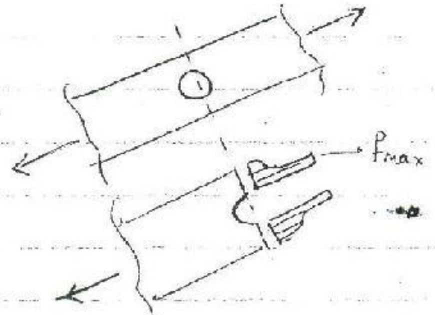
وقتی ما توزیع تنش یکنواخت داریم طراحی ما باید یک ضریب اطمینان (F.S) فاصله داشته باشد

در حالتی که یک ناپیوستگی در مقطع عضو داشته باشیم باعث می‌شود تا توزیع تنش یکنواخت نباشد و ماکزیمم تنش بیشتری در مقطع عضو داریم و حتماً فاصله ناپیوستگی می‌تواند در مقطع زیاد باشد

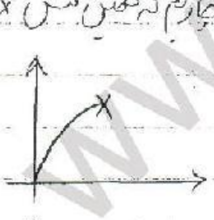


یکی از فلسفه‌های طراحی این است که در اینجا

$$f_{max} \leqslant \frac{Fy}{F.S}$$

- یعنی باید تمام سازه را محدوده Fy نگه داریم که حتماً محافظه‌کارانه‌تر است و در نهایت یک سازه خیلی بزرگ خواهیم داشت

- برای سازه‌هایی که این رفتار را ندارند مثل Masonary ما ناچاریم که همین تنش max را در محدوده [illegible] نگه داریم چون هیچ ضریب اطمینانی وجود ندارد !

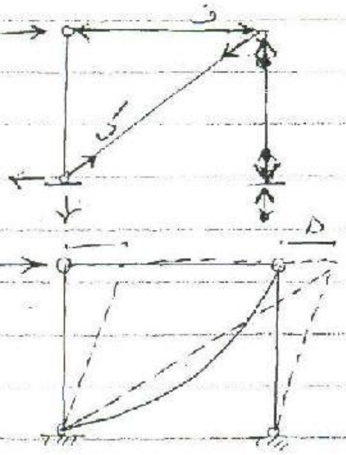


* مزیت بارز قابلیت فولاد این است که ما می‌توانیم ازآن تنش‌های متمرکز چشم‌پوشی کنیم ؟

* معیار سختی اعضای کششی ؟

این معیار مشخص می‌کند که عضو در آستانه بار مرزی قرار دارد

اعضای کششی اگر شل در نظر باشند در یک بازه تغییر مکانی سازه کاملاً بدون دفاع است ؟



در شکل مقابل در حالت
عضو کششی به این صورت است
تا زمانی که این عضو تغییر شکل
خود را نگیرد و در راستای خود قرار
نگیرد سازه هیچ سختی جانبی نخواهد داشت

- میزان نیروی ضربه به
۱- شلی عضو
۲- محتوای فرکانسی بار F(t)
بستگی دارد ؟

یعنی مقدار ضربه‌ای شود که تابع دو متغیره
احتمالاتی

— در محدوده تغییر مکانی Δ سازه دارای سختی جانبی نخواهد بود
اگر بارگذاری استاتیک باشد بار آرام آرام وارد می‌شود اما اگر دینامیکی F(t)
باشد چون سختی ندارد نیروی کششی به سختی صفر می‌شود تغییر مکان خیلی زیاد تا
یعنی در محدوده Δ هر باری بگیرد سختی آن از صفر ناگهان به ... می‌رسد در نتیجه یک
ضربه ناشی از تغییر ناگهانی در سازه ایجاد می‌شود و نیروی خیلی زیادی ایجاد شود
که اجزای سازه برای این نیروهای خیلی زیاد ساخته شده باشد
مقدار ضربه یک پارامتر مجهول احتمالی است

- یکی از راه کاهش این خطا این است که source خطا را کنترل کنیم هر چه قید بیشتری روی سازه بگذاریم

سازه رفتار کنترل شده‌تری خواهد داشت ، ولی کنترل می‌شود ؟

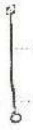
- سفت نمودن اعضای کششی ؟

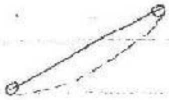
۱- دقت های اجرائی Tolerance سازه هر چه بیشتر باشد یعنی یک خطاهایی در آن شده باشد
چون ساخته و نصب شده است

خطا ها را می شود کم کرد اما میزان خطا را نمی توان صفر کرد

۲- به وجهت قرارگیری عضو در سازه 8 اگر عضو کششی قائم یا مورب یا افقی باشد میزان تغییر شکل اولیه متفاوت است

بیشترین تغییر شکل


شکلی کم دارد


پس یک عامل ایجاد تغییر شکل ناشی از وزن سازه است

در کدهای قدیمی طراحی فقط تغییر شکل را ناشی از وزن می دانستند
مثلاً ارتعاش قائم می گفتند که وزن باعث تغییر شکل می شود
ولی بعدها اثرات دیگری را هم مورد تحلیل ارتعاشات ناشی از باد

۳- ارتعاشات ناشی از باد 8

این ارتعاشات می تواند عضو را از حالت محوری بودن خارج کند باد ، صوت ، حرکت زمین

* برای جلوگیری از این عوامل باید یک سختی تعریف کنیم یعنی برای تأمین شرایط پذیرش بارکششی بدون تأخیر باید سختی جانبی عمود بر محور عضو برای عضو کششی تأمین گردد

— دو عامل در سختی مؤثرند 8 ممان اینرسی که معرف توزیع مواد در مرکز ثقل می باشد هر چه اینرسی بالاتر باشد سختی جانبی بیشتری را می توان فراهم کرد

— و دیگری طول اعضاست. البته شرط موضعی هم هست که $K=1$ می‌گیریم

— پارامتر $\frac{L}{r}$ معرف لاغری یا عدم لاغری عضو است که با افزایش لاغری پتانسیل تأخیر باربری بیشتر خواهد شد.

برای این که به منحنی قابل قبولی برای سازه برسیم باید

$\frac{L}{r} <$ یک عدد کمی

$$\begin{cases} \frac{L}{r} < 240 & \text{اعضای اصلی کششی} \\ \frac{L}{r} < 300 & \text{فرعی کششی} \end{cases}$$

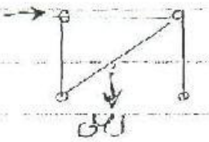
یک سازه معمولاً سه r دارد که البته ۲ تا اصلی است max و min. به عبارتی r، I تا سوی اینرسی با تغییر جهت تغییر می‌کند. آنچه که از نظر ارتفاعی برای ما مهم است r_{min} است یعنی: $\frac{L}{r_{min}}$

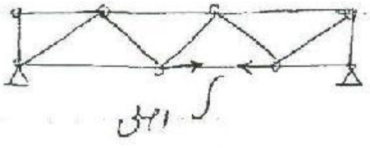
در این صورت در تمام جهت‌ها این محدودیت را رعایت کردیم.

معمولاً سازه‌های متقارن حول دو محور دو تا r اصلی دارند.

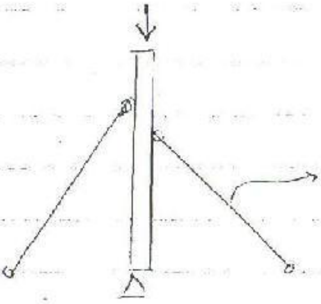
نبشی‌ها ۳ تا r دارند.

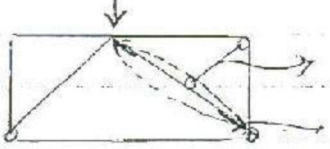
— عضو اصلی: عضوی است که در باربری سازه به طور مستقیم مشارکت دارد. اگر آن را برداریم باربری سازه به هم می‌خورد و باعث عدم باربری سازه به طور شدیدی می‌گردد.





- عضو صفری 8 مستقیماً در باربری شرکت ندارد اما وجود آن کمک می کند تا باربری سایر اعضای سازه تسهیل شود
اگر برداریم باربری سایر اعضا سخت می شود


تحت این بار در عضو صفری
نیرویی وجود ندارد فقط برای
این است که باربری عضو تأمین
شود


صفری
این عضو تمایل
به کمانش دارد

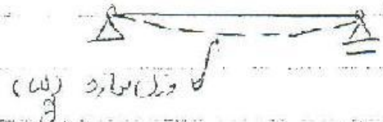
- عضو اصلی در تحمل بار شرکت می کند و عضو صفری در تأمین سختی شرکت می کند

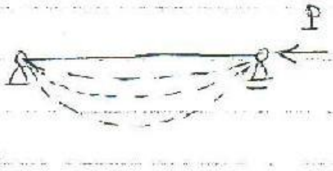
اگر یک عضو به آن اضافه کنیم سخت تر کمانش می کند

هر گاه کمانش به تغییر شکل اولیه بستگی دارد هر طرف که تغییر شکل اولیه باشد کمانش در آن طرف راحت تر است

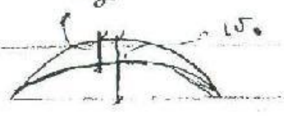
یک عضو تمایل دارد همیشه به سمت پایین کمانش کند

- یک عضو در چه صورت به سمت بالا کمانش می کند ؟





اگر یک تغییر شکل بیشتر از وزن داشته باشیم مثلاً W داشته باشیم از وزن مهمتر باشد



در این حالت اگر یک بار افقی به سازه اعمال کنیم

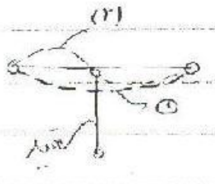
حرکت انتهای به سمت بالا خواهد بود

– پس باید برای اعضای کششی هم شرایطی بر نسبت لاغری قرار دهیم که بار بحرانی معکوس را تأمین می‌کند اگر این شرط را لازم باید تغییر شکل بدهیم

آن کاملاً محوری شود حتی به بار بحرانی نرسیده :

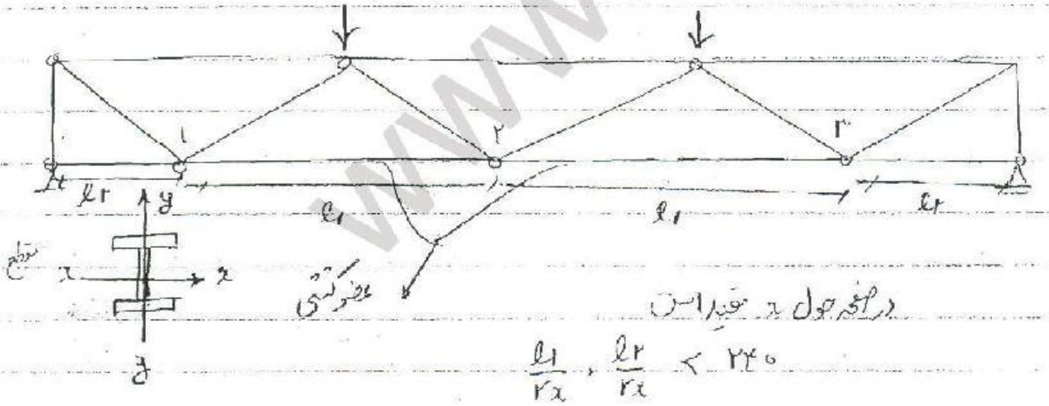
– اگر $240 < \frac{L}{r_{min}}$ شد چه کنیم ؟

یک راه این است که r را زیاد کنیم و مقطع بزرگتری بکار ببریم



راه دوم این است که L را کوچک کنیم یعنی یک قید قرار دهیم

چون باعث می‌شود طول قسمت حذف عضو کوتاه‌تر شود :



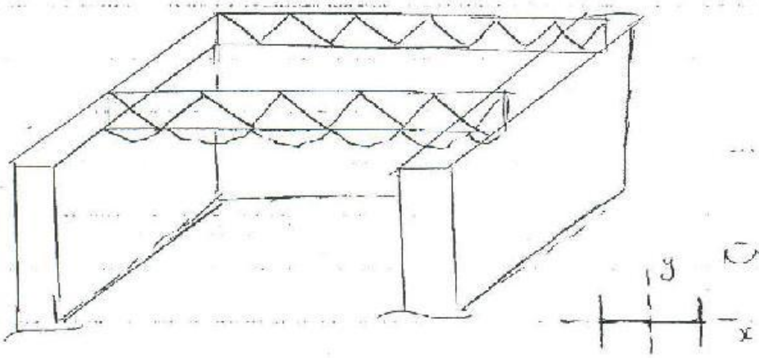
در صفحه حول x مقید است

$$\frac{l_1}{r_x} , \frac{l_2}{r_x} < 240$$

یعنی در نقطه های ۱، ۲، ۳ مقید شده است ، طول آزاد کل در صفحه به l_1 ، l_2 کاهش یافته است یعنی این قیدها سختی سازه را در طول ها تأمین می‌کنند

در صفحه y : $\frac{2l_1+2l_2}{r_y}$

www.ttmar.ir

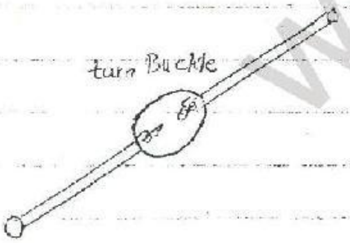


به عبارتی طول ناحیه مهاری حول
محور y کل طول است چون در اثر باد...
کل طول تغییر شکل می دهد
که مقدار آن خیلی بزرگتر از ۲۴۰ است
یا باید ry را بزرگتر کنیم مثلاً
مقطع عضو را عوض کنیم
اما اگر بخواهیم ry را بزرگتر کنیم باید تکیه گاه جانبی بگذاریم هر جایی که لازم است مهار جانبی می گذاریم

اگر مقطع عضو را بزرگتر کنیم در واقع مهار تسلیم را پایین آورده‌ایم و طرح معمولاً غیر اقتصادی می شود
سطح مقطع بزرگ باشد می شود تنش کاهش یابد و اصلاً باید تنش مجاز بیشتر شود معمولاً از مقطع خوب استفاده نمی شود

- یکی از روش های کاهش طول استفاده از المانهای دوبل است ؟

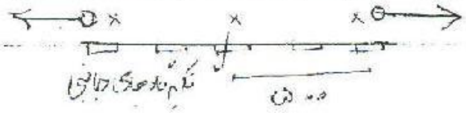
اگر بتوان در عضو با نیروی کششی نیروی فشاری عضو را از بین برد
در این صورت از شرط ۲۴۰ > $\frac{L}{r}$ یا ۳۰۰ > $\frac{L}{r}$ معاف می باشیم

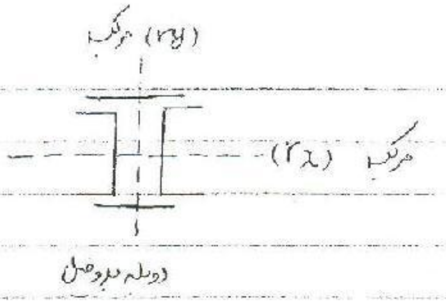


- چون به صورت مصنوعی سختی کم را جبران کردیم ؟

اگر بخواهیم مقطع بزرگتر بکار ببریم باید اتصالات را قوی تر کنیم که باعث می شود
کل سازه بزرگ شود .

* اعضای built up یا ساخته شده ع





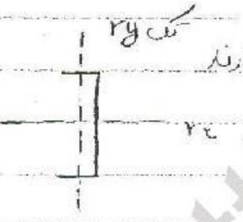
برای کنترل لاغری یک حالت این است که عضو به صورت مرکب کار کند ؟

$$\frac{۱۰۰۰}{r_x \text{ مرکب}} < ۲۴۰$$

۵۰ تکیه‌گاه جانبی دارد

$$\frac{۵۰۰}{r_y \text{ مرکب}} < ۲۴۰$$

چون در فاصله ۲۵۰ cm عضوها به صورت تکی قرار دارند

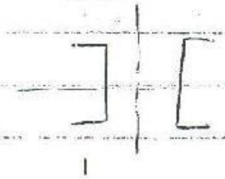


$$\frac{۲۵۰}{r_y \text{ تکی}} < ۲۴۰$$

$$\frac{۱۰۰۰}{r_x \text{ تکی}} < ۲۴۰$$

به صورت تکی فقط صفحات بالا و پایین
هستند که فاصله می‌گیرند که چون طول
محور ضعیف خم می‌شود صفحات نداریم پس
طول ۱۰۰۰ موثر است در حالی که محور ضعیف بست‌ها موثر می‌شوند چون صفحات بست‌ها مانع حرکت می‌شود

*



r_x مرکب

$A_t = 2A$ تکی

$I_x = 2I_x$ تکی

* r_x تکی $= r_x$ مرکب

حول محور y این طور نیست

r_x تکی

ج ۱۰ به نام خدا ۱۴/۱۲/۸۴

یک عضو کششی انتظار می رود یک رفتار معقول را در بارگذاری خود نشان دهد در ۹۰٪ اعضا نیاز داریم که معیار تسلیم محدود شود و در ۵٪ اعضا معیار ترد شکنندگی رفتار شکل نمی شود یا

اصولاً در هر مسئله طراحی اگر تعداد عوامل تأثیرگذار بیش از یک معیار است باید آنالیز حساسیت بکنیم ببینیم کدام معیار اهمیت بیشتر و کدام یک اهمیت کمتر روی طرح می گذارد و عواملی که اهمیت کمتر را دارند باید به اندازه راحتی به آن معیارها محدود نکنیم ؟

عضو کششی صرفاً تحت اثر نیروی محوری و کشش یکنواخت قرار دارد و پارامترهای مقطع خطی مؤثر نیست

- اعضای کششی ؟

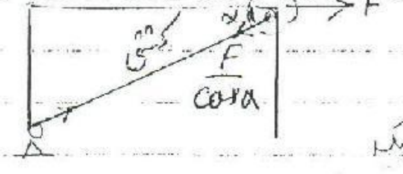
- معیار تسلیم

- معیار گسیختگی

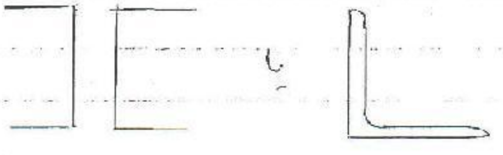
- معیار سختی ۳۰۰ یا ۲۴۰ > $\frac{L}{r}$

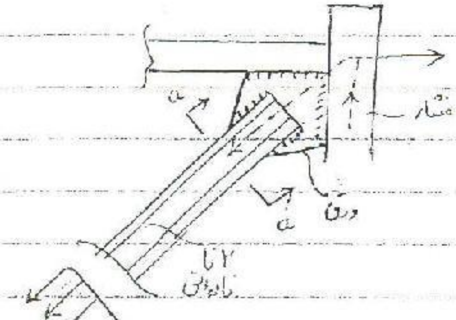
- سطح مؤثر در برکششی با نحوه اتصال در عضو کششی ؟

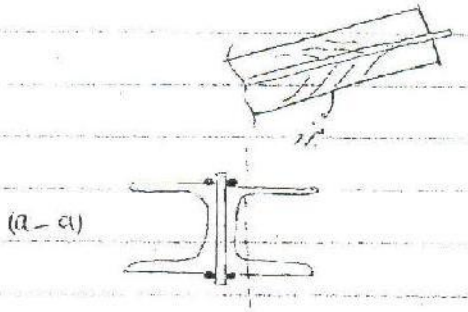
در اثر شرایط اتصال هم به طور یکنواخت نیست



فرض کنیم یک عضو کششی مطابق شکل داریم
این صرفاً یک مدل ریاضی است
این عضو که خمش دارد و شرایط اتصال نیرو به شکل دیگری
قرار داد ریاضی است







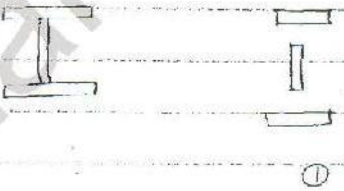
$$\rightarrow f_t = \frac{T}{2A}$$

با مقطع a-a متوجه می‌شویم در بال ناودانی تنش‌ها زیاد است

یعنی بال موثر نیست

در محل اتصال کشش بخشی از بال ناودانی به کار می‌افتد

در اعضای کششی اگر بشود بایستی همه در یک مقطع باشند



فرض کنید دو تا مقطع همگون داریم اگر این دو مقطع را تحت کشش قرار دهیم

چه تفاوتی با هم دارند؟

در حالت ① بین اجزاء عدم تعاون وجود ندارد یعنی تنش‌ها یکسان است

چون تغییر شکل‌ها یکسان است و طول یکسان دارند پس کرنش یکسان دارند

در نتیجه تنش‌ها یکسان اند در نتیجه بین اعضا تعاون به وجود می‌آید

اگر اعضا را به هم وصل نکنیم سختی برای هر عضو باید جداگانه حساب

شود در حالی که اگر هر کدام را جدا بگیریم به عبارتی اتصال

عناصر به یکدیگر برای تأمین سختی عضو است

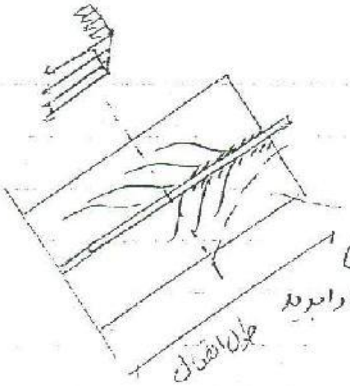
اگر بتوانیم در محل اتصال دو جزء اجزای مقطع

را با هم یکی کنیم کل مقطع موثر است

یعنی اگر اتصال در محل اول بارگیری اندر ... اجزاء

بارگیری را در هر تحمل می‌کنند

اگر اتصال جوش در ناودانی اول (در طول کوتاهی) انجام شود فرصت کافی برای ورود بار به بال نخواهد داشت



هرچه طول اتصال بیشتر شود مقطع بیشتر در
تنش مؤثر است و دنباله‌ها بیشتر بکار می‌افتند

طول اتصال هرچه کوچکتر باشد؛
- در کل مقطع، مقطع مؤثری می‌شود کمترین مساحتی که
در راه نیرو قرار دارد

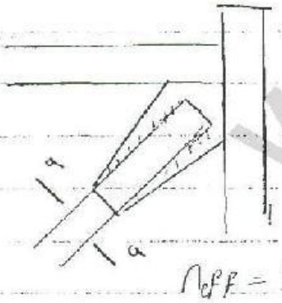
در جاهایی که به تدریج عضو با لبه بار می‌گیرد مقطع مؤثر یا کسری از مقطع کل است

$$A_{eff} = \begin{cases} C_t \cdot A_g \\ C_t \cdot A_n \end{cases}$$

C_t کمتر از یک است

اگر هر اندازه کاری از اتصال دورتر برویم
C_t به یک میل می‌کند

اگر می‌خواهیم برای عضو کششی خیالمان از باربری راحت باشد باید به شرایط اتصال توجه ویژه داشت



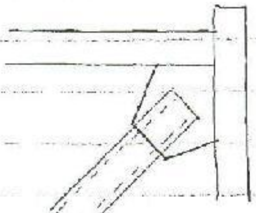
طول اتصال را بلندتر می‌کنیم
در مقطع a a.a را تقریبا تحمل می‌کند
که تنش یکنواخت باشد

$A_{eff} = C_t \cdot A_g$

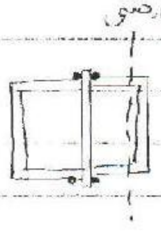
* C_t ضریب کاهش مقطع

- تابعی است از : - طول اتصال : هرچه طول بیشتر باشد [illegible]

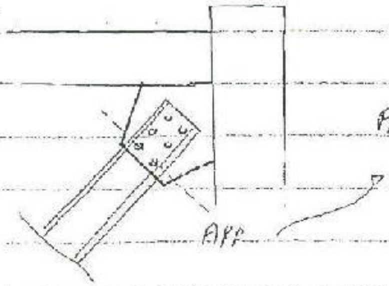
- تعداد اجزای مقطع درگیر در اتصال



اتصال به بال و جان شده است



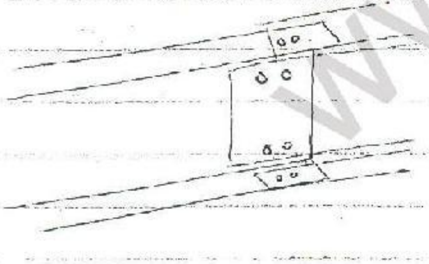
در مقایسه با حالت قبل این مقطع
کمتر موثر است چون بار خمشی دورتر می افتد



$A_{eff} = C_t \cdot A_n$

۱۰-۲-۱-۱۱ ب سطح مقطع موثر 8

۱- اگر بار توسط وسایل اتصال به همه اجزای تشکیل دهنده مقطع به طور مستقیم وارد شود : $C_t = 1$



۲- اگر بار توسط قسمتی از عناصر مقطع کششی و نه تمام آنها به عضو منتقل شود

* $A_{eff} = C_t \cdot A_n$

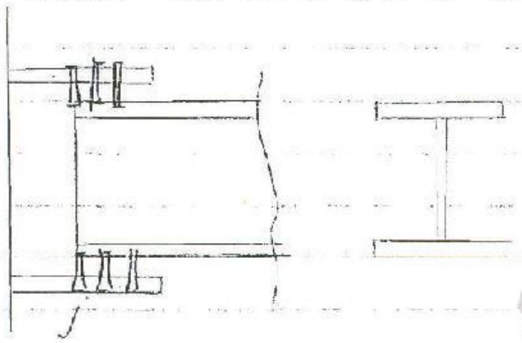
۳- سطح مقطع مؤثر در مقاطع با اتصال جوشی ؛ $A_{eff} = C_t . A_g$

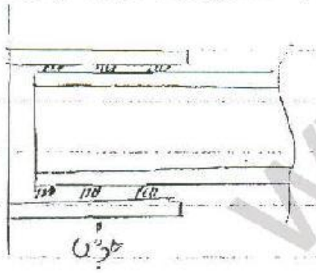
- مقادیر C_t ؛

T　　ㄱ نبشی

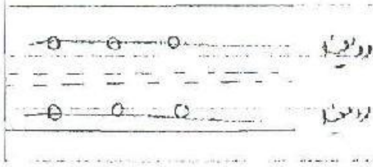
- در مقاطع I شکل ، سپری شکل ، نبشی شکل ، مقاطع ساخته شده از ورق به صورت فوق ؛

هرگاه انتقال بار از طریق اتصال دهنده های روی بال یا بال ها انجام گرفته و حداقل از ۳ وسیله اتصال استفاده شده باشد « $C_t = 0/85$ »





هر دو از ۳ وسیله اتصال طول بیشتر است



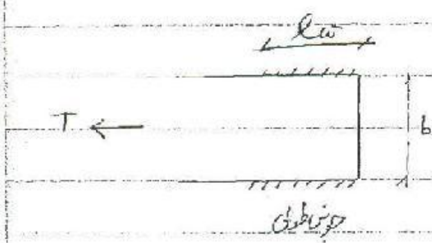
min وسیله اتصال در راستا

— در تمامی اعضای با اتصال پیچی و پرچی که فقط دو وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد

$Ct = ۰/۷۵$

اگر اتصال پیچی بسته با تسمه جوشی $U = Ct = 1$ است

وقتی همه اجزای مقطع با وصله‌های پیچ به هم وصل شده باشند و در هر ردیف حداقل ۳ وسیله اتصال باشد



$l_w > b$

$b < l_w < ۱/۵b$ — $Ct = ۰/۷۵$

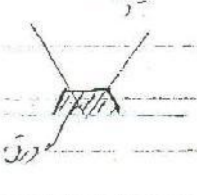
$۱/۵b < l_w < ۲b$ — $Ct = ۰/۸۷$

$l_w > ۲b$ — $Ct = ۱$

$Ct\,A_{net}$

برای ورق‌های متصل شده توسط اتصال پیچی

$A_{eff} \leq ۰/۸۵ A_g$



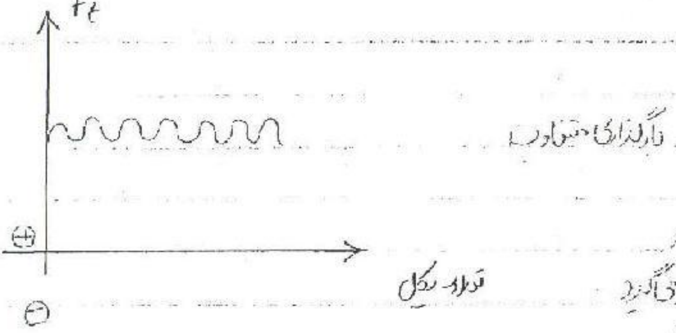
— ۱۰-۱-۴ اعضای فشاری 8

اعضا باید منظوری باشند مقاطع فشاری تواند

در مورد ستون‌ها یعنی اگر تحت اثر بار محوری فشاری قرار بگیرد یک نقطه مخصوصا کمانش می‌شود و باربری خود را از دست می‌دهد

www.ttmar.ir

- پدیده خستگی 8

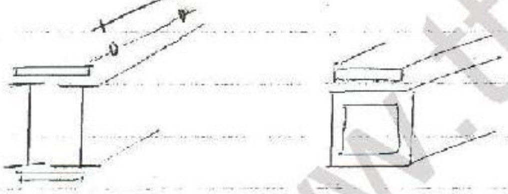


قطعاتی که تحت اثر پدیده خستگی قرار دارند
سرآوردی کنید که چندبار تحت اثر بارگذاری قرار گیرند
[illegible] آن هرچند سال یکبار عوض می‌کنند

در ساختمان‌ها بدلیل تعداد سیکل بارگذاری‌ها خیلی مؤثر نیست چون خودش تحت اثر خستگی قرار نگیرد

۱۰-۱-۴-۳ اعضای مرکب

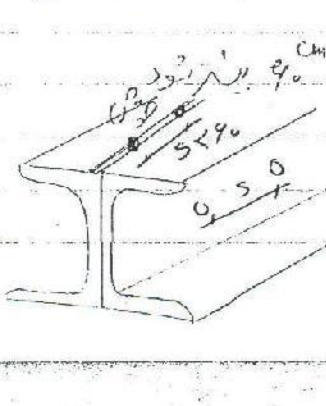
در اعضایی که به طور پیوسته در تماس با یکدیگر متصل می‌شوند فاصله وسایل اتصال بین یک نیم‌رخ و ورق یا بین دو ورق باید از مقادیر زیر بیشتر نشود حتی در تمام طول باهم اتصال دارند (30^{cm} , $24t$) کمترینه



max (۱۴ , ۱۸) قطعات جوش نشده

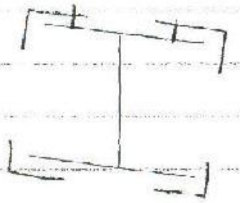
این فاصله برای این است که امکان عبور
اکسیژن آزاد در اتصال ورق بال و ورق خورده
نشود.

— در اعضای کششی که از دو یا چند نیم‌رخ در تماس با یکدیگر تشکیل می‌شوند: فاصله محور به محور پیچ‌ها و پرچ‌ها یا فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع که آنها را به یکدیگر متصل می‌کند نباید از 60^{cm} بیشتر شود



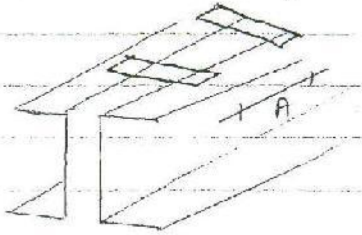
$S < 60^{cm}$

یعنی اگر بخواهد مقطع مرکب باشد و یک محور خنثی کلی داشته باشد این فواصل باید رعایت شود



لقمه‌ها باید در طول عضو
با I متصل باشند.

— در اعضای کششی که بین اجزاء آن فاصله هست قطعات تقویت قرار گرفته در این نقاط به یکدیگر متصل می‌شوند فاصله لقمه‌ها
(قطعات اتصالات) باید طوری باشد که ضریب لاغری هر یک از عناصر تشکیل دهنده در فاصله آزاد از ۳۰۰ تجاوز نکند



$\frac{l}{r_{min}} < 300$ در فاصله A

تک عضو یا کدام ورق

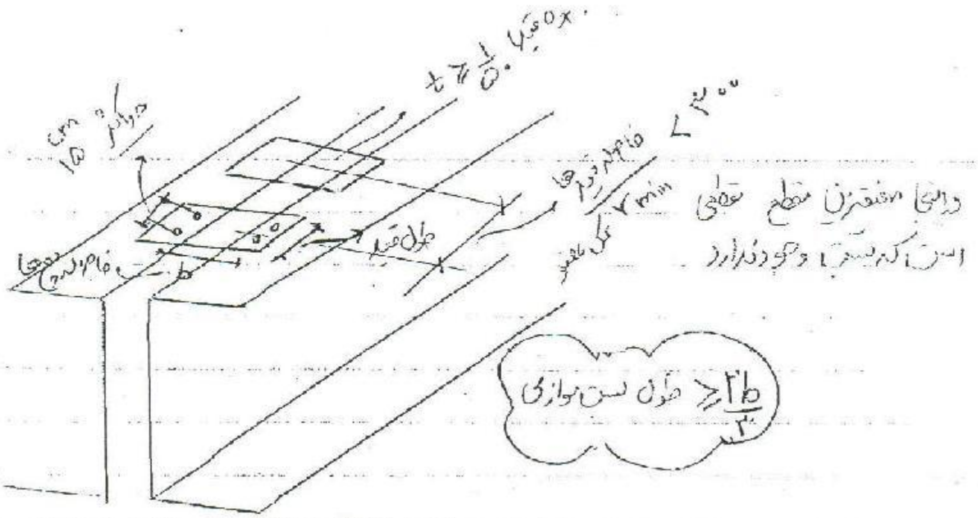
در فاصله بین تسمه‌ها پروفیل‌ها به صورت
تکی عمل می‌کنند

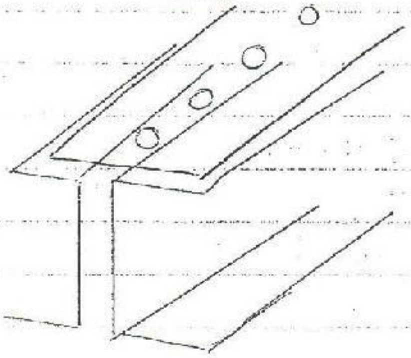
حسن این مقطع مرکب این است که یک مقطع با سختی کافی تولید می‌کنیم

مقطع مرکب با دو هدف ساخته می‌شود   بار زیاد

یا طول زیاد داریم و برای افزایش شعاع ژیراسیون آنها را به هم متصل می‌کنیم
در حالیکه بار کم است که با دو نیمرخ کار می‌کنیم و با فاصله به هم متصل می‌کنیم
تا سختی کافی تأمین شود.

— در اعضای کششی مرکب که از دو یا چند نیمرخ با تماس پیوسته یا تسمه‌های موازی در طول با نیمرخ تشکیل شده است ۵


t ≥ 1/50 × فاصله
< ۳۰۰
حداکثر ۱۵ cm
فاصله بست ها
ط
طول قید
فاصله لقمه ها
۲ min تک نبشی
در اینجا ضعیفترین مقطع مقطعی
است که بست وجود ندارد
طول بست موازی ≥ $\frac{2b}{3}$



۸۴٫۱۲٫۱۲ بنام خدا ج ۱۱

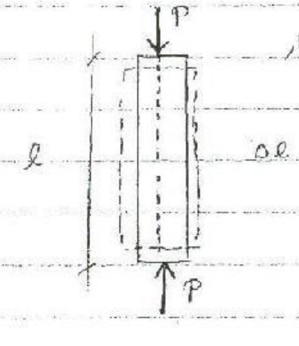
* اعضای فشاری

عملکرد اعضای فشاری دارای یک اثر اعوجاجی است که اعضای فشاری را از کششی جدا می کند.

اعضای فشاری به لحاظ گستردگی کاربرد مهمترین اعضای سازه ای هستند به دلیل طبیعت قوانین حاکم بر مکانیک جامد ایجاب می کند هر باری که بخواهد به سمت تکیه گاهش برود باید از یک عضو فشاری عبور کند.

در یک سیستم سازه ای اجتناب ناپذیر است که عضو فشاری داشته باشیم ممکن است عضو کششی اصلاً نداشته باشیم حتی در سیستم های کششی هم بخشی تحت اثر فشار کار می کند.

سازه های کششی یا پارچه ای در واقع توسط یک سری المان های فشاری به کار می افتند.

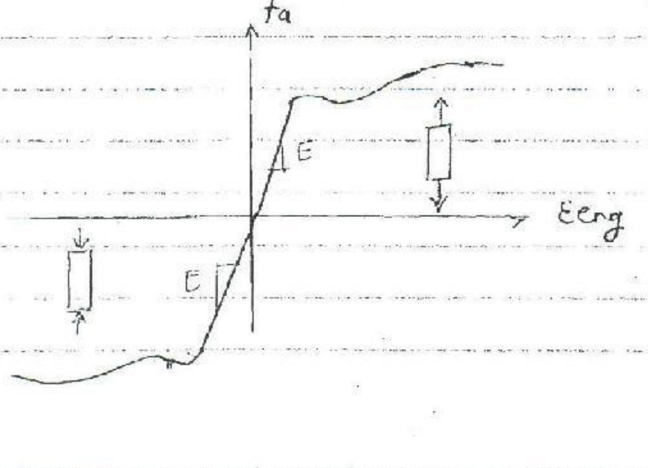


- ε_{eng} : تغییر طول در طول اولیه $\Delta l / l$ این عضو در اثر فشار یک مقدار کوتاه می شود

ε_{Real} واقعی : تغییر طول به طول واقعی $\frac{\Delta l}{l-\Delta l}$

$$\varepsilon_{engineering} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{P}{AE} = \frac{f_a}{E}$$

مصالح فولادی که در آزمایشگاه تست می شوند



- هر چه قدر دانه بندی های فولاد بیشتر باشد از این رفتار فاصله می گیریم ؟

این خاصیت را ایزوتروپی در رفتار یا ایزوتروپی در تسلیم گویند

- ایزوتروپی : اگر عضو را در هر جهتی تحت استرس قرار دهیم به یک میزان کرنش در آن اتفاق می افتد

ایزوتروپی ═ هم کیفی در جهات مختلف

$F_{y(t)} = F_{y(c)}$ ═ ایزوتروپی در تسلیم

مثلاً بتن E یکسان دارد اما تسلیم آن در رفتار کششی یکسان نیست

--- این خاصیت ایزوتروپی به ما کمک می کند که از ظرفیت باربری مصالح به شکل کاملی استفاده کنیم ؟

— اگر کمانش نباشد اعضای فشاری به مراتب بهتر از اعضای کششی اند ؟

تحت کشش طولش زیاد
و سطح مقطعش کم می شود
با حجم کلی ثابت ماند

عضو فشاری سطح مقطعش زیاد می شود
و شدت بارپذیری زیاد می شود به عبارتی
بار بیشتری
می تواند بپذیرد یا افزایش بار سازه پایدار

$$\frac{P}{A_{\text{اولیه}}} = f_a(eng)$$

* $f_a(Real) < f_a(eng)$ عضو فشاری

$$\frac{P}{A_{\text{[illegible]}}} = f_a(Real)$$

* $f_t(eng) < f_t(Real)$ عضو کششی

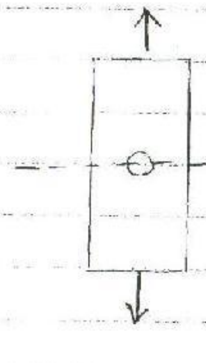
آنچه که برای ما مهم است مقدار تحمل بار است

– از طرفی اگر عضو فشاری ناخالصی هم داشته باشد این ناخالصی‌ها و فضاهای خالی در اثر اعمال بار به تدریج پر می‌شوند؟

– اما در عضو کششی ناخالصی می‌تواند باعث گسیختگی ترد شود ؟ اصولاً گسیختگی ترد وقتی معنا دارد که عضو تحت اثر کشش قرار بگیرد . خستگی در اعضای فشاری خیلی مفهوم ندارد ولی در حالت کششی اگر کشش را کم و زیاد کنیم عضو تحت اثر پدیده خستگی قرار می‌گیرد ؟

* مواردی که در اعضای کششی مشکل ایجاد می‌کنند -
- خستگی
- شکست
- ناخالصی‌های مادی

که تأثیر خود را در عضو فشاری ندارند ؟



* —

در حالت کشش این سطح در این مقطع می‌تواند از شکل در برود

اما در حالت فشاری با پیچ پر می‌شود
که سوراخ کوچکتر شود و هیچ failure ایجاد نمی‌شود

* حساسیت نسبت به اتصال

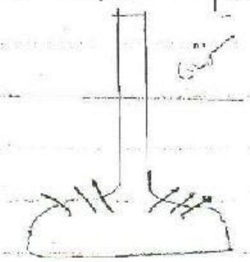
در اعضای کششی اتصالات یک عضو تأثیرگذار اصلی بودند اما اتصال اعضای فشاری می‌توانند از طریق تماس صورت بگیرد
* – عدم وابستگی کامل به عوامل اتصال از طریق ایجاد تماس بین قطعات متصل شونده

— برای یک بار معلوم سطح مقطع کمتری را می توان بکار برد در مقایسه با عضو کششی اگر بخش کاهش سطح نداشته باشد ؟

— در اثر کشش عضو آسیب پذیری بیشتری نسبت به فشاری دارد چون در اثر بار کششی بار وارده باند مولکولی
ضعیف شده اگر یک عضو جابجا شود زودتر می تواند کنده شود
اما عضو فشاری این طور نیست

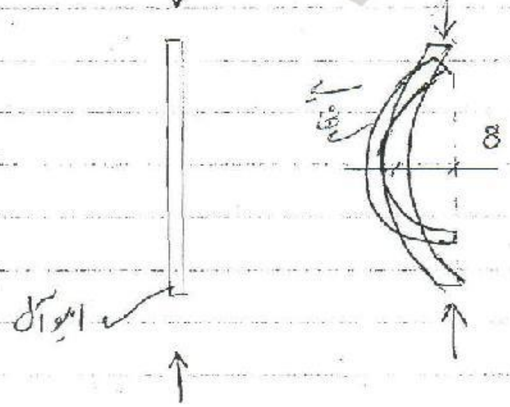
— در آسیب موردی که یک عضو تحت فشار مقاومت بیشتری نسبت به کشش دارد ؟

تمام سیستم های سازه ای وقتی به زمین می رسند باید حتماً فشاری باشند تا بتوانند نیروی خود را به زمین انتقال دهند اما عضو کششی از روی زمین بلند می شود مگر اینکه عضو کششی را داخل زمین ببریم تا در اثر برش فشارهایی اعمال شود تا نیروی کششی جذب زمین شود



* تنها مشکل اعضای فشاری پایداری یا ناپایداری آنهاست
معادله حاکم بر اعضای کششی یک معادله خطی است یعنی اگر بار را دو برابر کنیم عضو هیچ اثری از بار نخواهد داشت
اما عضو فشاری یک رفتار غیر خطی دارد که یک جایی جزء ناپایداری می شود یعنی پایداری خود را از دست می دهد

— در پدیده کمانش حتماً در ذات عضو فشاری موجود است اما عوامل تاثیرگذار روی آن را می توان تغییر داد
اگر کاری بکنیم که کمانش به وجود نیاید تمام خاصیت های اعضای کششی را خواهد داشت



* پدیده کمانش 8

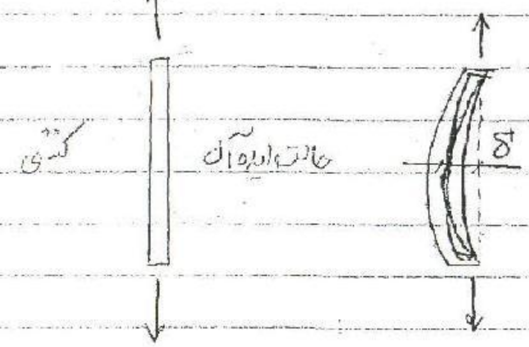
به دلیل عوامل ساختی یا
هر عامل دیگر شکل اولیه عضو
از حالت ایده آل متفاوت است

بسته به شرایطی که ، لنگر هم ایجاد شود علاوه بر نیروی محوری ؛ این لنگر باعث می شود انحنای عضو بیشتر شود ؛

$M = P.\delta$

سعی عضو که همراه بود فقط دو شکل محوری داشته باشد یعنی کوتاه شدن
تغییر شکلهای اولیه کرده تر شده است ؛ سعی یک لنگر ناخواسته در عضو ایجاد شده است

عدم توانایی ؛ قطع یک سختی توسط اثر کننده شده یک سختی را باید توسط نیروی محوری تحمل شود ؛



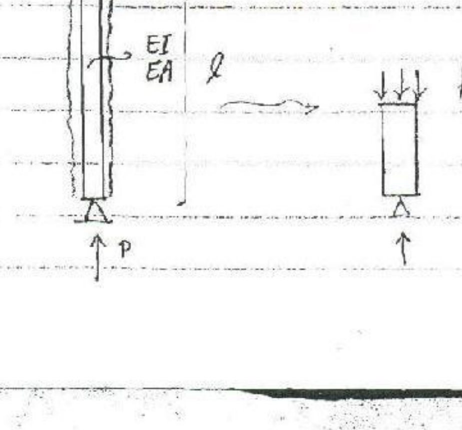
- در اینجا یک لنگری خارج از تغییر شکل اولیه
ایجاد می شود در تغییر حالت ایده آل
تمرکز می شود ؛

δ اولیه > δ ثانوی

- سختی out of plane خارج محوری در اینجا زیاد می شود
مؤلفه محوری آن سختی پیدا می کند

- در عضو فشاری سختی خارج محوری کاهش می یابد ؛ یک مرزی داریم وقتی سختی صفر می شود اگر یک بار اضافه کنیم سازه سریع خراب می شود که این حالت را کمانش گویند ؛

وجود تغییر شکل اولیه اجتناب ناپذیر است هر سازه ای به ناچار دارد مثل در کمانش عضو



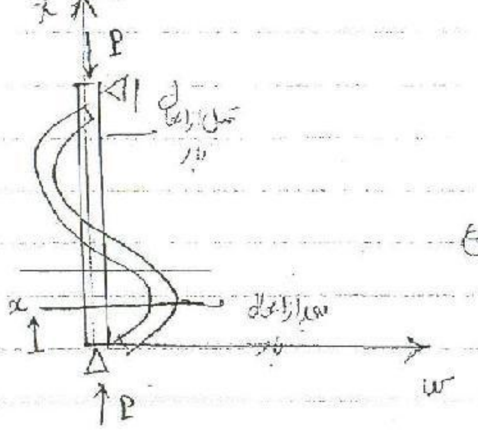
$f_a = \frac{P}{A}$

معادلات تعادل $\Rightarrow$ $\Sigma F_x = 0$ ، $\Sigma F_y = 0$ ، $\Sigma M = 0$ در شکل داخلی سازه برقرار است

www.tnar.ir

آیا این جواب تعادلی منحصر به فرد است؟

اگر قرار باشد جواب دیگری داشته باشد کار ما سخت خواهد شد در عبارتی یک مد دیگر تعادلی خواهیم داشت

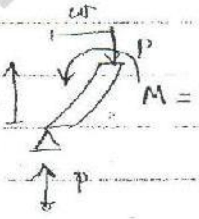


- آیا این شکل می‌تواند به وجود بیاید؟
اگر بررسی کردیم و دیدیم که مد دوم تعادل هم برقرار بود اول کمترین باری که این مد شروع خواهد شد

در حالت کلی متعادل است

کل سازه $\begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{cases}$

x برش $\Rightarrow$



$M = \ominus EIw''$

مرکز انحنای منحنی در جهت w - می‌باشد پس ⊖ باید گذاشت
+ بود باید ⊕ داشت

تا اینجا این شکل هم می‌تواند برقرار باشد
اما باید تعادل اجزا هم برقرار باشد

$\Sigma F_x = 0$ ✓

$\Sigma F_y = 0$ ✓

$* \quad \Sigma M = 0$

$= Pw - (M) = 0$

$= Pw - (-EIw'') = 0$

* کل تغییر شکل عمود بر محور $\Rightarrow EIw'' + Pw = 0$

عامل تحریک خارجی عمود بر محور نداریم

اگر از این معادله $w = 0$ بدست بیاید یعنی این شکل وجود ندارد

اگر بدون تحریک خارجی سازه تغییر شکل خارج از محور

اما اگر $w \neq 0$ باشد یعنی سازه یک مد تعادلی دیگر هم دارد ...... در نتیجه باید مودی داخلی بخواهد

$$EIw'' + Pw = 0$$

$$w''(x) + \frac{P}{EI} w(x) = 0 \Rightarrow P/EI = \mu^2$$

$$w''(x) + \mu^2 (w(x)) = 0$$

$$* \quad w(x) = C_1 \sin \mu x + C_2 \cos \mu x$$

$$x = 0 \;,\; w = 0 \implies C_2 = 0$$
$$x = l \;,\; w = 0 \implies C_1 \sin \mu l = 0$$

$* \quad C_1 \sin \mu l = 0 \quad ① \;$ یا $\; C_1 = 0 \implies w = 0$ تک جواب کلی که از تحلیل
خطی می گیریم = جواب بدیهی

② $\sin \mu l = 0$ — الزاماً نداریم که $C_1 = 0$
با بدست بار ازای این حالت
یک شکل بوجود دارد که تحت اثر بار کوچکی
یک تغییر شکل را ایجاد می کند.

$$* \quad \mu l = \pi \implies \mu^2 l^2 = \pi^2 \implies \frac{P}{EI} l^2 = \pi^2$$

بار بحرانی $\boxed{P = \frac{\pi^2 EI}{l^2}}$ یعنی $w(x)$ یک جواب
وابسته به a خواهد داشت

$$* \quad w(x) = C_1 \sin \frac{\pi x}{l}$$

— بار بحرانی باری است که سازه را در حالت بحرانی قرار دهد
یعنی یک خاصیت درونی در سازه بوده که بدون بار جانبی یک تغییر شکل جانبی در سازه به وجود آمده است .

— کمانش ، حالتی از تغییر شکل تحت بار فشاری به خصوص محوری جابجایی جانبی منجر شود .

E یک پارامتر مادی ، l , I هندسی اند

اگر سعی کنیم باری که از بیرون وارد می کنیم بعد این بارگذاری هر بار این جواب کل حذف خواهد شد

این بارگذاری جزء هسته های سیستم محسوب خواهد شد

را باید بگذاریم هر بار مرحله با پارامترهای E و L را تغییر دهیم یعنی اگر بار خارجی هم بارگذاری پسید با یک ضریب اطمینان
باید باربری را فراهم کنیم

اگر نتوانیم همواره بارگذاری را با احتراز تسلیم بگذاریم این می شود یک طراحی ایده آل

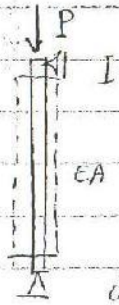
- ۱ اعضای محوری فشاری 8

خارج از بحث کمانش همه تئوری‌های ما اعضای کششی را دارا هستند

تنها عاملی که بار بحرانی اعضای فشاری را می‌تواند محدود کند کمانش است .

کمانش یک متعادلی است که بر خلاف بار بحرانی خود اعضای فشاری که قبلاً داخل محور دارند بلافاصله قبلاً خارج محوری خواهد داشت .

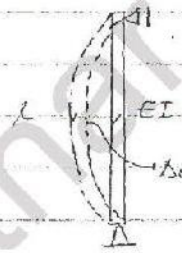
- کمانش 8 حالتی از تعادل است که در تغییر شکلهای ایجاد شده خارج از محور عضو را هم می‌شود ؟



هم تعادلی محوری
داخل محور

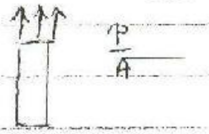
$$\Delta l = \frac{Pl}{EA}$$

این هم همواره تعادل
دارد



$$P = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$$

حالت تعادل
خارج محور



اگر ما بار را روی این عضو با این مقدار بحرانی
کنیم تعادل در این حالت برقرار است
مقادیر Δ_0 از $-\infty$ تا $+\infty$ می‌تواند بگیرد

در اینجا توزیع تنش توزیع یکنواخت نیست چون $\frac{M}{S}$ و $\frac{P}{A}$ داریم

$$\frac{P}{A} + \frac{M}{S}$$

در واقع در این متعادلی
تنش‌های داخلی مقطع عضو ما
بی‌اندازه است چون $M = P\Delta_0$
و Δ_0 بی‌اندازه است پس M بی‌اندازه
است پس احتمال شکستگی زیاد است

۱ ۲ ۳

— بار کمانشی یا بار بحرانی یا بار دوگانگی ، به مشخصات مادی مثل E و مشخصات هندسی مقطع مثل I و طول عضو مثل l و

۴ ۵

شرایط مرزی و به نحوه توزیع بار محوری روی عضو بستگی دارد ؟

در سازه ها معمولاً مقادیر بار محوری روی ترازهای سقف تغییری نمی کند یعنی به نسبت بار محوری در وسط ستون و میانه تغییری نکند

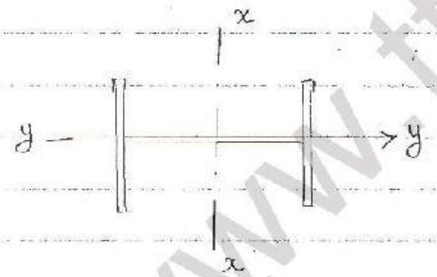
پس اگر ستونها را در وسط دو تراز در نظر بگیریم تغییرات بار محوری نداشتیم

H.W — ؟

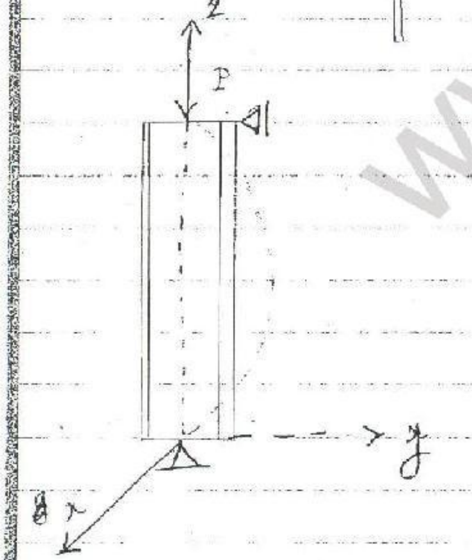
چرا بار کششی تغییر مکان خارج محوری

ندارد

معادلات دیفرانسیل را بنویسید



فرض کنیم مقطع عضو به صورت زیر باشد



دو محور x و y محورهای اصلی مقطع عضو می باشند

* برای حرکت خارج از محور در صفحه yz

$$* \quad P_{cr_x} = \frac{\pi^2 E I_x}{l^2}$$

برای حرکت خارج از محور در صفحه xz $(P_{cr})_y = \frac{\pi^2 E I_y}{l^2}$

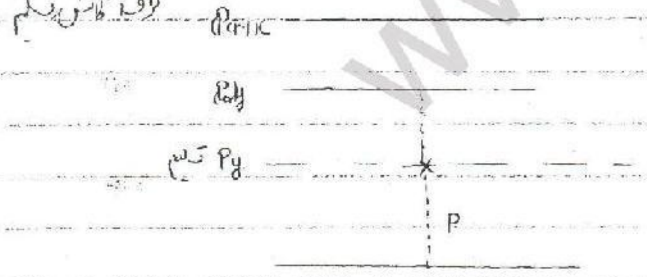
این‌ها در واقع منحنی‌ها متقاطع اند یعنی اگر بار به هر یک از این‌ها برسد حرکت حول محور مورد نظر اتفاق می‌افتد و تغییر شکل out of plane در آن ایجاد می‌شود یعنی اگر بار را از صفر شروع کنیم به min این دو مقدار که برسد حرکت حول محور x یا y اتفاق می‌افتد

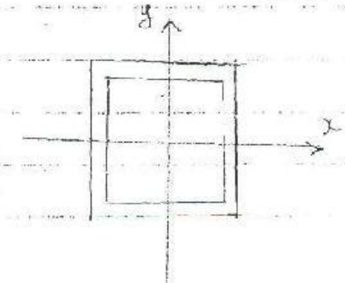
$$P_{cr} = Min\left[\underbrace{(P_{cr})_x}_{\text{کمانش خمشی حول محور x}} , \underbrace{(P_{cr})_y}_{\text{کمانش خمشی حول محور y}}\right]$$

یعنی ما از بیرون مقدار را افزایش می‌دهیم هر کدام که زودتر به بار کمانشی برسد حول x یا حول y تغییر شکل اتفاق می‌افتد

مقطع دایره‌ای یا قوطی چون $I_x = I_y$ است کمانش حول x و y همزمان اتفاق می‌افتد

مزیت این که از ظرفیت سازه بهتر استفاده کنیم منطقی این است که آرایش مصالح را طوری بچینیم که بار کمانشی حول دو محور حتی‌الامکان به هم نزدیک باشد



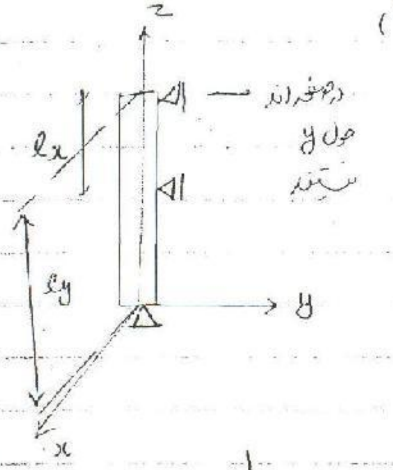


$I_x = I_y$

حول هر محوری که در نظر بگیریم همه محورها آن
محورها اصلی اند مثل دایره یعنی 3 مقطع [illegible] از کمانش فرق دارد
دیگر هم I هم S متقارن است

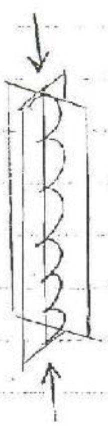
۱- کمانش خمشی حول محور x

$$(P_{cr})_x = \frac{\pi^2 E I_x}{l_x^2}$$



- کمانش خمشی حول محور y

$$(P_{cr})_y = \frac{\pi^2 E I_y}{l_y^2}$$



کمانش پیچشی حول محور z

این عضو تحتی پیچشی دارد
حول خودش می‌پیچد

* $J = \sum \frac{b_i t_i^3}{3}$

مقطع I شکل * $C_w = \frac{I_f h^2}{2}$

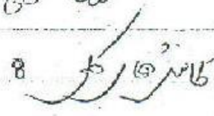
r_0 شعاع ژیراسیون

- کمانش پیچشی حول محور z

$$(P_{cr})_z = \frac{\pi^2}{r_0^2}\left[GJ + \frac{E}{l} \right.$$

J سختی پیچشی یا ممان پیچشی
C_w سختی تابشی یا تابیدگی

کمانش ⑧ رکی



چنانکه مقطع عضو دارای دو محور تقارن نباشد مدهای بالا محتمل است

min این ۳ که اتفاق بیفتد باربری عضو متوقف می‌شود ؟

کمانش کلی عضو $P_{cr} = \text{Min}\left[P_{crx}, P_{cry}, P_{crz} \right]$

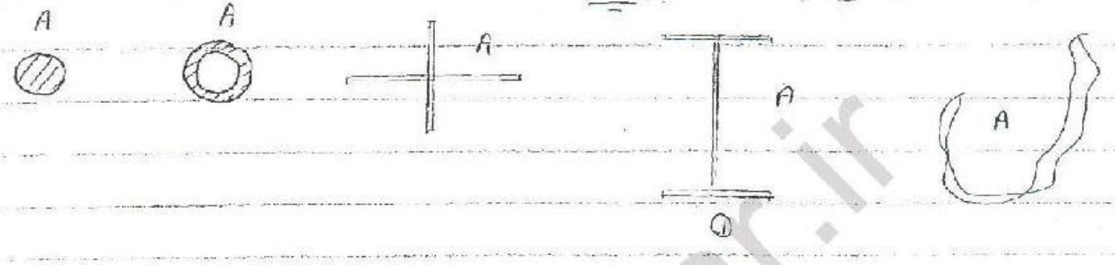
اگر یک محور تقارن داشته باشیم مدهای کمانشی با هم درگیرند یا حتی اگر هیچ محور تقارن نداشته باشیم محورهای اصلی تعادل ندارند :
بازهم حرکت حول x یا y با هم درگیرند

xl و yl و cl دست ما است چون بر تعیین تکیه‌گاه‌های جانبی است که ما می‌گذاریم

باید در بارگذاری اول تسلیم را کنترل کنیم بعد کمانش را .

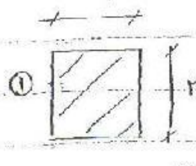
فرض کنیم یک مقدار مصالح به ما می‌دهند چه شکلی از آن‌ها بسازیم که بار کمانشی دیرتر اتفاق بیفتد ؟

مثلاً به اندازه A سطح مقطع داریم و طول عضو برابر l است .

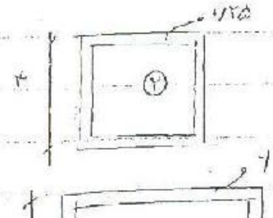


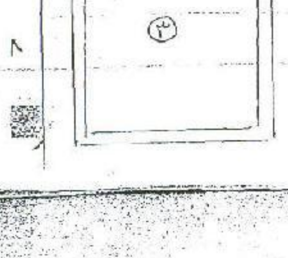
همه این‌ها یک سطح مقطع دارند اما I_x و I_y و C_r متفاوت دارند مثل مقطع ① که I_x و I_y بزرگ دارد

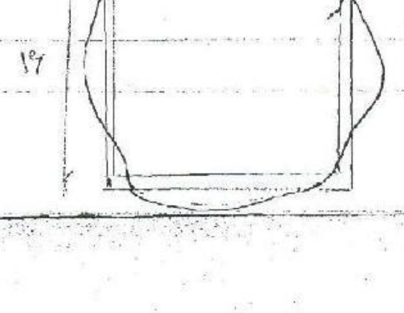
اگر دست ما باز باشد که مقطع را به هر شکلی که خواستیم درست کنیم کمانش قابل کنترل است . با نازک کردن اجزای مقطع و پهن کردن این اجزا می‌توان همواره کمانش کلی را کنترل کرد که از دایره قطر تسلیم خارج شود



$I_۳ >> I_۲ >> I_۱$







اجزای مقطع کمانش موضعی می‌کنند.

با این مقطع [illegible] است اما اجزای مقطع تحت بار فشاری شروع می‌کنند به موج موج شدن

- کمانش موضعی یا جزئی یا کلی :

تغییر های شکل out of plane که هر یک از اجزای مقطع اتفاق می افتد بدون این که کلیت مقطع به صورت کلی شروع به کمانش کند

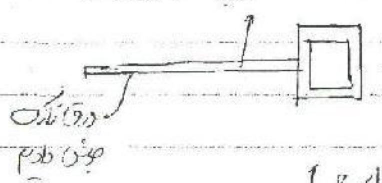
محور اصلی عضو تغییر شکل نمی دهد محور موضعی تک جزهای مقطع دچار تغییر شکل می شوند

یک عضو تحت اثر بار محوری اگر کمانش موضعی پدید در مقطع مورد نظر سختی خود را از دست می دهد و نمی تواند به صورت یک عنصر محوری

کار کند به عبارتی سختی محوری از دست می رود و سختی خارج محوری در راه آن قرار می گیرد و به طور سری با آن کار می کند و سختی سازه به

min خود می رسد :

مثل این است که یک تکه از مقطع را کندیم انداختیم دور :



— در بارهای عضو علاوه بر آنکه کمانش های کلی (کمانش حول x ، کمانش حول y ، کمانش پیچشی حول z)

تاثیر گذارند ، کمانش های موضعی ایجاد شده در اجزای تشکیل دهنده مقطع عضو نیز تعیین کننده باشند :

نسبت عرض به ضخامت معرف سختی خارجی است هر چه کمتر باشد سختی out of plane زیادتر می شود

* معیار های حاکم بر رفتار اعضای فشاری :

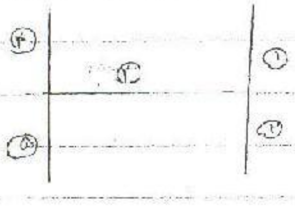
۱- معیار تسلیم $P < \frac{AF_y}{F.S}$

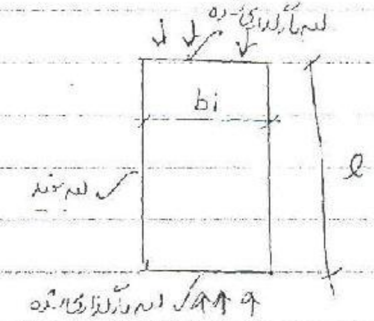
۲- معیار کمانش کلی $P < \frac{(P_{cr})_{min}}{F.S}$

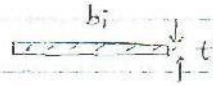
۳_ معیار کمانش موضعی

$$* \quad \frac{P}{A} < \frac{(\text{تنش های کمانشی تمامی اجزاء})_{min}}{F.S}$$

کمانش موضعی







$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E K}{\left(\frac{b_i}{t_i}\right)^2} \qquad K\left(\frac{l}{b_i}, \underset{\text{مرزی}}{\text{شرایط}}\right)$$

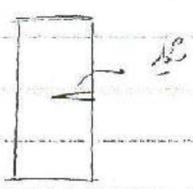
باید $\underset{\text{بهتر}}{\sigma_{cr}} >> F_y$ کمانش دیرتر از تسلیم

$$\frac{\pi^2 E K}{\left(\frac{b_i}{t_i}\right)^2} >> F_y \Rightarrow \overset{\text{[illegible]}}{\frac{b_i}{t_i} << \sqrt{\frac{\pi^2 E K}{F_y}}}$$

اگر این رابطه را همواره
در طراحی به کار ببریم دیگر نگران
معیار سوم نیستیم

۴_ معیار انتقال بار محوری به اجزای مقطع

۵_ مقاطع سوراخ دار و شیاردار



تحت بار کششی این شیار بازتر می شود تنش ها از
تسلیم فراتر می روند
اما در اثر اعمال بار فشاری این شیارها دهانه آن بسته می شود

در طراحی مقاطع دیوار نازک سرد نورد شده معیار سوم حاکم خواهد بود یعنی اگر نتوانیم نسبت عرض به ضخامت را از قبل کنترل کنیم باید حین طرح کنترل شود

- معیارهای طراحی اعضای فشاری 8

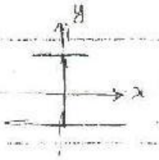
۱- معیار مقاومت $P<P_y$ با A , Fy تعیین می‌کند

۲- معیار پایداری کلی $P<P_{cr}$ با $(\frac{KL}{r})_x$, $(\frac{KL}{r})_y$ و $(\frac{KL}{r})_z$ تعیین می‌کنند

- کمانش خمشی حول محور x
- y " " " "
- z " " پیچشی

برای مقاطع با دو محور تقارن

- کمانش خمشی حول محور تقارن مثل y
- کمانش خمشی پیچشی محور x , z
- " " " "



با یک محور تقارن

=> دو تا جواب دارد

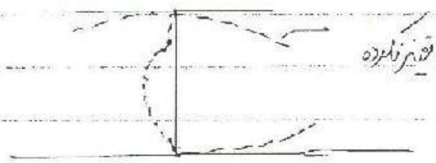
- کمانش خمشی پیچشی x , y , z
- " " " "
- " " " "

مقطع فاقد محور تقارن

سه جواب به حسب اینکه خمشی یا پیچشی مسلط است تا ملازری، جواب‌ها جدای از هم مثل اگر خمشی مسلط باشد خمشی مطرح می‌شود

۳- معیار پایداری موضعی 8 اعضای ضعیف مقطع به دلیل لاغری ممکن است چروک بخورند

با نسبت $\frac{b_i}{t_i}$ تعیین می‌کند

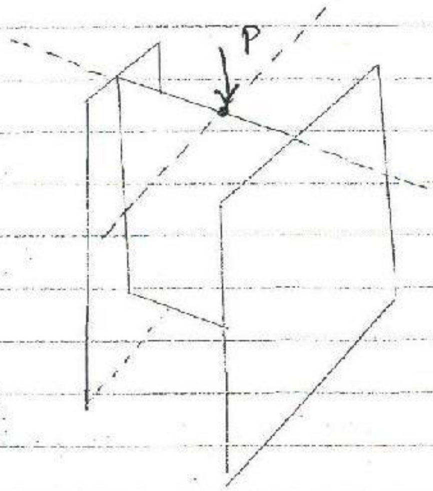


محور تقارن کلی تغییر نکرده است.

موقعیت مقاطع اعضا سرجای خود می‌ماند
اما اعضای مقطع کمانش می‌کنند

۴ـ معیار نحوه اعمال بار به اجزای مقطع در محل اتصالات Ct

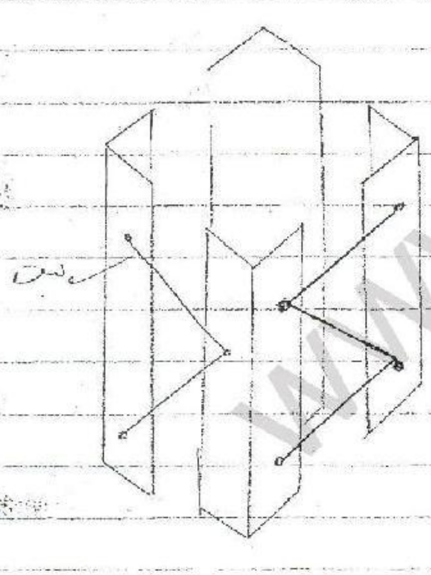
در یک عضو محوری برآیند بارها باید در مرکز ثقل عضو وارد شوند

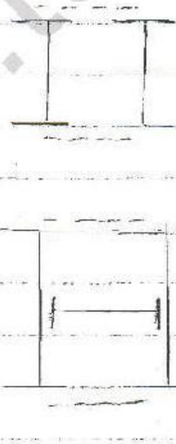


می خواهیم بار در مرکز ثقل وارد شود

یعنی نیروهای داخلی بین اعضا تقسیم شوند که همه تنش های محوری یکسان باشد

۵ـ معیار عملکرد مشترک اعضای فشاری مرکب





یعنی از پارامترهای طول موثر روی نیروی P تاثیر می گذارد یعنی ها را طور کم

در مثال ریاضی نحوه تغییرات هر یک از پارامترها آنالیز حساسیت می کنند و بررسی می کنند هر تغییری در چه درصد تغییراتش چقدر

روی پارامتر اصلی تمرکز است آنهایی که خیلی تأثیرگذارند را به عنوان پارامتر تابع می‌گیرند ؛

ما هدفمان این است که تابع هدف را مینیمم کنیم مثلاً اگر پارامتری تابع هدف ما باشد ما سعی می‌کنیم آن را max کنیم ؛

— معیارهای ① و ② به عنوان متغیرهای پایه اختیار می‌شود ؛

— معیارهای ③ و ④ و ⑤ به عنوان متغیرهای فرعی در نظر گرفته می‌شوند ؛

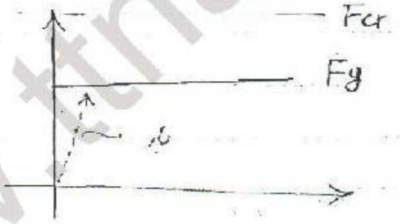
* مثلاً اگر بخواهیم متغیر ③ تأثیرگذار نباشد یا در تنش ناپایداری را حساب کنیم کاری بکنیم که این تنش از تسلیم فراتر رود

فرض کنیم معیار ① را به عنوان معیار اصلی گرفتیم $F_a = \frac{P}{A} < F_y$ تنش در همه اعضای مقطع

F_{cr} تنش بحرانی که باعث ناپایدار شدن اعضا می‌گردد

* $F_{cr} = \frac{\pi^2 C K}{(\frac{b}{t})^2}$

if $F_{cr} >> F_y$



اگر بار را شروع به اضافه کردن کنیم قبل از این که به F_{cr} برسیم به F_y می‌رسیم و بارگذاری متوقف می‌شود

پس این معیار را از محدوده تأثیرگذاری روی سازه خارج کردیم

— معیار ④ فقط در اتصالات مطرح است بهتر است این‌ها را طوری طراحی کنیم که تأثیرگذاری روی مقطع ما نداشته باشد

— یا معیار ⑤ نسبت را طوری در نظر بگیریم که درجه‌ای ما به طور اصلی تأثیرگذار نباشند و بتوان از باربری سازه بیشترین استفاده کرد

— آیا می‌توان معیار ② را می‌توان خارج کرد ؟