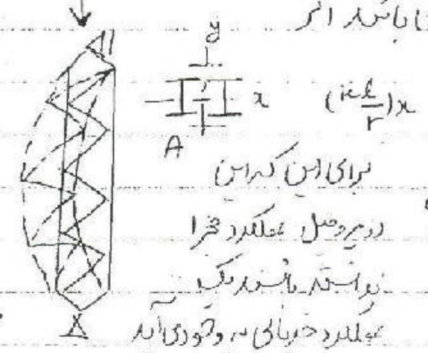
در ستونهای با بست مانند یک عضو مرکب معنی را بالا می بریم در عضوهای با بست موازی مثل یک سیستم قابی مفصلی را
بالا می بریم

ج ۱۷ — به نام خدا — ۸۴،۲،۳

اگر یک ستون دو سر مفصل داشته باشیم برای تقویت مقطع می‌توان از مقاطع buit up استفاده نمود که از چند پروفیل یا چند ورق ساخته شده‌اند



اگر این ستون هم از تحلیل آن معیار کمانش کلی باشد اگر از دوتا پروفیل ساخته شده باشد

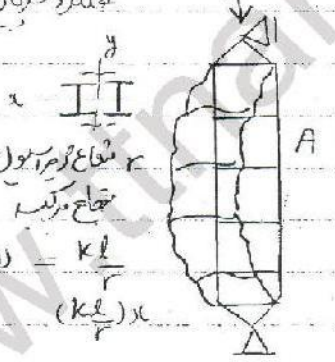


برای این کراس
دو پروفیل عملکرد خرپا
نتوانسته باشند یک
عملکرد خرپایی به وجود آید

لاغری $= \frac{kl}{r}$

ستون بست دار ضربدری

— رفتار اعضای ستون مرکب را با خرپا تشکیل حد کمانشی ای نمایند که در آن عضو مرکب رفتار خمشی خواهد داشت و اعضای عضو مرکب « در پروفیل و بستها رفتار محوری کششی و فشاری



r شعاع ژیراسیون مقطع مرکب

لاغری $= \frac{kl}{r}$

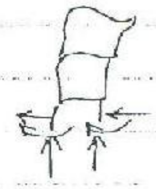
$(\frac{kl}{r})x$

ستون بست دار موازی

اتصال بست‌ها به پروفیل باید طوری باشد که صلبیت را برای چرخش آنها فراهم کند
اگر اتصالات انعطافی باشند هر پروفیل تکی کار می‌کند

تفاوت این مدل با مدل قبلی در این است که هر دو خانه روی هم می‌لغزند و حرکت خارج محور ایجاد می‌شود.

— رفتار اعضای ستون مرکب شبیه یک قاب خمشی است که در آن عضو مرکب رفتار برشی داشته و اعضای این عضو « دو پروفیل و بست‌ها » رفتار خمشی - برشی - محوری خواهند داشت.



در طراحی این اعضا ما باید ببینیم چه تأثیراتی در اثر مرکب شدن ایجاد می‌شود؛ چون مقطع مرکب یکسری فضاهای خالی دارد لزوم نیست

اولین نکته‌ای که در رفتار اعضای مرکب تأثیرگذار است این است که در کمانش موضعی نسبت به مقطع توجه دارد

چون یک مقطع کاملاً توپر یا یک مقطعی که یکسری المانهایی دارد که به هم در بعضی از مقاطع در طول سازه به هم متصل شده‌اند.

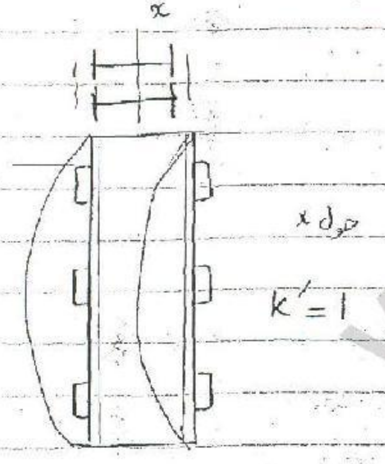
قاعدتاً عدم اتصال مستقیم آنها باعث می‌شود که اجزای ستون مرکب نرمتر از ستون ساده تلقی می‌شوند و رفتارهایی

نرمتر از حد ایده‌آل است پس برای محاسبات از ضریب k' در $\frac{kl}{r}$ استفاده می‌شود

k' = افزایش ضریب طول مؤثر به دلیل ناپیوستگی بین اجزای مقطع

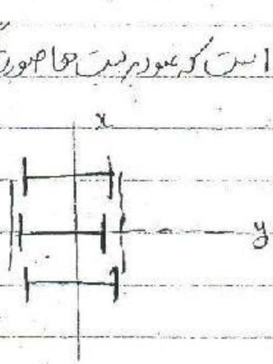
* $($لاغری ستون$)_y = k'(k\frac{l}{r})_y$

* $($لاغری ستون$)_x = (\frac{kl}{r})_x$



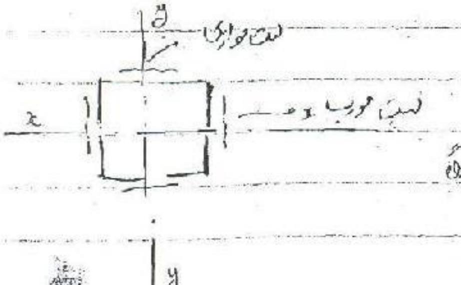
* حول محور x بین ستونها هیچ فرقی نیست
چون شرایط اتصال اعضای مقطع به هم
هرکدام یک پیوستگی نسبی دارند
در حرکت حول محور y روی هم لیز می‌خورند

در ستونهای مرکب ضعف کمانشی وقتی است که عبور بستها صورت گیرد



شعاع ژیراسیون حول محور x تک نیمرخ با کل برابر است.

ستون بست‌دار دو ناودانی



حول محور y بست‌های موازی باعث می‌شوند که اجزا مقطع به هم کاملاً پیوسته نباشند

$k'(\frac{kl}{r})_x$

$k''(\frac{kl}{r})_y$

k' افزایش طول مؤثر به دلیل ناپیوستگی در اجزای مقطع

k' اثر افزایش طول مؤثر به دلیل ناپیوستگی در اجزای مقطع

$K'' > K'$ چون حول محوری که بست موازی دارد ضعیفتر است نسبت به محوری که بست عمود دارد .

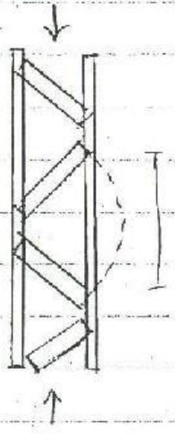
* الزامات ستونهای مرکب

۱- معیار تسلیم

۲- معیار کمانش کلی || $K\frac{l}{r}$ ⟵ $K'.K\frac{l}{r}$ || برای کمانش حول محور عمود بر بست ها

۳- معیار کمانش موضعی اجزای مقطع

۴- معیار کمانش تک پروفیل ها حد فاصل بست ها



- کمانش محلی در یکی از بخش های مقطع است .

با تحلیل نداریم

که وقتی ستون تحت اثر نیرو قرار می گیرد تک پروفیل حد فاصل بست ها کمانش محلی کند

چون طول بزرگ است پس تک پروفیل شعاع ژیراسیون بزرگ دارد

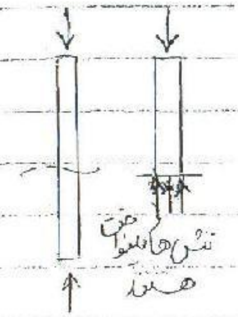
$\underset{\text{تک پروفیل}}{\frac{kl_0}{r_{min}}} < K'\underset{\text{مرکب}}{\left(\frac{kl}{r}\right)}$

۵- تعیین میزان تقاضای مقاومت برای اجزای مقطع مرکب به طوریکه شرایط مقطع مرکب را فراهم نماید :

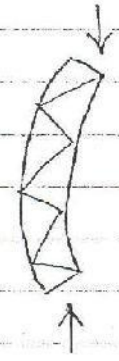
روی مقطع بست چقدر بار می خواهیم داشته باشیم آیا تسمه کافی است یا ورق باشد ؟

۶- شرایط هندسی در محل های اعمال بار ... مثلاً در محل اعمال بار یک سری ورق دور تا دور آن بچسبیم تکیه گاه ها باید قرار داد تا بار به طور مناسب بین اجزا منتقل شود .

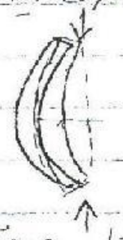
* ستون‌های مرکب با بست مورب 8


تنش‌ها یکنواخت هستند

اگر ستون کاملاً مستقیم باشد

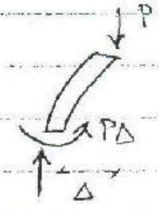


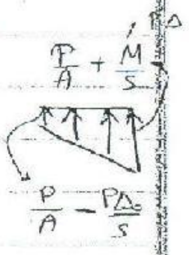
اگر ستون کمی انحراف اولیه داشته باشد



شرایط اولیه ستون قبل از اعمال بار

یک لنگری در مقطع به وجود می‌آید پس ستون یک مقدار دیگر تغییر شکل می‌دهد




PΔ
$\frac{P}{A} + \frac{M}{S}$
$\frac{P}{A} - \frac{P\Delta_0}{S}$

این Δ باید ثبت شده باشد در مقررات ساختن باید یک حدی برای آن تعیین کرد تا در ستون‌ها تغییر قابل دسترس باشد.

$* \ \Delta_0 \leq \frac{l}{500}$

رواداری مجاز ساخت

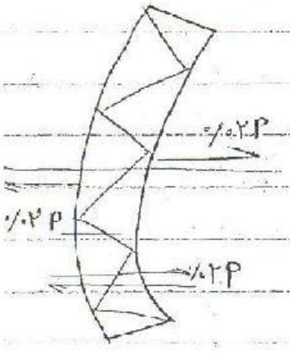
از طرفی یک مقدار برش هم ایجاد می‌شود که در رواداری‌ها max است

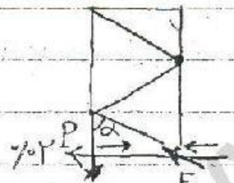
$0/02P \cong$ برش نظیر رواداری مجاز ستون

نیروی محوری ستون

مثلاً اگر یک ستون بار 100 تن دارد تلرانس ساخت آن ایجاد یک برش 2 تن خواهد کرد

در ستون با بست مورب یعنی 0/02 نیروی محوری باید برش داشته باشیم

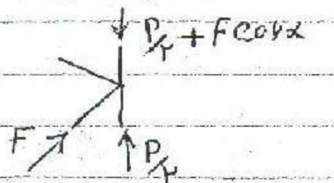

0/02P
0/02P
0/02P



برش خارجی باید با برش داخلی برابر کند

در اعضای خرپایی چون سختی محوری بیشتر می‌شود پس اعضای قائم برش نمی‌گیرند

$* \ F\sin\alpha = 0/02P$


$\frac{P}{2} + F\cos\alpha$
F
$\frac{P}{2}$

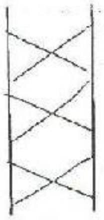
$$\boxed{F = \frac{0/02P}{\sin\alpha}}$$

نیروی طولی بست‌ها در هر مقطع از ستون

یک بست جلو داریم یک بست پشت

نیروی هریک از بست ها $= \frac{\text{۰/۰۲}\,P}{n \sin\alpha}$

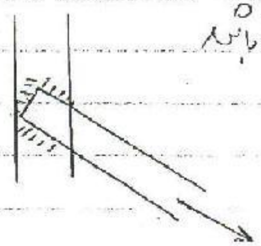
n تعداد بست ها در هر مقطع معمول



این بست ها به صورت کششی یا فشاری
بدترین حالت این است که فشاری طرح می
شود.

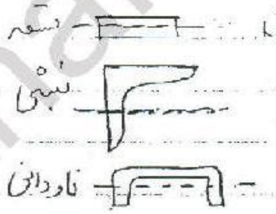
- هریک از بست ها به صورت کششی یا فشاری باید نیروی ایجاد شده را تحمل نمایند !
اگر برای فشار طراحی شوند جواب کشش را نیز خواهند داد

- جوش اتصال بست به تک جزءها باید توانایی انتقال نیروی فوق را داشته باشد



- شکل هندسی بست

$r_{min} = \frac{t}{\sqrt{۱۲}}$



اگر طول بست b باشد

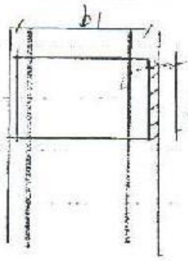
$\frac{b}{r_{min}} =$ لاغری بست $\longrightarrow F_a$ تنش مجاز بست

$$\boxed{\text{سطح مقطع بست } A \geq \frac{\frac{\text{۰/۰۲}\,P}{n \sin\alpha}}{F_a}}$$

- کنترل لاغری تک جزءها ص ۶۲

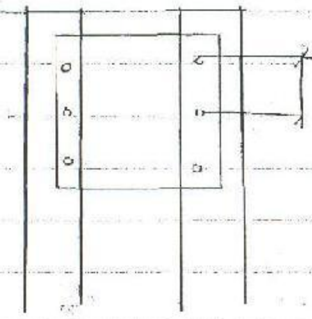
$\frac{l_0}{r_{min}} \ll K'(\frac{kl}{r})$

لاغری تک جزء — لاغری کل ستون ها



$t \geq \frac{۱}{۴۰} b$

$l_1 > b_1$



$s \nless ۶ d_b$

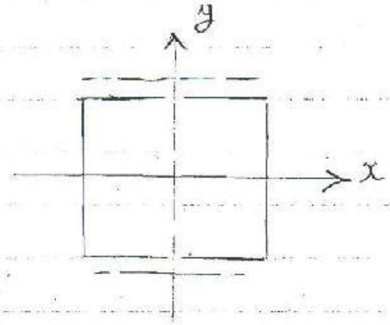
بست ها باید خیلی خوابیده باشند

$$\frac{l_0}{r_{min}} \le \frac{۳}{۴}\left[k'\left(\frac{kl}{r}\right)\right]$$

تک پروفیل

تعیین کننده ستون

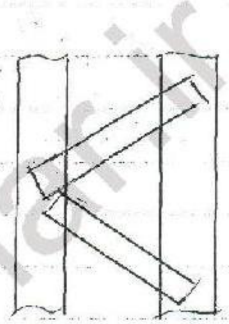
- ستونهای مرکب با بست مایل ۵



r_x مقطع تکی $\cong r_x$ مقطع مرکب

مقطع ستون‌ها مثل تیر تکی حساب می‌گردد

لاغری حول محور x = $(\frac{kl}{r})_x$



حول محور y :

$$I_{y\,\text{مقطع مرکب}} = 2I_{y\,\text{تکی}} + 2A_{\text{تکی}}\left(\frac{a_0^2}{4}\right)$$

$$r_{y\,\text{مقطع مرکب}} = \sqrt{\frac{2I_{y\,\text{تکی}} + 2A_{\text{تکی}}\left(\frac{a_0^2}{4}\right)}{2A}}$$

$$= \sqrt{r_{y\,\text{تکی}}^2 + \frac{a_0^2}{4}}$$

رفتار مقطع حول y غیر پیوسته می‌باشد

ky ضریب طول مؤثر باید افزایش یابد

لاغری حول محور y $= \frac{k'kl}{r}$

k' اثر ناپیوستگی مقطع در طول

- در مقررات ملی مبحث ۱۰ ویرایش قبلی :

$$* \quad K' = \sqrt{1 + \frac{300}{(\frac{kl}{r})^2}} \qquad \frac{kl}{r} > 40$$