بسمه تعالی

نام جزوه: سازه های فولادی 1

نام استاد: دکتر صادق آذر

دانشگاه: تهران

سازه‌های فولادی (۱)

آشنایی با سازه‌های فولادی

ویژگی سازه‌های فولادی بسیار زیاد است. بیشتر سازه‌های صنعتی از فولاد ساخته می‌شوند.

۱- آشنایی با سازه‌های فولادی
۲- مصالح ساختمانی فولاد
۳- آشنایی با مسائل عمومی ترسیم
۴- وسایل اتصالات
جوش، پیچ، پرچ
۵- قطعات کششی
۶- قطعات فشاری ← کمانش
۷- قطعات خمشی
۸- تیرهای مرکب فولادی نبشی
۹- پایداری ورق‌های مسلح
۱۰- تیرورق
۱۱- پیچش
۱۲- کمانش دستگاه‌های ساختمانی
۱۳- کمانش پیچشی خمشی
۱۴- طرح خمری سازه‌های فولادی
۱۵- خرپاها
۱۶- قاب‌ها
۱۷- اجزای سازه‌های فولادی
۱۸- طراحی سقف‌ها
۱۹- ساختمان‌های بلند
۲۰- طراحی تیرهای محل جرثقیل

۲۱ـ ساختمان ها و سالن های صنعتی و انبارها

۲۲ـ راه پله ها

۲۳ـ طراحی سبک در ساختمان های فولادی

۲۴ـ مخازن مایعات (آب، نفت، مواد شیمیایی و ...)

۲۵ـ سیلوها (مواد دانه ای و پودری)

۲۶ـ مخازن گاز (بدون فشار اضافی، مخازن کم فشار)

۲۷ـ برج های فشار قوی

۲۸ـ اسکلت برج های حمل و نقل معادن

۲۹ـ پل های راه آهن

۳۰ـ ساختمان های فولادی پیش تنیده

۳۱ـ طراحی سوله ای با دهانه فولادی

۳۲ـ دریکه بندها، بندها

۳۳ـ شالوده های فولادی

۳۴ـ بدنه تونل ها

۳۵ـ ساختمان های ویژه

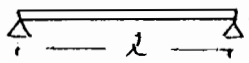
فصل اول — آشنایی با سازه‌های فولادی

◄ علل توسعه سازه‌های فولادی

۱ـ مصالح فولاد

* مقاومت زیاد

مقاومت: فولاد 370 N/mm² / بتن 25 / چوب 20 / آجرسنگی 5



$$l_{limit} = \frac{F}{\gamma} \cdot \left(\frac{1}{\psi}\right)$$

تغییر مکان مجاز تحت بار بهره‌برداری

ضریب کمبود

	آلومینیوم	فولاد خیلی اعلاء	فولاد معمولی	چوب	بتن	آجرسنگ
F/δ	7,0	3,0	2,0	1	0,3	0,1

★ آلومینیوم به علت قیمت بالا و سخت بودن اتصال قطعات آلومینیومی در ساختمان سازی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

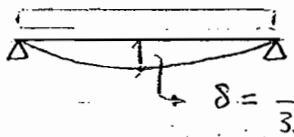
فولاد اعلاء ST 52 ... 520 N/mm²

فولاد خیلی اعلاء ... 700 N/mm²

۲ـ مدول الاستیسیته زیاد

$$\begin{cases} E_{St} = 2.1 \times 10^5 \ N/mm^2 \\ E_{بتن} = 0.21 \times 10^5 \ N/mm^2 \end{cases}$$

★ هرچه مدول الاستیسیته بالاتر باشد تغییر شکل کمتر است.



$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{Pl^4}{EI}$$

۳ـ شکل پذیری فولاد Ductility

(رفتار نرم فولاد)

★ علائمی توانیم مصالح شکل پذیر را چگونه کاری کنیم.

* نیروهایی که در ساختمان ارتعاش ایجاد می کنند، نیروهای دینامیکی می نامیم

بارهای با سرعت کم ← بارهای استاتیکی

بارهای با سرعت زیاد ← بارهای دینامیکی

* هرجایی که نیروی دینامیکی داشته باشیم، ترجیح می دهیم که مصالح شکل پذیر باشند

۴- همگن بودن فولاد

* همگن بودن فولاد سبب شده که در سازه های فولادی ضریب اطمینان کمتری را مورد استفاده قرار دهیم.

بتن $SF = 3$ فولاد $SF = 1.5 - 1.67$

◀ خواص فولاد:

۱- خوردگی

۲- کم شدن مقاومت فولاد در دماهای بالا (مثلاً در معرض آتش سوزی)

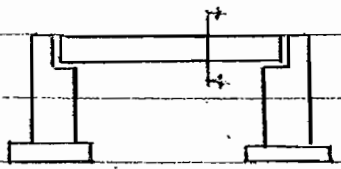
* فولاد باید در برابر آتش سوزی محافظت شود.

۵- پیش ساخته بودن سازه های فولادی

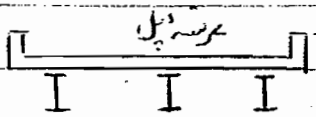
که به دلیل سبک بودن قطعات فولادی

◀ پل های فولادی

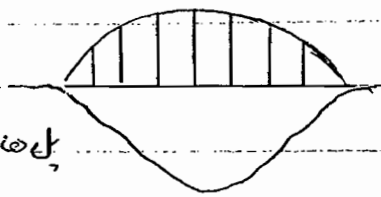
پل های راه (روسی)
پل های راه آهن



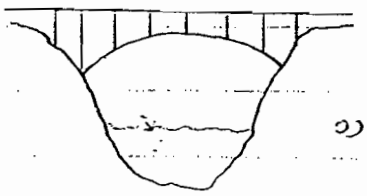
* دهانه پل معمولاً بین 2 تا 200 m است.



پل های تیری

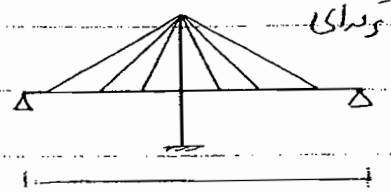


پل های قوسی آویزان

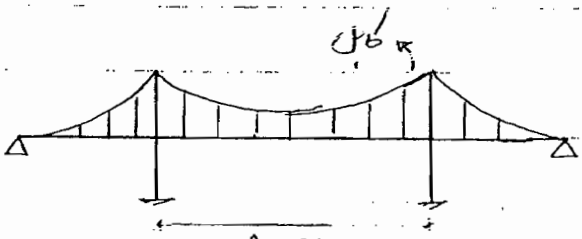


پل قوسی ایستاده

پل های کابلی



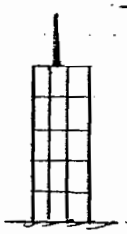
150 - 700



پل های آویزان (معلق)

300 - 2300 (4500)

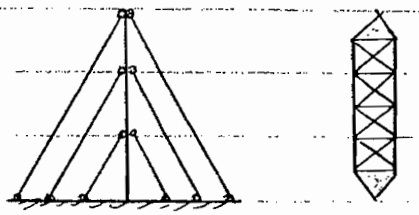
ساختمان های بلند



* ارتفاع ساختمان های بلند را با اصطلاح آسمانخراش ها تعیین می کنند.

1940 → 20 طبقه 1960 → 60 طبقه

* زمانه ساختمان های صنعتی 10 - 80 m و ارتفاع آنها 3 - 35 m است.
* ارتفاع دکل های مخابراتی 60 - 200 m است.



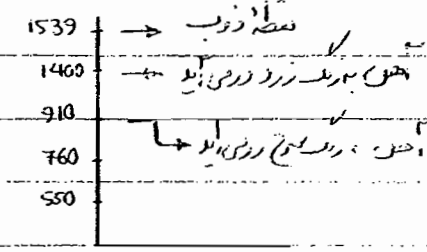
مصالح ساختمانی فولاد:

ماده اولیه فولاد آهن (Fe) می باشد. بازدوب کردن موادمعدنی که به صورت سنگ آهن هستند (Fe_2O_3 ، Fe_3O_4 ، CO_3Fe) فولاد به دست می آید. در هنگام ذوب کردن، کک یا زغال هم به مواد افزوده می شود.

* نقطه ذوب آهن 1539 °C است.

* در فولاد علاوه بر آهن و کربن موادی مانند Al ، Ni ، S ، N و P وجود دارند.

* با جای دادن Al در داخل کریستال آهن ، آلیاژ فولاد تولید می شود.



* در هر حالت دمای آهن یا فولاد را بالا می بریم ، امکان تغییر خواص آنها وجود دارد.

عناصر آلیاژی در فولاد:

عناصر آلیاژی	افزایش	کاهش
C	مقاومت / سختی تردی / شکنندگی	نقطه ذوب / نرمی کرنش / جوش پذیری
Si	اکسیداسیون / سختی فولاد در دماهای بالا	جوش پذیری
P	تردی و شکنندگی	کرنش / مقاومت خوردگی
S	شکنندگی گرم دهی	مقاومت خوردگی
Mn	مقاومت / شکل پذیری	
Ni	نرمی / مقاومت در برابر خوردگی	زنگ زدگی
Al	نرمی	زنگ زدگی

تهیه فولاد:

← تهیه آهن: سنگ آهن ← کوره بلند (کوره اصلی) ← آهن خام (Fe, C, P, S, ...)

← کوره های پک فولاد (کوره های طاقی، بوتی، الکتریکی)

$Fe_2O_3 + C \rightarrow FeO_2 + CO$

$FeO_2 + C \rightarrow Fe + CO_2$

* در این مرحله ناخالصی های موجود در آهن را از بین می بریم و فولاد را تولید می کنیم.

← فولاد ← کارخانه نورد (فولاد به صورت ورق، تیر و ... درمی آید)

فولاد آرام نشده	ST 37 - 1	UST 37
فولاد آرام شده	ST 37 - 2	RST 37
فولاد خیلی آرام شده	ST 37 - 3	RRS 37

* فولاد آرام نشده جوش پذیر نیست، فولاد آرام شده جوش پذیر است و فولاد خیلی آرام شده بیشتر قابل جوشکاری است.

* در فولاد آرام نشده گازهای نامطلوب وجود دارد و خواص فولاد در طول تیر یکسان نیست ولی در فولاد آرام شده با افزودن پودر آلومینیوم، این اجزا از بین می روند.

* در فولادهایی که نیاز به جوشکاری دارند، باید از فولاد آرام شده استفاده شود.

تولیدات کارخانه نورد:

* در کارخانه نورد شمش فولاد را به حالت سرخ درمی آورند و از بین غلتک ها عبور می دهند و پس از طی مراحل مختلف، شمش را به نیم رخ تبدیل می کنند.

• روش های تولید آهن :

۱- گذراندن تعدادی از اصل بری غلتک های مختلف

۲- گذراندن تعدادی از غلتک های عمودی (به منظور کاهش طول کارخانه)

۳- وارد کردن جک های هیدرولیکی در غلتک ها که طول آنها را تغییر می دهند.

* عملاً برای تولید نیم رخ ها از عملیات نورد استفاده می شود ولی برای چدن بیشتر از عملیات ریخته گری استفاده می شود.

* در عملیات نورد خواص فولاد بهتر می شود و تردی و مضایع کاهش پیدا می کند.

نیم رخ های استاندارد

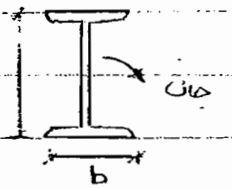
* نیم رخ های استاندارد در ایران براساس استاندارد اروپایی ساخته می شود.

• مقطع I شکل ، ناودانی ، نبشی و ... نمونه هایی از نیم رخ های استاندارد هستند.

IPE 100 , IPE 120 , ...

INP 200

h = 200 mm



h = عرض نیم رخ

تفاوت IPE با INP در این است که سطح نوعاً یک است. $b_{IPE} > b_{INP}$

نیم رخ INP	I/INP	I80	I600	h = عرض نیم رخ
نیم رخ IPE (نیم رخ I عریض)	IPE	IPE80	IPE600	h = عرض نیم رخ
نیم رخ بالا پهن	IPB HEB	IPB100	IPB1000	h = عرض نیم رخ

$b = h$ ... 300 > عرض ، $b = 300$ ... 300 < عرض

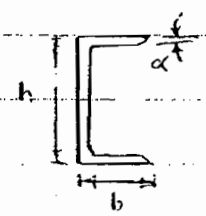
نیم رخ بال پهن (IPBl)	HEA	IPBl100	IPBl1000	h + چند mm = عرض نیم رخ

$b = h +$ چند mm ... 300 > عرض ، $b = 300$ mm ... 320 < عرض

تیرآهن بال پهن استاندارد (IPBV) — $b = 300\ mm$ ، h برحسب mm — IPBV100 — IPBV1000

ناودانی — h = ارتفاع تیر — U80 — U400

ناودانی بال پهاری — h = ارتفاع تیر — UAP80 — UAP300



نبشی متساوی الاضلاع — L hxbxt

L 60x6

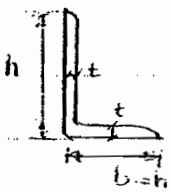
L 80x8

L 80x10

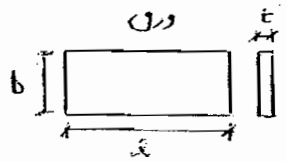
L 200x28

L 8.0x80x10

L 20x20x3



سپری — میلگرد — چهارپرس — توخالی



$t = 5, 6, 8, 10, 12, 14, 15, 16, 18, 20$

$t = 22, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 34, 35$

$, 36, 38, 40$

ورق — $b = 1200$ — $b = 1000, 1500, (2000)$

$L = 6000, 12000, 14000$

طول تیرها = 12 m (14 m)

• انواع تیرها: اروپایی EC / EN / DIN / ISO

← بهتر است برای خرید تیرها از آیین نامه ISO استفاده نمی‌کنیم.

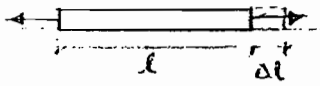
◄ انواع مصالح ساختمانی فولاد طبق آیین نامه‌ها

	F_y	F_u	ε_u
ST37	240	370	≥ 25
ST52	360	520	≥ 22

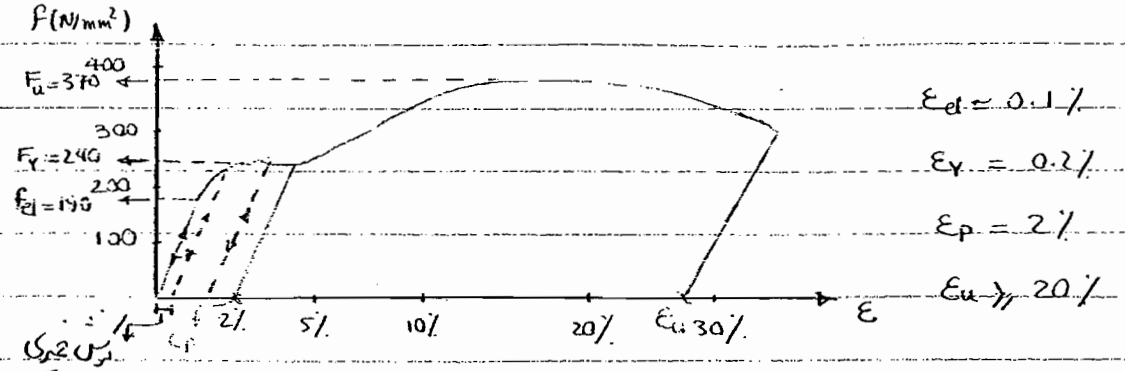
	F_y	F_u	ε_u
ST 430	430	> 5500	≥ 18 %
ST 690	690	> 7000	≥ 17 %

F_y: حد جاری شدن ، F_u: حد گسیختگی (N/mm^2)

کرنش $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$



$f = \frac{P}{A}$ ، $\frac{f}{\varepsilon} = E$ محدوده الاستیسیته $(f \leq F_{el})$



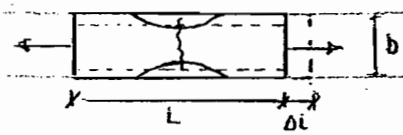
$\frac{dF}{d\varepsilon} = T$ محدوده پلاستیک ، $T = (2.1 \text{ تا } 0.5) \times 10^5 \ N/mm^2$

$E = 2.1 \times 10^5 \ N/mm^2$

★ فولاد قبل از گسیختگی شدن ، در محل گسیختگی باریک می شود.

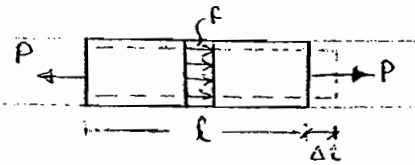
★ چدن یک جسم ترد است و به هنگام گسیختگی باریک می شود. به این حالت گسیختگی جدایی گفته می شود. سطح جدایی در این حالت صاف است.

★ نوع دیگر گسیختگی ، گسیختگی قرمزی است.



★ در فولادهای خیلی استحکام یافته ترد هستند سطح جدایی نسبتاً صاف است

تئوری های انهدام و گسیختگی



کرنش $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$

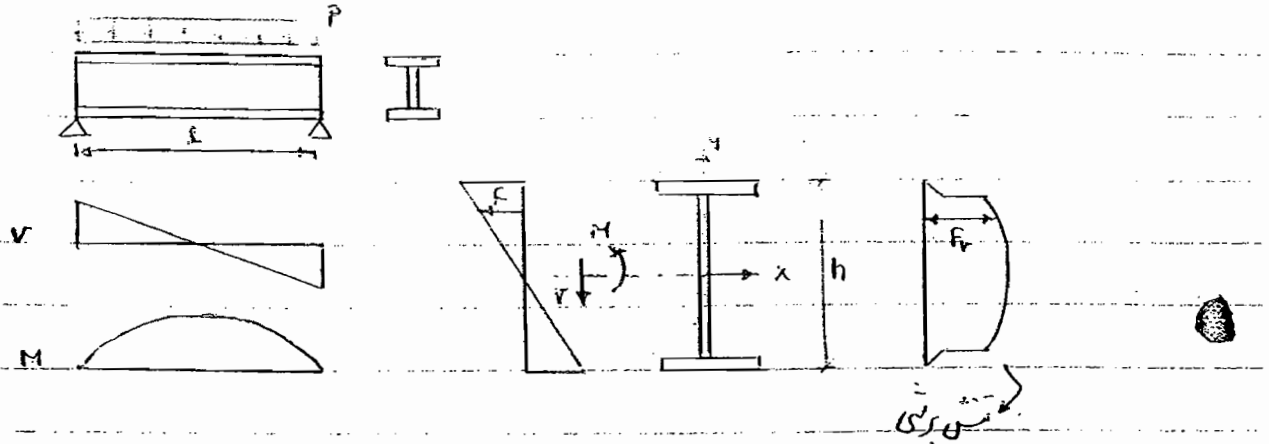
تنش موجود $f = \frac{P}{A}$

تنش موجود $f \leq F$ مقاومت مصالح — مقطع گسیخته نمی شود

تنش موجود $f > F$ — مقطع گسیخته / منهدم می شود

آزمایش دو محوری — آزمایش تک محوری

* در عمل مقاومت مصالح تحت آزمایش تک محوری بدست می آید.



$V_{max} = \frac{Pl}{2}$, $M_{max} = \frac{Pl^2}{8}$ — $f_v = \frac{V.Q}{I.t}$

$f = \frac{M}{I} y \Rightarrow f = \frac{M}{S}$, $S = \frac{I}{h/2}$

f_x , f_y , f_z → تنش محوری — f_{xy} , f_{yz} , f_{zx} → تنش برشی

* تئوری انهدام گسیختگی مصالح را تحت اثر تنش های چند محوری تعریف می نماید.

$F_y = 0 \quad F = 1\ 370\ N/mm^2$

$F_y = 1$

$\vdots$

$F_y = F_y = \frac{F}{\sqrt{3}}$

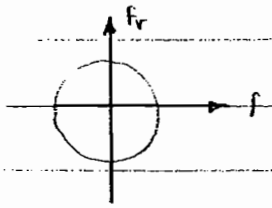
* اگر خواهیم مقاومت مصالح را با استفاده از این آزمایش‌ها بدست آوریم امکان پذیر خواهد بود.

$F = 0 \quad F_y = 0 = \frac{F}{\sqrt{3}}$

$\vdots$

$F = 370$

• تئوری تنش حداکثر:



$$F_{1,2} = \frac{f_x + f_y}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(f_y - f_x)^2 + 4f_{xy}^2} \leqslant F$$

↳ آزمایش تک محوری

* فقط برای اجسام ترد و شکننده این تئوری جواب می‌دهد و برای فولاد مناسب نیست.

• تئوری کرنش‌های اصلی:

* اگر کرنش مصالح به کرنش شکلی برسد، منهدم می‌شود.

کرنش شکلی ← $\varepsilon \geqslant \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$

• تئوری تنش‌های برشی حداکثر:

* در مورد مواد مصالح رایج‌ای مانند خاک مناسب است.

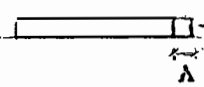
$f_y \leqslant F_y$

↳ تنش برشی حداکثر

• تئوری تغییر شکل:

* این تئوری برای فولاد مناسب است زیرا این تئوری ثبات انرژی تغییر شکل لحاظ می‌شود.

$$A_{\text{انرژی}} = \Delta P = \int (F\varepsilon + f_y \gamma)\, dV$$



انرژی که صرف تغییر شکل شده است باید از انرژی موجود بیشتر باشد.

مقاومت $A \geqslant$ انرژی موجود A

$F_h = \sqrt{F^2 + 3F_v^2} \leqslant F_h = F$ حالت معادله‌ای

• کنترل کرنش:

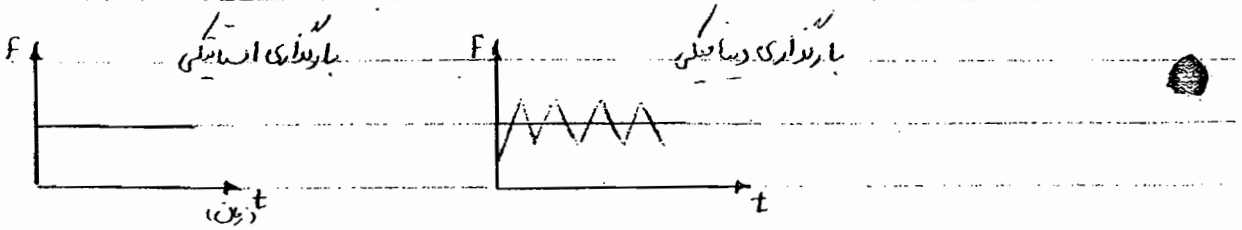
$F \leqslant F$ ، $F_v \leqslant F_v$ ، $f_h = \sqrt{f^2 + 3f_v^2} \leqslant F_h$

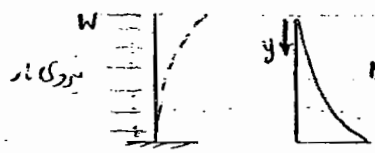
۸ مصالح فولاد = جسم شکل‌پذیر

F	$F_h = F$
F_v	$F_h = \sqrt{3}\, F_v$
F, F_v	$F_h = \sqrt{F^2 + 3F_v^2}$
$F_x, F_y, \ldots, F_{xy}, \ldots$	F_h

مقاومت خستگی (تحت اثر بارهای دینامیکی):

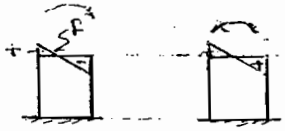
* برای بدست آوردن این مقاومت، باید ابتدا پدیده خستگی مصالح را بررسی کنیم.





$M = W \cdot \frac{y^2}{2}$ ، $F = \frac{M}{S}$

* در بارگذاری دینامیکی تنش‌های متغیر داریم.

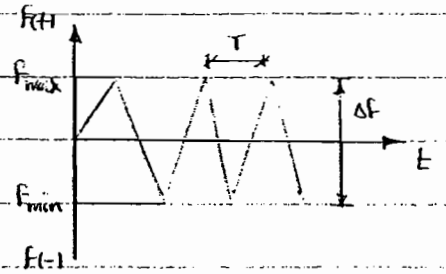


تنش متغیر ←

کنترل استاتیکی ← تنش استاتیکی

کنترل دینامیکی ← تنش دینامیکی

پروفیل تنش متغیر و سیکلی



$|f_{max}| > |f_{min}|$

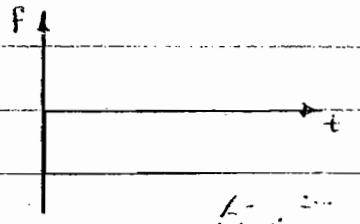
T = پریود تنش

$\Delta f = f_{max} - f_{min}$ ← دامنه تنش

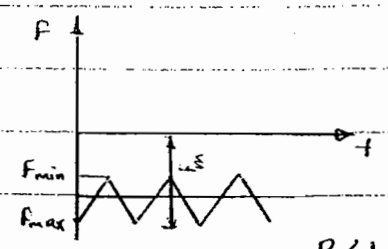
$f = \frac{\Delta f}{2} = \frac{1}{2}(f_{max} - f_{min})$ دامنه تنش (Amplitude)

$f_m = \frac{1}{2}(f_{max} + f_{min})$ تنش متوسط

$R = \frac{f_{min}}{f_{max}}$ ← ضریب تنش

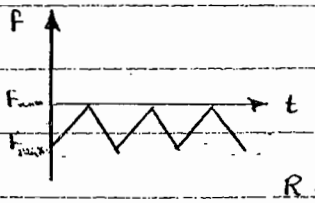


تنش واستاتیکی

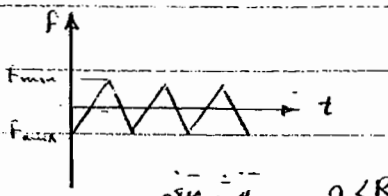


$R \leq 1$

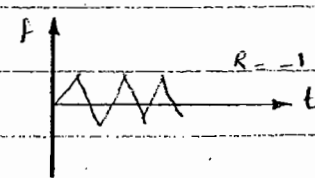
$f_{min} = f_{max}$, $R = 1$ تنش متناوب



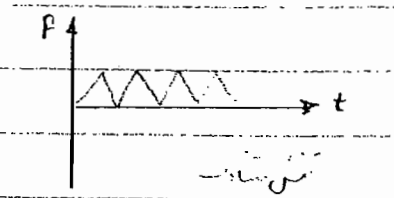
$R = 0$



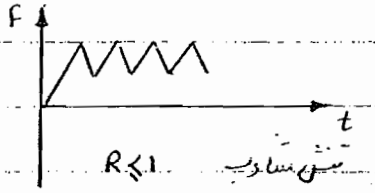
تنش متغیر $0 < R < -1$



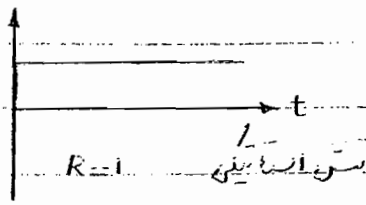
تنش متغیر $|f_{max}| = |f_{min}|$



تنش متناوب



تنش متناوب $R \leq 1$

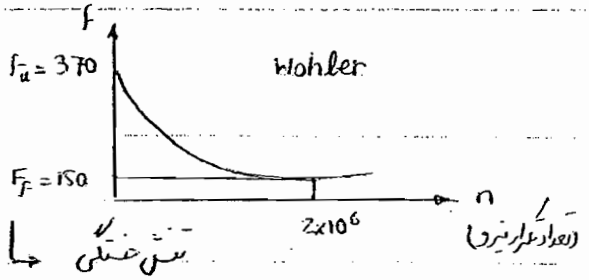


تنش استاتیکی $R = 1$

* با تکرار تنش‌های متغیر، مقاومت مصالح کاهش می‌یابد. به این پدیده، خستگی مصالح گفته می‌شود.

* اگر در بازه، هم تنش‌ها عوض شود، تنش متناوب حاکم است و اگر هم تنش‌ها عوض نشود، تنش متغیر می‌باشد.

* کنترل سازه به دو صورت انجام می‌شود:



۱- کنترل تنش استاتیکی

$$f \leq F \quad , \quad f_v \leq F_v \quad , \quad f_h \leq F_h$$

۲- کنترل خستگی (AISC)

$$F_R = f_{max} - f_{min} \leq F_R \quad , \quad F_{VR} = f_{vmax} - f_{vmin} \leq F_{VR}$$

$$\left(F_{VR} = \frac{F_R}{\sqrt{3}} \right)$$

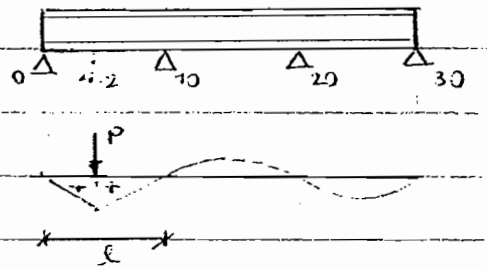
AISC → American Institute of Steel Construction

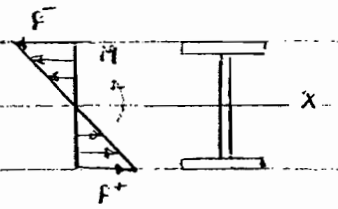
* تابع F_R به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- تعداد تکرار نیرو N ۲- رده تنش A، B، C، ...

وضعیت بارگذاری	تعداد تکرار نیرو	تعداد دفعات تکرار بار در روز به مدت ۲۵ سال
1	$2 \times 10^4 \leq N \leq 1 \times 10^5$	2 – 10
2	$1 \times 10^5 \leq N \leq 5 \times 10^5$	10 – 50
3	$5 \times 10^5 \leq N \leq 2 \times 10^6$	50 – 200

مثال ۱)





$M = P \cdot r \cdot l \Rightarrow F_{max} = \frac{M_{max}}{S}$, $F_{min} = \frac{M_{min}}{S}$

طول عمر : 40 سال ... روزی $5000 \times 12 = 60000$ ... برای

$60000 \times 400 = 24 \times 10^6$ سال

$N = 24 \times 10^6 \times 40 = 1000 \times 10^6$ در 40 سال

$5000 \times 12 = 6000$ تن/روز $\Rightarrow$ $N = 100 \times 10^6$ در 40 سال

$\Rightarrow$ ردیندی بارداری = 4

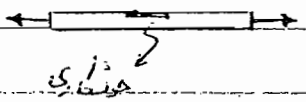
◄ ردیندی تنش :

$F_f = 150 \ N/mm^2$

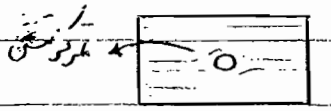
$F_f = \frac{P}{A}$, $F_f \leq 90$

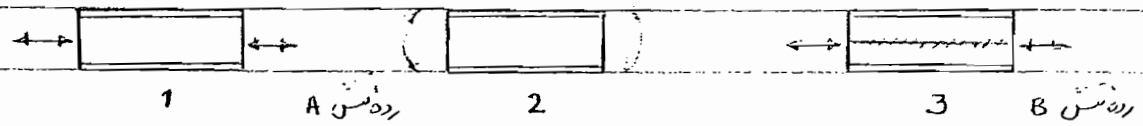
* وجود هرگونه زائده باعث کاهش تنش خستگی می‌شود.
* کنار هم خوردن یکنواختی تنش، مقاومت خستگی کاهش می‌یابد.
* به هم خوردن خواص مصالح باعث کاهش تنش خستگی می‌شود.

* جوشکاری، خواص مصالح را تغییر می‌دهد.



* در جایی که دارای سوراخ پیچ یا هر عامل دیگر غیریکنواختی وجود آید مقاومت خستگی کاهش می‌یابد.





ردههای تنش در استاندارد ANSI تعیین شده است. صفحه 186

N ← سطر 162-2 F ← سطر 107-2، 108-2

مقادیر زاویه تنش t_z ← سطر 109-2

مثال ۲) یک پل سه دهانه با مشخصات زیر داریم. (پل پروط مثال ۱)

$\max F_x = -80\ N/mm^2 = f_{10}$ $\max F_v = 60\ N/mm^2 = f_{v10}$

$\min f_x = +40\ N/mm^2 = f_{10}$ $\min F_v = 32\ N/mm^2 = f_{v10}$

خط تاثیر ، $N > 2 \times 10^6$

تنش بازگشتی یا شدت تنش $F = 160\ N/mm^2$

تنش برشی $F_v = 90\ N/mm^2$

۱- تنش استیلی

✓ تنش خمشی $\max f \leq F \Rightarrow -80 \leq 160\ N/mm^2$ ✓

✓ تنش برشی $\max F_v \leq F_v \Rightarrow 60 \leq 90\ N/mm^2$ ✓

جواب می‌دهد

$F_h = \sqrt{F^2 + 3F_v^2} \leq F_h = 0.75 F_y$

✓ چون F_v مربوط داده شده است F_h مربوط $\max f$

قابل محاسبه نیست.

$\max F_v$ مربوط F

✓ F_h قابل محاسبه نیست چون F مربوط داده شده است.

۲- کنترل خستگی

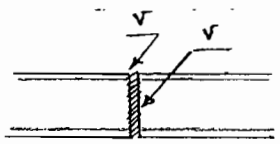
$f_{max} - f_{min} \leq F_R$ ($N > 2\times10^6$ ⟹ 4 : وضعیت بارگذاری)

تیر نورد شده صاف ← رده‌بندی A

جوش ← شکل 109-2 ← $F_R = 165\ N/mm^2$

$f_R = -80 - 40 = -120 \leq F_R = 165\ N/mm^2$ ✓

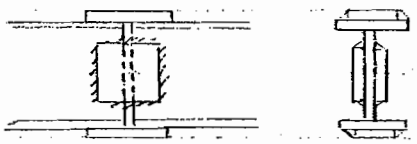
◁ اگر تیر به شکل زیر جوش داده شده باشد:



$F_R = 110\ N/mm^2$

رده‌بندی B $f_R = -120 \not\leq F_R = 110\ N/mm^2$ جواب می‌دهد

◁ اگر صفحه‌ها به روش زیر جوش شده باشد:



تقریباً مشابه حالت 5

رده‌بندی B $F_R = 110\ N/mm^2$

* در بسته نرمال خستگی با استفاده از آیین‌نامه 519 و به صورت زیر انجام می‌دهیم:

$f_{max} - \frac{3}{4} f_{min} \leq \frac{2}{3} F_R$

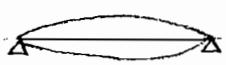
$-80 - \frac{3}{4}(40) = -110 \not\leq \frac{2}{3}(160) = 106$ جواب می‌دهد

* بنابراین بین آیین‌نامه‌ها تفاوت وجود دارد.

$f_{VR} = f_{max} - f_{min} \leq F_{VR}$

$f_{VR} = 60 - (-32) \leq F_{VR} = \frac{F_R}{\sqrt{3}} = \frac{165}{\sqrt{3}} = 98\ N/mm^2$ ✓

◁ تیرهای ارتعاشی باعث بروز خستگی در مصالح می‌شوند.



نیروی دینامیکی : ۱- نیروهای متغیر با مساوب

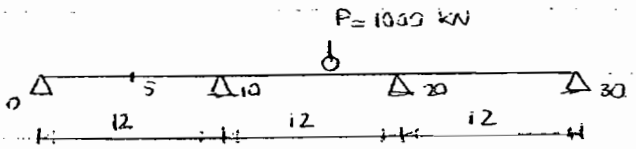
۲- نیروهای نوسانی (ارتعاشی)

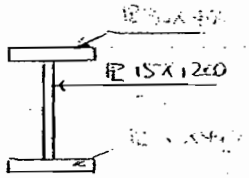
۳- نیروهای دینامیکی آنی (بارهای آنی)

* نیروهایی که زمان اثر آنها کمتر از چند میلی ثانیه است

* سازمان ها در مقابل نیروهای آنی که زمان اثر آنها کمتر از چند میلی ثانیه است ، مقاومت بیشتری از خود نشان می دهد

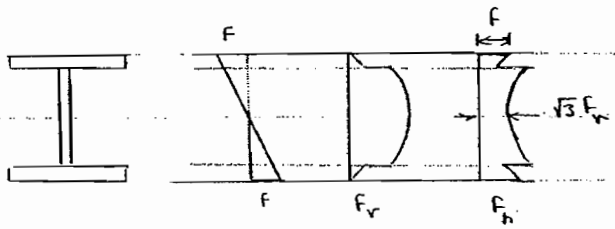
تمرین) در نقاط 5 و 10 تنش استاتیکی و تنش خستگی را کنترل کنید

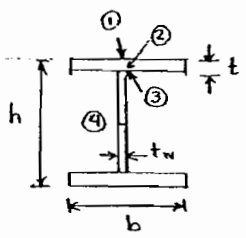




$N \geq 2 \times 10^6$, ST37 , $F = 0.66 F_Y$, $F_v = 0.4 F_Y$

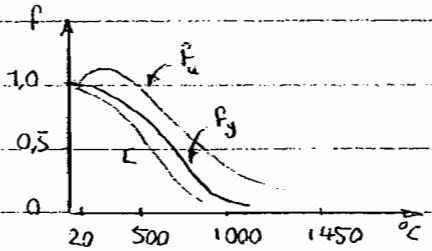
$F_Y = 240\ N/mm^2$, $F_h = 0.75 F_Y$





	Q	t
1	$Q_1 = 0$	b
2	$Q_2 = Q_1 + bt\left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2}\right)$	b
3	$Q_3 = Q_2 + 0$	t_w
4	$Q_4 = Q_3 + t_w\left(\frac{h}{2} - t\right)\left(\frac{1}{2}\left(\frac{h}{2} - t\right)\right)$	t_w

خواص مکانیکی فولاد در دماهای بالا :



* به طور کلی در دماهای بالاتر از 200°C ، فولاد نرم تر مقاومت خود را از دست می دهد.
* در دماهای بالاتر از 400°C ، این کاهش در مقاومت بیشتر می شود.

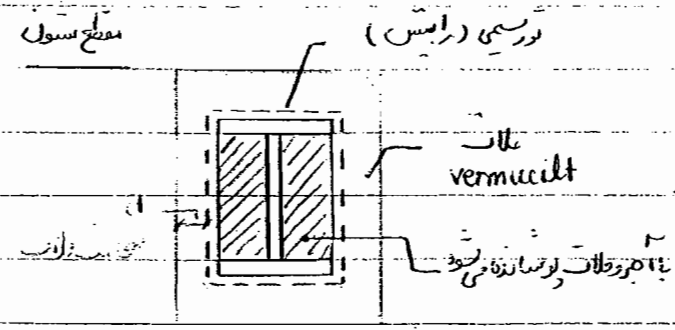
حفاظت در برابر حریق :

* برای حفاظت فولاد در برابر آتش ، ابتدا آتش سوزی را درجه بندی می کنیم.
* آیین نامه مبران حفاظت ساختمان در برابر مواد آتش گیر و انبار شده در ساختمان

F30 ، F60 ، F90 ، F120 ، F180

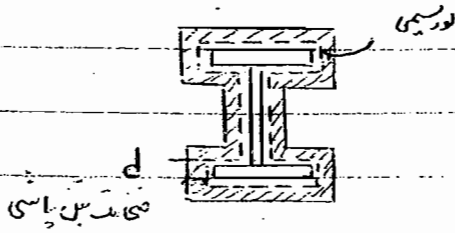
مقاومت در برابر آتش سوزی 30 دقیقه

* روش حفاظت فولاد در برابر آتش سوزی ، ساده و آسان است.



* ضخامت ملات براساس درجه حفاظت در برابر آتش سوزی تعیین می شود.
* vermucilt نوعی پودر معدنی است که در ساخت ملات از آن استفاده می کنیم.

d = 2 – 6 cm



* در مقطع تیر ابتدا اطراف مقطع فولادی را با ورمیکولیت می پوشانند سپس اطراف آن را بتن پاشی می کنند.

* برای حفاظت فولادی توان از رنگ ضد حریق نیز استفاده نمود که به هنگام آتش سوزی کف می کند.

زنگ زدگی (خوردگی) فولاد (Korrosion)

★ حفاظت در برابر خوردگی را با رنگ زدن انجام می‌دهیم

رنگ آستری ← رنگ ضدزنگ

رنگ رویه ← رنگ جلای بیرونی

★ رطوبت + اکسیژن باعث اکسیده شدن (زنگ زدگی) فولاد می‌گردد.

$$Fe + H_2O + O \longrightarrow FeO, \ldots, Fe_2O_3$$

• رنگ آستری: باید روزانه باشد و شبکه‌ی هم‌شره تشکیل دهد. چسبندگی بین دانه‌ها زیاد باشد، چسبندگی بین دانه‌های رنگ و فلز نیز باید زیاد باشد.

★ رنگ‌های آستری (ضدزنگ) و رنگ‌های رویه براساس آیین‌نامه باید انتخاب شوند و چنان انتخاب شوند که رنگ‌های رویه پذیرش رنگ‌های زیرین را داشته باشند.

• رنگ‌های رویه: در مقابل تابش آفتاب و اشعه‌ی U.V باید مقاوم باشند. چون تابش آفتاب باعث ازبین رفتن دانه‌های رنگ (pigment) می‌شود.

◀ باید قبل از رنگ زدن فولاد:

۱) زنگ زدایی کنیم.

۲) فولاد را از کلیه‌ی ناپاکی‌ها و رنگ‌های قبلی زدوده کنیم.

• زنگ زدایی

- برس فلزی دستی
- برس فلزی ماشینی
- ماسه پاشی Sandblast ← ویژن سایینده سطح رویه‌ی فولاد ★ $S\,2\frac{1}{2}$
- ساچمه پاشی

محاسبه ساختمان ها طبق آیین نامه ها :

آیین نامه ها استاندارد است و باید به صورت حتمی در آن رعایت شود.

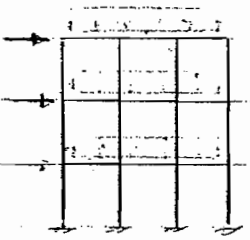
مبحث 10 ـ طراحی و محاسبه سازه های فولادی (بساف)

مبحث 6 ـ بارگذاری ساختمان ها

AISC ـ American Institut for steel Construction

EC3 ـ Eureapen Code 3

برای طراحی یک سازه مراحل زیر باید انجام گیرد :



۱ـ تعیین نوع سازه

۲ـ تعیین بارهای وارده

۳ـ تحلیل سازه و تعیین نیروهای داخلی اعضاء

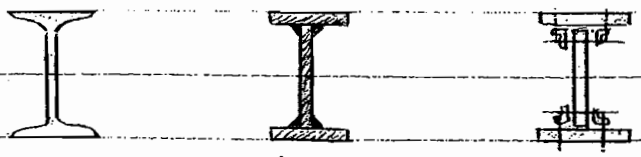
۴ـ طراحی اعضای سازه و اتصالات

۵ـ آیین نامه ها و ضوابط طراحی

۶ـ ساخت ۷ـ نصب ۸ـ طرح اجرایی

تقسیم بندی سازه ها و عضوهای سازه ای و اتصالات :

• انواع تیرها



تیر ورق پرچی — تیر ورق جوشی — نورد شده

• انواع عضوها

برحسب نوع نیروهای وارده اعضاء را طبقه بندی می کنند :

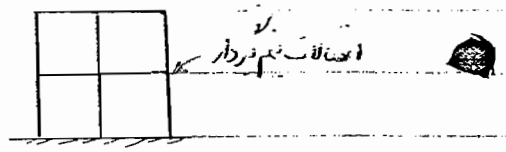
۱ـ عضو کششی (یا رکابی) P ——— P Tension

۲- عضو خمشی (تیر) (خمش) bending

۳- عضو ستونی (کمانش) buckling

۴- عضو پیچشی Torsion

• انواع ساختمان

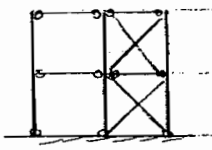


قاب ساده مهاربندی شده — اتصالات مفصلی

قاب خمشی — اتصالات صلب

قاب بیم گردار — اتصالات نیم صلب

* در عمل نمی توانیم قاب بیم گردار را بسازیم چون تشخیص صلبیت اتصالات ممکن نیست.



* در سازه دوبعدی اتصال مفصلی تیر به ستون داریم درنتیجه این سازه حتماً سازه با اتصالات مفصلی است و باید حتماً مهاربندی شود.

• مصالح فولاد ساختمانی

ST 37 , ST 52 , STE 430 , STE 690

◄ بارمحاسباتی (مبحث 6)

DL : بارمرده (بارداغم) وزن ساختمان

LL : بارزنده (بارمفید) ، نیروبار

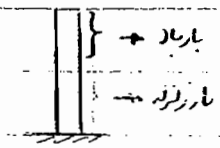
* افرادی که در ساختمان هستند درحقیقت بارزنده و مفید ساختمان هستند.

S ← برف ← سطحی که برف روی آن قرار می‌گیرد و در ساختمان‌های سردسیر مهم است

* در ساختمان‌های بلند، باد و زلزله را باید در نظر گرفت

* باد و زلزله همزمان در نظر گرفته نمی‌شوند.

* در ساختمان‌های سبک معمولاً باد و در ساختمان‌های سنگین زلزله



◆ بار مربوط به راس خاک و فشار آب را هم باید در نظر گرفت

◆ بنابراین بسته به نوع سازه، انواع باربری محاسباتی مطرح می‌شود

• ترکیب بارگذاری:

$E = DL + LL + S + E$ ← بارگذاری عادی
راس خاک

$E + W + T =$ بارگذاری روش العاده
(باد) ← تغییرات دما

* در حالت‌هایی که بارهایی مانند دما به صورت دائم در ساختمان وارد شود به عنوان بارگذاری عادی به حساب می‌آید.

$F_j = 1.33 F_E$

روش‌های طراحی:

۱- روش تنش مجاز — ASD = Allowable Design

۲- روش طرح خمیری — PD = Plastice Design

۳- روش ضریب بار و مقاومت

* LRFD = Load and Resistene Factor Design

Q = بارواردہ ، R = مقاومت سازہ $\Longrightarrow \quad Q \leqslant R$

$$Q + \Delta Q \leqslant R - \Delta R$$

ΔQ : بارِ اضافہ پیش بینی نشدہ

$$Q + \Delta Q \leqslant R + \Delta R$$

$$Q\left(1 + \underbrace{\frac{\Delta Q}{Q}}_{\lambda}\right) \leqslant R\left(1 - \underbrace{\frac{\Delta R}{R}}_{\varphi}\right) \Longrightarrow \boxed{Q \cdot \lambda \leqslant R \cdot \varphi}$$

$\varphi = 1 - \frac{\Delta R}{R}$ ضریب مقاومت $\leqslant 1$ ، $\lambda = 1 + \frac{\Delta Q}{Q}$ ضریب بار $\geqslant 1$

۱- روش تنش مجاز

$$Q \leqslant R \cdot \frac{\varphi}{\lambda} = \frac{R}{SF} \rightarrow F_{\text{مجاز}}$$

$FS = \frac{\lambda}{\varphi}$ (Factor of Safety) ضریب اطمینان

$$\Rightarrow \boxed{Q \leqslant \frac{R}{FS} = F_{\text{مجاز}}}$$

$$FS = \frac{1 + \frac{\Delta Q}{Q}}{1 - \frac{\Delta R}{R}} = \frac{1 + 0.25}{1 - 0.25} = \frac{1.25}{0.75} = 1.66$$

درنهایت : $F = \frac{F_Y}{FS} = \frac{F_Y}{1.66} = 0.6 F_Y$

۲- روش طرح خمیری

$$Q \cdot \frac{\lambda}{\varphi} \leqslant R \rightarrow F_Y$$

$\gamma = \frac{\lambda}{\varphi}$ ضریب بار

$$\Rightarrow \boxed{Q \cdot \gamma \leqslant R}$$

۳- روش ضریب بار و مقاومت

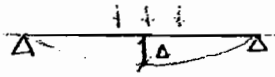
$$\sum Q_i \lambda_i \leq \sum R_i \varphi_i$$

$$\underbrace{\lambda_{DL} DL + \lambda_{LL} LL + \cdots}_{\text{تنش های ناشی از بارگذاری های مختلف}} \leq \varphi_{\text{خمش}} \times R_{\text{خمش}} + \varphi_{\text{برشی}} \times R_{\text{برشی}} + \cdots$$

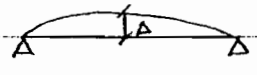
- کاربردن با روش تنش مجاز بسیار آسان است و روابط مربوط به مقاومت مصالح در آن استفاده می شود. و چون آئین نامه مساف نیز براساس این روش است طراحی را براساس روش تنش مجاز انجام می دهیم.

در ادامه در مورد شرایط بهره برداری:

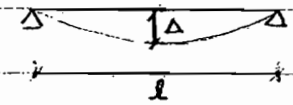
* در دهانه های پرش، در ساخت قطعات به اندازه خیز به آنها پیش خیز می دهیم.



(پیش خیز)



- میزان خیز با تغییر شکل تیرها



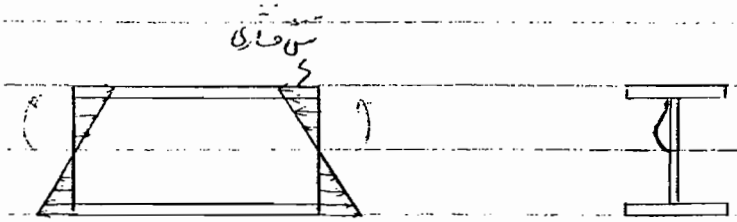
کف اتاق با روکش + زنده	$\frac{l}{\Delta} \geq 240$	
کف اتاق با زنده	$\frac{l}{\Delta} \geq 360$	
در صنعت عادی	$\frac{l}{\Delta} \geq 300$	تیر طره $\frac{l}{\Delta} \geq 200$
پل ها و تیر عابر جرثقیل	$\frac{l}{\Delta} \geq 500$	
تیرهای اصلی پل های راه آهن و جرثقیل های سنگین	$\frac{l}{\Delta} \geq 800-1000$	

- میزان ارتعاش

ارتعاش ساختمان ها نباید از حد مجاز بیشتر باشد. حد مجاز در سازه های مختلف متفاوت است. به طور مثال ساختمان های مسکونی نباید ارتعاش داشته باشند.

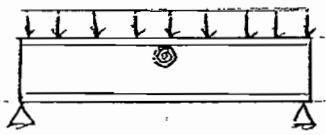
کمانش موضعی

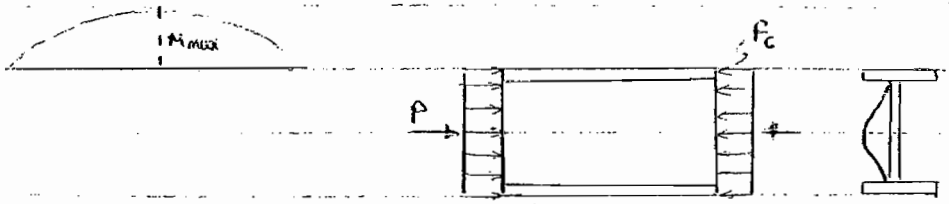
* یک قسمت از تیر به صورت موضعی کمانه می‌کند



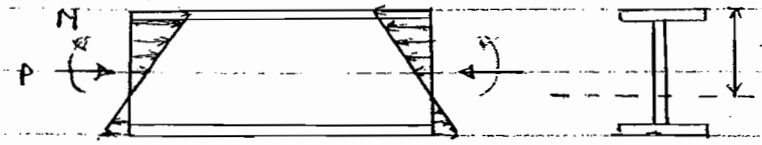
کمانش در قسمت فوقانی جان تیر (ناحیه فشاری)

* کمانش موضعی در کل هایی از یک مقطع اتفاق می‌افتد که تنش‌های آن کل خیلی بزرگ باشد.



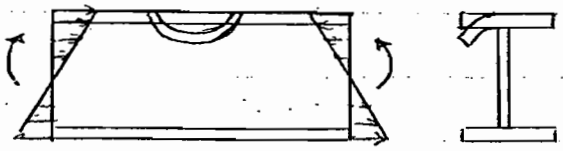


کل جان تیر در وسط کمانه می‌کند.



یک اثر تنش‌های فشاری کمانه می‌کند

کمانش موضعی بال تیر



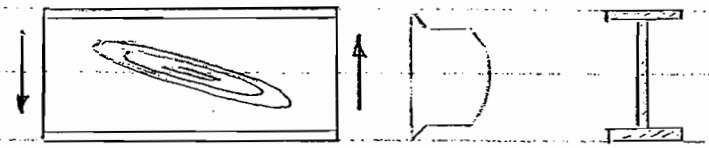
* قسمت بال فوقانی کمانه می‌کند چون تحت اثر تنش فشاری است.

* بررسی کمانش موضعی از شروع کمانش ورق‌ها استفاده می‌شود و در آن تنش‌های موجود محاسبه می‌شود و به عنوان بار در مدل‌سازی ورق وارد می‌گردد.

* مدل سازی ورق به صورت لایه ای در نظر گرفته می شود و در محل هایی که ورق آزاد است به صورت آزاد و در محل هایی که به وسیله اجزای دیگر مقطع گرفته شده است به عنوان تکیه گاه مفصلی یا گیردار در نظر گرفته می شود.

◄ کمانش برشی

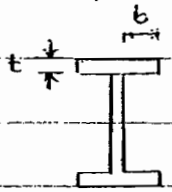
◄ کمانش به صورت تصویر است



انواع مقاطع	کمانش موضعی	خمیری شدن
مقاطع فشرده	وجود ندارد.	$F_b = 0.66F_y$ می تواند
مقاطع غیر فشرده	وجود ندارد.	$F_b = 0.6F_y$ نمی تواند
مقاطع با اجزا لاغر	وجود دارد.	$F_b \leq 0.6F_y$ نمی تواند

* نسبت ضخامت پهنه های آزاد

◄ بال تیر نورد شده I شکل و ناودانی کف ستون



ST 37

$F_y = 240\ N/mm^2$

بال تیر غیر فشرده $\frac{b}{t} \leq \frac{250}{\sqrt{F_y}} = 16$ بال پر فشرده $\frac{b}{t} \leq \frac{172}{\sqrt{F_y}} = 11$

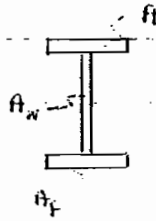
بال تیر لاغر است $\frac{b}{t} > \frac{250}{\sqrt{F_y}} = 16$

◄ جان مقطع کف ستون

جان مقطع فشرده $\frac{h}{t_w} \leq \frac{1700}{\sqrt{F_y}} = 110$

جان لاغر: $\frac{h}{t_w} > \frac{2020}{\sqrt{F_y}}$ ، جان مقطع غیرفشرده: $\frac{h}{t_w} \leq \frac{2020}{\sqrt{F_y}} = 160$

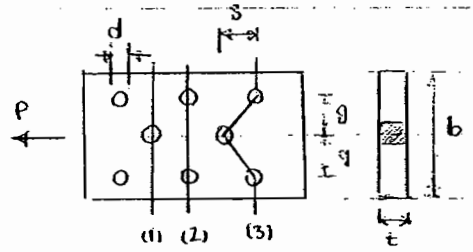
◀ مقاطع مرکب



۱) مقطع کل: $A = \Sigma A_i = 2A_f + A_w$

۲) مقطع خالص: $A_n = A - \Delta A$

ΔA : سطح مقطع سوراخ‌ها



سطح مقطع: $A = b.t$

$A_{n_1} = bt - dt = t(b-d)$

$A_{n_2} = bt - 2dt = t(b-2d)$

سطح مقطع زیگزاگ: $A_n = A - \Delta A + m\frac{s^2}{4g}t$

s : گام طولی

g : گام عرضی

$A_{n_3} = bt - 3dt + 2\frac{s^2}{4g}t$ (رابطه آزمایشگاهی)

$A'_{n_3} = t(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) - 3dt$ (رابطه تئوریک)

★ به جای استفاده از رابطه A'_{n_3} از رابطه A_{n_3} استفاده شود.

★ اگر در یک قطعه کششی در یک سطح مورب اتفاق بیفتد در آن برای محاسبه سطح مقطع خالص از رابطه آزمایشگاهی استفاده می‌کنند.

اتصالات پرچی و پیچی

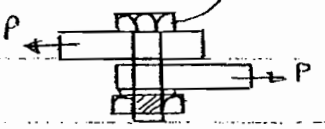
۱- اتصالات اتکائی

۲- اتصالات اصطکاکی

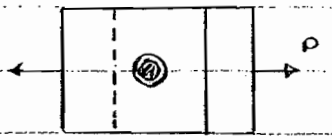
• اتصالات اتکائی

پیچ = میله + واشر + مهره

وسیله اتصال (پرچ)



در اثر وارد کردن نیرو، قطعه بالایی نیروی خورد و نیروی برشی از طرف سوراخ وارد می‌شود.



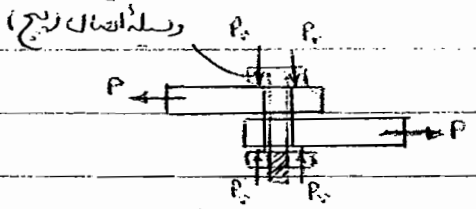
نیروی فشاربدنه

$F_p \leq F_p$ پیچ

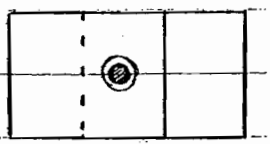
F_p قطعه

$F_v \leq F_v$ پیچ F_v برشی

• اتصالات اصطکاکی



P_0: نیروی تنش پیچ را بیشتر از حد امکان می‌کنیم تا صفر شود.

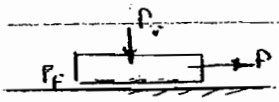


$P_f > P$

$P_f = \mu \cdot P_0$

μ ضریب اصطکاک

★ نیرو به وسیله سطوح اصطکاک منتقل می‌شود.

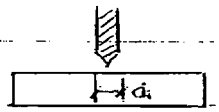


• نیروی P باعث لغزش ورق می‌شود.

$P_f > P$

◄ سوراخکاری :

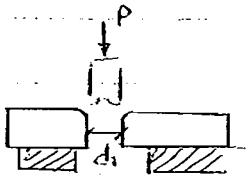
۱- سوراخکاری بوسیله مته



$d_1 = d + 1\,mm$

* قطر سوراخ 1mm از قطر پیچ بیشتر است .

۲- سوراخکاری بوسیله سنبه زدن (Punch)



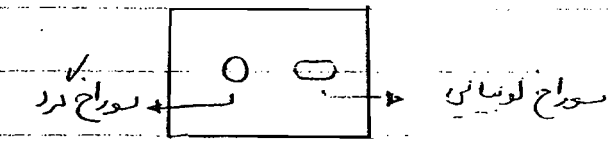
$d_1 = d + 1.5\,mm$

۳- سوراخکاری با شعله

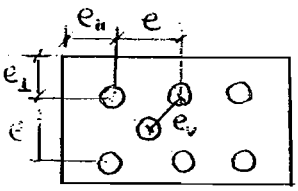
✓ این روش را استفاده نمی‌کنیم چون دقت آن پایین است.

۴- سوراخکاری بوسیله سنبه و ماتریس زدن

* بهترین خاصیت آن دیدن اطراف سوراخ (در روش دوم) می‌توان سوراخکاری اولیه به وسیله سنبه با دیکر انجام شود و بعداً قطر سوراخ بوسیله سنبه زدن بزرگتر کرد.



◄ فواصل سوراخ ها :



d = قطر پیچ

t = ضخامت ورق

		حداکثر	حداقل
تعداد پیچ	e و e_1 در راستاهای عمودی	8d یا 15t	3d
	" " در راستای نیرو	8d یا 15t	3.5d
	فواصل کناری	3d یا 6t	2d
	فاصله در جهت نیرو ($e_{\parallel}$) (Le)	3d یا 6t	1.5d
	فاصله عمود بر نیرو e_1		
پیچ یا پرچ مربوط کننده (غیر باری)	تیرهای کششی	8d یا 16t	
	تیرهای فشاری	12d یا 25t	
	در راستاهای عمودی		3d
	در راستای		3.5d

محاسبه اتصال انطباقی

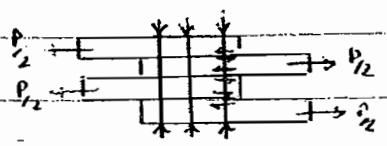
۱) کنترل تعداد اتصال یافته

۲) کنترل وسیله اتصال

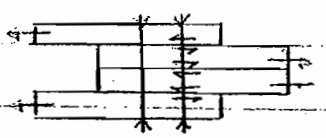
کنترل تعداد اتصال یافته

تعداد سطح برش $m=1$

$m=2$

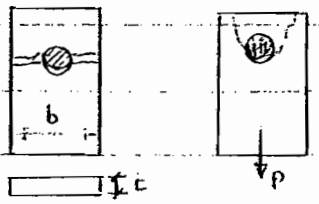


$m=3$



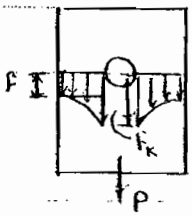
$m=2$

۱- اهداف ورق (گسیختگی ورق):



$$f = \frac{P}{A} \quad , \quad f = \frac{P}{A_n}$$

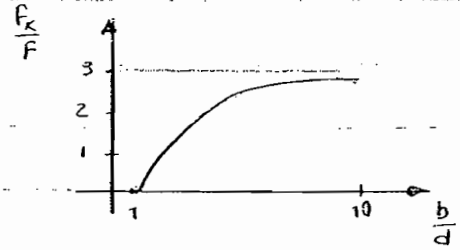
$$A = b.t \quad , \quad A_n = b.t - d_1.t$$



- تمرکز تنش در اطراف سوراخ

تنش $f_K \longrightarrow 3f$ تنش

تنش متوسط $= f$



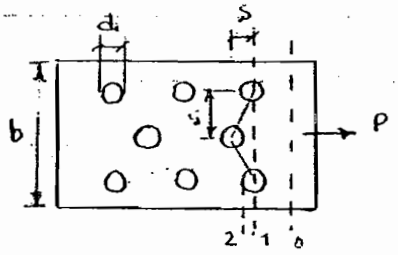
$$d_1 = d + 1\ mm$$

$$d_1 = d + 1.5\ mm$$

★ در این نامه فقط از تنش متوسط در سطح مقطع کل یا سطح مقطع خالص استفاده می‌شود.

	F_y	$F_u\ (N/mm^2)$
ST37	240	370
ST52	360	520

۲- کنترل قبل از پیچ و مهره (قبل از اتصال پیچ و مهره)

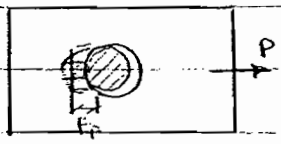


$$A = b.t$$

$$A_{n_1} = A - 2d_1 t$$ ← تعداد سوراخ در خط گسیختگی (1)

$$A_{n_2} = A - 3d_1 t + 2t\,\frac{s^2}{4g}$$

تعداد سوراخ در خط گسیختگی (2) ← تعداد فاصله‌ها در خط گسیختگی (2)

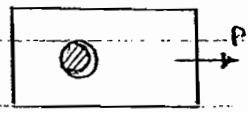


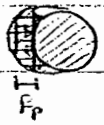
$$f_p = \frac{P}{d.t_{min}} \leqslant F_{p\,\text{برش}}$$

$$f_p = \frac{P}{n.d.t} \leqslant F_p \quad \text{فشاری}$$

• کنترل وسیله اتصال

۱ـ کنترل ناراتظاری

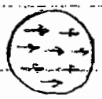




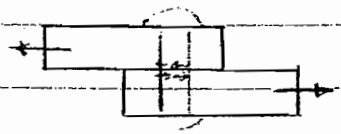
$$\begin{cases} f_p = \dfrac{P}{d.t} \leqslant F_{p\,\text{خمشی}} \\ f_p = \dfrac{P}{nd.t} \leqslant F_p \end{cases}$$

$$F_p = \min\left(F_{p\,\text{برش}}, F_{p\,\text{خمشی}}\right)$$

۲ـ کنترل برش وسیله اتصال

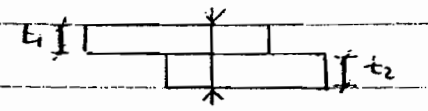


$$f_v = \frac{P}{n.m A_v} \leqslant F_v$$

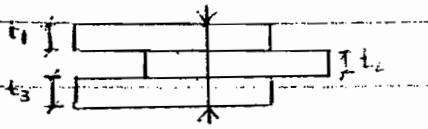


$$f_v . A_v \leqslant P$$

$$A_v = \frac{\pi d^2}{4}$$



$$t = t_{min} = \min(t_1, t_2)$$



$$t_{min} = \min(t_1, t_2, t_3)$$

$$\begin{cases} N_p = d.t.F_p \\ n = \dfrac{P}{N_p} \end{cases}$$

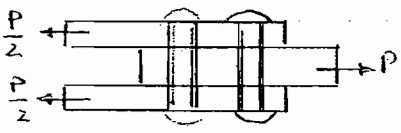
تعدادی مجاز ناراتظاری

$$N_r = \frac{\pi d^2}{4} \cdot f_r \quad , \quad n = \frac{P}{m \cdot N_r}$$

N_p ، N_r در مورد پرچ ← جدول ۱۹-۵ صفحه 318

N_r ، N_p در مورد پیچ ← جدول ۵۵-۵ صفحه 317 DIN

• اتصالات انتهایی



۱- کنترل ورق

۱-۱- کنترل گسیختگی

۱-۱-۱- کنترل در سطح مقطع کل $\quad F = \frac{P}{A} \leq F_t = 0.6 F_y$

۱-۱-۲- کنترل در سطح مقطع خالص $\quad f = \frac{P}{A_n} \leq F_t = 0.5 F_u$

۲- کنترل وسیله اتصال

کنترل فشار بدنه
کنترل فشار انتهایی ← $f_p = \frac{P}{n.(A_p)} \leq F_p$

$A_p = (\Sigma t_{min})\, d$ ، $F_p = \min(F_p$ ورق ، F_p وسیله اتصال$)$

۳- کنترل وسیله اتصال

کنترل برش وسیله اتصال $\quad f_r = \frac{P}{n.(A_r.m)} \leq F_r \quad (A_r = \frac{\pi d^2}{4})$

◄ کنترل ورق و وسیله اتصال

روابط اجرایی:
- $N_p = A_p \cdot F_p$
- مقاومت فشاری بدنه یک پرچ یا پیچ

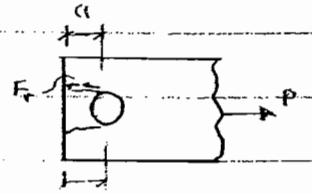
تعداد پرچ‌ها $\quad n_p = \frac{P}{N_p}$

◄ کنترل وسیله اتصال

روابط اجرایی:
- $N_r = A_r \cdot F_r$
- $n_r = \frac{P}{m.N_r}$

تعداد پرچ‌ها یا پیچ‌های طراحی: $\Rightarrow \boxed{n = \max(n_r, n_p)}$

کنترل فاصله سوراخ تا لبه :



* اگر فاصله e_{11} طبق استاندارد نباشد، کنترل زیر لازم است :

$$P \leq F_{v2} \cdot t \cdot 2a = F_{v2} \cdot t \cdot 2\left(Le - \frac{d}{2}\right)$$

$$Le = e_{11} \geq \frac{d}{2} + \frac{P}{2F_v \cdot t}$$

* اگر P برای مقاومت سازه‌ای، تعیین شود :

$$Le = \frac{d}{2} + \frac{F_p \cdot dt}{2F_v \cdot t} = \frac{d}{2} + \frac{F_p}{2F_v} \times d = d\left(0.5 + \frac{F_p}{2F_v}\right)$$

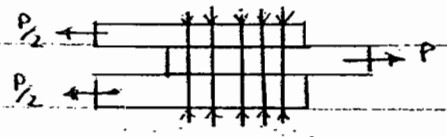
$$\left.\begin{array}{l} F_p \simeq 1.16\, F_v \\ F_v = 0.375\, F_v \end{array}\right\} \longrightarrow Le = d\left(0.5 + \frac{1.16\, F_v}{2\, F_v}\right) \simeq 2.0\, d$$ فاصله استاندارد =

$$\boxed{\text{فاصله استاندارد } Le = 2.0\,d}$$

d: قطر پیچ یا پرچ — خانه پرچ $A_p = d_1 \cdot t$

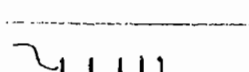
d_1: قطر سوراخ $d_1 = d + 1\,mm$ — خانه پیچ $A_p = d \cdot t$

تعداد وسائل اتصال پشت سرهم :



واقعی

پرچ صلب - ورق ارتجاعی



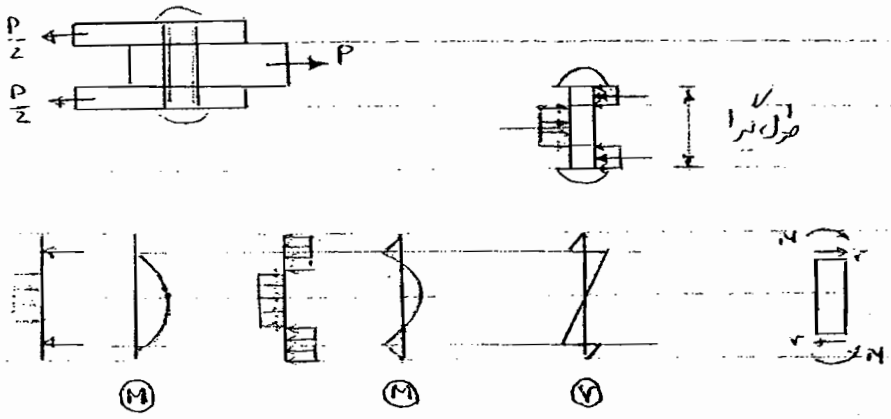
پرچ ارتجاعی - ورق صلب

* وقتی ورق اریکای الاست ، مانند عنصر عمل می‌کند ـ بنابراین نقطه دوپیچ انتهایی نیروی P را تحمل می‌کنند و پیچ های میانی نیروئی نمی‌برند.

* در طراحی از عرض پرچ اریکایی ـ ورق معلب استفاده می‌کنیم و توزیع نیرو را یکنواخت در نظر می‌گیریم

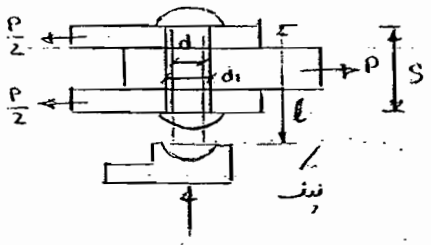
◀ اگر تعداد پیچ های پشت سرهم کمتر یا مساوی 5 باشد ، پخش نیرو بین پیچ ها به صورت یکنواخت فرض می‌شود.

طول گیرا :



* در محاسبات پرچ و پیچ اگر طول گیرا کوچک باشد ، نیازی به محاسبه خمش در تنه پیچ یا پرچ نیست و فقط برش محاسبه می‌گردد.

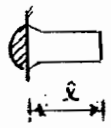
◀ اتصالات پرچی



d : قطر پرچ قبل از کوبیدن

d_1 : " " پس از کوبیدن

* پرچ را گداخته می‌کنیم و داخل سوراخ پیچ قرار می‌دهیم و آن را با پتک می‌کوبیم تا کاملاً داخل سوراخ را پر کند.

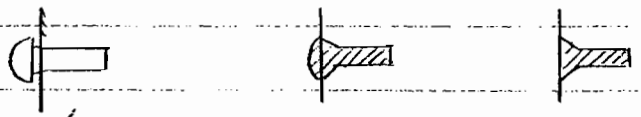


$l = S + \frac{4}{3} d$ کوبیدن با ضربه (دورخی)

$l = S + \frac{7}{4} d$ کوبیدن با فشار (سرخی)

★ پرچ وسیله اتصال غیرقابل بازکردن است و باز کردن پرچ به همراه از بین بردن (پریدن) پرچ می باشد.

▲ جوش نیز وسیله اتصال غیرقابل بازکردن است امّا پیچ وسیله اتصال قابل بازکردن است.



پرچ خزانه — پرچ عدسی — پرچ نیم گرد

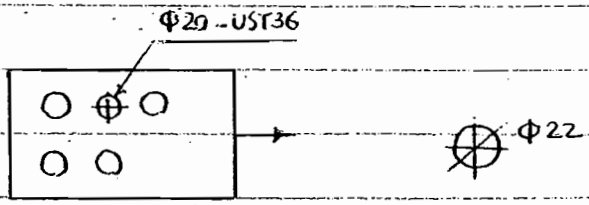
• کنترل پرچ ← کنترل نفی بازدن چکش

◄ مصالح پرچ ها:

مصالح قطعه	مصالح پرچ
ST37	VST 36
ST52	RST44 ← RST38

★ مصالح پرچ باید یک درجه نسبت به مصالح قطعه صنعتی تر انتخاب گردد.

◄ علائم ترسیمی پرچ ها:



(شکل 16-5)

+ : سوراخ کردن ، اجرای پرچ در محل کارگاه ساختمانی

/ : در محل ساختمان ، در کارگاه ساختمانی اجرا شود.

کارخانه ساخت وقطعات ← کارگاه سازنده قطعه

کارگاه محل ساختمان ← خود ساختمان

• تعیین قطر کرج یا پیچ :

$$d = \sqrt{5t} - 0.2 \text{ cm}$$

مثال : $t = 10 \text{ mm} \Rightarrow d = \sqrt{5 \times 1} - 0.2 = 2.0 \text{ cm}$

• تنش های مجاز در کرج :

$$F_v = 0.6\, F_y \text{ کرج} \qquad \xrightarrow[F_y = 240]{ST37} \qquad \begin{cases} F_v = 140 \\ F_p = 280 \end{cases}$$
$$F_p = 1.2\, F_y$$

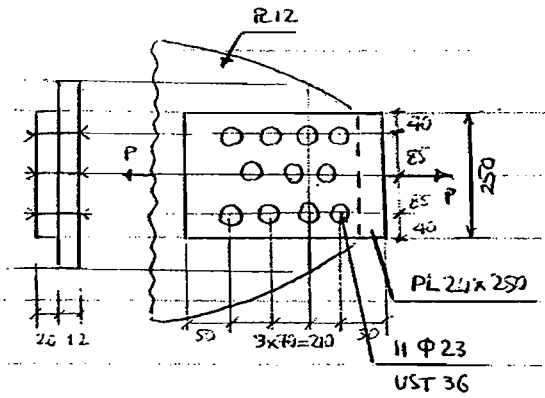
✱ در آیین نامه مساف $F_p = 2F_y$ داده شده است که مقدار آن زیاد است و از $F_p = 1.2F_y$ باید استفاده شود.

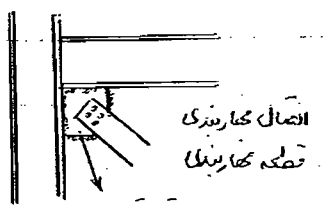
مثال) اتصال زیر را کنترل کنید.

ورق باربری : ST37

بارگذاری ثابت

$P = 613$ KN



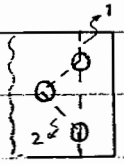


۱ـ کنترل قطعه ۲ـ کنترل ورق اتصال

۳ـ کنترل کرج ۴ـ کنترل جوش PL 20x250

$$\begin{cases} f = \dfrac{P}{A} \leq F_t = 0.6\, F_y & \text{(کنترل در سطح مقطع کل)} \\ f = \dfrac{P}{A_n} \leq F_t = 0.5\, F_u & \text{(کنترل در سطح مقطع خالص)} \end{cases}$$

$A = t.b = 2.0 \times 25.0 = 50 \ cm^2$



$A_{n_1} = 50 - 2(2.3 \times 2) = 40.8 \ cm^2$

$A_{n_2} = A - \Sigma \Delta A + \Sigma \frac{S^2}{4g} . t$

$= 50 - 3(23 \times 2) + 2 \frac{3.5^2}{4 \times 8.5} \times 2 = 37.6 \ cm^2$

$A_n = \min(A_{n_1}, A_{n_2}) = 37.6 \ cm^2$

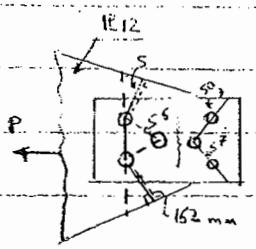
$f = \frac{316}{50} = 12.26 \ KN/cm^2 \leq 0.6 F_y = 0.6(24) = 14.4 \ KN/cm^2$ ✓

تنش در ردیف مقطع کل جواب می دهد.

$f = \frac{613}{37.6} = 16.3 \ KN/cm^2 \leq 0.5 F_u = 0.5(37) = 18.5$ ✓

تنش در ردیف مقطع خالص جواب می دهد.

◁ نبشی ورق اتصال IPE 12



$P = 613 \ KN$

$A = 1.2(16.2 + 17 + 16.2) = 59.3 \ cm^2$

$A_{n_5} = 59.28 - 2(1.2 \times 2.3) = 53.8 \ cm^2$

$A_{n_6} = 59.28 - 3(1.2 \times 2.3) + \frac{3.5^2}{4 \times 8.5} \times 1.2 \times 2$

$= 51.8 \ cm^2$

تنش در ردیف مقطع کل: $f = \frac{613}{59.3} = 10.34 \ KN/cm^2 \leq 14.5$ ✓

تنش در ردیف مقطع خالص: $f = \frac{613}{51.8} = 11.90 \ KN/cm^2 \leq 18.5$ ✓

نبشی ردیف 7: $A_7 = 1.2(5 + 17 + 5) = 32.4 \ cm^2$

$A_{n_7} = 32.4 - 3 \times 1.2(2.3) + 2 \frac{3.5^2}{4 \times 8.5} \times 1.2 = 25.0 \ cm^2$

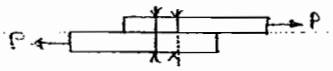
$P_7 = \frac{3}{11}(613) = 167.2 \ KN$ (3 پیچ از 11 پیچ سمت راست)

$$\begin{cases} f = \frac{167.2}{32.4} = 5.16 \ KN/cm^2 \leq 14.5 & \checkmark \\ f = \frac{167.2}{25} = 6.61 \ KN/cm^2 \leq 18.5 & \checkmark \end{cases}$$

۴- کنترل پرچ

کنترل برش پرچ / $f_v = \dfrac{P}{n.m.\pi d^2/4} \leq F_v$

کنترل فشار اتکا / $f_p = \dfrac{P}{n.t.d} \leq F_p$



$\begin{cases} n = 11 & d = 2.3\ cm \\ m = 1 & t = t_{min} = \min(2, 1.2) = 1.2\ cm \end{cases}$

$f_v = \dfrac{613}{11 \times 1 \times \pi (2.3)^2/4} = 13.41\ KN/cm^2 \leq F_v = 0.6\, F_{y\,پیچ} = 0.6 \times 23 = 14$ ✓

(پیچ UST 36 $\Rightarrow$ $F_y = 23\ KN/cm^2$)

$f_p = \dfrac{613}{11 \times 1.2 \times 2.3} = 20.19\ KN/cm^2 \leq F_p = 1.2\, F_{y\,پیچ} = 1.2 \times 23 = 27.6$ ✓

* در طراحی با کنترل تنش به صورت زیر عمل می‌کنیم:

جدول ۱۹-۵ صفحه 318 : $N_v = 58.2\ KN$ ، $N_p = 64.4\ KN$

(برای $m=1$ و $t=1\ cm$)

$n_v = \dfrac{P}{m.N_v} = \dfrac{613}{1 \times 58.2} = 10.5 \rightarrow 11$ عدد

$n_p = \dfrac{P}{t.N_p} = \dfrac{613}{1.2 \times 64.4} = 7.9 \rightarrow 8$ عدد

تعداد پرچ‌ها : $n = \max(11, 8) = 11 \leq 11$ موجود ✓

(تعداد پرچ‌های موجود $\geq$ تعداد پرچ‌ها)

◁ فواصل پرچ‌ها

$\min e = 3d$ ، $\max e = 8d$ یا $15t$

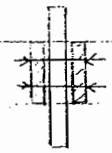
$\min e_{\parallel} = 2d$ ، $\max e_{\parallel} = 3d \le 6t_{min}$

$\min e_{\perp} = 1.5d$ ، $\max e_{\perp} = 3d \le 6t_{min}$

	e (cm)	$e_{\parallel}$	$e_{\perp}$
min	$3\times2.3 = 6.9 \simeq 7$	4.6	3.5
max	$18.4 \le 18 \to 18$	$6.9 \le 7.2$	$6.9 \le 7.2 \to 6.9$

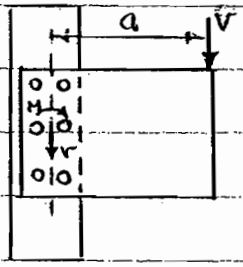
$$\begin{cases} 6.9 < e = 7\,cm < 18 \ \checkmark \\ 4.6 < e_{\parallel} = 5\,cm < 6.9 \ \checkmark \\ 3.5 < e_{\perp} = 4\,cm < 6.9 \ \checkmark \\ 6.9 < e_r = 9.2\,cm < 18 \ \checkmark \end{cases} \longrightarrow \text{فاصله پرچ‌ها استاندارد است}$$

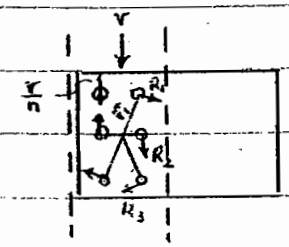
* برای کاهش تعداد پرچ‌های لازم می‌توانیم مقاومت تسمه‌ها را تقسیم یا تسمه دو قطعه‌ای قرار دهیم تا سطوح برش افزایش یابد.



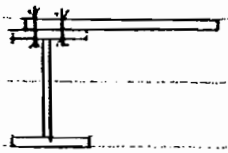
$m = 2$

اتصالات پرچی یا پیچی (نیرو)





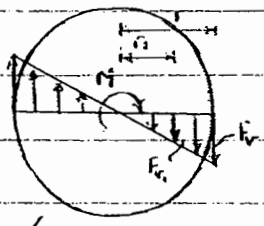
۱- تنش وسیله اتصال:



$$M = R_1 r_1 + R_2 r_2 + R_3 r_3 + \dots$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{r_2}{r_1} \longrightarrow R_2 = R_1\left(\frac{r_2}{r_1}\right)$$

$$\Rightarrow \boxed{R_i = R_1\left(\frac{r_i}{r_1}\right)}$$



$$\frac{F_{r_i}}{F_r} = \frac{r_i}{r}$$

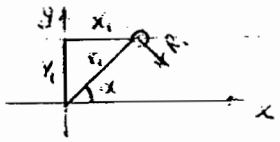
$$M = R_1 r_1 \left(\frac{r_1}{r_1}\right) + R_1 r_2 \left(\frac{r_2}{r_1}\right) + R_1 r_3 \left(\frac{r_3}{r_1}\right) + \dots + R_1 r_n \left(\frac{r_n}{r_1}\right)$$

نقطع متصل ولی لا علاقة بالموضوع

$$\Rightarrow M = \frac{R_1}{r_1} \sum_{i=1}^{n} r_i^2 \Rightarrow \boxed{R_1 = M \cdot \frac{r_1}{\sum r_i^2}}$$

$$\sum r_i^2 = r_1^2 + r_2^2 + \dots + r_n^2 \quad ; \quad r_i^2 = x_i^2 + y_i^2$$

$$\begin{cases} R_v = R \cdot \cos\alpha = R \cdot \frac{x}{r} \\ R_h = R \cdot \sin\alpha = R \cdot \frac{y}{r} \end{cases}$$



$$R_v = R \cdot \frac{x}{r} = \frac{M}{\sum r_i^2} \cdot r_1 \cdot \frac{x}{r_1} = \frac{M}{\sum r_i^2} \cdot x = \frac{M}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \cdot x$$

$$\Rightarrow R_v = \frac{M}{I_p^*} \cdot x \qquad \left[\sum r_i^2 = \sum (x_i^2 + y_i^2) = I_p^*\right]$$

$$R_h = \frac{M}{\sum r_i^2} \cdot y = \frac{M}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \cdot y = \frac{M}{I_p^*} \cdot y$$

(لنتركها)

$$\begin{cases} R_v = \frac{M}{I_p^*} \cdot x + \frac{V}{n} \\ R_h = \frac{M}{I_p^*} \cdot y + \frac{H}{n} \end{cases} \Rightarrow R = \sqrt{R_v^2 + R_h^2} \leqslant N_1 \rightarrow \text{مقاومة البرغي}$$

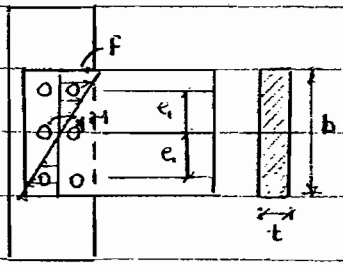
$$N_1 = \min(N_{r_1}, N_{p_1})$$

$$N_{r_1} = N_r \cdot m \quad ; \quad N_{p_1} = N_p \cdot t_{min}$$

$\Rightarrow R = \sqrt{R_v^2 + R_h^2} \leqslant N_1$ ... لنتركها لاحقاً.

برغي

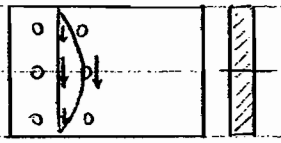
کنترل مقطعه = کنترل صفحه



• کنترل خمش ورق

$$f_b = \frac{M}{S} \leqslant F_b = 0.66\,F_y$$

$$S = t.\frac{b^2}{6} \quad , \quad I = t.\frac{b^3}{12}$$



• کنترل برش

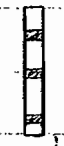
$$f_v = \frac{V.Q}{I.t} = \frac{V}{b.\frac{t^3}{12}} \cdot \frac{t.b/2 \cdot b/4}{t}$$

$$(A = b.t) \longrightarrow f_v = 1.5\,\frac{V}{A} \leqslant F_v = 0.4\,F_y$$

• کنترل خمش در محل تضعیف شده

$$I_n = I - \Sigma\Delta I = t.\frac{b^3}{12} - 2t.d_1.e_1^2$$

$$S_n = I_n / b/2$$

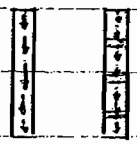


$$f_b = \frac{M}{S_n} \leqslant F_{bending} = 0.66\,F_y$$

• کنترل برش در محل تضعیف شده

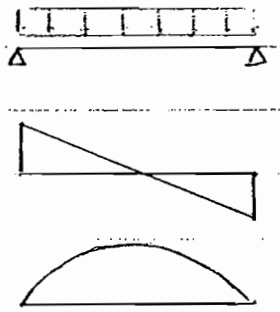
$$A_n = A - \Sigma\Delta A = bt - 3.d_1.t$$

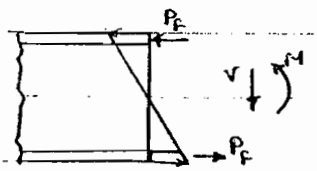
$$f_v = \frac{V}{A_n} \leqslant F_v = 0.4\,F_y$$

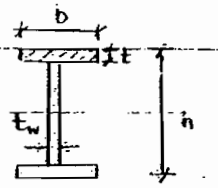


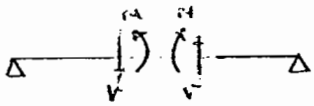
★ می توانیم کنترل ورق را فقط در محل تضعیف شده انجام دهیم.

وصله تیرها با پرچ یا جوش، تنش برشی در پرچ و جوش









$$P_f = \int_{Adt} f\,dA \quad ; \quad f = \frac{M}{I}\cdot y$$

$$M = M_f + M_w$$

M_f: تنش خمشی بال — M_w: تنش خمشی جان

توزیع تنش برشی در اجزای مقطع:

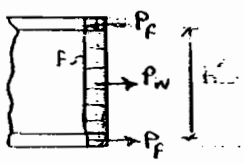
$$M_f = \int_{بال} f\cdot y\cdot dA \quad ; \quad M_w = \int_{جان} f\cdot y\cdot dA = \int_{جان} \frac{M}{I}\cdot y\cdot y\cdot dA$$

$$= \frac{M}{I}\int_{جان} y^2\,dA = \frac{M}{I}\cdot I_w$$

I_w: ممان اینرسی جان

$$\begin{cases} M_w = \dfrac{M}{I}\cdot I_w \\ M_f = \dfrac{M}{I}\cdot I_f \end{cases} \qquad P_f = \int_{A_{بال}} f\cdot dA = \frac{M_f}{h'}$$

$$h' \simeq h - 2\left(\frac{t}{2}\right) = h - t$$

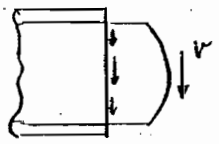


تنش برشی خمشی

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

$$P = 2P_f + P_w$$

$$P_f = P\cdot\frac{A_f}{A} \quad ; \quad P_w = P\cdot\frac{A_w}{A}$$



تنش برشی ثقلی

$$V = V_w + 2V_f$$

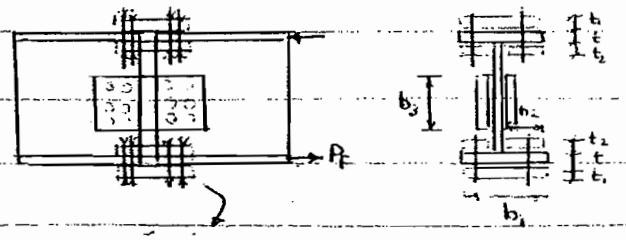
$$V_f \ll V_w \rightarrow V_f \approx 0$$

$$V = V_w$$

* (اتصال برشی باید باشد) فرض می‌شود کل نیروی برشی توسط جان تحمل می‌شود و بقیه بال در انتقال نیروی برشی ناچیز است

$$P_f = \int_{A_{fl}} f \, dA = \int_{A_{fl}} \frac{M}{I} y \, dA = \frac{M}{I} \int_{A_{fl}} y \, dA = \frac{M}{I} \cdot Q_f$$

$$Q_f = A_f \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right)$$



اتصال بال فوقانی ← اتصال نبشی

۱- تعداد وسیله اتصال

$$n = \frac{P_f}{N_1} \quad ; \quad N_1 = \min (N_v \cdot m \, , N_p \cdot t_{min})$$

$$m = 2 \quad ; \quad t_{min} = \min (t, t_1, t_2)$$

۲- کنترل صفحه اتصال

$$A = b_1 \cdot t_1 + 2 b_2 \cdot t_2$$

$$A_n = A - \Sigma \Delta A = A - 2 \Delta A$$

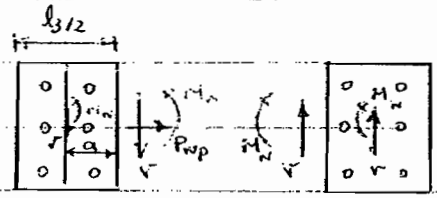
$$\Delta A = d_1 \cdot (t_1 + t_2)$$

$$f_t = \frac{P_f}{A} \leq F_t = 0.6 F_y \quad \text{تنش در سطح مقطع کل}$$

$$f_t = \frac{P_f}{A_n} \leq F_t = 0.5 F_u \quad \text{تنش در سطح مقطع خالص}$$

* کنترل بال کششی مانند کنترل بال فوقانی است

• کنترل جان ـ با وجود N_w ، V



$$M'_w = M_w + a.V$$

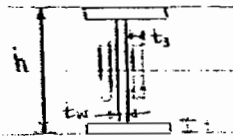
• کنترل وسایل اتصال

$$R = \sqrt{R_v^2 + R_h^2} \leqslant N_1 \quad ; \quad N_1 = \min(N_v.m \ , \ N_p.t_{min})$$

$$m = 2 \ , \quad t_{min} = \min(t_w \ , \ 2t_3)$$

$$R_v = \frac{M'_w}{I_p^*}.x + \frac{V}{n} \quad ; \quad R_h = \frac{M'_w}{I_p^*}.y + \frac{P_{wp}}{n}$$

n: تعداد پیچ‌ها $\rightarrow$ (حداقل: $n=6$)



• کنترل ورق‌های اتصال جان IP3

- کنترل خمش

$$f_b = \frac{M}{S} \leqslant F_b = 0.66\,F_Y \qquad (S = 2t_3.\frac{b_3^2}{6})$$

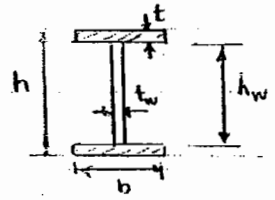
- کنترل برش

$$f_v = 1.5\frac{V}{A_3} \leqslant F_v = 0.4\,F_Y \qquad (A_3 = 2b_3.t_3)$$

• کنترل برش در مقطع ضعیف شده

$$A_{3n} = A - 3(2t_3).d_1$$

$$f_v = \frac{V}{A_{3n}} \leqslant F_v = 0.4\,F_Y$$



$$I_w = t_w.\frac{h_w^3}{12} \qquad (h_w = h - 2t)$$

$$I_f = 2b_1.t_1.\left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2}\right)^2 + 2b_1.\frac{t_3^3}{12}$$

$\rightarrow$ چون کوچک است . صرف نظری کنیم .

$$A = 2A_f + A_w$$

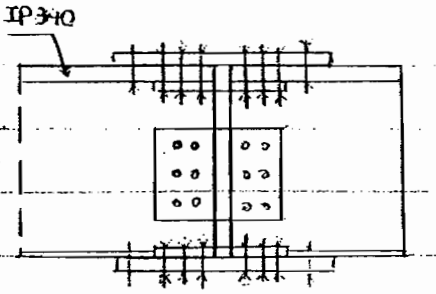
$$A_f = b \cdot t \quad ; \quad A_w = t_w \cdot h_w$$

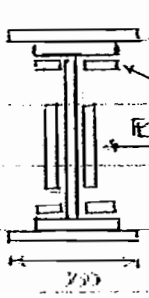
$$P_{wp} = P \frac{A_w}{A} \quad , \quad P = P_{wp} + 2P_{fp}$$

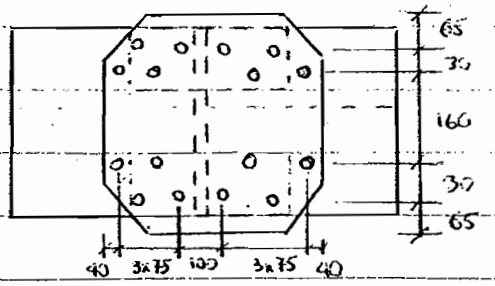
P_{fp} : بخشی از نیروی P

$$P_{fp} = \frac{P - P_{wp}}{2} \quad , \quad P_f = P_{FM} + P_{fp}$$

مثال:







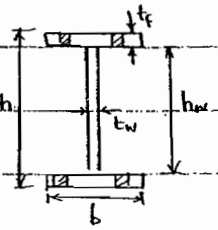
Φ25 UST 36-1

بارگذاری عادی

ST 37

$V = 80$ KN , $M = M_{max}$

سعی کنید IPB 30 را از روی جدول پرسنی انتخاب کنید:



$A = 171 \ cm^2$, $I_x = 36660 \ cm^4$

$S_x = 2160 \ cm^3$, $t_f = 2.15 \ cm$

$t_w = 1.2 \ cm$, $h = 34 \ cm$, $b = 30 \ cm$

$$h_w = 34 - 2 \times 2.15 = 29.7 \ cm$$

$$A_w = 1.2 \times 29.7 = 35.64 \ cm^2$$

$$A_f = (A - A_w)\frac{1}{2} = (171 - 35.64)\frac{1}{2} = 67.7 \ cm^2$$

- سطح مقطع سوراخ های بال کششی (بال کناری)

$$\Delta A_f = 2(2.5 \times 2.15) = 10.8 \ cm^2$$

◁ در محاسبهٔ مقاومت خالص تیرهای ورق پر، مقطع سوراخ های بال کششی را در نظر می گیرند.

$$A_{fn} = 67.7 - 10.8 = 56.9 \ cm^2$$

- سطح مقطع موثر

$$M = f_b \cdot S \quad , \quad M = f_b \cdot S_n$$

$$I = 36660 \ cm^4$$

$$I_n = I - \Delta I_{\text{بال کششی}} = 36660 - 2(2.5 \times 2.15)\left(17 - \frac{2.15}{2}\right)^2 = 33940 \ cm^4$$

◁ در محاسبهٔ ممان اینرسی خالص از

$$\frac{A_{fn}}{A_f}_{\text{بال کششی}} < \frac{F_y}{1500} + 0.69$$

$$= \frac{240}{1500} + 0.69 = 0.85$$

استفاده می شود.

◁ از سطح مقطع کل استفاده می شود و نیازی به در نظر گرفتن تضعیف بدن مقطع در محل سوراخ های اتصال نیست.

$$\frac{A_{fn}}{A_f} > \frac{F_y}{1500} + 0.69$$

$$\frac{56.9}{67.7} = 0.84 \leq 0.85 \rightarrow \boxed{I = I_n}$$

$$S_n = \frac{I_n}{h/2} = \frac{33940}{17} = 1996 \ cm^3$$

$$M_b = 16 \times 1996 = 31900 \ KN.cm$$

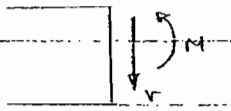
$$F_b = 0.66 F_Y = 160 \ N/mm^2 = 16 \ KN/cm^2$$

$$\frac{\sum \Delta A_f}{A_f} > 0.31 - \frac{F_y}{1500} = 0.31 - \frac{240}{1500} = 0.15$$

اگر سطح مقطع سوراخ ها از 15٪ سطح مقطع کل کمتر باشد، می توان از وجود سوراخ ها صرف نظر کرد.

۱- کنترل تیر IPB340

۱-۱- کنترل خمش



$$f = \frac{M}{S_n} = \frac{319 \times 10^2}{1996} = 16 \ KN/cm^2 \leqslant F_b = 16$$

۱-۲- کنترل برش عدالتی

$$f_v = \frac{VQ}{It} \leqslant F_v = 0.4 F_y$$

$$Q = 2.15 \times 30 \left(17 - \frac{2.15}{2}\right) + 1.2 \times \frac{29.7}{2} \times \frac{29.7}{4} = 1159 \ cm^3$$

$$f_v = \frac{80 \times 1159}{36660 \times 1.2} = 2.1 \ KN/cm^2 \leqslant 9.6$$

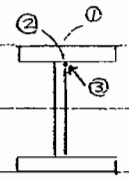
↓

△ چون لواح‌ها در I شکل مقطع هستند می‌توانیم برش را تنها از I کل در محاسبات استفاده کنیم

۱-۳- کنترل تنش مقایسه‌ای

$$f_{v3} = \sqrt{f_3^2 + 3 f_{v3}^2}$$

△ اگر $f_v \leqslant \frac{F_v}{2}$ باشد، نیازی به محاسبه تنش مقایسه‌ای نیست.



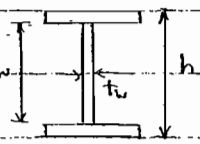
$f_v = 2.1 \leqslant \frac{F_v}{2} = \frac{9.6}{2} = 4.8 \ KN/cm^2 \Rightarrow$ نیازی به محاسبه f_h نیست.

△ در محاسبات تقریبی:

$$f_v \approx \frac{V}{A_w}$$

سطح برش: $A_w = h_w . t_w$

سطح کل: $A_{wi} = h . t_w$



$$A_w = 34 \times 1.2 = 40.8 \ cm^2$$

$$f_v = \frac{80}{40.8} = 1.96 \ KN/cm^2$$

* درصد خطای ارتفاع جان زیاد است، اگر از این رابطه تقریبی محاسبه تنش برشی انجام شود به تنش برشی واقعی نزدیکیم.

روابط تجربی → بلند قد $h > b$

روابط دقیق → کوتاه قد $h < b$

۲- اتصال بال فوقانی

۲-۱- کنترل وسایل اتصال

$\Phi 25 \longrightarrow$ UST 36_1

(جدول ۱۹_۵) $N_v = 68.7$ kN برشی ($m=1$)

$N_p = 70$ kN ($t = 1$ cm)

$\Sigma N_v = 68.7 \times (2 \times 6 + 1 \times 2) = 961.8$ kN

(m n m)

$\Sigma N_p = 70 \times (2.15 \times 6 + 1.2 \times 2) = 1071$ kN

$t_{min} = \min(1.5 + 1.2, 2.15) = 2.15$ cm

$t_{max} = \min(1.29, 2.15) = 1.29$ cm

$\Sigma N = \min(961.5, 1071) = 961.8 \geq P_{t_{موجود}} = 920$ kN ✓

۲-۲- کنترل صفحات اتصال

(PL 15×110×480 , PL 12×350×630)

$f = \frac{P}{A} \leq F_t = 0.6 F_y$, $f = \frac{P}{A_n} \leq F_t = 0.5 F_u$

$A = 1.2 \times 35 + 2 \times 1.5 \times 11 = 75$ cm^2

$A_n = 75 - 2 \times 2.5 \times (1.2 + 1.5) = 61.5$ cm^2

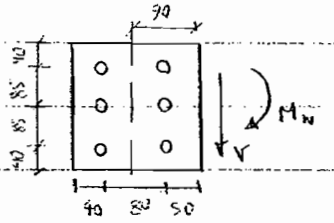
$f = \frac{920}{75} = 12.26$ kN/cm^2 ≤ 14.5 ✓

$f = \frac{920}{61.5} = 14.96$ kN/cm^2 ≤ 18.0 ✓

۲-۳- کنترل اتصال بال تحتانی

شبیه بال فوقانی می باشد.

۳- کنترل اتصال جان



$V = 80\ KN$

$M_w = 2463\ KN.cm$

۳-۱- کنترل وسایل اتصالات

$M'_w = 2463 + 80 \times 9 = 3183\ KN.cm$

$R_v = M \cdot \frac{x}{I_p^*} + \frac{V}{n} = 3183 \cdot \frac{4}{385} + \frac{80}{6} = 46.4\ KN$

$R_h = M \cdot \frac{y}{I_p^*} = 3183 \cdot \frac{8.5}{385} = 70.27\ KN$

$I_p^* = \Sigma(x^2+y^2) = 2\times3\times4^2 + 2\times2\times8.5^2 = 385\ cm^2$

$R = \sqrt{R_v^2 + R_h^2} = \sqrt{(46.4)^2 + (70.27)^2} = 84.21\ KN$

$N_{V_1} = m \times N_v = 2 \times 68.7 = 137.4\ KN$

$N_{P_1} = t_{min} \times N_p = 1.2 \times 70 = 84.0\ KN$

$(t_{min} = \min(1.2, 2\times1.2) = 1.2\ cm)$

$N_1 = \min(137.4, 84.0) = 84.0\ KN$

$R = 84.22 \simeq \leq 84.0\ KN$ ✓

۴- مقاومت اتصال کمتر از ۳٪ باشد پذیرفته می‌شود

۳-۲- کنترل ورق‌های اتصال جان (2 PL 12 x 250 x 340)

۱- کنترل خمش:

$f = \frac{M'_w}{S}$

$S = 2\times1.2\times\frac{25^2}{6} = 250\ cm^3$

$f = \frac{3183}{250} = 12.73\ KN/cm^2 \leq F_b = 0.66F_y = 16$

• کنترل برش

$$f_v = 1.5 \frac{V}{A}$$

$$A = 2 \times 1.2 \times 25 = 60\ cm^2$$

$$f_v = 1.5 \times \frac{80}{60} = 2\ KN/cm^2 \leq F_v = 0.4 F_y = 9.6 \checkmark$$

• کنترل برش در مقطع تضعیف شده

$$A_n = 60 - 2 \times 3(2.5 \times 1.2) = 42\ cm^2$$

$$f = \frac{V}{A_n} = \frac{80}{42} = 1.90\ KN/cm^2 \leq F_v = 9.6 \checkmark$$

◄ نکات طراحی

✓ طراحی اتصال بال

$$A_{\text{ورق بال}} = A_1 \geq 1.1 A_f$$

$$P_1 \geq P_{\text{مجاز}} \Rightarrow F_t \cdot A_1 \geq F_b \cdot A_f \Rightarrow 0.6 F_y A_1 \geq 0.66 F_y \cdot A_f$$

$$\Rightarrow A_1 = \frac{0.66}{0.6} A_f = 1.1 A_f$$

↓ برای تنش پذیری مجاز

(در این مثال) $A_1 = 1.2 \times 35 + 2 \times 1.5 \times 11 = 75\ cm^2$

$$A_f = 2.15 \times 30 = 64.5\ cm^2$$

$$\frac{A_1}{A_f} = \frac{75}{64.5} = 1.16 \geq 1.1 \checkmark$$

✓ طراحی اتصال جان

$$2 b_3 \times t_3 > t_w h_w \quad (t_3 \approx 0.8 t_w)$$

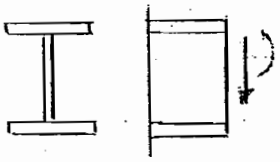
↓ ضخامت صفحات اتصال

* برای اینکه رابطه بالا برقرار باشد باید $t_3 \approx 0.8 t_w$

◄ حل مسئله ۵

۱- حل مسئله به روش توزیع نیروی برش

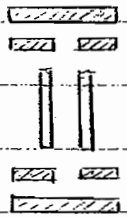
اجزاء مقطع



$$M = M_w + M_f$$

$$P_f = \frac{M_f}{h'}$$

۲- حل مسئله به روش باری اتصال در دو راستا



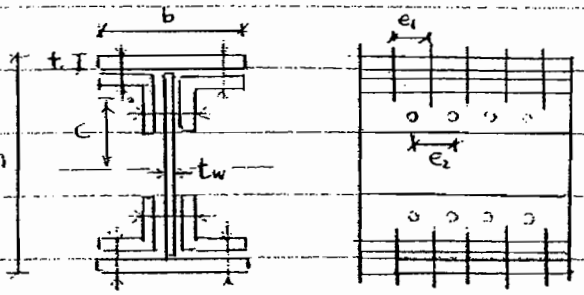
محاسبه‌ی بولت‌ها مثل I_1, S_1, A_1

$$F = \frac{M}{S_1}$$

$$F_v = \frac{VQ_1}{It_1}$$

$$P_f = \sum F_i A_i$$

◄ ساخت نمونه‌های مرکب (ورق) بوسیله پرچ یا پیچ

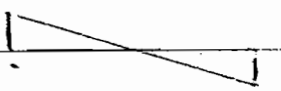


★ اگر دو تکه نبری هم قرار بگیرند و به هم وصل باشند، به علت نیروی برشی بوجود آمده بین آنها نیروی هم می‌لغزند.

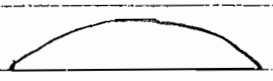
★ اگر تکه‌ها توسط پرچ یا پیچ به هم متصل باشند، نیروی هم می‌لغزند.

(A)

(V)



(M)



(B)

$$I_A = I_1 + I_2 = b\frac{t^3}{12} \quad (2)$$

$$\left(I_1 = b\frac{t^3}{12},\ I_2 = b\frac{t^3}{12},\ S = \frac{bt^2}{6}\right)$$

$$I_B = I_1 + I_2 + 2A_1\left(\frac{t}{2}\right)^2 = \frac{bt_1^3}{12} + \frac{bt_1^3}{12} + 2bt\left(\frac{t}{2}\right)^2 = \frac{bt^3}{12} \quad (8)$$

$$I_B = b.\frac{(2t)^3}{12} = 8.\frac{bt^3}{12} \qquad , \qquad S = b.\frac{(2t)^2}{6}$$

$I_B = 4 I_A$ ★ وقتی ورق‌ها را به هم متصل می‌نیم مثل این‌که نسبت به حالتی که به هم وصل نیستند، چهار برابر می‌شود.

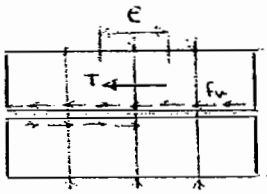
$$M = M_1 + M_2$$

$$f = f_1 = \frac{M_1}{S_1} = \frac{\frac{M}{2}}{\frac{b.t^2}{6}} = \frac{3M}{bt^2} \quad (A)$$

$$f = \frac{M}{S} = \frac{M}{b.\frac{(2t)^2}{6}} = \frac{1.5M}{bt^2} \quad (B)$$

★ تنش‌ها در صورت متصل کردن ورق‌ها کاهش می‌یابد.

★ بنابراین برای صرفه‌جویی در مصالح می‌توانیم ورق‌ها را به هم متصل نیم.



$$f_{v_2} = \frac{V.Q}{It}$$

$$T = f_{v_2}.e = \frac{V.Q}{It}.e = \frac{V.Q}{I.b}.e$$

نیروی برشی وارد بر پیچ $N = T.b = \frac{V.Q}{I}.e \leq N_{\text{پیچ}}$

◀ تیر ورق

۱- پیچ‌های بال

$$N = \frac{VQ}{I}.e_1 \Rightarrow e_1 = N_1.\frac{I}{VQ}$$

$N_1 \rightarrow$ بار مجاز یک پیچ $= \begin{cases} N_V.m = N_{V.7} \\ N_B.t_{min} = N_P.t_{min} \end{cases}$

$t_{min} = \min(t_{\text{بال}}, t_{\text{جان}})$

★ $Q = b.t\left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2}\right)$

۲- پیچ‌های اتصال نبشی به جان

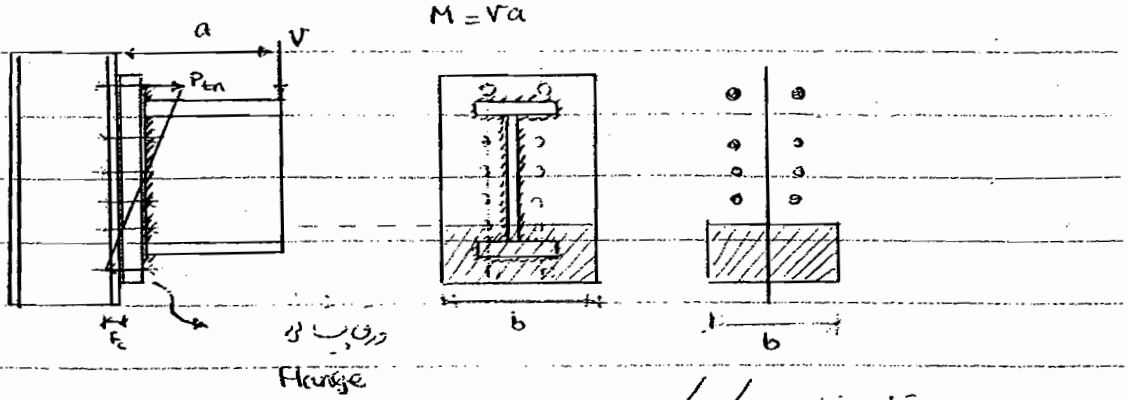
$$N = \frac{V \cdot Q}{I} \cdot e_2 \longrightarrow e_2 = \frac{N_1 \cdot I}{VQ}$$

$$Q = b \cdot t \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2}\right) + 2 A_L \cdot c$$

A_L : سطح مقطع نبشی

◄ کنترل برش پیچ در یک برش و کشش محوری

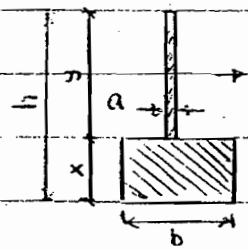
(اتصال گیردار یا طره‌ای)



(مقطع منفصل یا عملکرد دیافراگم)

همه‌ی نیرو تحمل می‌شوند هر مقطع محسوب می‌شود

«مقطع شبکه‌ای»



مقطع معادل پیچ‌ها

$n_\perp$ ← تعداد ستون‌ها * ... $n_\perp = 2$

$n_{//}$ ← تعداد ردیف‌های * ... $n_{//} = 4$

بالای خاکریز

تعداد پیچ‌های مقطع نبشی $n = n_\perp \times n_{//}$

$$a = \frac{n_\perp \cdot n_{//} \cdot A_t}{y}$$

A_t : سطح مقطع کشش پیچ یا رج

• محاسبه محل خاکریز :

$$x \cdot b \cdot \frac{x}{2} = a \cdot y \cdot \frac{y}{2} = a \cdot (h-x) \cdot \frac{(h-x)}{2}$$

$$\Rightarrow b\frac{x^2}{2} = \frac{a}{2}(h^2 - 2hx + x^2)$$

$$\Rightarrow x^2\left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right) + \frac{a}{2}2hx - \frac{a}{2}h^2 = 0$$

$$\Rightarrow x^2(b-a) + 2ahx - ah^2 = 0$$

$$x = \frac{a\cdot h}{b-a}\left[\sqrt{1+\frac{b-a}{a}} - 1\right]$$

$$I = b\cdot\frac{x^3}{3} + a\cdot\frac{y^3}{3}$$

$$f_c = \frac{M}{I}\cdot x \leqslant F_c = 0.66\,F_y$$

$$f_t = \frac{M}{I}\cdot y_n \leqslant F_t$$ پیچ

y_n : فاصله‌ی پیچ nام از تار خنثی

$$P_t = f_t\cdot A_t = \frac{M}{I}\cdot y_n\cdot A_t \leqslant N_t = A_t\cdot F_t$$

- N_t ، $N_p < N_r$ ← بند 19_5 ... برای پیچ
- ← بند 55_5 ... " " پیچ‌ها
- ← بند 63_5 ... " " پیچ‌های اصطکاکی

برش در پیچ‌ها : $P_v = \frac{V}{n} \leqslant N_t \rightarrow N_r\cdot m$ ، $N_p\cdot t_{min}$

n : تعداد پیچ‌ها ... $n = 2\times5 = 10$

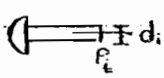
تنش برشی در پیچ : $f_v = \frac{V}{n\cdot A_v} \leqslant F_v$

- آیین‌نامه اضافه می‌کند:

که در پیچ‌های اتکایی که یکی از دو لبه‌ی برش دهنده‌ی آن در فاصله‌ی کمتر از دو برابر قطر اسمی پیچ تا لبه‌ی قطعه باشد، کنترل اضافی لازم است. طبق روابط بند 42_5.

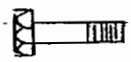
- پیچ معمولی) $F_t = 0.43\,F_u - 1.8\,f_v \leqslant 140\ N/mm^2$
- پیچ) $F_t = 1.05\,F_y - 1.3\,f_v \leqslant 160\ N/mm^2$

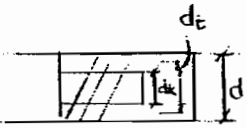
A_t : سطح مقطع قلم و سایر اتصال که می‌تواند تنش کششی ایجاد کند.



برای پرچ، $d = d_i$

$$A_t = \pi \cdot \frac{d_i^2}{4}$$





برای هسته $A_k = \frac{\pi}{4} d_k^2$

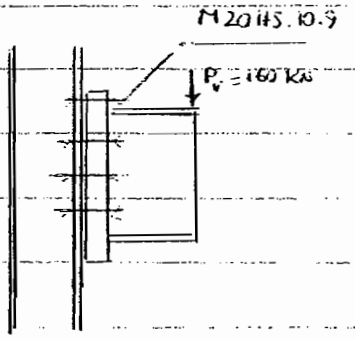
$$d_t \approx \frac{1}{2}(d + d_k)$$

$$A_t = \frac{\pi}{4} d_t^2 \rightarrow$$ نظیر 47.5

کنترل رسله اتصال

کنترل تخته

مثال) اتصال نشان زیر را کنترل کنید



$P_{t_1} = P_v$ ، $P_{t_2} = N_t = (0.7 P_v)$

$P_t = 1.7\ P_v = 1.7 \times 160 = 272$ kN

$A_t = 2.45$ cm²

در اتصالات اصطکاکی در جهت طولی پیچ بایستی از واشر استفاده شود.

اگر سوراخ ها لب باشند:

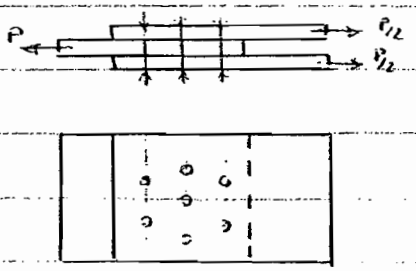
$f_t = \frac{272}{2.45} = 111.02$ KN/cm² $> F_u = 100$

$F_u = 1000$ N/mm² = 100 KN/cm² جدول 97.5

چون سوراخ ها لب لبند و از کاری (مانند پر) نمی باشند نیروی موجود در اتصال تمام پیچ ها را

$(1.7 P_v)$ می باشد.

در کانسه اتصالات اصطکاکی



نیروی موجود در اولین ردیف پیچ

$P_I = P\left(1 - 0.4 \frac{n}{n}\right)$

n = تعداد کل پیچ ها = 7

n = تعداد پیچ های ردیف I = 2

$f_t = \frac{P}{A} \leq F_t = 0.6 F_y$

$f_t = \frac{P_1}{A_{n_1}} \leq F_t = 0.5 F_u$

$(A = b.t$ ، $A_{n_1} = b.t - 2d_1.t)$

* نیروی اصطکاک به همراه کشش محوری

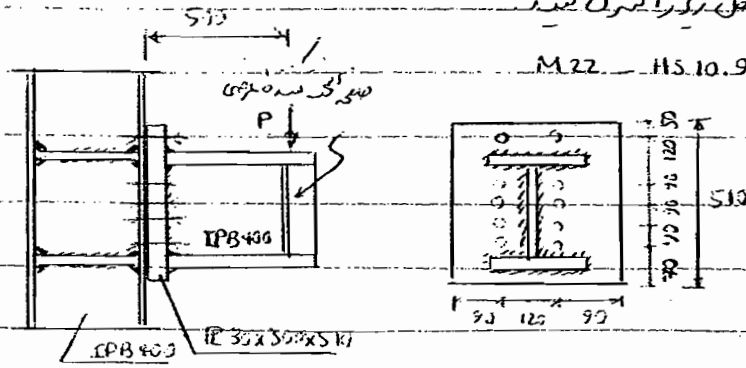
$(N_f$ مقاومت پیچ اصطکاکی $= P_r \cdot \mu$

$$N_{f_T} = N_f \left(1 - 1.15 \frac{P_t}{P_r}\right)$$

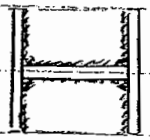
$$\Sigma N_{f_T} = \Sigma N_f \left(1 - 1.15 \frac{\Sigma P_t}{\Sigma P_r}\right)$$

مثال: اتصال نشان داده شده را کنترل کنید

M22 – HS 10.9 , $P_r = 190$ KN



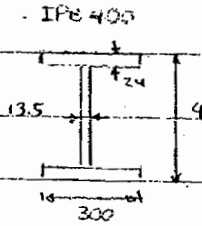
* (معادل کردن نیروی متمرکز وارد بر تیر به یک صفحه گیردار فرضی در انتهای تیر)



$P = 300$ KN

ST 37 , آرماری کلی

$V = P = 300$ KN , $M' = 300 \times (50 - 3) = 14100$ KN.cm



$I_x = 57680$ cm^4

$S = 2860$ cm^3

* گام‌های مسئله: ۱- کنترل تیر

۲- کنترل ستون

۳- کنترل وسایل اتصال

۴- کنترل ورق پیشانی

۵- کنترل جوش تیر به ورق پیشانی

۱- کنترل تیر

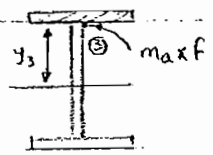
$$f = \frac{14100}{2860} = 4.93 \ KN/cm^2 \leq F_b = 0.66 F_y = 16 \ \checkmark$$

$$f_t = \frac{V}{A_w} = \frac{300}{54} = 5.56 \ KN/cm^2 \leq F_v = 0.4 F_y = 9.6 \ \checkmark$$

($A_w = h \cdot t_w = 40 \times 1.35 = 54 \ cm^2$ طبق آیین نامه)

• کنترل تنش مقایسه ای

$$f_h = \sqrt{f^2 + 3f_v^2} \leq F_h = 0.75 F_y$$



$$f_3 = \frac{M}{I} \cdot y_3 = \frac{14100}{57860} \cdot (20 - 2.4)$$

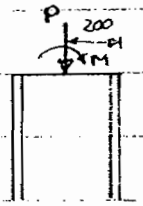
$$= 4.3 \ KN/cm^2 \leq 16 \ \checkmark$$

$$f_{v_3} = \frac{V \cdot Q_3}{I \cdot t_{w_3}} = \frac{300 \times 1353}{57860 \times 1.35} = 5.21 \ KN/cm^2$$

$$(Q_3 = 30 \times 2.4 \times (20 - \tfrac{2.4}{2}) = 1353 \ cm^3)$$

$$f_{h_3} = \sqrt{4.3^2 + 3(5.21)^2} = 10 \ KN/cm^2 \leq F_h = 18 \ \checkmark$$

۲- کنترل ستون IPB 400



$P = 300 \ KN$

$M = 300(50+20) = 21000 \ KN.cm$

$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{300}{196} = 1.53 \ KN/cm^2 \leq F_a = 0.6 F_y = 14.5 \ \checkmark$$

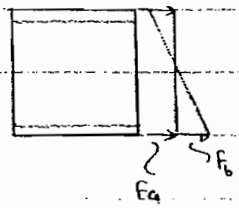
$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{21000}{2860} = 7.34 \ KN/cm^2 \leq F_b = 0.66 F_y = 16 \ \checkmark$$

$F_a = 0.6 F_y$ تنش مجاز فشاری محوری بدون خطر کمانش

$F_b = 0.66 F_y$ تنش مجاز تنش خمشی بدون امکان کمانش جانبی

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \Rightarrow \frac{1.53}{14.5} + \frac{7.34}{16} = 0.56 \leq 1 \checkmark$$

اثبات این رابطه به صورت زیر است:



$$f_a = \frac{P}{A}, \quad f_b = \frac{M}{S}$$

$$f = f_a + f_b = \frac{P}{A} + \frac{M}{S} \leq F$$

$$\Rightarrow \frac{f_a}{F} + \frac{f_b}{F} \leq 1$$

F_a ↓ F_b ↓

* این نامه بر این رابطه، اندرکنش تنش های محوری ناشی از نیروی محوری و لنگر خمشی می گوید.

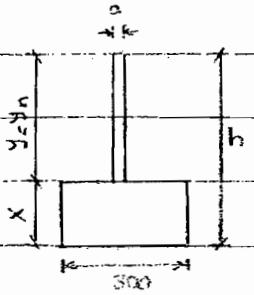
۳- کنترل پیچ ها M22 HS10.9

$N_f = 76$ KN

$N_p = 105.5$ KN , $N_t = 133$ KN

$P_v = 19.0$ KN

فرض: محل عارضی در بالی بال بروی پیچ می باشد.



$$a = \frac{n_\perp \cdot n_{||} \cdot A_t}{y}$$

جدول ص 378 $\rightsquigarrow A_t = 3.03$ cm²

$n_\perp = 2$, $n_{||} = 5$, $h = 51.5 - 5 = 46$ cm , $y = 46 - 7 = 39$ cm

$$a = \frac{2 \times 5 \times 3.03}{39} = 0.78 \text{ cm}$$

رابطه ص 369 $\rightsquigarrow$ $$x = \frac{a \cdot h}{b-a}\left[\sqrt{1 + \frac{b-a}{a}} - 1\right]$$

$b = 30$ cm , $h = 39$ cm $\Rightarrow$ $$x = \frac{0.78 \times 39}{30 - 0.78}\left[\sqrt{1 + \frac{30 - 0.78}{0.78}} - 1\right] = 6.38 \text{ cm}$$

$X = 6.38\ cm < 7 \Rightarrow$ فرض اولیه صحیح است

$y = 46 - X = 46 - 6.4 = 39.6\ cm$

$a = \frac{2 \times 5 \times 3.03}{39.6} = 0.76\ cm$

← عملاً X باید دوباره محاسبه شود اما به علت اصلاح جزئی از آنجا که خود عدد تقریبی بود.

$I = 30 \times \frac{6.4^3}{3} + 0.76 \times \frac{39.6^3}{3} = 18353\ cm^4$ (ممان اینرسی مقطع شکل)

• تنش در اتصال

$M = 300 \times 50 = 15000\ KN.cm$

$V = 300\ KN$

← تنش بتن در بالترین ردیف پیچ‌های اتصال:

$f_c = \frac{15000}{18353} \times 6.4 = 5.23\ KN/cm^2 \leq F_c = 0.66 F_y = 16$ ✓

← تنش در پیچ بالایی:

$P_t = \frac{M}{I} \cdot y_n \cdot A_t = \frac{15000}{18353} \times 39 \times 3.03 = 96.56\ KN$

$\leq N_t = 132$ ✓

← کنترل نیروی اصطکاک:

$\Sigma N_{F_T} = \Sigma N_f \cdot \left(1 - 1.15 \frac{\Sigma P_t}{\Sigma P_v}\right)$

$\Sigma P_v = 10 \times 190 = 1900\ KN$

$\Sigma P_t = \Sigma \frac{M}{I} \cdot (A_t \cdot n_\perp) \cdot y = \frac{M}{I} \cdot A_t \cdot n_\perp \cdot \Sigma y$

$\Sigma y = 0.6 + 9.6 + 18.6 + 27.6 + 39.6 = 96\ cm$

$\Rightarrow \Sigma P_t = \frac{15000}{18353} \times 3.03 \times 2 \times 96 = 475\ KN$

$\Sigma N_f = 10 \times 76 = 760\ KN$

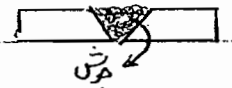
$\Sigma N_{F_T} = 760 \times \left(1 - 1.15 \frac{1900}{475}\right) = 541.5\ KN > V = 300$ ✓

← باری اصطکاکی طبیعی پیچ‌ها

اتصالات جوشی :

* اتصالاتی هستند که در آنها دو قطعه فولادی توسط جوشکاری به هم متصل می‌شوند

* معمولاً در سازه‌های فولادی از سه روش برای جوشکاری استفاده می‌کنیم

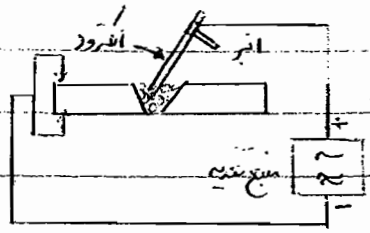


در جوشکاری، حرارت لازم است تا قطعات فولادی را به حالت مذاب در آوریم. (1400°C)

- روش‌های جوشکاری

۱- روش قوس الکتریکی (بیشتر از این روش استفاده می‌شود.)
۲- روش انفجاری
۳- روش پلاسما
۴- روش شیمیایی

- روش قوس الکتریکی



شدت جریان 20 ~ 400 A

تنش جریان 20 ~ 40 V

* در اثر ذوب شدن الکترود به محل جوش، جرمه‌زدایی می‌شود و اگر تعداد این جرمه‌ها زیاد باشد، الکترود ذوب می‌شود و در محل جوش رخنه می‌شود و عملیات جوش صورت نمی‌گیرد.

ترانس جوش : $\begin{cases} 220\ V \rightarrow 20-40\ V \\ 16.24\ A \rightarrow 20-400\ A \end{cases}$

* ترانس جوش، ولتاژ را پایین می‌آورد و شدت جریان را بالا می‌برد و در این صورت امکان برق گرفتگی از بین خواهد رفت.

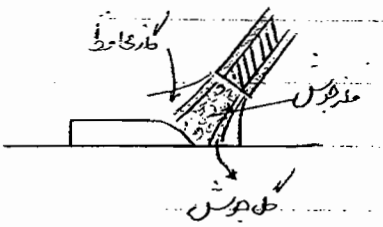
هرچه شدت جریان بیشتر باشد، تعداد جرمه‌ها بیشتر خواهد شد.

شدت جریان (A)	ضخامت قطعه (mm)	قطر الکترود (mm)
60 - 100	2 - 4	2.5 - 3.25
100 - 150	4 - 6	3.25 - 4
150 - 200	6 - 10	4 - 5
200 - 400	> 10	5 - 8

• جوش قوس الکتریکی با الکترود پوشش دار

Shielded Metal Arc Welding (SMAC)

* گاز محافظی که ایجاد می‌شود ناشی از پوشش دور الکترود می‌باشد و گل جوش نیز خاکستر پوشش الکترود است.



* در عملیات جوشکاری هرچه سردشدن آرام‌تر صورت گیرد از نظر خواص جوش بهتر خواهد بود.

* باید از سردشدن آنی جوش جلوگیری کنیم. (به همین دلیل از پوشش استفاده می‌کنیم)

گل جوش از سردشدن سریع فولاد جلوگیری می‌کند.

• جوش زیرپودری یا جوشکاری با قوس غوطه‌ور (SAW)

Submerged Arc Welding

* پودر اطراف محل جوش می‌ریزند و به هنگام جوشکاری این پودر می‌سوزد و خاکستر آن هم گل جوش را بوجود می‌آورد و هم از نفوذ گازهای دیگر جلوگیری می‌کند.

انواع الکترود

✗ براساس ASTM و AWS (American Welding Society)

E 60 X X
i 2 3 4

1) E = Electrode
2) مقاومت KSI ($\frac{Kp}{in^2}$)
3 و 4) مشخصات براساس جدول شکل 11-6

✗ براساس ISO (International Standard Organization)

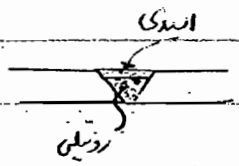
Electrode ISO 2560 E 43 3 2 RR 11 160
i 2 3 4 5 6 7 8 9

4) مقاومت $F_u = 430\ N/mm^2$ 5) رطوبت

R = Rautile روتیلی الکترود با پوشش روتیلی
A = Acide اسیدی الکترود با پوشش اسیدی

* پوشش روتیلی، جوش با مواصل شکل پذیری بهتر ایجاد می‌کند
* در الکترود با پوشش اسیدی، سطح رویه جوش صاف می‌شود

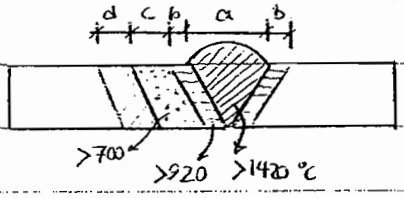
* جوش داخلی را با الکترود روتیلی و جوش رویه را با الکترود اسیدی انجام می‌دهیم



فلزمبنا / فلز الکترود

ISO 2560 E 43 RR ST37
ISO 2560 E 51 RR ST52

◀ اثر عملیات جوشکاری و جوش پذیری فولاد



* منطقه b حساس ترین منطقه است
بنابراین قبل از جوشکاری این منطقه
را تا 120°C حرارت می دهیم تا به تدریج
دمای آن زیاد شود و به آن عملیات
پیش حرارت و یا پیش گرمایش گفته می شود

منطقه اثر حرارت
Heat afected zone (HAZ)

* پس از عملیات جوش، محل جوش را گرم می کنیم تا زود سرد نشود و به آن عملیات پس گرمایش گوینده

* در صنعت گرمایش درجه حرارت آنها عموماً زیر صد درجه است باید در عملیات جوشکاری قطعات، عملیات پیش گرمایش و پس گرمایش حتماً انجام گیرد.

- فولاد جوش پذیر

میزان کربن $C \leq 0.25\%$

اگر میزان کربن بیشتر باشد به چدن تبدیل می شود

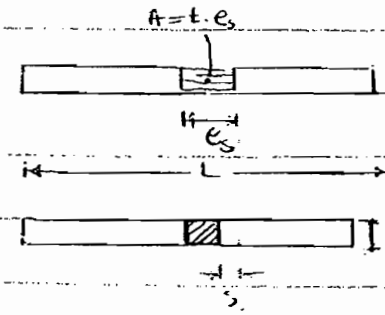
$$Ceq = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (\%)$$

* اگر بیشتر از این مقدار باشد، فولاد جوش پذیر نیست $Ceq \leq 0.45\%$

دمای پیش گرم
$T = 100°C \longrightarrow Ceq \leq 0.45\%$
$T = 150 - 250\ °C \longrightarrow 0.45\% \leq Ceq \leq 0.6\%$
$T = 300 - 400\ °C \longrightarrow Ceq > 0.6\%$

تأثیر انقباض جوش بروی سازه

• تغییر شکل های ناشی از انقباض جوش



زاویه‌ای (16/) $s_o = 0.18\, e_s$

جلوگیری از انقباض نقطه‌ای پس از جوشکاری

$\varepsilon = \alpha_t \cdot T$

$f = E \cdot \varepsilon$

* می‌خواهیم تنش‌های ناشی از جلوگیری از انقباض نقطه‌ای را بدست آوریم:

$E = 2.1 \times 10^5\ N/mm^2$, $\alpha_t = 1.2 \times 10^{-5}\ /^\circ C$

$T = 900\ ^\circ C \Rightarrow f = 2.1 \times 10^5 \times 1.2 \times 10^{-5} \times 900 = 2268\ N/mm^2$

$f = 2268\ N/mm^2 > F_u = 370\ N/mm^2$

$F_Y = 240\ N/mm^2$

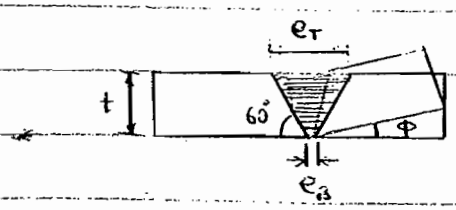
تنش ناشی از انقباض آنقدر زیاد است که اگر از انقباض جلوگیری نکنیم باعث پاره شدن نقطه می‌شود.

برش نقطه‌ای: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{s_o}{l} = \frac{0.18\, e_s}{l}$

$f = \varepsilon E$, $e_s = 1.0\ cm$, $l = 100\ cm \Rightarrow \varepsilon = \frac{0.18 \times 1}{100} = 0.18 \times 10^{-2}$

$f = 0.18 \times 10^{-2} \times 2.1 \times 10^5 = 0.37 \times 10^3 = 370\ N/mm^2$

تنش بوجود آمده در حد تسلیم فولاد است.

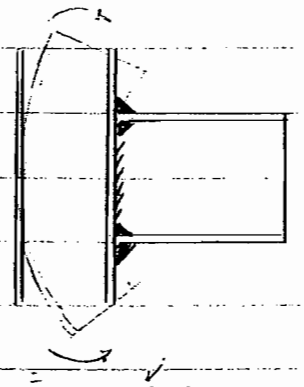


$tg\varphi = 0.18\, \frac{e_T - e_B}{t}$

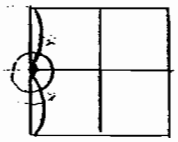
$$tg\phi = 0.18 \qquad \frac{e_B + 2t\cdot\tan 30^\circ - e_B}{t} = 0.36\tan 30^\circ = 0.207$$

$$\Rightarrow \phi = 11.7^\circ = 12^\circ$$

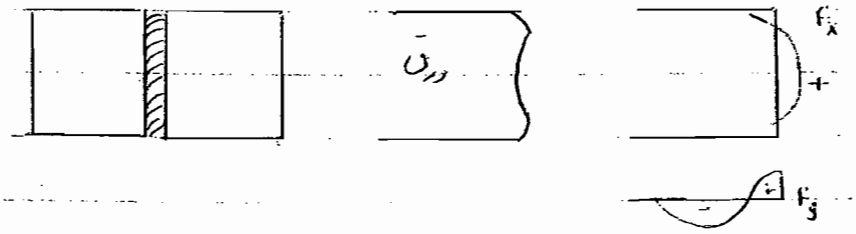
($e_B = 2$ mm , $t = 10$ mm , $e_T = e_B + 2\tan 30^\circ \times t$)



* هنگامی که از انقباض جوش جلوگیری می‌کنیم تنش‌های اضافی ناشی از جوشکاری در سازه به وجود می‌آید.



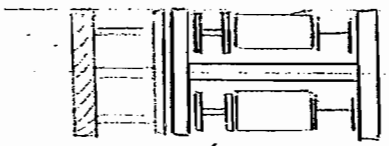
در سازه شیار ایجاد می‌شود



* روش‌های اجرایی برای از بین بردن تنش‌های ناشی از انقباض جوش:

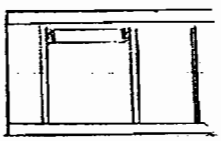
۱- گرم کردن کل جوش با شعله از نیت

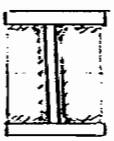
۲- استفاده از گیره و بند (Fixture)



* این گیره‌ها در کارگاه به صورت هیدرولیکی هستند. این گیره‌ها موقع ساختن قطعه به کار می‌روند.

مانع از پیچش می‌شود.

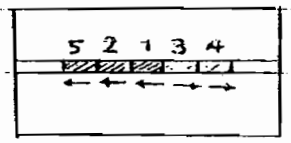




استفاده از نبشی گیره‌های عرضی

* بعد از اجرای قطعه‌ها اگر باز هم کمی از تغییر شکل‌ها باقی مانده باشد با استفاده از شعله و گرم کردن می‌توان آن را از بین برد.

◀ ترتیب جوشکاری:

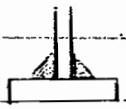


✔ برای جلوگیری از انقباض باید ترتیب جوشکاری را به صورت روبرو رعایت کنیم

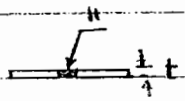
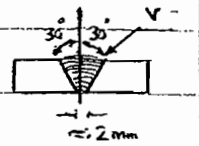
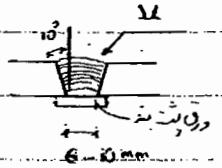
◀ انواع جوش و اتصالات جوشی

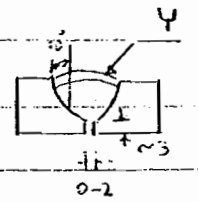
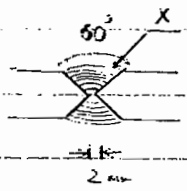
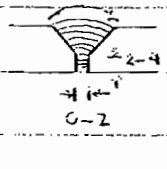
۱- جوش سپاری - جوش لب به لب (جوش K) Butt weld

۲- جوش گوشه Fillet weld

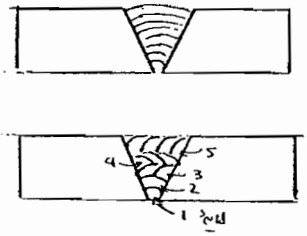


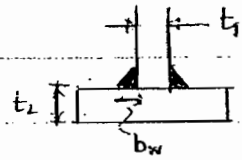
• انواع جوش سپاری:

	جوش I	جوش V	جوش نقطی
			
t	⩾ 5	3 – 20	⩾ 10

جوش لایه‌ای U	جوش X	جوش V
		
6-12	16-40	8-20

• لایه‌های جوش





$t = \min(t_1, t_2)$

(ارتفاع جوش در گلوگاه) ..... $a_w = b_w \sin 45^\circ \simeq 0.7\, b_w$ ..... بعد جوش

✱ مراحل اجرای لایه‌های جوش :

۱) جوش لایه (1) و (2)

۲) سنگ زدن ریشه جوش و حصول اطمینان از کامل بودن ریشه جوش

۳) جوش لایه (3)

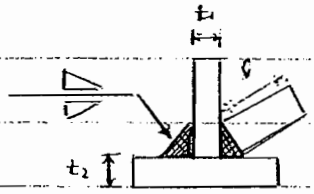
۴) جوش لایه (4)

$a = t$ ..... بعد جوش ..... $\Rightarrow$ ..... جوش کامل

$a < t$ ..... $\Rightarrow$ ..... جوش ناقص

✱ در سازه‌هایی که تحت تأثیر نیروهای دینامیکی هستند از اجرای جوش سیاری ناقص خودداری گردد و سازه‌هایی که تحت تأثیر نیروهای استاتیکی هستند باید سعی گردد از جوش های ناقص استفاده نگردد.

جوش گوشه



$t = \min(t_1, t_2)$

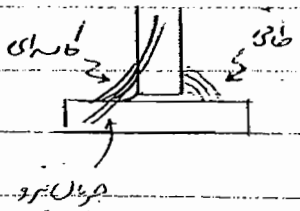
$a_w = b_N \cdot \sin 45^\circ \approx 0.7\, b_N$

(بعد جوش) ارتفاع جوش در گلوگاه

b_w = ساق جوش، اندازه جوش

$A_w = a_w \cdot l = (0.7 b_w)\, l$

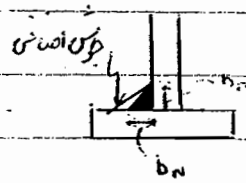
★ جوش کاسه‌ای از جوش طاقی از نظر عبور جریان برد بهتر است.



◄ شکل جوش باید با شکل جریان نیرو منطبق باشد و از جوشکاری های اضافی باید پرهیز گردد. در طرح‌های خیلی حساس که نیاز به جوش‌های کاسه‌ای است باید از جوشکاران ماهر استفاده کرد یا جوش موجود را با سنگ زدن به صورت کاسه‌ای عوض کرد.

$\min b_N = 3\ mm$

◄ جوش‌هایی با اندازه کمتر از 3mm است به عنوان جوش محاسباتی محسوب نمی‌شوند مانند اینکه جوش انجام نشده است.



◄ اگر در عمل جوش اضافی اجرا شده باشد و لی از ساق‌ها از b_N بیشتر نباشد، در محاسبات جوش را 45° در نظر می‌گیریم.

بازرسی، کنترل و آزمایش جوش و آزمون جوشکار

* کنترل ها به سه صورت انجام می گیرند:

۱- کنترل قبل از شروع ساخت و نصب

۲- بازرسی در موقع ساخت و نصب

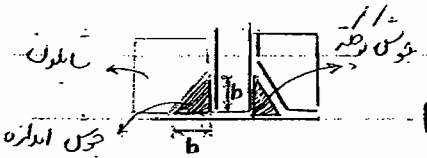
۳- بازرسی پس از اتمام ساخت و نصب

• کنترل بعد جوش:

- جوش شیاری

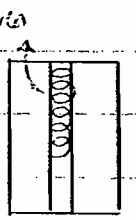
* کنترل این جوش توسط چشم صورت می گیرد. کنترل می کنیم که جوش همهٔ محل مربوطه را پر کرده باشد.

- جوش لوله



* با استفاده از شابلون کنترل و بازرسی را انجام می دهیم.

* سطح رویی جوش باید صاف، یکنواخت و زبره باشد.



* جوش جدید باید کاملاً به صورت زبره ای، روی جوش قدیم را بپوشاند.

• آزمایش جوش:

۱- آزمایش های خراب ... DT = Destructive Test

۲- آزمایش های غیر خراب ... NDT = Not " "

* آزمایش کشش ... Tension Test

مقاومت F_u ، F_y و نمودارهای کشش، کنترل بدست می آید.

✓ آزمایش کشش یک آزمایش مخرب است.

A آزمایش مخرب دیگر، آزمایش ضربه است که شکل پذیری فولاد را تعیین می‌کند.

(Charpi) Impact Test

- آزمایش های غیر مخرب :

۱- آزمایش رنگ نفوذی

Day Penetration Test (PT)

✓ از سه مایع برای آزمایش استفاده می‌شود. مایع اول اکسید است که سطح روی را تمیز می‌کند. مایع دوم رنگ نفوذی است که اگر ترک هایی در فولاد باشد این رنگ در آنها نفوذ می‌کند. مایع سوم رنگ آشکارکننده است که رنگ آن با رنگ نفوذی در ترک‌ها به صورت خطوط بروی سطح نشان می‌دهد.

از این آزمایش برای تشخیص ترک های سطحی استفاده می‌شود.

۲- آزمایش آهن ربایی

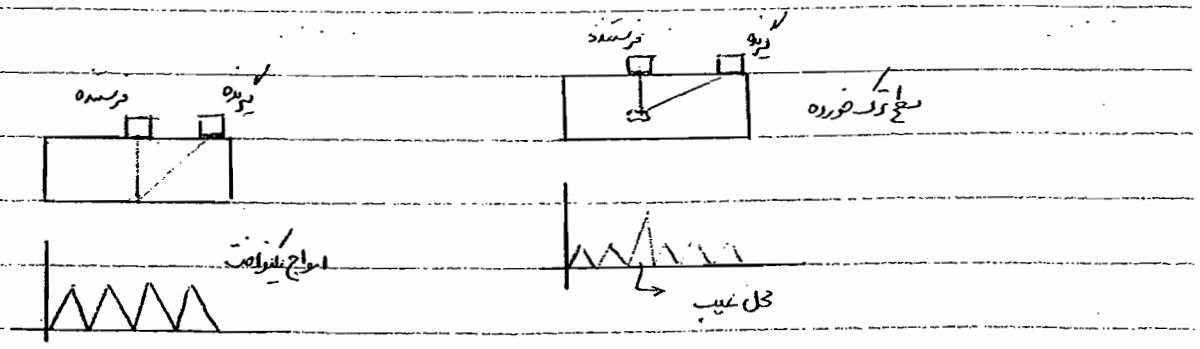
Magnet Test (MT)

✓ براده های آهن را بروی سطح تمیز می‌ریزم و آن را به ولتاژ + و - وصل می‌کنم. براده‌های آهن همه در یک جهت قرار می‌گیرند به جز در قسمت ترک که این نظم به هم می‌خورد.

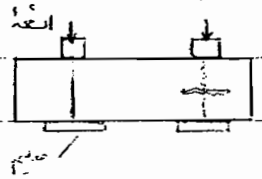
A از این آزمایش نیز برای شناسایی ترک سطحی استفاده می‌شود.

۳- آزمایش ماوراء صوت (فراصوت)

Ultra Sonic (UT)



۴- آزمایش رادیوگرافی Radiographic Test (RT)



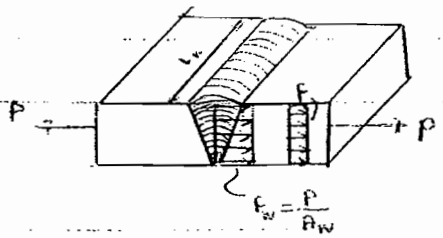
- با عبور دادن اشعهٔ X یا γ از قطعه فیلم سیاه می‌شود
- در هر کجا که محل ترک وجود داشته باشد، رنگ فیلم با رنگ فیلم قبلی فرق می‌کند

- با توجه به نوع ساختمان برای آزمایشات را مشخص می‌کنند (در این مورد آیین نامه وجود دارد)
- در ساختمان‌های حساس 100٪ جوش‌ها را مورد آزمایش قرار می‌دهیم

- در ساختمان‌های معمولی طول جوش‌ها به چندین کیلومتر خواهد رسید

- محاسبهٔ تنش

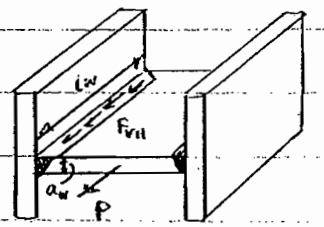
۰ تنش در جوش سپاری



$$f_w = \frac{P}{A_w}$$

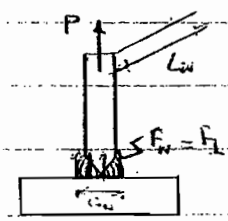
$$A_w = a_w \cdot l_w \quad , \quad f = \frac{P}{A}$$

$$f_w \leqslant F_w \quad , \quad f \leqslant F$$



$$F_w = F_{w\parallel} = \frac{P}{A_w}$$

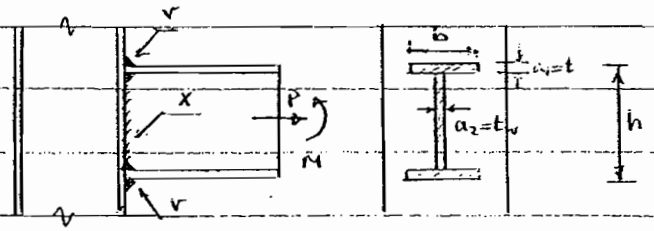
$$A_w = 2\,a_w \cdot l_w = \Sigma\, a_w \cdot l_w \leqslant F_w$$



جوش سپاری

$$F_w = \frac{P}{A_w}$$

$$A_w = a_w \cdot l_w$$



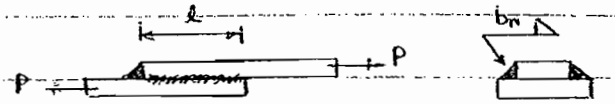
$$A_w = 2\,a_1\,b + (h-2t)\,a_2 = A$$

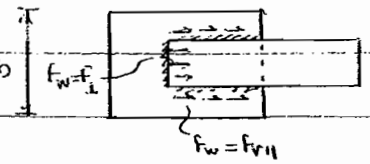
$$I_w = a_2 \cdot \frac{(h-2t)^3}{12} + 2\,a_1\,b\left(\frac{h}{2}-\frac{t}{2}\right)^2 + 2b\cdot\frac{a_1^3}{12}$$

$$S_w = \frac{I_w}{h/2}$$

$$f_w = \frac{P}{A_w} + \frac{M}{S_w} \leqslant F_w \quad , \quad f_{v_w} = \frac{V\cdot Q_w}{I_w \cdot a_w} \leqslant F_w$$

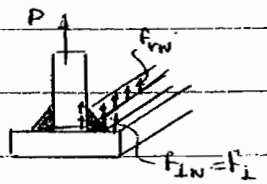
• تنش در جوش گوشه



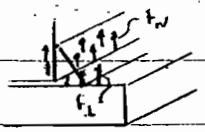


$$f_w = f_\perp = f_{v\parallel} = \frac{P}{A_w} \leqslant F_w$$

$$\begin{cases} a_w = 0.7\,b_w \\ A_w = a_w\,(l+b+l) \end{cases}$$



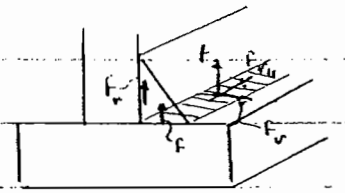
★ در یک جوش گوشه به طور هم زمان هم تنش برشی داریم و هم تنش قائم که باید هم کنترل شوند



$$f_w = f_v = f_\perp = \frac{P}{A_w} \leqslant F_w$$

$$\begin{cases} a_w = 0.7\,b_w \\ A_w = 2\,a_w\,l_w \end{cases}$$

◄ تنش مقایسه‌ای در جوش ها به وسیله برآیند مجموع جوش ها (مولفه هندسی) مشخص می‌شود.



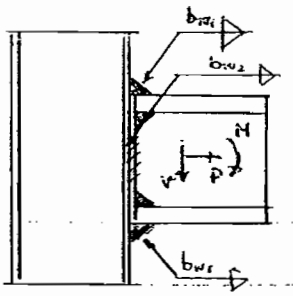
$$f_n = \sqrt{f^2 + f_v^2 + f_{vll}^2} \leqslant F_w$$

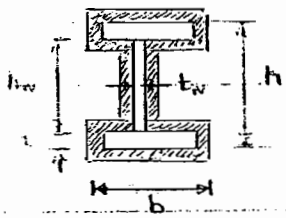
* در نظر از رابطه فون میسس برای تنش مقایسه‌ای استفاده می‌کنیم:

$$f_n = \sqrt{f^2 + 3f_v^2}$$

* علت اختلاف بین نظر در جوش در تنش مقایسه‌ای این است که ما نظر را جسم شکل پذیر در نظر می‌گیریم ولی جوش را جسم صلب فرض می‌کنیم.

◄ محاسبه جوش گوشه





* پارامترهای داده را به دو قسمت تقسیم کنیم.

$a_{w_1} = 0.7\, b_{w_1}$ بعد جوش

$a_{w_2} = 0.7\, b_{w_2}$

$A_w = 2A_{wf} + A_{ww}$ سطح مقطع جوش

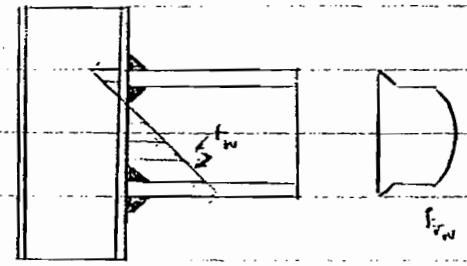
$A_{wf} = a_{w_1} \times (b + b - t_w + 2t)$

$h_w = h - 2t \Rightarrow A_{ww} = 2\, a_{w_2} \cdot h_w$

$$I_w = 2\, a_{w_2} \times \frac{h_w^3}{12} + 2\Big[-(b - t_w) \cdot a_{w_1} \times \left(\frac{h}{2} - t\right)^2 + a_{w_1} \times b \times \left(\frac{h}{2}\right)^2 + 2 a_{w_1} \cdot t \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2}\right)^2 + 2 a_{w_1} \cdot \frac{t^3}{12} \Big]$$

$$I_w = 2\, a_{w_2} \times \frac{h_w^3}{12} + 2\, A_{wf} \times \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2}\right)^2 \quad ; \quad S_N = \frac{I_w}{h/2}$$

$$f_w = \frac{P}{A_w} \pm \frac{M}{S_w} \leq F_w \quad , \quad f_{v_w} = \frac{V \cdot Q_w}{I_w \cdot t} \leq F_v$$



◀ تنش مجاز در جوش شیاری = تنش مجاز فلز پایه

★ در جوش های گوشه مقدار تنش مجاز در مورد تنش های محوری و برشی یک عدد است یعنی مقدار آنها با هم برابر است

$$f = f_v = \min(0.3F_{u_w} \ , \ 0.9F_y)$$ تنش برشی جوش } جوش گوشه

$$\begin{cases} ST37 \rightarrow 0.6F_y = 0.6 \times 240 = 134 \ N/mm^2 \\ E43 \rightarrow 0.3F_u = 0.3 \times 430 = 129 \ N/mm^2 \end{cases}$$

$$f = f_v = \min(134, 129) = 129 \simeq 130 \ N/mm^2$$

$$\begin{cases} ST52 \rightarrow 0.6 \times 360 = 216 \ N/mm^2 \\ E51 \rightarrow 0.3 \times 510 = 152 \ N/mm^2 \end{cases}$$

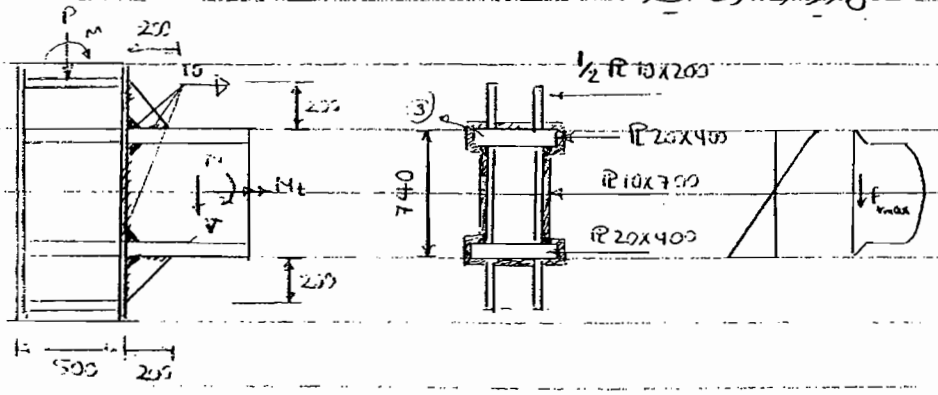
$$F_w = \min(216, 152) = 152 \simeq 150 \ N/mm^2$$

◀ اگر برای فولاد ST37 از الکترود اعلاء استفاده کنیم F_v تغییری کرا نمیکند و بهتر است برای این فولاد از الکترود معمولی استفاده کنیم چون هزینه با استفاده از الکترود اعلاء زیاد میشود

$$\begin{cases} ST37 \rightarrow 0.6 \times 240 = 134 \ N/mm^2 \\ E51 \rightarrow 0.3 \times 510 = 152 \ N/mm^2 \end{cases}$$

$$F_v = \min(152, 134) = 134 \simeq 130 \ N/mm^2$$

مثال) اتصال زیر را کنترل کنید



$V = 400\ KN$, $M = 300\ KN.m$, $M_t = 100\ KN.m$

E 43 RR , ST 37 , بارگذاری عادی

• مراحل کنترل اتصال :

۱- کنترل تیر ۲- کنترل ستون ۳- کنترل وسیله اتصال = جوش

۱) کنترل تیر

$$f = \frac{M}{S}$$

$$I = 2 \times 1.0 \times \frac{70^3}{12} + 2 \times 2. \times 40 \times (35+1)^2 = 264527\ cm^4$$

$$S = \frac{264527}{74/2} = 7149\ cm^3$$

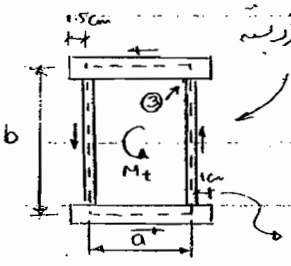
$$f = \frac{M}{S} = \frac{300 \times 10^2}{7149} = 4.2\ KN/cm^2 \leq 0.6 F_y = F_b = 16 \checkmark$$

• کنترل تنش برشی ناشی از نیروی برشی

$$f_v = \frac{V.Q}{I.t} = \frac{400 \times 4105}{264527 \times (2 \times 1)} = 3.11\ KN/cm^2 \leq F_v = 0.4 F_y = 9.6 \checkmark$$

$$Q = 2 \times 1 \times 35 \times \frac{35}{2} + 2 \times 40 \times (35+1) = 4105\ cm^3$$

• کنترل تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی



$$f_{v_T} = \frac{T}{2a.b.t}$$

* از ورق‌ها با ابعاد 1 cm برای اجرای جوش می‌گذاریم

$a = 37\ Cm \quad , \quad b = 70 + 2\times1 = 72\ Cm$

$$f_{v_T} = \frac{100\times10^2}{2\times37\times72\times2} = 0.94\ KN/Cm^2$$

$$f_{v_T} = \frac{100\times10^2}{2\times37\times72\times1} = 1.88\ KN/Cm^2$$

$f_v = f_{v_r} + f_{v_T} = 3.11 + 1.88 = 4.99$ تنش برشی ورق جان

$f_v = 4.99 \leq F_v = 0.4F_y = 9.6$ ✓

③ کنترل تنش مقایسه ای در نقطه

$$f_3 = \frac{42\times35}{37} = 3.9\ KN/Cm^2 \leq 16$$

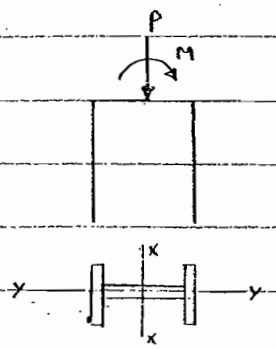
$$f_{v_{3r}} = \frac{400\times2880}{264527\times2\times1} = 2.18\ KN/Cm^2 \leq 9.6$$ ✓

$Q_3 = 2\times40\times(36) = 2880\ Cm^3$

$f_{v_{3T}} = 1.88\ KN/Cm^2 \Rightarrow f_v = 2.18 + 1.88 = 4.06\ KN/Cm^2 \leq 9.6$ ✓

$$f_h = \sqrt{f^2 + 3f_v^2} = \sqrt{(3.9)^2 + 3(4.06)^2} = 8.04\ KN/Cm^2 \leq 0.75F_y = 18$$ ✓

۱۲ کنترل ستون



$P = 400\ KN \quad , \quad f_a = \frac{P}{A_{ستون}}$

$M = 400\times25 = 10000\ KN.Cm = M_x$

$M_y = (M_{t_{ستون}}) = 100\ KN.m$

$$f_{bx} = \frac{M_x}{S_{x_{ستون}}} \quad , \quad f_{by} = \frac{M_y}{S_{y_{ستون}}}$$

* چون سطح ستون دراین مقطع کاهش نیافته است محاسبه f_a ، f_{by} ، f_{bx} ضرورت نمی یابد.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1$$

$F_a \downarrow 0.6F_y \quad F_{bx} \downarrow 0.66F_y \quad F_{by} \downarrow 0.66F_y$

۳) کنترل وسیله اتصال

۳-۱- کنترل جوش

$$a_w = 0.7 \times 1 = 0.7 \text{ cm}$$

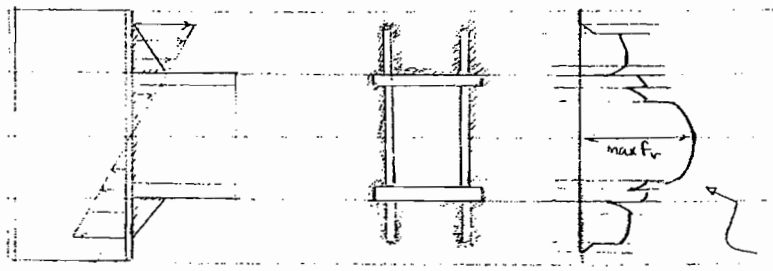
$$I_w = 0.7 \left[2 \times \frac{70^3}{12} + \left(2 \times 1 \times 35^2 + 2 \times \frac{2^3}{12} + 2 \times 36^2 \times 2 \right. \right.$$

$$\left. + (40 - 2\times1) \times 37^2 \right) \times 2 + 2 \times 4 \times \left(\frac{20^3}{12} + 20 \times 47^2 \right)$$

$$\left. + 2 \times (1 \times 57^2) \times 2 \right] = 392873 \text{ cm}^4$$

$$S_w = \frac{392873}{57} = 6892 \text{ cm}^3$$

$$f_w = \frac{M}{S_w} = \frac{300 \times 10^2}{6892} = 4.37 \text{ KN/cm}^2 \leq F_w = 13 \checkmark$$



توزیع تنش برشی در جوش — کپس تنش در جوش

• کنترل تنش برشی ناشی از نیروی برشی

$$f_v = \frac{VQ_w}{I_w t} \simeq \frac{V}{A_{ww}}$$

$$Q_w = 0.7 \left(2 \times 1 \times 57 + 4 \times 20 \times 47 + 38 \times 37 + 2 \times 1 \times 36 + 2 \times \frac{35^2}{2} \right)$$

$$= 4604 \text{ cm}^3$$

$$f_{vwv} = \frac{400 \times 4604}{392873 \times 2 \times 0.7} = 3.35 \text{ KN/cm}^2 \leq F_w = 13 \text{ KN/cm}^2 \checkmark$$

• کنترل تنش برشی ناشی از پیچش

$$f_{vwT} = f_{vw} \times \frac{t}{a_w} = 1.88 \times \frac{1.0}{0.7} = 2.68 \text{ KN/cm}^2 \leq F_w = 13 \checkmark$$

* هر جزء مقطع، تنش وارده به خود را انتقال می دهد.

تنش مقایسه‌ای در جوش

* تنش مقایسه‌ای در جوش در نقاط مختلف سطح جوش باید کنترل شود.

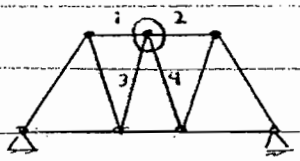
* تنش مقایسه‌ای در جوش F_{hw} برابر است با:

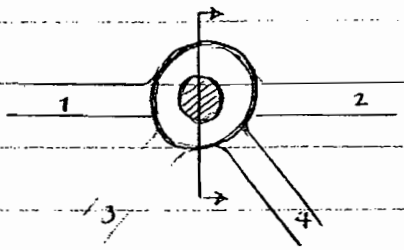
$$f_h = \sqrt{f_w^2 + f_{rw}^2} \leq F_{hw} = F_w$$

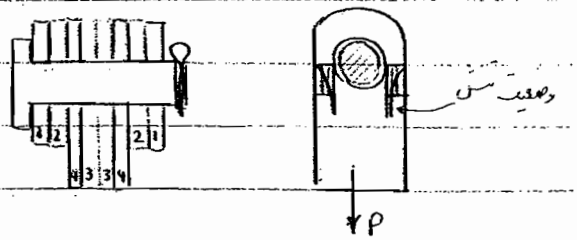
$$\downarrow$$

$$(f_{rw} = f_{rwr} + f_{rwt})$$

اتصالات مفصلی (لولایی) Pin Connection



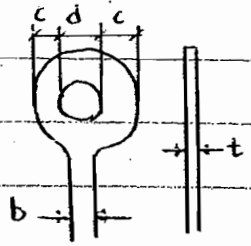




* در محاسبات تنش را با توزیع یکنواخت در نظر می‌گیریم.

* جایی که اتصال باید سریع انجام شود مثل پل‌های متحرک و ... از اتصالات مفصلی استفاده می‌شود. اتصالات مفصلی به صورت تکی هستند.

محاسبه مفصل مانند محاسبه پرچ و پیچ بوده تنها از روابط دقیق‌تر استفاده می‌شود.



برهکن لوله‌ها

* جدول 8-7 پل‌های برلی ص 537

* ورق چشمدار

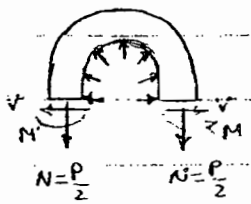
Eye bar

$$\begin{cases} \frac{d}{b} = 0.44 \\ \frac{c}{b} = \dots \end{cases}$$

آیین نامه مساوی

محدودیت و کنترل تیرهای چسبدار - پیچ شده یا پرچ شده (بند 10-7) صفحه 538

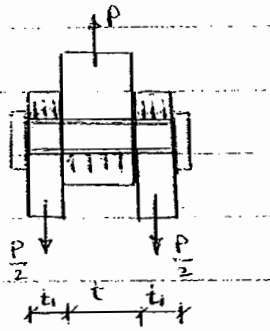
محاسبه دقیق ورق



طبق روابط صفحه 535 و 536 ، M, N, V محاسبه می شود.

$$f = \frac{P}{A} + \frac{M}{S} \leq F$$

محاسبه قلم (وسیله اتصال)

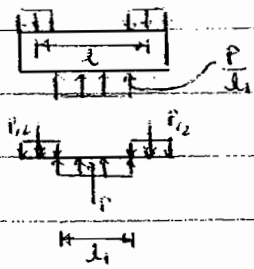


تیر ساده

$$\max M = \frac{P}{2} \times \frac{l}{2} - \frac{P}{l_1} \times \frac{l_1^2}{8}$$

$$\max M = P\,\frac{2l - l_1}{8}$$

$$S = \pi \frac{d^3}{32} \quad , \quad A = \pi \frac{d^2}{4}$$

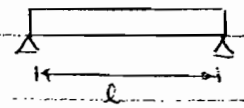


$$\max f = \frac{M}{S} + \frac{2}{3} \times 1.27 \times \frac{P}{t.d} \times \arctan\left(0.42\,\frac{d}{t}\right) \leq 0.9 F_y$$

* چون طول قلم زیاد است. (در اتصالات قلمی) از خمش آن (خم شدن آن) صرف نظر نمی شود و باید در محاسبات مدنظر باشد.

* در اتصالات پیچی و پرچی به علت کوچک بودن طول پیچ از خم شدن قلم صرف نظر می شود.

* در اتصالات قلمی به علت کوچک بودن طول قلم (l) به (d) قطر قلم، عملکرد قلم مانند تیر بلند است ولذا از روابط مربوط به تیر بلند استفاده می شود.



تیری $\frac{l}{d} > 5$

تیری بلند (عمیق) $\frac{l}{d} < 2$

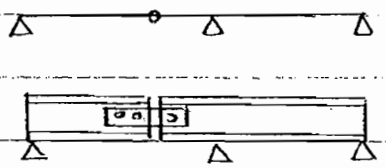
↓

تیری بلند ← deep beam تیری تیغه‌ها یا تیری دیوارها

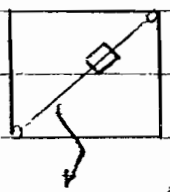
تیری دیگ	تیری خمشی (تیغه)
$f = 0$	$\max F = \frac{M}{S} + \frac{2}{3} \times 1.27 \times \frac{P}{t \cdot d} \arctan(0.42 \frac{d}{t})$
$f_v = \frac{P}{A_v} \leq F_v$	$\max f_v = [1.1 + 0.02 (\frac{d}{l})^2 + \frac{1}{4} \arctan(\frac{l}{d})] \frac{P}{2A}$
$f_p = \frac{P}{d \cdot t} \leq F_p$	$\max f_y = \frac{4}{\pi} \frac{P}{t \cdot d} = 1.3 \frac{P}{t \cdot d} = 1.3 F_p$

$\max f \leq 0.9 F_y$ ، $\max f_v \leq F_v$ ، $\max f_p \leq F_p$

* اتصالات کششی (اتصالات خمشی) را در سقف زلزله نیز اجرا می‌کنند.

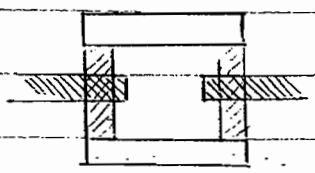


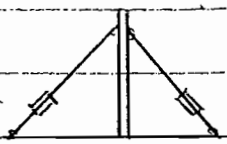
اتصالات توربا غده‌ای



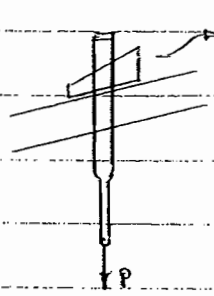
چون غلن است مثل با شه توپی

اتصالات توربا غده‌ای آن را محکم می‌کنیم





ریزهای برق هم از این اتصالات استفاده می‌شود.



• پرچ کور

✓ بیشتر در اتصالات در دیجره مورد استفاده قرار می‌گیرد.

باری‌ی 20 تا SAE کیلوگرم (0.2 - 5 KN)

• پیچ‌های نوک تیز

✓ باری‌ی این پیچ‌ها کم است.

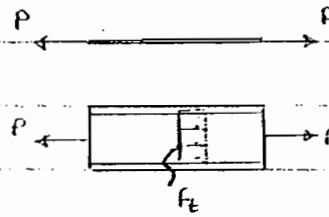
• رول پلاک

✓ اول سوراخ ایجاد می‌شود سپس پیچ در آن قرار می‌گیرد.

Anchor bolt ← پیچ مدفون در بتن

کتاب سازه‌های فولادی را تمام شد. حالا جوشکاری را شروع می‌کنیم.

اعضای کششی

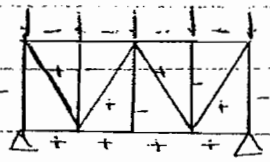


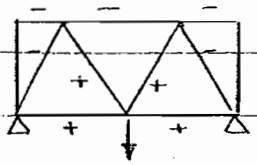
* اعضایی که تحت اثر نیروی محوری کششی قرار دارند، اعضای کششی نامیده می‌شوند.

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

$f_b = \frac{M}{S}$

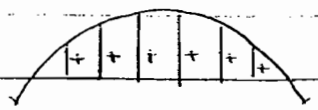
$f_a > f_b \Rightarrow$ عضو کششی





• انواع اعضای کششی

* تسمه‌ها، کابل‌ها، تیرهای کششی

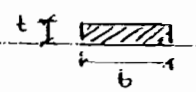


* از هر نوع مقطع می‌توان به عنوان عضو کششی استفاده نمود.

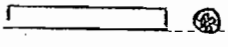
انواع مقطع اعضای کششی:

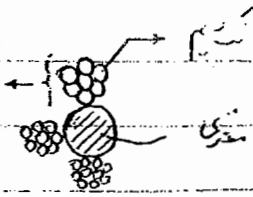
۱- میله‌ها

۲- تسمه‌ها



۳- کابل‌ها (مفتول‌های بهم بافته شده)





مفتولی ← فولاد صلب اعلاء، فولاد مقاومت بالا

فولاد (ST37) کابل

$F_u = 1000 - 1770 \quad N/mm^2$

$F_y = 835 - 1570 \quad N/mm^2$

$\varepsilon_a = 4\%$

$E_a = 1.2 \times 10^5 - 1.8 \times 10^5 \quad N/mm^2$

- سیم‌ها به عنوان آهن خشک محسوب می‌شوند و دارای مقاومت بالا هستند. (غیر ورق‌شده)

Fe 1700 / 1300
(F_u / F_y)

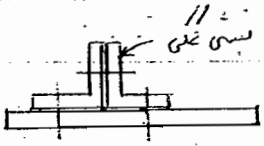
* با استفاده از میخ‌های آهنی، ضاب نرم بوجود می‌آید که قابلیت انعطاف‌پذیری دارد اما در ضاب خشک از میخ‌های سیم استفاده می‌کنیم.
* در ضاب‌های جرثقیل به ضاب نرم نیاز داریم اما از ضاب خشک در پل‌های کوتاه و معلق استفاده می‌کنیم.

- در سازه‌های آویزان که نیاز به مقاومت زیاد است از ضاب‌های فولادی استفاده می‌شود.

* آیین‌نامه ضاب‌ها ← ساختمان‌های فولادی EC3 (Euro Code 3)

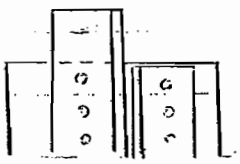
۴- میخ بستی یا میخ ناودانی

* نشان‌دهنده‌ی نامی از اتصالی در اتصال بوجود می‌آید

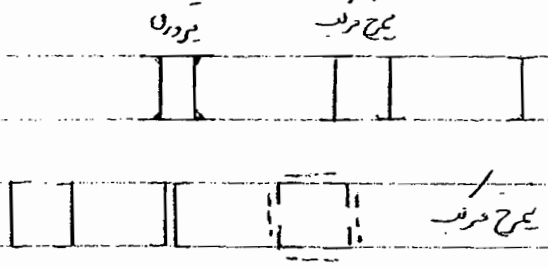


بستی غلی

- در این حالت اتصال باصری مقاوم می‌شود. (با استفاده از بستی غلی)



۵- همه پیچ‌ها

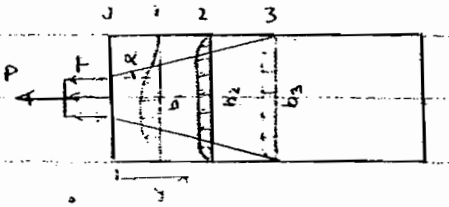


◄ محاسبه مقاومت کششی

۱- کنترل در سطح کل $f = \frac{P}{A} \leq F_t = 0.6 F_y$

۲- کنترل در سطح تضعیف شده $f = \frac{P}{A_n} \leq F_t = 0.5 F_u$

★ پیچ بار



$\alpha = 30^\circ$

$f_{t_0} = \frac{P}{t.b_0} = \frac{P}{A_0}$

$f_{t_1} = \frac{P}{t.b_1} = \frac{P}{A_1}$

$f_{t_2} = \frac{P}{t.b_2} = \frac{P}{A_2}$

$b = b_0 + 2y \tan 30^\circ$ ← کوتاه‌ترین مقدار ولی است که در آن بار به‌طور یکنواخت در همه سطح اثر می‌کند.

۳- تنش در سطح موثر

در سطح کل مؤثر $0.6 F_y$

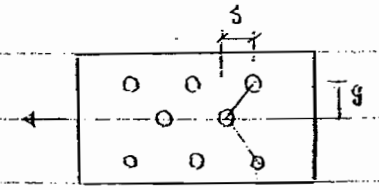
در سطح خالص مؤثر $0.5 F_u$

$f_t = \frac{P}{A_{effective}} \leq F_t$

۴- تنش در اتصالات فلنجی $f_t = \frac{P}{A_n} \leq F_t = 0.45 F_y$

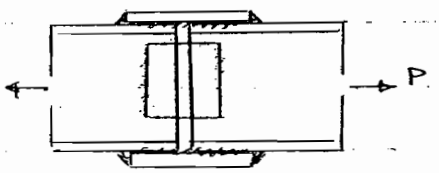
۵- تنش در اتصالات ورق‌های پرچین شده (ورق‌های چندار)

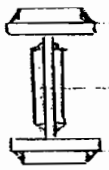
$f_t = \frac{P}{A_n} \leq F_t = 0.5 F_u$



$$A_n = A - \Delta A + m\frac{s^2}{4g}t$$

سطح مقطع موثر





$$F = \frac{P}{A_e}$$

$$A_e = u \cdot A$$

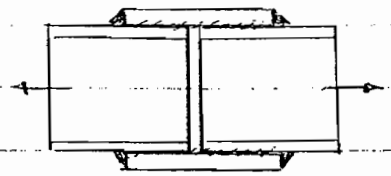
$$(u = 1)$$

۱- اتصال کلیه اجزاء مقطع با نیروی مربوط به همان جزء مقطع

$$P = P_F + P_W + P_F$$

✗ بال ها با نیروی P_F و جان با نیروی P_W وصل شده است.

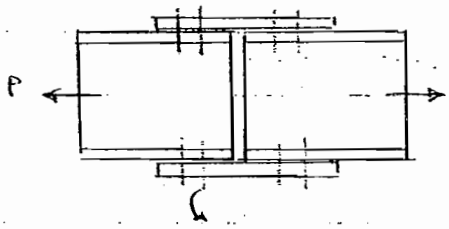
۲- اتصال کلیه اجزاء مقطع به همدیگر انجام نیافته است.

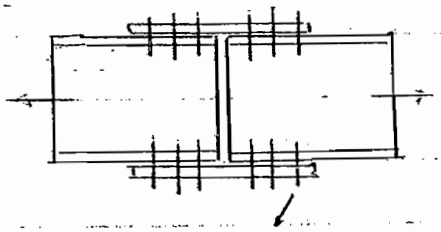


$$A_e = u \cdot A$$

$$(u = 0.85)$$

سطح مقطع نیست به حالت واقعی کاهش یافته است و اتصال اقتصادی نیست



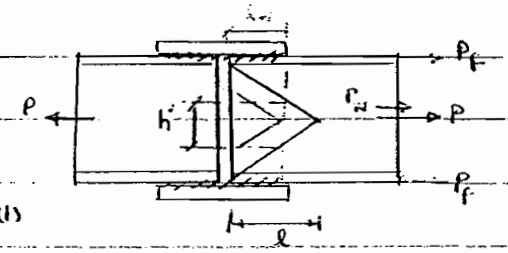


دو ردیف پیچ

$u = 0.75$

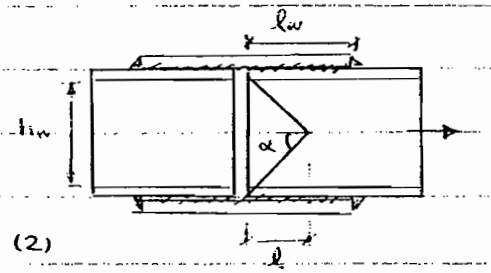
سه ردیف پیچ

$u = 0.85$



(1)

- انتقال نیروی بال مستقیم
- انتقال نیروی جان غیرمستقیم



(2)

l : طول لازم برای انتقال نیرو

$$\frac{h_w}{2} = l \tan\alpha = l\,(0.58)$$

$$l = \frac{h_w}{2\tan\alpha} = 1.33\,h_w \simeq 1.3\,h_w$$

◀ اگر $l > l_w$ باشد انتقال نیروی جان به بال پیش‌بینی کامل انتقال انجام یافته است.

در مقطع (1) : $A_e = A_f + A_f + t_w(h_w - h'_w)$ ، $U = \frac{A_e}{A}$

$$A_e = \underbrace{2A_f + t_w h_w}_{A} - t_w h'_w$$

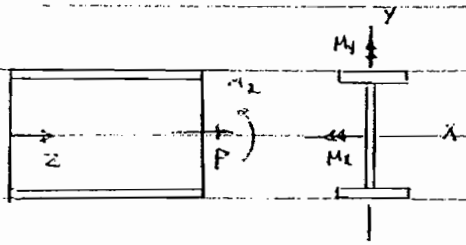
$$\rightarrow A_e = A - \underbrace{h'_w t_w}_{\Delta A_c} \quad ; \quad h'_w = 2(l - l_w)\tan\alpha$$

◀ اگر طول مورد نیاز جهت انتقال نیرو از یک جزء مقطع به جزء دیگر (که انتقال یافته‌اند) کوتاه باشد بایستی سطح مقطعی که نیروی خود را نمی‌تواند انتقال دهد از کل سطح مقطع کم شود تا سطح مقطع مؤثر به دست آید.

* اگر در محاسبه سطح مقطع مؤثر از روابط دقیق استفاده نشود دیگر نیازی به استفاده از ضریب کاهش مطابق آیین‌نامه نیست.

* اگر کل اعضای یک مقطع کاهش یابد بایستی در کل اتصال کلیهٔ اجزاء مقطع اتصال یابد.

کشش به همراه خمش



1) $f_a = \frac{P}{A} \leq F_a$

2) $f_{bx} = \frac{M_x}{S_x} \leq F_{bx}$

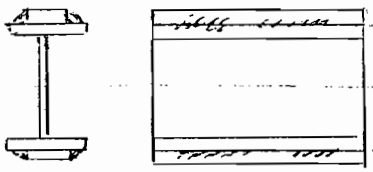
3) $f_{by} = \frac{M_y}{S_y} \leq F_{by}$

4) $\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1$

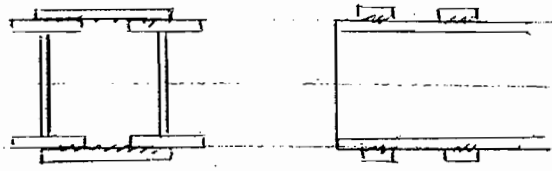
در مقاطع فشرده: $F_a = 0.6 F_y$ ... در مقاطع کل

در مقاطع غیر فشرده: $F_a = 0.5 F_u$

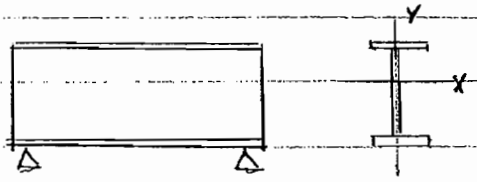
مقاطع مرکب کششی



• کنترل این مقاطع (برای کشش) طبق مبحث دهم نظیر 16-1



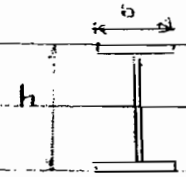
• کنترل لاغری عضو ($\lambda \leq 300$)



$\lambda = \frac{l}{r}$; $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$ ← شعاع ژیراسیون

$\lambda = \frac{l_x}{r_x}$, $r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$ $\lambda = \frac{l_y}{r_y}$, $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$

★ محاسبه r_x و r_y به صورت تقریبی ← جدول 1-5 ص 30



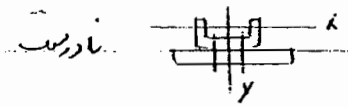
INP, IPE ↑ IPB, IPB.l ↑

$\frac{r_x}{h} = 0.38 - 0.42 \rightarrow r_x \approx 0.4h$

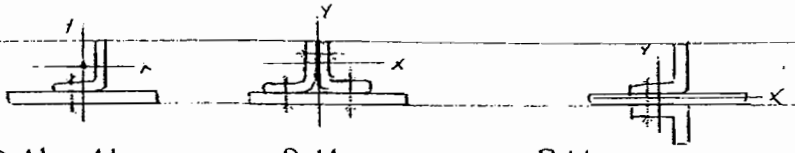
$\frac{r_y}{b} = 0.22 - 0.25$

• در وصلات لنگی :

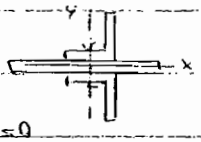
۱- اتصال به صورت مرکزی باشد و از بروز لنگرهای اضافی خودداری گردد.



۲- در محل اتصال همه اجزاء سطح متصل گردد.



* با اتصال همه اجزاء از بروز تنش های غیرلازم جلوگیری می شود.



* اگر تنشی عضو اصلی نباشد می توان از وجود M_y و M_x در محل اتصال صرف نظر کرد. $(F_a^* = 0.8 F_a)$

(اگر عضو، بارهای اصلی را تحمل کند، عضو اصلی و اگر بارهای فوق العاده (مانند بار زلزله) را تحمل کند، عضو فرعی است.)

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1$$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

عوامل تأثیر بر روی الاستیسیته

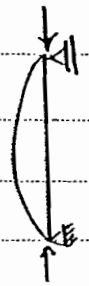
$F = E \cdot \varepsilon$

کمانش

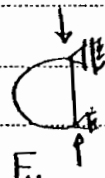
مصالح کاملاً ارتجاعی

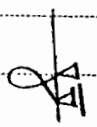
$f = \frac{P}{A}$, $f = \frac{P}{A} \leq F_a$

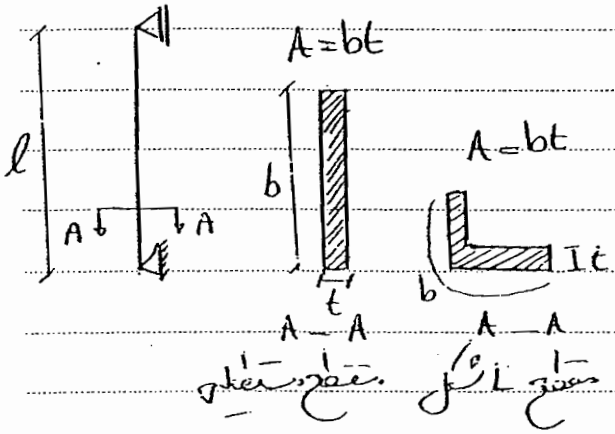
تنش مجاز کمانش



$f = \frac{P}{A} \geq f_{cr} \leq F_y$

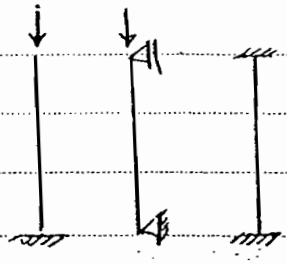




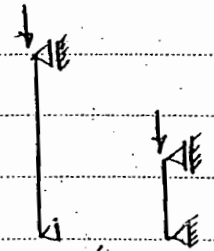


مقطع مستطیلی — مقطع ناودانی

۱) با توجه به شکل مقطع میزان باربری متفاوت است!



۲) با توجه به شرایط یکسان گاهی دو ستون باربری عوض می‌شود.



طول ستون را کاهش می‌دهیم!

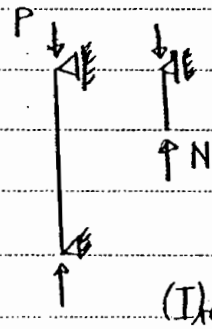
P4PCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

۳) با کاهش طول، مقاومت سازه در برابر کمانش افزایش می‌یابد.

سازه در حالت بدون کمانش (قبل از کمانش):

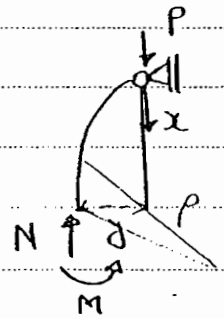


$P - N = 0$

$N = P$

تحلیل سازه ← تئوری درجه (I)

تعادل نیرو در سازه کمانش یافته:



$\uparrow \Sigma F = 0$

$\Rightarrow P = N$

$\curvearrowleft \Sigma M = 0$

$\Rightarrow M - Py = 0$

$\Rightarrow M = Py$ تئوری درجه (II)

ρ شعاع خمش $\leftarrow \frac{1}{\rho}$ خمش

$\frac{1}{\rho} = \frac{y''}{(1+y'^2)^{1.5}}$

y: تغییر شکل کوچک

اگر y کوچک باشد یعنی $y' \ll 1$:

$\frac{1}{\rho} = -y'' \Rightarrow y'' \approx \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{M}{EI}$

$M = -EIy''$

PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$-EIy'' - Py = 0 \Rightarrow y'' + \frac{P}{EI}y = 0$$

and $\varepsilon^2 = \frac{P}{EI} \Rightarrow$ **$y'' + \varepsilon^2 y = 0$** معادله دیفرانسیل کمانش ساده

حل معادله:

$$y = C_2 \cos \varepsilon x + C_1 \sin \varepsilon x$$

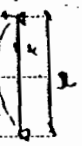
$$y' = \varepsilon C_1 \cos \varepsilon x - C_2 \varepsilon \sin \varepsilon x$$

$$y'' = -\varepsilon^2 C_1 \sin \varepsilon x - C_2 \varepsilon^2 \cos \varepsilon x$$

$$\Rightarrow -\varepsilon^2 (C_1 \sin \varepsilon x + C_2 \cos \varepsilon x) + \varepsilon^2 (C_1 \sin \varepsilon x + C_2 \cos \varepsilon x) = 0$$

$\Leftarrow$ پس جواب y در معادله صدق می‌کند.

محاسبه C_1 و C_2:



$x = 0 \rightarrow y = 0$ (I)

$x = l \rightarrow y = 0$ (II)

(I) $0 = C_1 \sin(0) + C_2 \cos 0 \Rightarrow$ **$C_2 = 0$**

(II) $0 = C_1 \sin \varepsilon l + 0 \Rightarrow C_1 = 0$ یا $\sin \varepsilon l = 0$

اگر C_1 مساوی صفر باشد معادله از بین می‌رود $\Leftarrow$ باید $\sin \varepsilon l = 0$ باشد.

$$\sin \varepsilon l = 0 \Rightarrow \varepsilon l = 0, \pi, 2\pi, \ldots, n\pi$$

$$\Downarrow$$

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

$$\Downarrow$$

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

نیروی کمانش

$$\boxed{P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{l^2}}$$

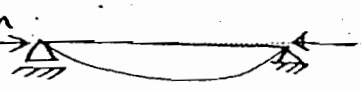
P4PCO

تاب پایداری سازه ها

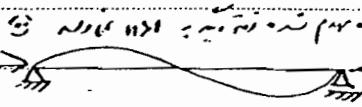
Subject:

Year. Month. Date. ( )

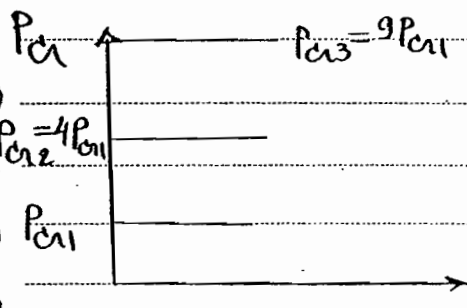
$n=1 \Rightarrow P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = P_{cr1}$

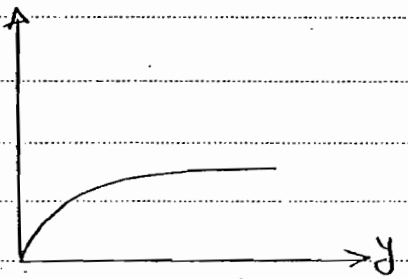


$n=2 \Rightarrow P_{cr} = 4\frac{\pi^2 EI}{l^2}$



$n=3 \Rightarrow P_{cr} = 9\frac{\pi^2 EI}{l^2}$





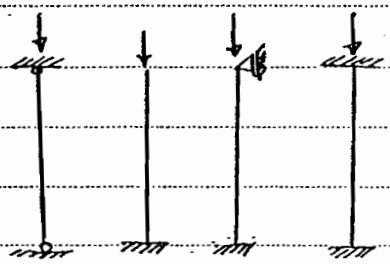
حتماً تدریجاً کمانش خواهد کرد و نه بصورت جهشی!

منحنی $(P_{cr}-y)$ اطلاعاتی بین P_{cr1} و P_{cr2} ... نمی دهد چرا؟

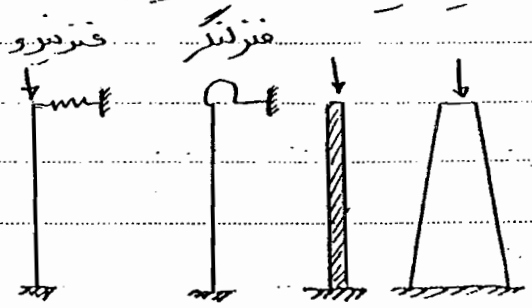
- از رابطه خمش ساده شده $(\frac{1}{\rho} = -y'')$ استفاده کردیم.
- از مصالح کاملاً ارتجاعی استفاده کردیم

تعادل تیر و در سازه کمانش یافته + رابطه خمش کامل

← تئوری درجه (III)

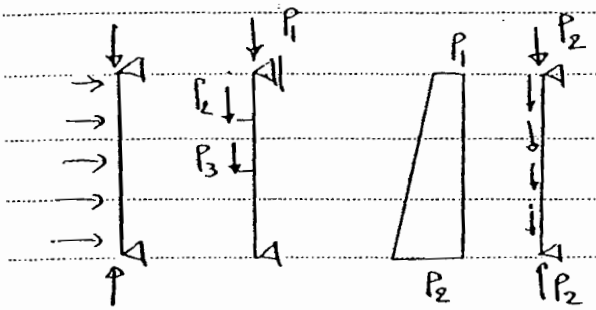


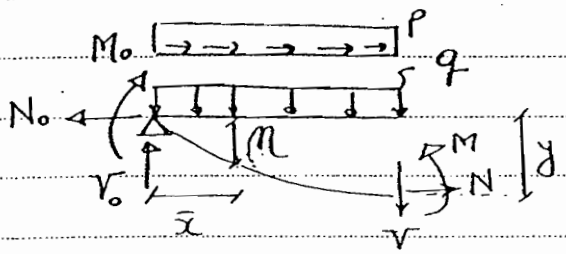
معادل دقیق انتهای کمانش تیرهای ساده



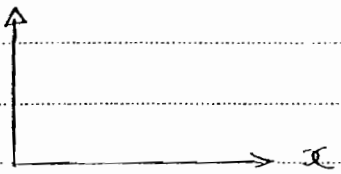
Subject:

Year. Month. Date. ( )





حالت ۱: نیروی P در محل تحمیل اولیه باقی می‌ماند.



$$\uparrow \Sigma F = 0 \qquad \int_0^x$$

$$\Rightarrow V - V_0 + \int_0^x q\,dx = 0$$

$$\rightarrow \Sigma F = 0 \qquad \int_0^x$$

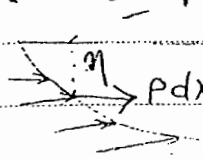
$$\Rightarrow N - N_0 + \int_0^x dx = 0$$

$$\circlearrowright \Sigma M = 0$$

$$\Rightarrow M - M_0 + N_0 y - V_0 x + \int_0^x q(x-\bar{x})\,dx + \int_0^x pM\,dx = 0$$

(نیرو — بازو)

حالت دوم: نیروی P کمی جابجا شده



معورتر

$$\cdots + \int_0^x p(y-\eta)\,dx = 0$$ حالت سوم

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$-EIy'' - M_0 + N_0 y - V_0 x + \int_0^x q(x-\bar{x})\,dx - \int p\eta\,dx =$$

$$\Rightarrow (EIy'')'' - N_0 y'' + 0 - q + \left(\int p\eta\,dx\right)'' = 0$$ از دو طرف مشتق می‌گیریم

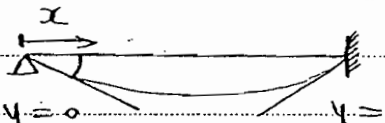
معادله درجه ۴ $\Rightarrow EIy^{(IV)} - N_0 y'' - q = 0$, $EI = ثابت$, $p = 0$

(دیفرانسیل)

$$\Rightarrow y = C_1 \sin \varepsilon x + C_2 \cos \varepsilon x + C_3 + C_4 x$$ جواب:

$$M = -EIy''$$

$$V = \frac{dM}{dx} = (-EI)y'''$$



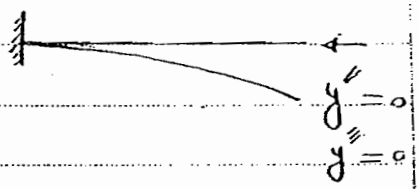
$x = 0$: $y = 0$ — $y = 0$

$y' =$ ادغنا — $y' = 0$

$y'' =$ لنگر

$y''' =$ برش

$y^{IV} =$ بارگسترده



$y'' = 0$

$y''' = 0$

ماتریس تیروی کمانش:

(تیروی) کمانش از دترمینان $\det|C| = 0$ بدست می‌آید.

ضرایب C_1, C_2, C_3, C_4 (مجهولات)

Subject:

Year. Month. Date. ( )

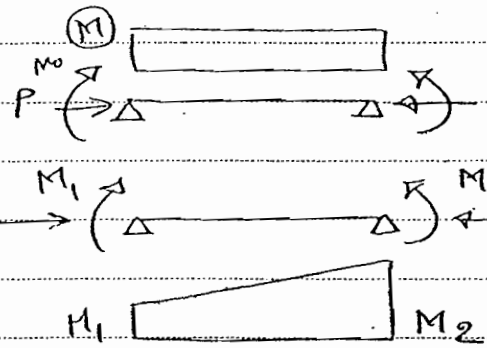
$$f = \frac{P}{A} + \frac{M}{S} = \frac{P}{A} + \frac{Pa}{S} \cdot \frac{1}{1-\frac{P}{P_E}} = \frac{P}{A} + \frac{M_0}{S} \cdot \frac{1}{1-\frac{P}{P_E}}$$

$$= \frac{P}{A} + \frac{M_0}{S}\left[\frac{1}{1-\frac{P/A}{P_E/A}}\right] = \frac{P}{A} + \frac{M_0}{S}\left(\frac{1}{1-\frac{f_a}{F_e}}\right)$$

ضریب ناشی از کمانش

$$f = f_a + f_b\left(\frac{1}{1-\frac{f_a}{F_E}}\right) \leq F$$

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b}\left(\frac{1}{1-\frac{f_a}{F_E}}\right) \leq 1$$



در حالت کمانش:

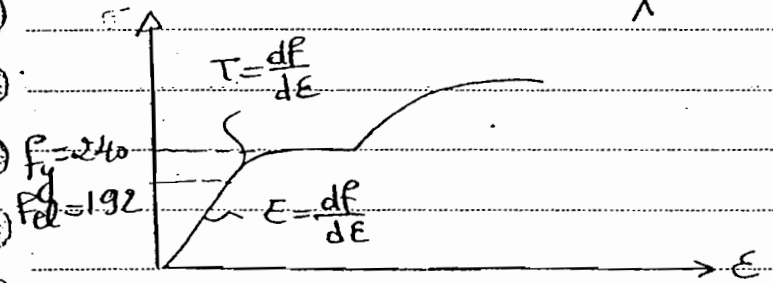
C_m = ضریب اصلاح لنگر در سر دو تکیه‌گاه برای تأثیر توزیع لنگر در حالت کمانش

با خمش عضو یکی باشد.

Subject.

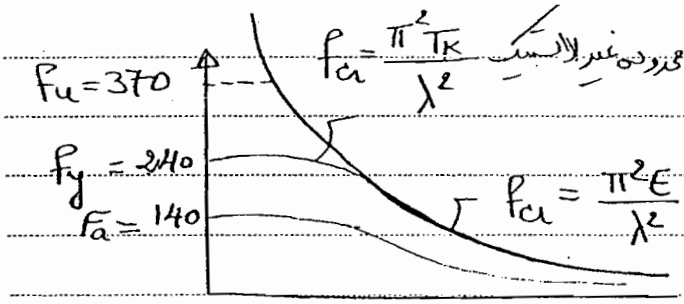
Year, Month, Date, ( )

در مورد اجسام الاستیک $f_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$



در محدوده غیرخطی به جای مدول الاستیسیته از مدول تانژانت استفاده می‌کنیم

$T=\frac{df}{d\varepsilon}$ مدول تانژانت $T=E \to 0$ غیر صفر



T_K : مدول تانژانت کمانش

در محدوده مصالح ارتجاعی خطی ← رابطه اویلر

" " غیرخطی ← رابطه جدول کمانش

تنش مجاز: $F_a = \frac{F_{cr}}{F.S}$ ضریب اطمینان

$F_a = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} / F.S$

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

Subject:

Year. Month. Date. ( )

در آیین نامه: $F_{el} \approx F_y/2$

آیین نامه‌ای $F_{el} = 192 \frac{kg}{cm^2}$ واقعی $\rightarrow \frac{F_y}{2} = \frac{240}{2} = 120$

تنش فشاری مجاز F_a

$\lambda \leq C_c$

$$F_a = \frac{(1 - 0.5\beta^2)}{F.S} F_y$$

در منطقه غیر ارتجاعی

$\lambda > C_c$

$$F_a = \frac{10^5 \times 10^4}{\lambda^2}$$

در منطقه ارتجاعی

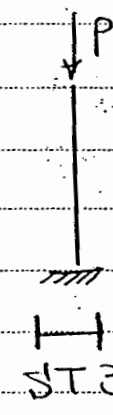
$F.S$: ممانعتی است در ضریب ناعری واقعی است

$$\beta = \frac{\lambda}{C_c}$$

$$F.S = 1.67 + 0.375\beta - 0.125\beta^2$$

کنترل کمانش: $f_a = \frac{P}{A} \leq F_a$

مثال:



ستون کنترل گردد

مشخصات IPB200:

$A = 78.1 cm^2$

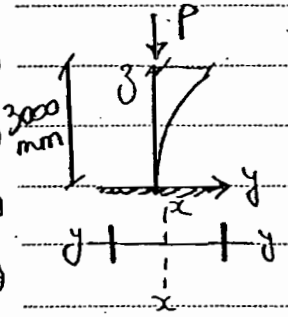
$r_x = 8.54 cm$

$r_y = 5.07 cm$

Subject:

Year, Month, Date. ( )

۱) کنترل کمانش حول محور x (محوری که مقطع آن ضعیف است)



کمانش حول محور x (کمانش در صفحه y-z)

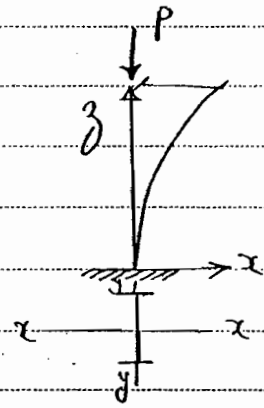
$$\lambda_x = \frac{l_{kx}}{r_x}$$

$$l_k = K \cdot l \rightarrow l_{kx} = K_x \cdot l \;,\; K = K_x = 2$$

$$\Rightarrow l_{kx} = 2 \times 300 = 600\ Cm$$

طول کمانش

$$\lambda_x = \frac{l_{kx}}{r_x} = \frac{600}{8.54} = 70.3 \xrightarrow{\text{جدول}} Fa_x = 111.3\ N/mm^2$$



کمانش حول محور y:
(کمانش در صفحه x-z)

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{r_y} \;,\; K = K_y = 2$$

$$l_{ky} = 2 \times 300 = 600\ Cm$$

$$\lambda_y = \frac{600}{5.07} = 118.3 \Rightarrow Fa_y = 74.6\ N/mm^2$$

$$Fa = \min(Fa_x, Fa_y) = \min(111.3, 74.6) = 74.$$

$$= 7.46\ KN/Cm^2$$

Subject:

Year. Month. Date. ( )

کنترل تنش:

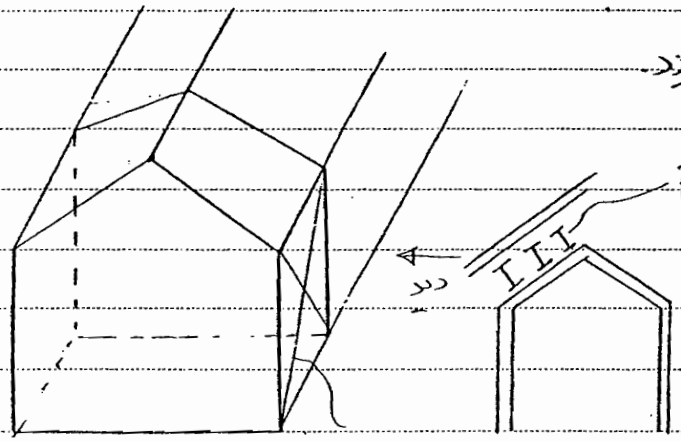
$$f_a = \frac{P}{A} = \frac{460}{78.1} = 5.9 \leq F_a = 7.46 \checkmark$$

$$F_a = \min(F_{ax}, F_{ay})$$

$$\lambda = \max(\lambda_x, \lambda_y)$$

F_a را برحسب ماکزیمم لاغری عضو به دست می‌آید.

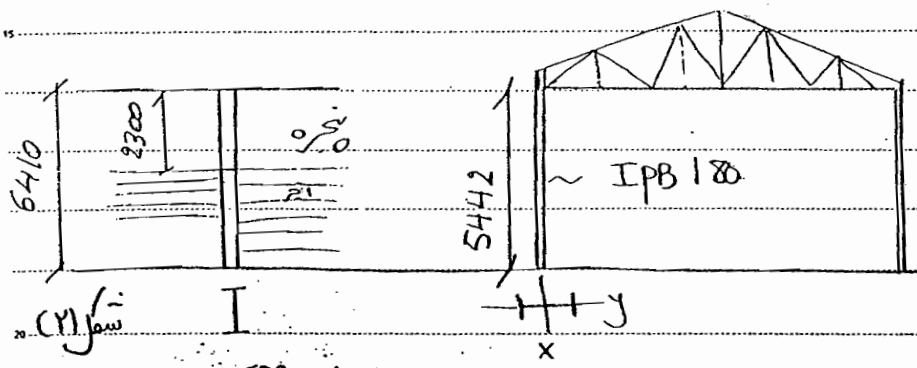
مثال: ستون کنترل گردد.



هارپنی

$P = 120\,KN$

ST 37 (E)



IPB 180

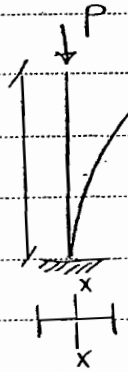
$A = 65.8\,cm^2$

$r_x = 7.63\,cm$

$r_y = 4.55\,cm$

سمت (۲)

مدل سازی ستون IPB



۱) کمانش حول محور x

$$K = K_x = 2$$

$$l_x = 544.2\,cm$$

$$l_K = 2 \times 544.2 = 1088.4\,cm$$

$$\lambda_x = \frac{1088.4}{7.63} = 142.6$$

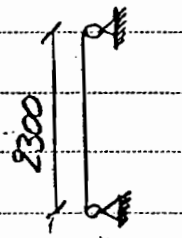
PAPCO

Subject:

Year, Month, Date, ( )

۲) کمانش حول محور y:

[نیروهای افقی را مهاربندی ها تحمل می کنند]



شکل (۲)

قسمتی از ستون که توسط اجرا پوشیده نشده کمانش می کند.

$K = K_y = 1$

$l_y = 2300\ cm$

$l_{ky} = 230\ cm$

$\lambda_y = \frac{230}{4.55} = 50.5$

$\lambda = \max(142.6, 50.5) = 142.6 \rightarrow F_a = 51.7\ N/mm^2$

۳) کنترل تنش

$f_a = \frac{P}{A} = \frac{120}{65.8} = 1.82\ KN/cm^2 \leq F_a = 5.17$

مثال: کامل برق

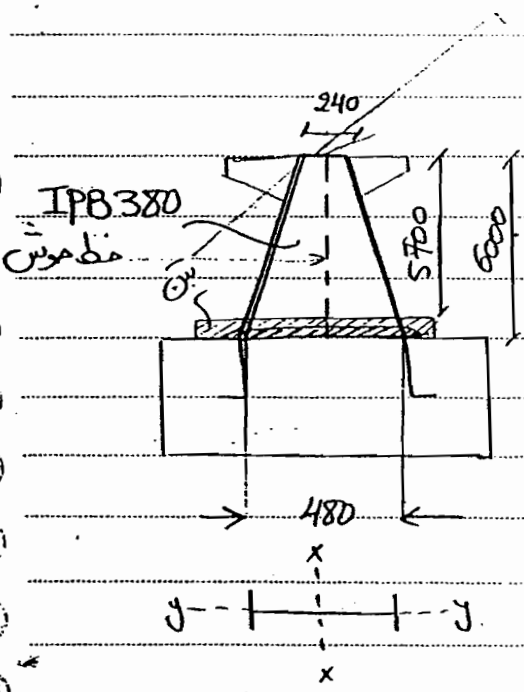
P مجاز محاسبه شود.

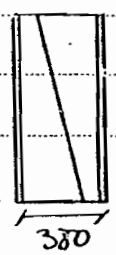
$\min I_x = 25745\ cm^4$

$\max I_x = 86262\ cm^4$

$A = 194\ cm^2$

$r_y = 7.46\ cm$

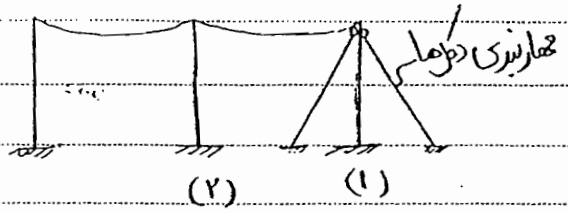




Subject:

Year. Month. Date. ( )

۱) کنترل حول محور x

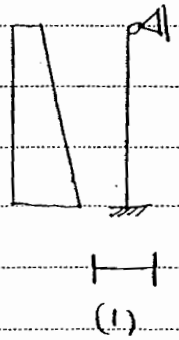


سازه با ابعاد متغیر برای شکل (۲)

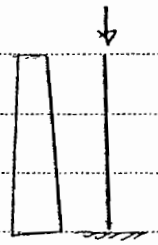
$K = K_1 . K_2$

$K_1 = ?$ از شرایط تکیه‌گاهی

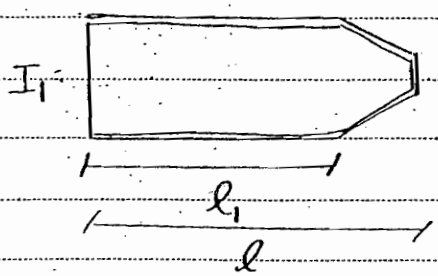
$K_2 =$ از متغیر بودن مقطع (جدول 6-4)



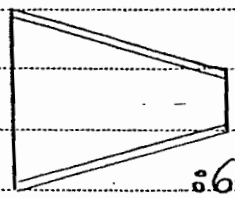
ضعیف‌ترین شرایط تکیه‌گاهی را (مطابق کارانه) برای محاسبات می‌گیریم.



جدول 6-4



سازه ما:



با توجه به جدول 6-4:

$l_1 = 0$

$K = \sqrt{\frac{1}{C}}$

Subject:

Year, Month, Date, ( )

$$\nu = \sqrt{\frac{I_0}{I_1}} \quad , \quad l_1 < 0.5l \rightarrow 0.1 \leq \nu \leq 1$$

$$c = (0.08 + 0.92\nu) + \left(\frac{l_1}{l_0}\right)^2 (0.32 + 4\sqrt{\nu}) \quad /4.32$$

$0.5l \leq l_1 \leq 0.8l$ بین دو حالت فوق c

$$l_1 = 0 \leq 0.5l \Rightarrow c = (0.08 + 0.92\nu) + 0$$

$$\nu = \sqrt{\frac{25745}{86262}} = 0.55$$

$$\Rightarrow c = 0.08 + 0.92 \times 0.55 = 0.58$$

$$\rightarrow K = \sqrt{\frac{1}{c}} = 1.31$$ ضریب کمانش

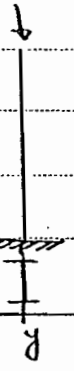
$$K = 2 \times 1.31 = 2.62$$

$$l_{kx} = 5.70\text{m} \times 2.62 = 14.93\text{ m}$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{86262}{194}} = 21.1 \text{ cm}$$ شعاع دوران براساس I_x تنظیم شده اند

$$\lambda_x = \frac{1493}{21.1} = 70.8$$

کمانش حول محور y



$$\max I_y \approx I_{y\,min} = I_y$$

$$K_1 = 2 \,,\; K_2 = 1$$

$$K = K_1 \times K_2 = 2$$

PAPCO

Subject:

Year: Month: Date:

$$l_{ky} = 570 \times 2 = 1140 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{1140}{7.46} = 152.8$$

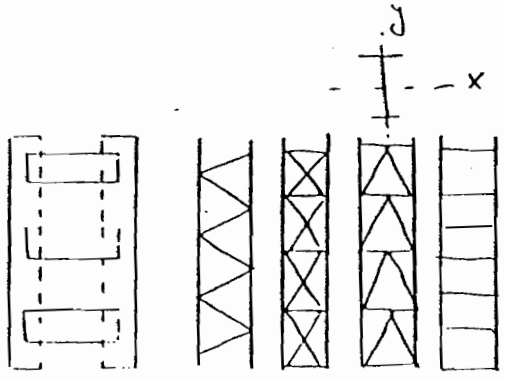
$$\lambda = \max(70.8, 152.8) = 152.8 \rightarrow F_a = 45.0 N/mm^2$$

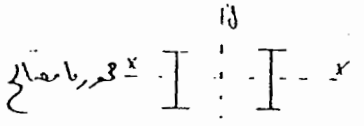
$$f_a = \frac{P}{A}$$

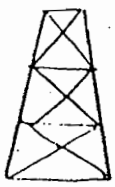
$$P_{all} = A \cdot F_a = 194 \times 4.5 = \underline{873 \text{ KN}}$$

ستون های مرکب

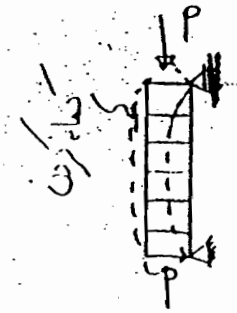
وقتی که بخواهیم بازوی های کوچک نیروهای زیادی را انتقال دهیم تا سازه های با ارتفاع زیادی بسازیم.







تیرهای خرپا فولی



تعادل نیروها در سازه کمانش کرده

$$E_\sigma = E_i$$

انرژی نیروهای داخلی در حالت کمانش = انرژی نیروهای خارجی در حالت کمانش

Subject:

Year Month Date

$$P.\Delta = E_0$$

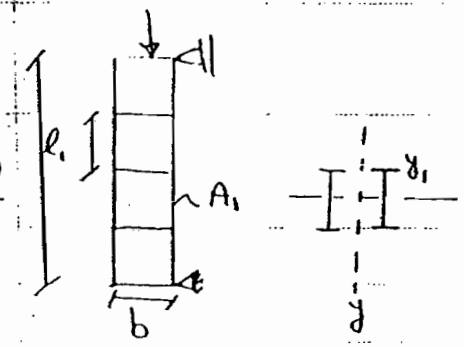
$$E_i = \int \frac{NN'}{AE} ds + \int \frac{MM'}{EI} ds + \dots$$

$$f_a = \frac{\pi^2 E}{\lambda_e^2}$$

P.68

λ_e = ضریب لاغری ایدهآل (مؤثر)

در کمانش مول محور بدون همراهی از ضریب لاغری مؤثر λ_e استفاده می‌شود.



$$I_y = 2 I_{y1} + 2 A_1 \left(\frac{b}{2}\right)^2$$

$$A = 2A_1$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \Rightarrow \lambda_y = \frac{\ell_K}{r_y}$$

$$\lambda_{ye} = K_1 \lambda_y \longrightarrow F_a$$

$$K_1 = \sqrt{1 + \frac{0.822}{\lambda_y^2}\left[\frac{A \ell_1 b''}{A_b \times r_b^2} + \lambda_1^2\right]}$$

A_b = سطح مقطع تیرها $A_b = 2 A_{b1}$

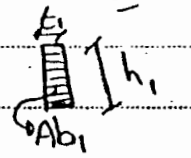
102-6 ص

PAPCO

106-6 ص 104-6 ص ضریب لاغری ایدهآل قاب تیرها و تیرهای سبک

Year Month Date

شعاع ژیراسیون نادیر محور ضعیف تیر r_b

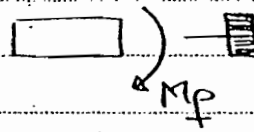


$$I_{b1} = t_1 \times \frac{h_1^3}{12}$$

$$A_{b1} = t_1 \cdot h_1$$

$$r_b = \sqrt{\frac{I_{b1}}{A_{b1}}} = \sqrt{\frac{1}{12}}\, h_1$$

محور ضعیف تیر



$\lambda_1 = \frac{l_1}{r_1}$ ضریب لاغری یک ستون

r_1: شعاع ژیراسیون حداقل یک ستون

کنترل تنش $F_a = \frac{P}{A} \leq F_a$

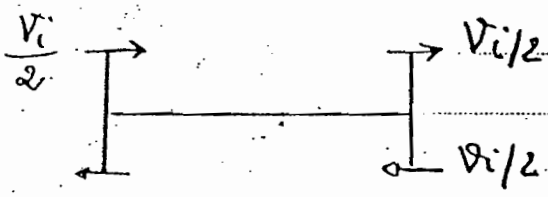
کنترل کمانش یک ستون:

$$P_1 = \frac{P}{2}$$

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{r_1} \rightarrow F_{a1}$$

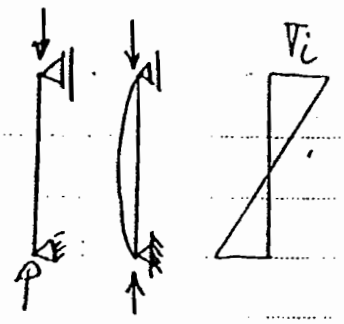
$$F_{a1} = \frac{P_1}{A_1} \leq F_{a1}$$

کنترل قید (V_i) (سبت)



Subject:

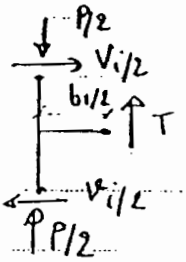
Month: Date: ( )



نیروی برشی

$V_i = 0.02P$ نیروی برشی

با اندازه $0.02P$ باید به عضو در حال کمانش وارد کنیم تا مدلی کمانه کردن را بگیریم.



در حالت کمانش یافته نیروهای برشی به دست می آید.

$M_R = T \frac{b_1}{2}$

$T \frac{b_1}{2} = \frac{V_i}{2} \times l_1$

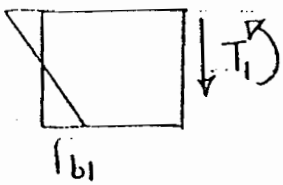
$T = V_i \frac{l_1}{b_1}$

کنترل تیر

نیروی موجود در هر تیر

$T_1 = \frac{T}{2}$

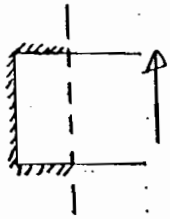
$M_{R_1} = \frac{M_R}{2}$



$f_{b1} = \frac{M_{R1}}{S_1} \leq F_b = 0.66 F_y$

$S_1 = t_1 \frac{h_1^2}{6}$

تنش برشی $f_v = 1.5 \frac{T_1}{A_{b1}} \leq F_v = 0.4 F_y$

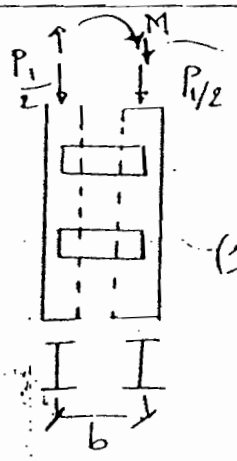


اتصال تیر به ستون:

از مدل محاسباتی مفصلی استفاده شود.

PAPCO

Year Month Date

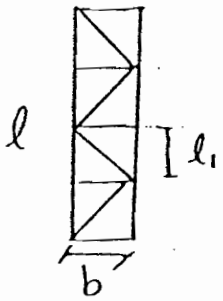


$P_M = \frac{M}{b}$ (نیروی دریتی کمتر)

$V = V_i + V_o$

بستگی دارد

کنترل کمانش ستون مرکب با شبکه قطری:



$I_y = 2I_{y1} + 2A_1(\frac{b}{2})^2$

$A = 2A_1$

$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$

$\lambda_y = \frac{l_k}{r_y}$

$\lambda_{ye} = \alpha \lambda_y \rightarrow Fa$

$\begin{cases} \lambda_y \geq 40 \rightarrow \alpha = \sqrt{1 + \frac{300}{\lambda_y^2}} \\ \lambda_y \leq 40 \rightarrow \alpha = 1.1 \end{cases}$

کمانش کل ستون $f_a = \frac{P}{A} \leq Fa$

کنترل کمانش یک ستون:

$P_1 = \frac{P}{2} + P_M$

$\lambda = \frac{l_1}{r_1} \rightarrow Fa_1$

$f_{a1} = \frac{P_1}{A_1} \leq F_{a1}$

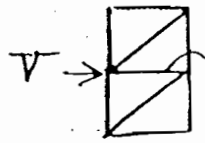
مهم: ستل‌های مربوط به اتصالات

ص 109-6

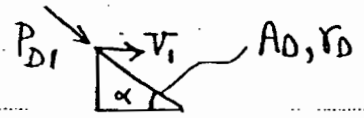
PAPCO

Subject:
Year: Month: Date:

کنترل عضو قطری:



$V = V_1 + V_0$



$V_1 = \frac{V}{2}$

$P_{D1} = \frac{V_1}{\cos\alpha} =$ نیروی عضو قطری

$\lambda_D = \frac{\ell_D}{r_d} \rightarrow F_{aD}$

قطری (diagonal)

$f_{aD} = \frac{P_{D1}}{A_{D1}} \leq F_{aD}$

کنترل عضو افقی:

$P_b = V_1$

$\lambda_d = \frac{b}{r_{b1}} \rightarrow F_{ab}$

$f_{ab} = \frac{P_b}{A_{b1}} \leq F_{ab}$

کنترل:

۱) کمانش کل ستون (λ_e)

۲) کمانش اجزای افقی و قطری ستون

PAPCO

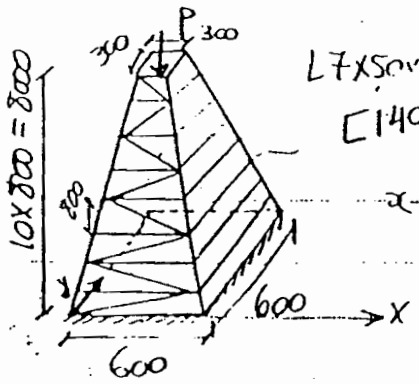
Subject:

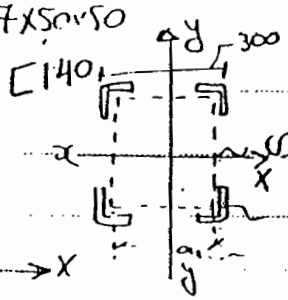
Year: Month: Date:

مثال امتحانی:

ستون مثلث داده شده

به ما دست (بند) تقسیم شده

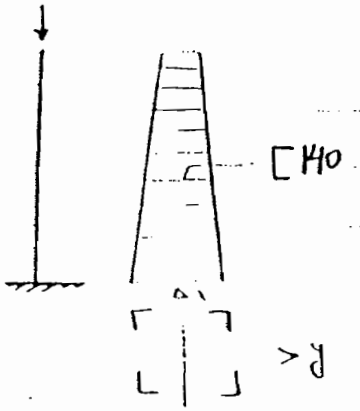




فاصله کمربند تقل لازم

(E) ST37

محاسبه P مجاز و اتصالات اضلاع.



کناش سازه حول محور x

L12x100

A = 22.7 cm²

I_{x1} = 207

I_{y1} = 207

$r_{1\,min}$ = 3.02

e = 2.90

L7x50 A = 6.56

I_{x1} = 14.6

I_{y1} = 14.6

$r_{1\,min}$ = 1.49

e = 1.49

x [140 A = 80.4

I_{x_1} = 605

I_y = 62.7

r_{min} = 1.75

Subject:

Year Month Date ( )

$K_1 = 2$, $K = K_1 \cdot K_2$

متغیر بودن ابعاد

$a_1 = 80 - 2 \times 2.9 = 24.2\,cm$ در بالای بر

$\min I_x = 4 \times 207 + 4 \times 22.7 \left(\frac{24.2}{2}\right)^2 = 14122\,cm$

$a_1 = 60 - 2 \times 2.9 = 54.2\,cm$ در پایین بر

$\max I_x = 4 \times 207 + 4 \times 22.7 \times \left(\frac{54.2}{2}\right)^2 = 67512\,cm$

$A = 4 \times 22.7 = 90.8\ cm^2$

$\max r_x = \sqrt{\frac{67512}{90.8}} = 27.3\,cm$

$K_2 = \sqrt{\frac{1}{C}}$ جدول ۲-۶

$C = 0.08 + 0.92\nu$

$\nu = \sqrt{\frac{I_{min}}{I_{max}}} = \sqrt{\frac{14122}{67512}} = 0.46$

$\rightarrow C = 0.5 \Rightarrow K_2 = \sqrt{\frac{1}{0.5}} = 1.4$

$K = K_1 \times K_2 = 1.4 \times 2 = 2.8$

$l_K = 2.8 \times 80\,cm = 2240\,cm$

$\lambda_x = \frac{2240}{27.3} = 82.1 \rightarrow Fa = 103.1\ N/$

چون محور x، محور بزرگ مصالح است:

$\lambda_{xc} = K_1 \lambda_x$

(ستون مشبک با قیدهای مورب)

$K_1 = \sqrt{1 + \frac{0.822}{\lambda_x^2}\left[1 + \frac{A \cdot l_b}{A_b \cdot r_b^2} + \lambda_1^2\right]}$

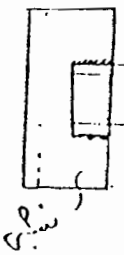
$A = 90.8\ cm^2$, $l_1 = 80\,cm$, $b_1 = 54.2$

$A_{b_1} = 20.4\,cm^2$, $r_{b_1} = r_{x_1}$ بلوط $= 5.45\,cm$ برای مورب شبکه انتخاب

انتخاب ۴۰/۴۰ است

PAPCO

(قرینش عضویت (قید)



$A_b = 2 \times 20.4 = 40.8\ cm^2$

$r_b = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{2I_{x1}}{2A}} = r_{x1}$

$r_b = 5.45\ cm$, $\lambda_1 = \frac{\ell_1}{r_{min}} = \frac{80}{1.75} = 45.71$

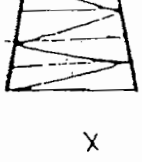
$K_1 = \sqrt{1 + \frac{0.822}{82.1^2}\left[\frac{90.8 \times 80 \times 5.4.2 + 45.7^2}{40.8 \times 5.45^2}\right]}$

$= 1.13$

$\lambda_{x\,eff} = 1.13 \times \underbrace{82.1}_{\lambda_x} = 92.8 \rightarrow F_a = 95.5\ N/mm^2$

$P_x = F_a \cdot A = 9.55 \times 90.8 = \underline{867\,KN}$

کمانش سازه حول محور y



محاسبه r_x, r_{min}, A, K_2 تا اینجا

محاسبه λ_y, ℓ_k فقط برای کمانش

$K = 2.8$

$\lambda_y = 82.1$

$\lambda_{y\,eff} = \alpha\,\lambda_y$, $\lambda_y = 82.1 > 40 \Rightarrow \alpha = \sqrt{1 + \frac{300}{\lambda_y^2}}$

$\Rightarrow \lambda_{y\,eff} = 1.02 \times 82.1 = 83.9$ $= 1.02$

$\rightarrow F_a = 101.7\ N/mm^2$

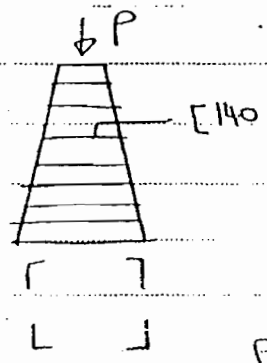
Subject:
Year. Month. Date. ( )

* قطری‌ها همراه از شبکه‌ها عمل می‌کنند و از لحاظ میزان مصرف مصالح وهمی مول‌ها کنتری دارند.

$P_y = 10.17 \times 90.8 = 923.4\ KN$

$P = \min(P_x, P_y) = 867\ KN$

کنترل اجزاء سازه در کمانش مول محور x



۱) کنترل تک نبشی

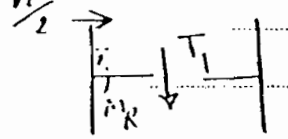
$P_1 = \frac{P}{4} = \frac{867}{4} = 216.8$

$\lambda_1 = 45.7 \rightarrow F_{a_1} = 125.9\ N/$

$P_{a_1} = \frac{P_1}{A_1} < \frac{216.8}{22.7} = 9.55 < 12.59$ ← L12x100

۲) کنترل بست حلی موازی [140

$V_i = 0.02P = 0.02 \times 867 = 17.4\ KN$



$V_1 = \frac{V_i}{2} = \frac{17.4}{2} = 8.7\ KN$

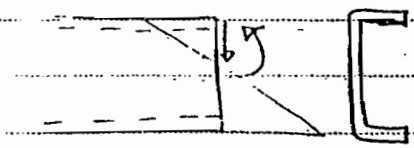
برش هر بست

$T_1 = \frac{V l_1}{b} = \frac{8.7 \times 80}{54.2} = 12.84\ KN$

اگر T را با دست جهت پیدا کردن (کل لنگر) یک نبشی M_R اولیه ای کنند.

$M_R = T_1 \cdot \frac{b}{2} = 12.84 \times \frac{54.2}{2} = 34$

کنترل خمش در طول آن



PAPCO

Subject:

Year: Month: Date:

$$f_b = \frac{M_R}{S_b} = 4.02 \ KN/cm^2 < F_b = 0.66F_y = 16 \checkmark$$

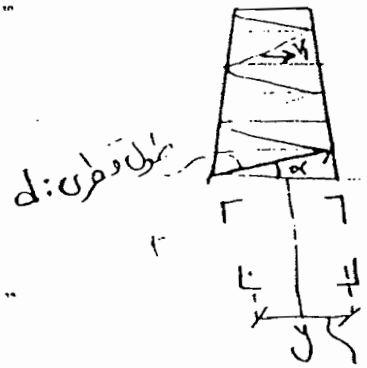
$$S_b = \frac{605}{\frac{h=14}{2}} = 86.4$$

کنترل برش:

$$f_v = \frac{T_1}{d.t} = \frac{12.84}{14 \times 0.7} = 1.31 \ KN/cm^2 < F_v = 0.4F_y = 9.6 \checkmark$$

ضخامت جان نادرای

کنترل اعزا دسازه در کمانش حول محور y



$$V_i = 0.02P = 17.4$$

$$V_1 = \frac{17.4}{2} = 8.7 \ KN$$

$$D_1 = \frac{V_1}{\cos\alpha} = \text{عمودی}$$

$$tg\alpha = \frac{80}{54.2} \rightarrow \alpha = 403^\circ$$

$$\Rightarrow D_1 = \frac{17.4}{\cos 403} = 11.4 \ KN$$

$$d = \sqrt{80^2 + 54.2^2} = 96.6 \ cm$$

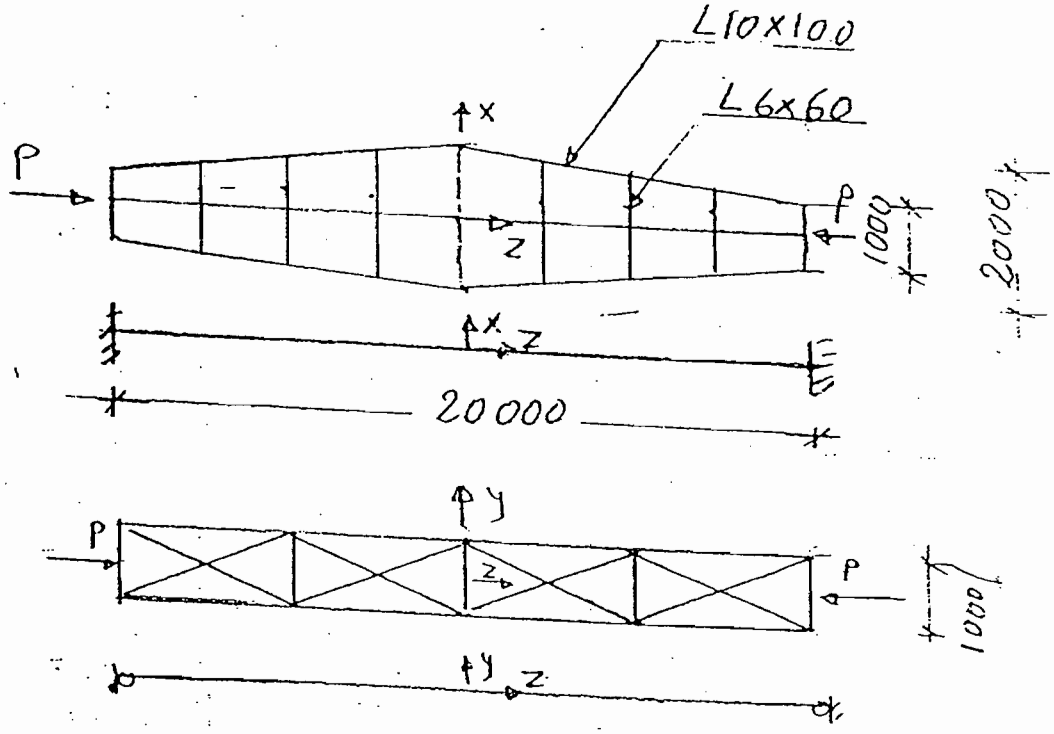
$$\lambda_d = \frac{d}{r_d} = \frac{96.6}{1.49} = 64.8 \rightarrow F_a = 167.2 \ \frac{N}{mm^2}$$

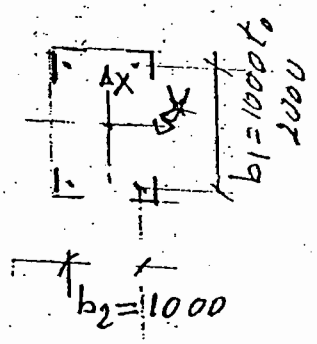
d کمترین

7x5 سپری r_{min}

$$f_{a_d} = \frac{P}{A} = \frac{11.4}{6.56} = 1.74 \ KN/cm^2 < 16.72 \checkmark$$

دکتر مجید صادق آذر
دانشکده عمران - پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران





پرسش ۴- باربری سازه مشخص گردد ؟P=
ST37، بارگذاری عادی

(18)