طراحی سازه فولادی ۱

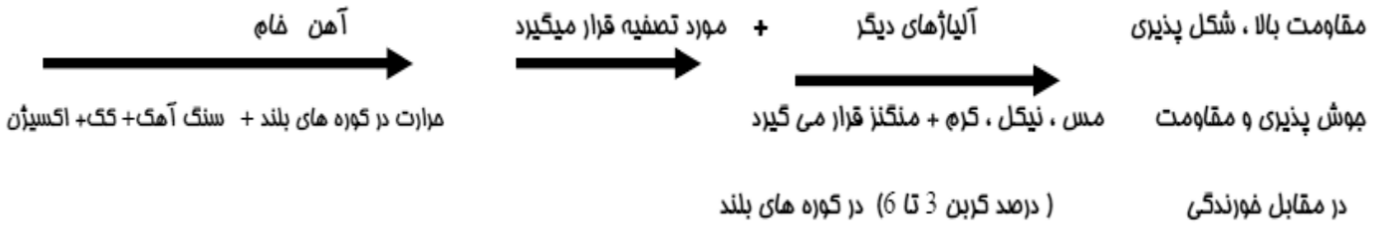
مدرس : شهرام طالش عابدینی
عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق

طراحی اعضای کششی

TENSION MEMBERS

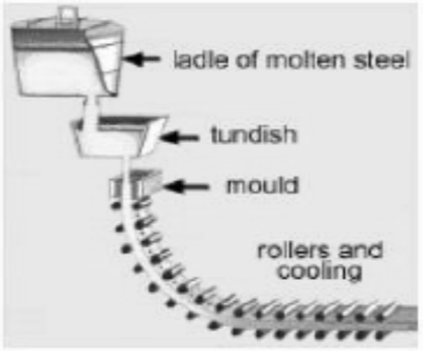
فولاد ساختمانی

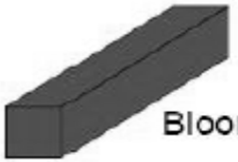
- فولاد آلیاژی است مرکب از آهن ، کربن (0.15 تا 2 %) و مقدار جزئی از عناصر دیگر (منگنز ، نیکل و ...)
- کربن باعث افزایش مقاومت فولاد شده اما در عین حال شکل پذیری را کاهش می دهد.



ریخته گری و نورد گرم

Continuous Caster

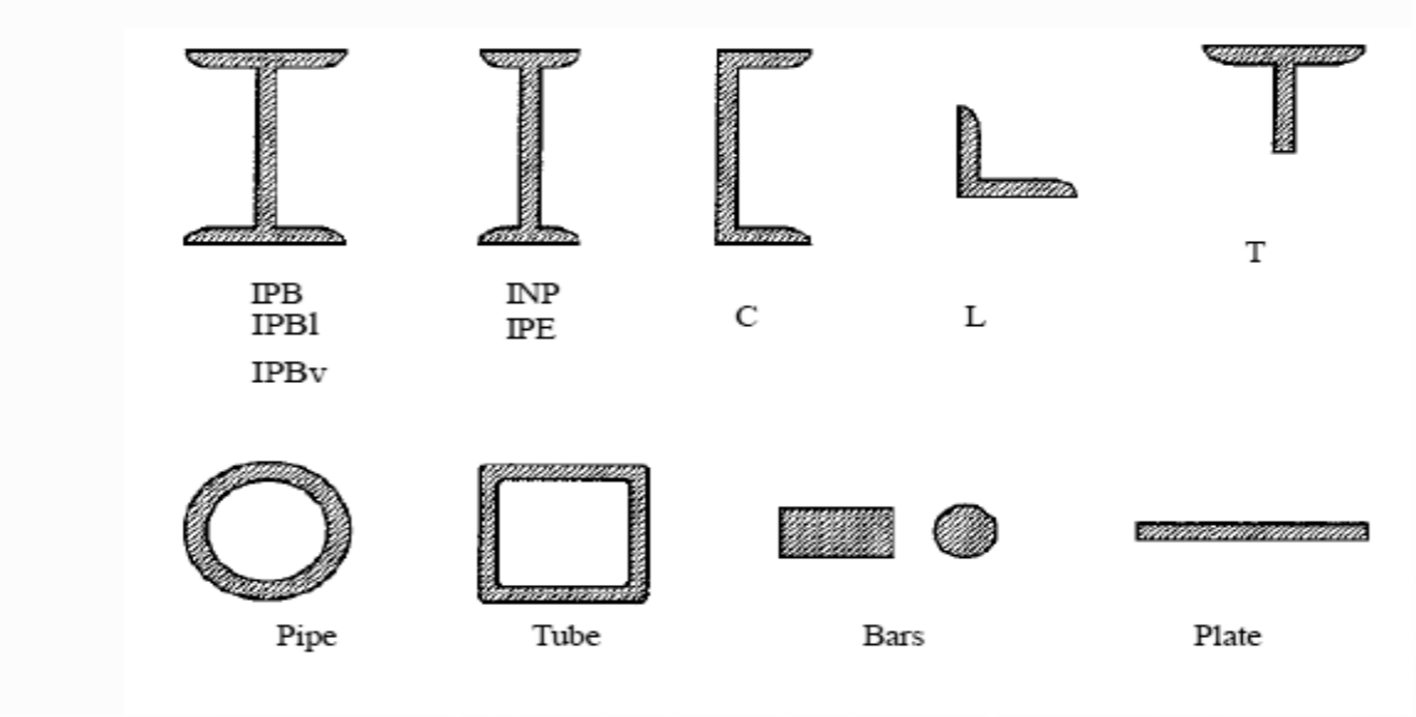




Rolling Mill

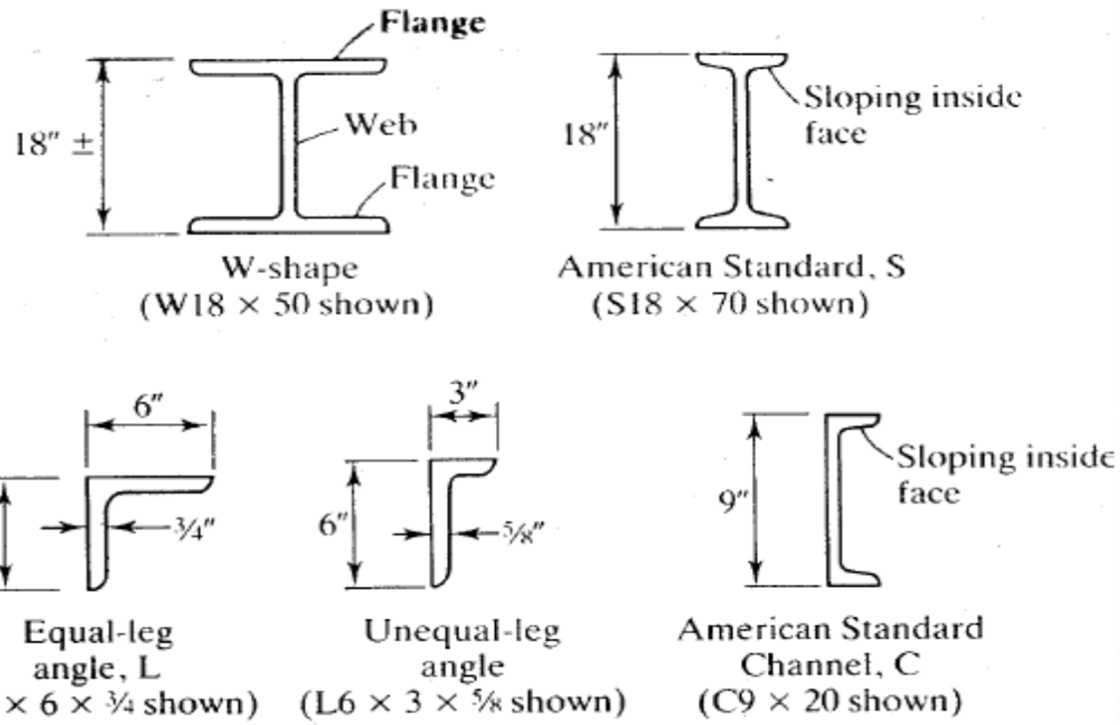
انواع پروفیلهای فولادی نورد شده

پروفیلهای نورد شده گرم–استاندارد اروپایی DIN



انواع پروفیلهای فولادی نورد شده

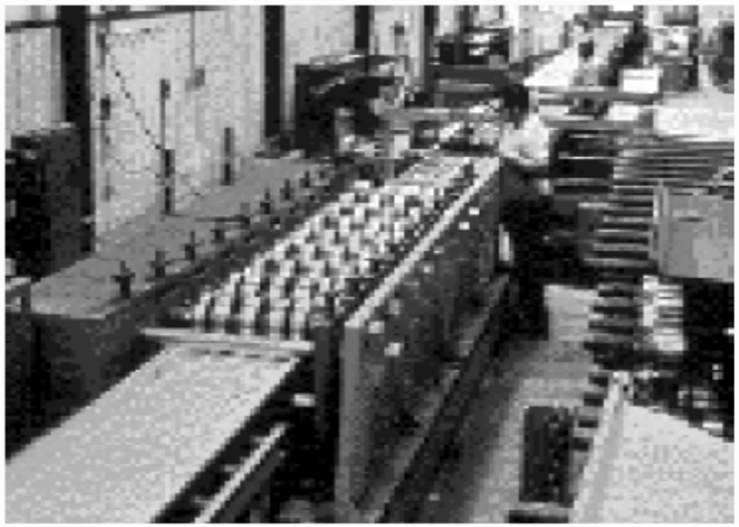
پروفیلهای نورد شده گرم–استاندارد آمریکایی ASTM

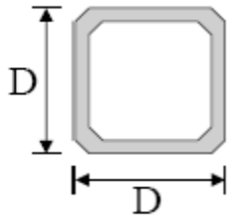


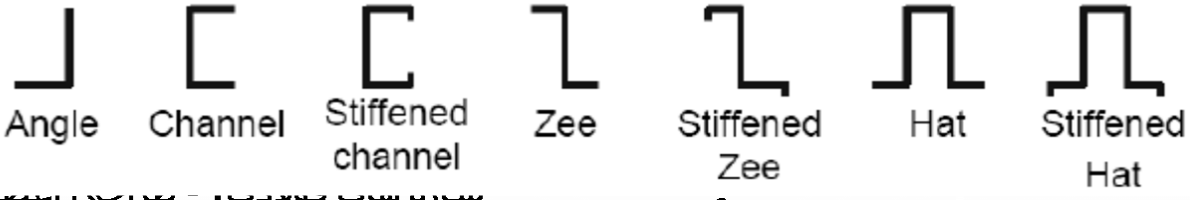
انواع پروفیلهای فولادی نورد شده

پروفیلهای نورد شده سرد Cold Formed Steel Shape

نیمرخ های فولادی سرد کار شده به شکلهای مختلف در دمای معمولی (محیط) با عملیات خم‌کاری ایجاد می شوند.

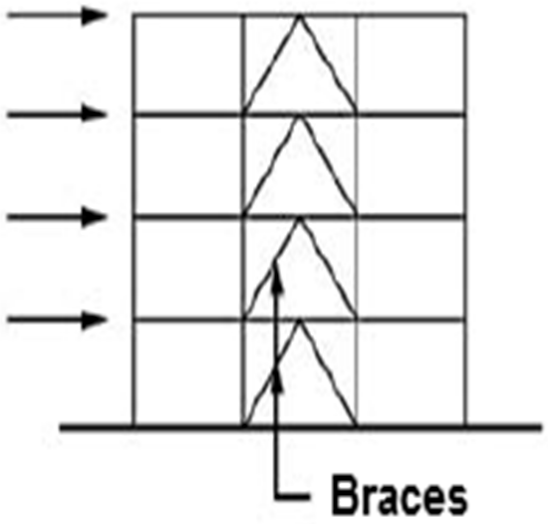




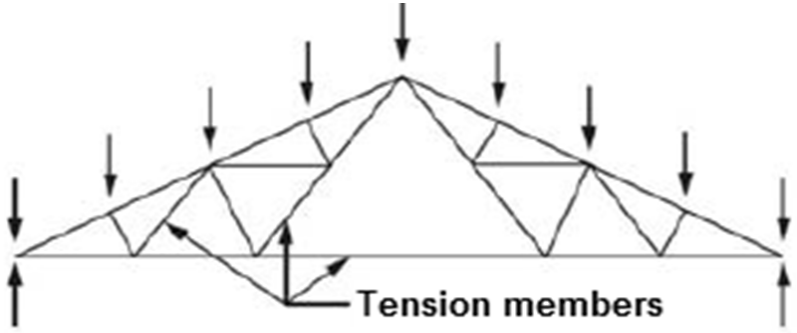


اعضای کششی در سازه های فولادی

تعریف اعضای کششی: اعضایی که به واسطه تحمل نیروی کششی خالص ایفای نقش می‌کنند.



Multi-storey building



Roof Truss

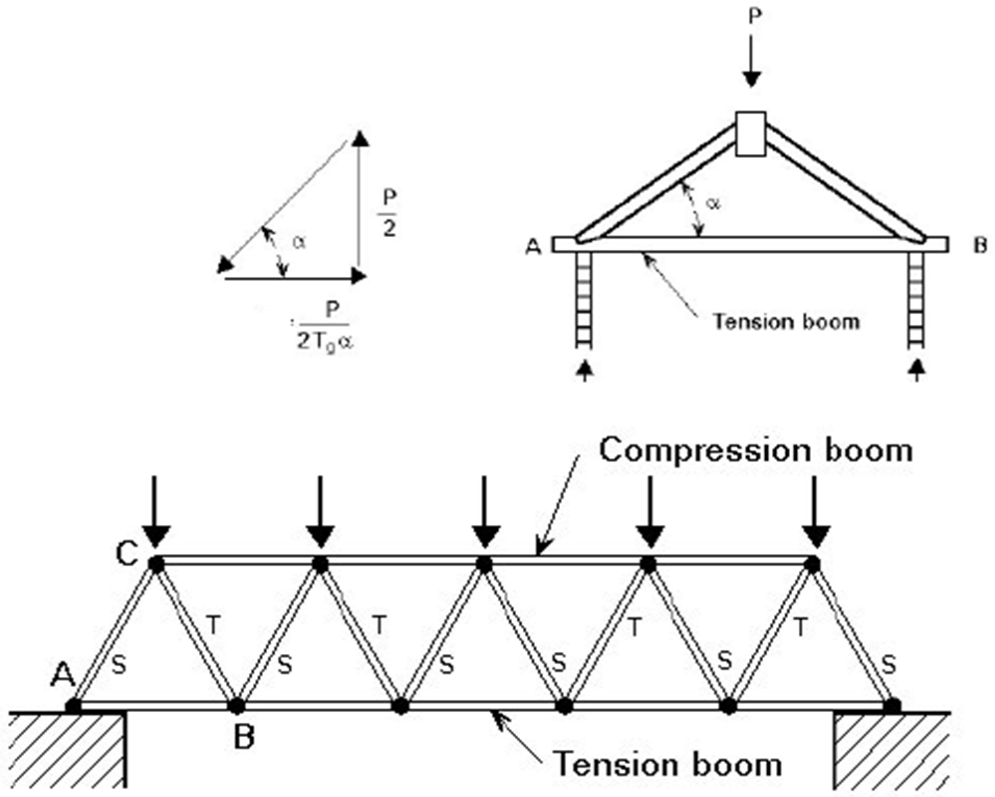
اعضای کششی در سازه های فولادی

- Cables

Ties

"Tension" Tie

اعضای کششی در سازه های فولادی



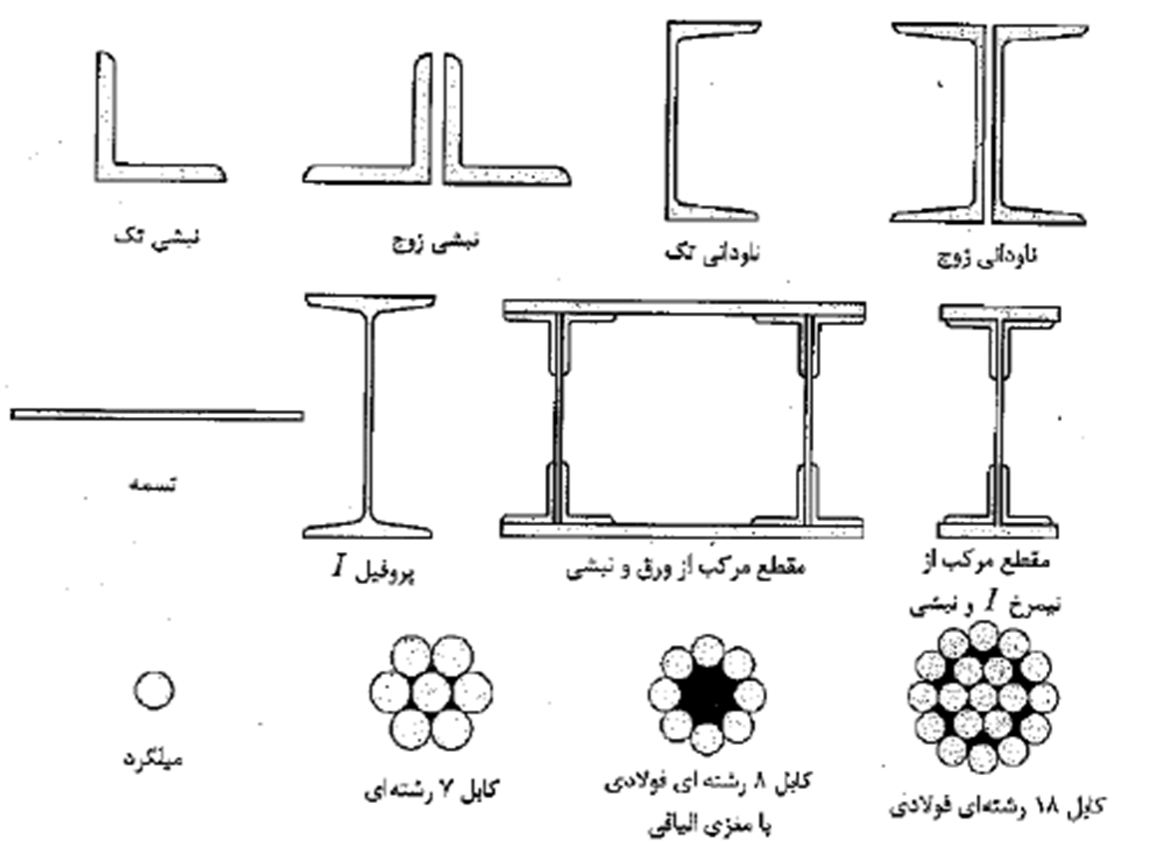
انواع پروفیلها (نیمرخ ها) یا مقاطع مورد استفاده در اعضای کششی

از مقاومت مصالح میدانیم، تنش بوجود آمده در اعضای تحت نیروی محوری کششی P از رابطه زیر بدست می آید، که A برابر سطح مقطع آن عضو است:

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

- بنابراین هر نوع شکل مقطع ممکن است برای اعضای کششی استفاده شود. چون مطابق رابطه فوق تامین **سطح مقطع** مناسب، اساسی ترین پارامتر موردنیاز مقاومت اعضای کششی است.

انواع پروفیلها (نیمرخ ها) یا مقاطع مورد استفاده در اعضای کششی



۱۰-۲-۳ الزامات طراحی اعضاء برای نیروی کششی

این بخش به الزامات طراحی اعضاء تحت اثر نیروی محوری کششی که در امتداد محور مرکزی عضو بارگذاری شده‌اند، می‌پردازد. علاوه بر الزامات این بخش، در طراحی اعضای کششی که تحت اثر پدیدهٔ خستگی و یا تمرکز تنش به علت تغییر ناگهانی مقطع قرار می‌گیرند، باید اثرات این پدیده‌ها به نحو موثری لحاظ شده باشد.

تحقیق اختیاری: پدیده خستگی در سازه های فولادی و طراحی در برابر خستگی

ضوابط طراحی اعضای کششی

۱۰-۲-۳-۱ الزامات عمومی

در این مبحث برای طراحی اعضای کششی تنها معیار مقاومت به عنوان ضابطهٔ اصلی طراحی در نظر گرفته شده است و کنترل معیار لاغری صرفاً بخاطر شرایط بهره‌برداری مناسب ارائه شده است.

در طراحی اعضای کششی بایستی تلاش کرد تا شکل عضو و اتصالات آن به گونه‌ای تنظیم شود که عضو تنها به کشش کار کند و خمش در آنها ایجاد نشود. در غیر این صورت به برون‌محوری موجود در طرح و اثر آن در محاسبه باید توجه شود.

ضوابط طراحی اعضای کششی

برای طراحی اعضای کششی دو معیار اساسی را بایستی در نظر گرفت.

الف: معیار مقاومت

ب: معیار لاغری

- **دو مکانیزم خرابی محتمل در اعضای کششی :**
- الف- تسلیم در سطح مقطع کل
- ب- گسیختگی روی سطح مقطع موثر

الف) معیارمقاومت، $P_u \leq \phi_t P_n$

مقاومت کششی طراحی ($\phi_t P_n$) در اعضای تحت کشش باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده حالت‌های حدی تسلیم کششی در مقطع کلی(A_g) و گسیختگی کشش در مقطع خالص عضو(A_n) و در مقطع موثر(A_e) در نظر گرفته شود.

۱- تسلیم کششی در مقطع کلی عضو:

$$\phi_t = 0.9 \quad \text{و} \quad P_n = F_y A_g$$

۲- گسیختگی کششی در مقطع خالص عضو:

$$\phi_t = 0.75 \quad \text{و} \quad P_n = F_u A_n$$

۳- گسیختگی کششی در مقطع خالص موثر عضو در محل اتصال:

$$\phi_t = 0.75 \quad \text{و} \quad P_n = F_u A_e$$

شی -
ذینی

ضوابط طراحی اعضای کششی

۱۰-۲-۳-۴ مقاومت کششی

مقاومت کششی طراحی ($\phi_t P_n$) در اعضای تحت کشش باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی تسلیم کششی در مقطع کلی (A_g) و گسیختگی کششی در مقطع خالص عضو (A_n) و مقطع خالص موثر (A_e) در نظر گرفته شود.

تبصره ۱: مقاومت برشی قالبی در اتصال انتهای اعضای کششی باید مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۱۰ بررسی شود.

از تحلیل سازه و سپس ترکیب بار بدست می آید ⟵ مقاومت کششی مورد نیاز = P_u

ضوابط طراحی اعضای کششی

۶-۲-۳-۳ ترکیب بارهای حالت‌های حدی مقاومت در طراحی سایر ساختمان‌ها از جمله ساختمان‌های فولادی

در طراحی ساختمان‌های فولادی، به روش ضرایب بار و مقاومت، موضوع مبحث دهم مقررات ملّی ساختمان، و یا دیگر مصالح به جز بتن‌آرمه، از ترکیب بارهای این بند استفاده می‌شود. سازه‌ها و اعضای آن‌ها باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که مقاومت طراحی آن‌ها، بزرگ‌تر و یا برابر با اثرات ناشی از ترکیب بارهای ضریب‌دار زیر باشند:

۱) $۱٫۴D$

۲) $۱٫۲D+۱٫۶L+۰٫۵(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

۳) $۱٫۲D+۱٫۶(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)+[L \text{ یا } ۰٫۵(۱٫۴W)]$

۴) $۱٫۲D+ ۱٫۰(۱٫۴W)+L+۰٫۵(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$

۵) $۱٫۲D+۱٫۰E+L+۰٫۲S$

۶) $۰٫۹D+۱٫۰(۱٫۴W)$

۷) $۰٫۹D+۱٫۰E$

۸) $۱٫۲D+۰٫۵L+۰٫۵(L_r \text{ یا } S)+۱٫۲T$

۹) $۱٫۲D+۱٫۶L+۱٫۶(L_r \text{ یا } S)+۱٫۰T$

D : بار مرده

D_i : وزن یخ

L : بار زنده طبقات به جز بام

L_o : حداقل بار زنده گسترده یکنواخت

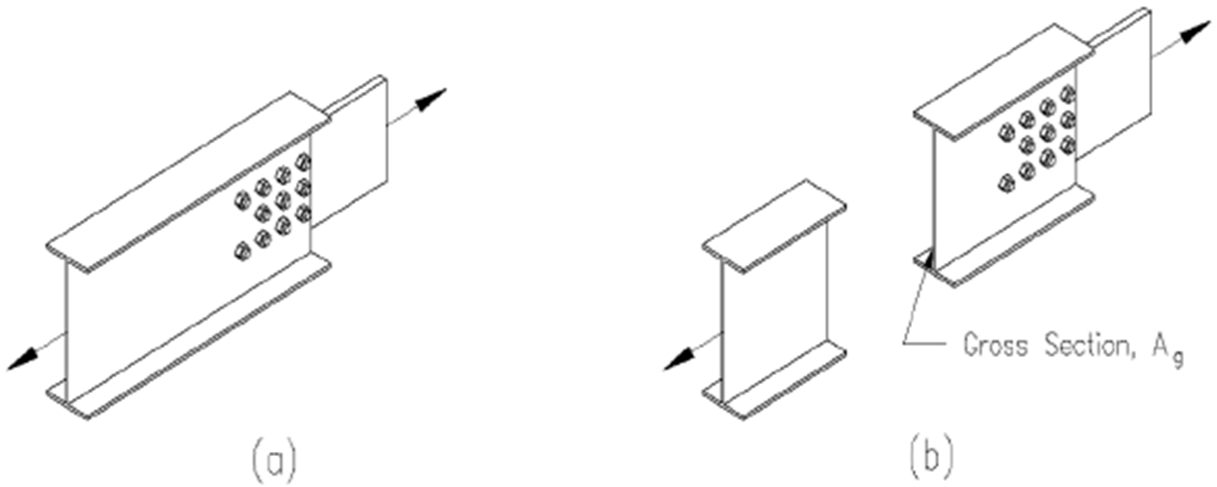
L_r : بار زنده بام

R : بار باران E : بار زلزله طرح

S : بار برف W : بار باد

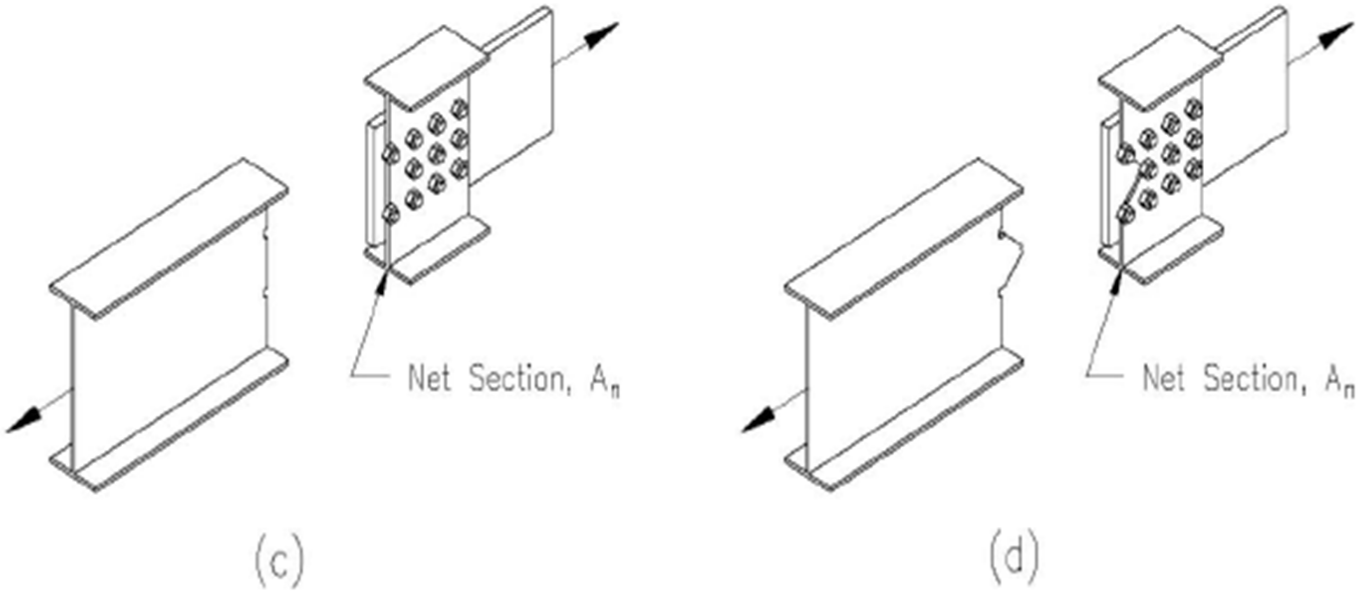
کششی - عابدینی

حالات حدی مقاومت کششی



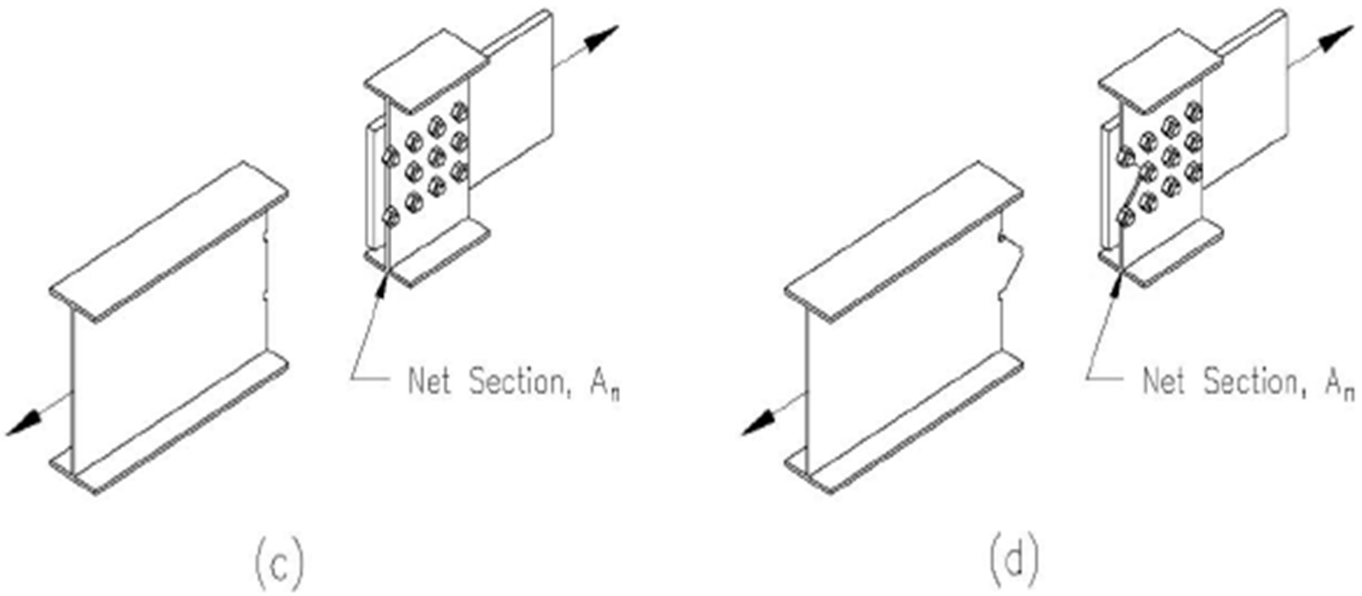
۱ – تسلیم (جاری شدن) در مقاطعی که به اندازه کافی از محل اعمال بار یا محل تمرکز تنش (اتصالات و تغییر سطح مقطع) فاصله دارند تا توزیع تنش کششی در آن، یکنواخت باشد

حالات حدی مقاومت کششی



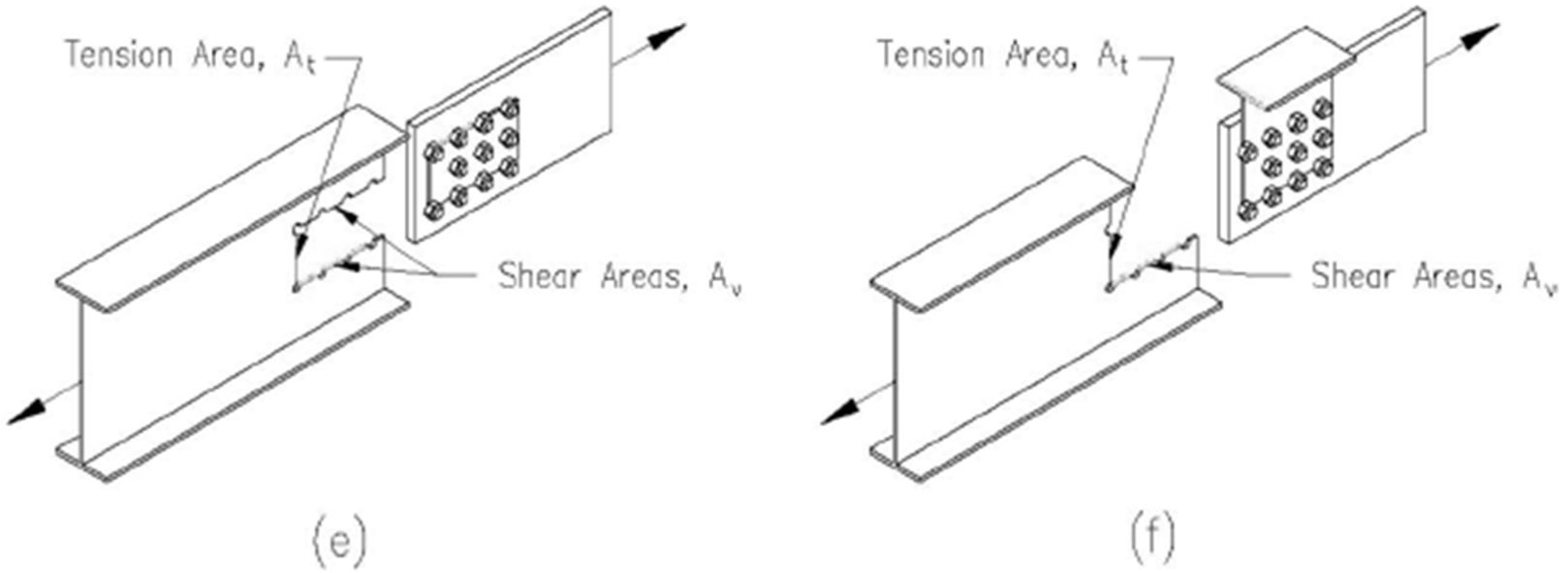
۲– گسیختگی در مقاطعی که بیشترین تنش در آنها بجود می آیند، از جمله محلهای تمرکز تنش (اتصالات و تغییر سطح مقطع)

حالات حدی مقاومت کششی



۲– گسیختگی در مقاطعی که بیشترین تنش در آنها بجود می آیند، از جمله محلهای تمرکز تنش (اتصالات و تغییر سطح مقطع)

حالات حدی مقاومت کششی



۳- گسیختگی قالبی (گسیختگی محیط اتصال عضو کششی) یا برش قالبی یا بلوک برشی

ضوابط طراحی اعضای کششی

ب) معیارلاغری،

نسبت طول آزاد به شعاع ژیراسیون حداقل مقطع از ۳۰۰ بیشتر نگردد.

$$(L/r)_{max} \leq 300$$

پارامترهای استفاده شده در رابطه فوق به شرح ذیل است:

L: طول عضو کششی

r: شعاع ژیراسون حداقل مقطع عضو کششی

۱۰-۲-۳-۲ محدودیت لاغری در اعضای کششی

ضریب لاغری حداکثر اعضای کششی، $(L/r)_{max}$، نباید از ۳۰۰ تجاوز نماید. برای قلاب‌ها و میله مهارهای کششی که دارای پیش‌تنیدگی اولیه به مقدار کافی باشند، به طوری که پس از ایجاد کشش اولیه عضو به حالت مستقیم درآید، رعایت محدودیت لاغری ضروری نیست.

انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

۱۰-۲-۲-۵ تعیین سطح مقطع کل و سطح مقطع خالص در اعضای سازه

A_g= سطح مقطع کلی عضو

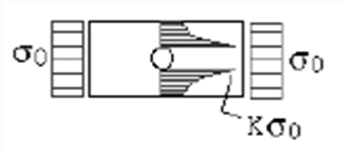
A_n= سطح مقطع خالص عضو

۱۰-۲-۳-۳ تعیین سطح مقطع خالص موثر اعضای کششی

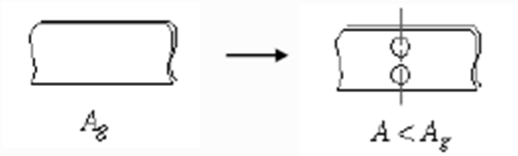
A_e= سطح مقطع خالص موثر عضو

سوراخها در اعضای کششی دو اثر مهم دارند :

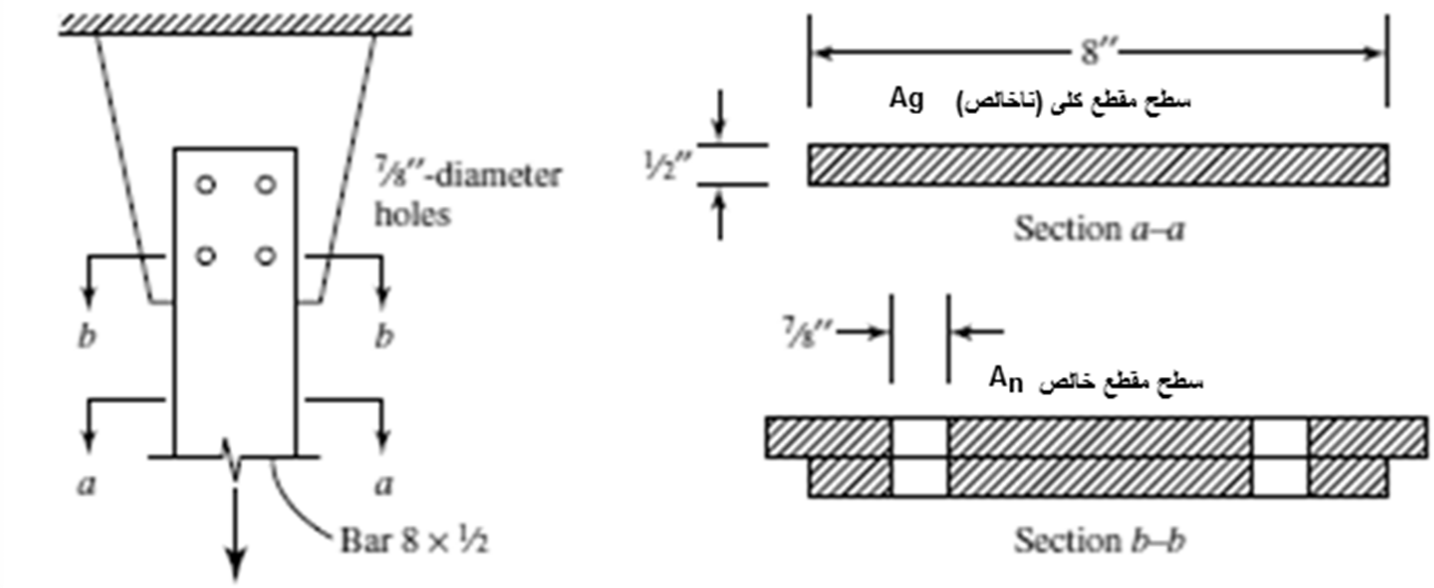
۱) تمرکز تنش (Stress Concentration)



۲) کاهش مقطع عرضی (area reduction)



انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

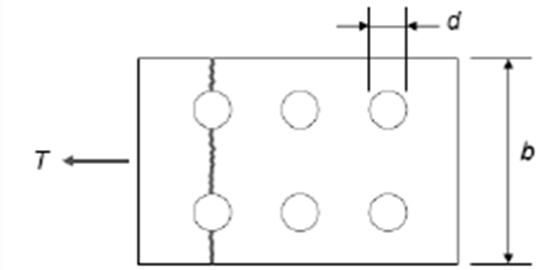


انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

الف) سطح مقطع کلی عضو (A_g) برابر با مجموع سطح مقطع اجزای تشکیل‌دهندهٔ آن و سطح مقطع هر جزء برابر با حاصل‌ضرب پهنای کلی در ضخامت آن می‌باشد. برای نیمرخ نبشی پهنای کلی عبارت است از مجموع پهناهای دو بال منهای ضخامت بال.

- سطح مقطع کل (A_g) یک عضو برابر است با کل مساحت مقطع عرضی آن.

A_g = Gross Area = سطح مقطع کل

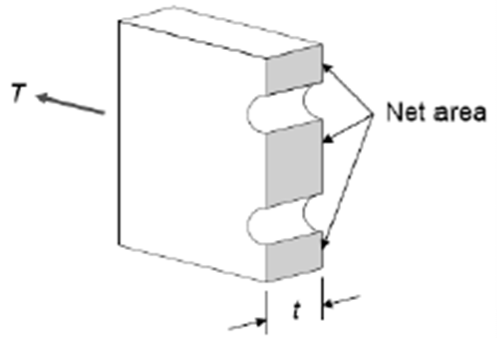


انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

ب) سطح خالص عضو (A_n) برابر با مجموع حاصل‌ضرب‌های پهنای خالص اعضاء در ضخامت مربوطه می‌باشد. پهنای خالص عبارت است از پهنای کلی منهای قطر سوراخ‌های عضو که به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود.

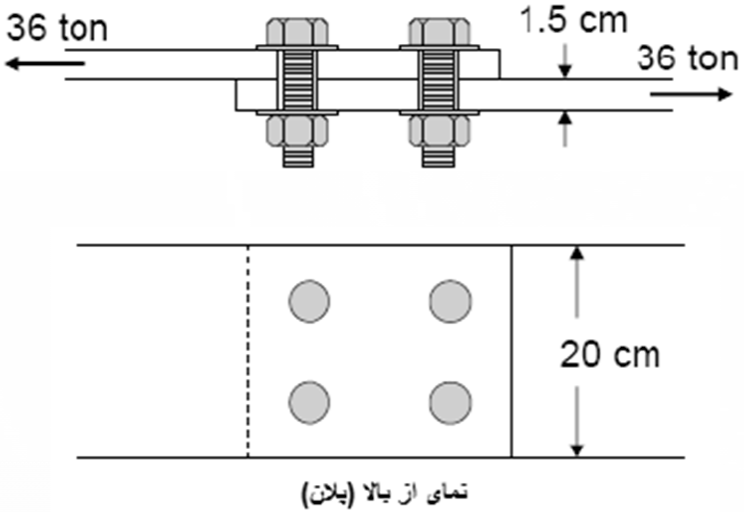
$\mathbf{A_n}$ = Net Area = سطح مقطع خالص

$$\mathbf{A_n} = A_g - A_{holes}$$



انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

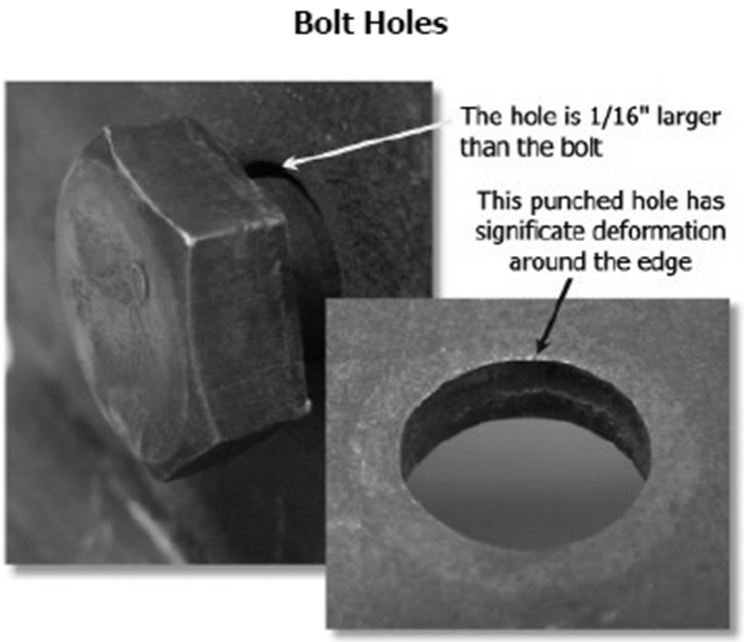
مثال : سطح مقطع کل و خالص ورق 1.5×20 cm نشان داده شده را تعیین کنید.
اتصال ورق در انتها با دو ردیف پیچ 1.9 سانتیمتری انجام شده است.



- $A_g = 20 \times 1.5 = 30\ mm^2$
- $A_n = 30 - 2(1.9 + 0.3)(1.5) = 23.4\ mm^2$

قطر سوراخ

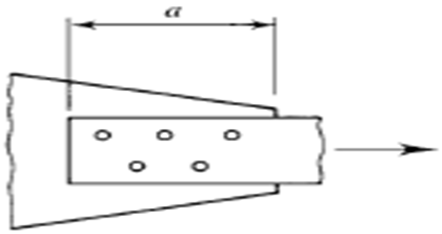
انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای



عرض سوراخ پیچ باید به مقدار دو میلی‌متر بزرگتر از ابعاد اسمی سوراخ منظور شود. ابعاد اسمی سوراخ در بخش ۱۰-۲-۱۰ تعریف شده است.

انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

قاعده کچران (Cochrane,1922):



اگر سوراخ‌های متعدد به شکل زنجیره (بصورت قطری یا زیگزاگ) در مسیر مقطع بحرانی احتمالی قرار داشته باشند، برای محاسبهٔ پهنای خالص باید از پهنای کلی مورد بررسی، مجموع قطر سوراخ‌های مسیر زنجیره را کم و به آن برای هر ردیف گام مورب در زنجیره، یک مرتبه جملهٔ $s^2/4g$ را اضافه کرد که در آن:

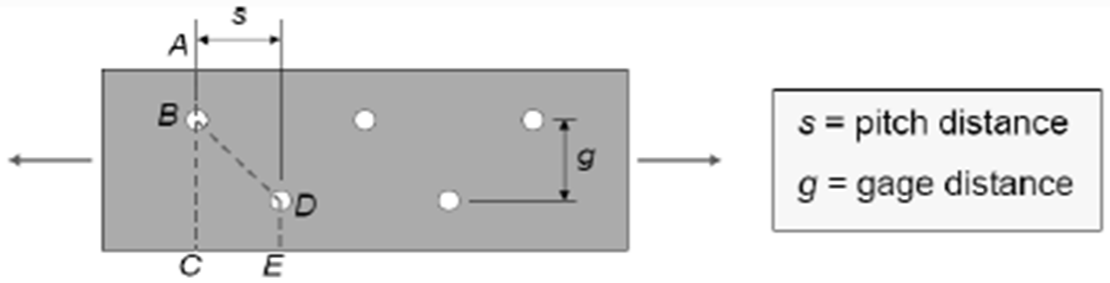
s = فاصلهٔ مرکز تا مرکز هر دو سوراخ متوالی در امتداد طولی (راستای نیرو) زنجیره مورد نظر

g = فاصلهٔ مرکز تا مرکز هر دو سوراخ متوالی در امتداد عرضی (راستای عمود بر امتداد نیرو) در زنجیره مورد نظر

انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

- مقطع خالص بیشترین مقدار را خواهد داشت اگر پیچها در یک خط باشند.

- اگر بیش از یک خط پیچ ضرورت داشته باشد (طول اتصال محدود) ، ایجاد سوراخ های نامنظم (قطری یا زیگزاگ) باعث به حداقل رسیدن کاهش در سطح مقطع می شود.



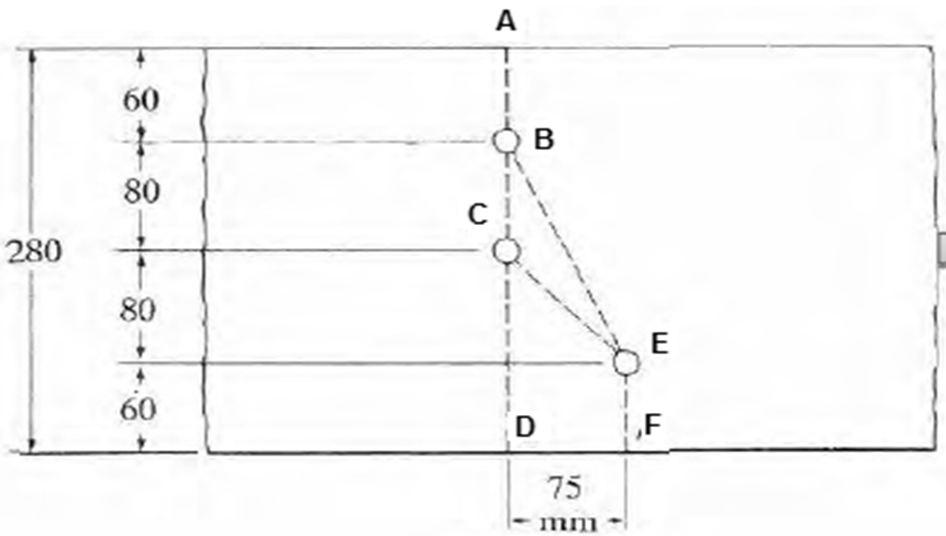
- مسیرهای خرابی ممکن : ABC or ABDE
- مقطع خالص حداقل انتخاب شود.

انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

عضو کششی زیر ورقی به عرض ورق ۲۸ سانتی متر و ضخامت ورق ۱۲ میلی متر است. با فرض اینکه تنش تسلیم ونهایی فولاد به ترتیب $F_y=2400\ kg/cm^2$ و $F_u=3700\ kg/cm^2$باشد و پیچ‌ها دارای قطر ۲۰ میلی متر باشند. مطلوب است محاسبه،

الف، A_g

ب: A_n



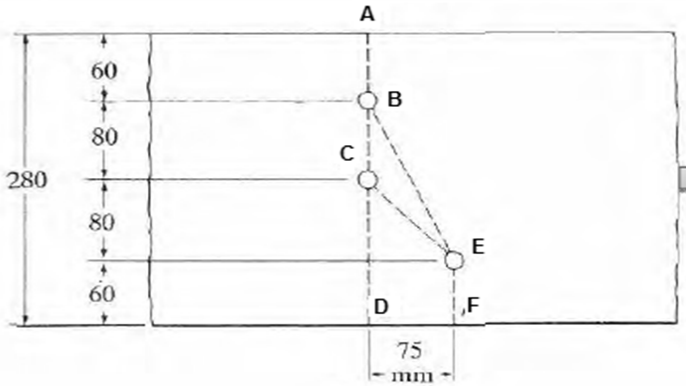
ورق در کشش

حل:

گام اول: محاسبه سطح مقطع کل(ناخالص)

$$Ag=b\times t=28\ cm\times 1.2\ cm=33.6\ cm^2$$

انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای



ورق در کشش

گام دوم: محاسبه سطح مقطع خالص در مسیرهای مختلف احتمالی شکست

مسیر شکست ۱:

(ABD)

قطر سوراخ $d_h = 20+2 = 22$ mm

$$A_{n1} = Ag - 2 \times d_h \times t = 33.6 - 2 \times 2.2 \times 1.2 = 28.32 \text{ cm}^2$$

مسیر شکست ۲:

(ABCEF)

$$A_{n2} = Ag - 3 \times d_h \times t + (S^2/(4g)) \times t = 33.6 - 3 \times 2.2 \times 1.2 + (7.5^2/(4 \times 8)) \times 1.2 = 27.79 \text{ cm}^2$$

سوال : چرا مسیر شکست ABEF بررسی نشد؟

TIME
FOR A
BREAK

انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

۱۰-۲-۳-۳ تعیین سطح مقطع خالص موثر اعضای کششی

سطح مقطع خالص موثر برای اعضای کششی به شرح زیر تعریف می‌شود:

الف) برای اتصالات و وصله‌های از نوع پیچی $A_e = UA_n$

ب) برای اتصالات و وصله‌های از نوع جوشی $A_e = UA_g$

تبصره: در ورق‌های وصله‌های پیچی در اعضای کششی:

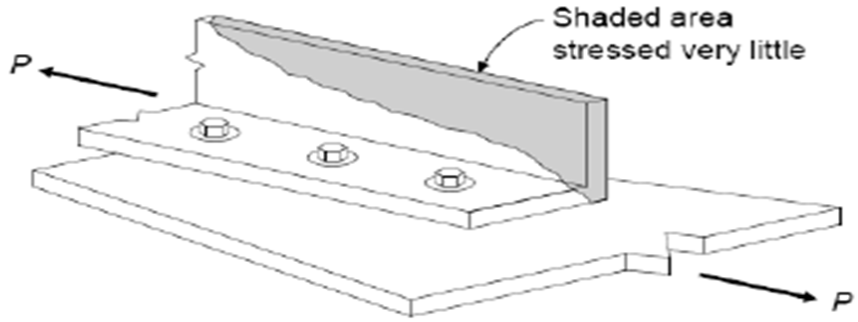
$$A_e = A_n \leq ۰/۸۵A_g \qquad (۱۰-۲-۳-۳)$$

انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

سطح مقطع موثر خالص (A_e)

Effective Net Area

- هنگامی که همه اجزای مقطع عرضی اتصال نیافته باشند (مثلا : فقط یک پای نبشی به ورق لچکی پیچکاری شود) ، پدیده تاخیر برشی(shear lag) پیش می‌آید.
- اجزای اتصال یافته تحت بار بیشتری قرار می‌گیرند و قسمت های اتصال نیافته تحت تنش کامل قرار نمی‌گیرند(not fully stressed).
- برای به حساب آوردن این پدیده می‌توان از یک مقطع خالص کاهش‌یافته ، یا موثر استفاده کرد.



انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

$$A_e = U\,A_n$$

A_e = effective net area سطح مقطع موثر خالص

A_n = net area (see AISC p. 16.1-14) سطح مقطع خالص

U = reduction factor considering "shear lag" ضریب تاخیر برش

= See AISC Table D3.1 p. 16.1-29 یا (یا جدول ۱۰-۲-۳-۱ ص ۱۶۳ مبحث دهم)

= 1.0 اگر بار کششی مستقیما به هر جزء توسط پیچ ها یا جوش‌ها انتقال یابد

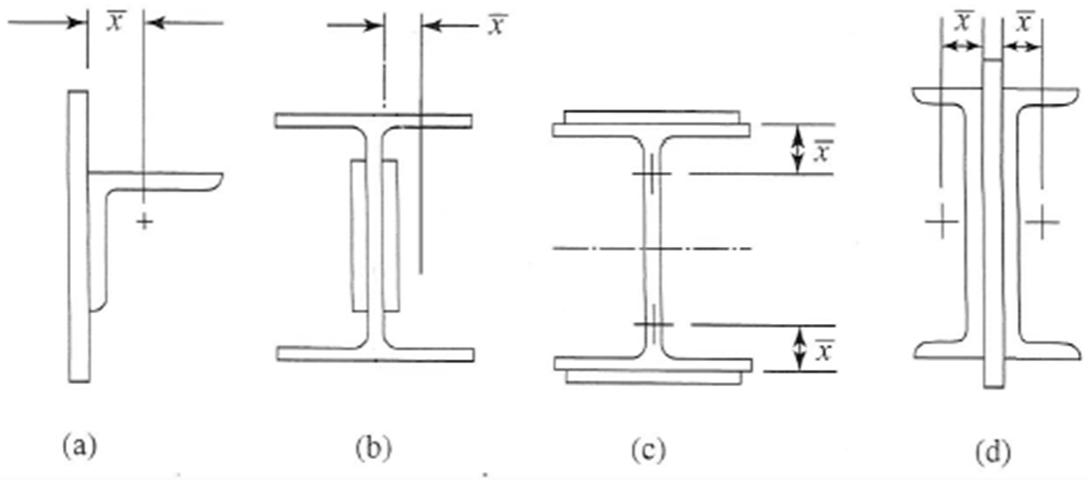
$= 1-\frac{\overline{x}}{\ell}$ اگر بار کششی به تعدادی از اجزا (و نه همه آنها) توسط پیچها یا جوش‌ها انتقال یابد

$\overline{x}$ = connection eccentricity برون محوری اتصال

ℓ = طول اتصال در راستای بارگذاری

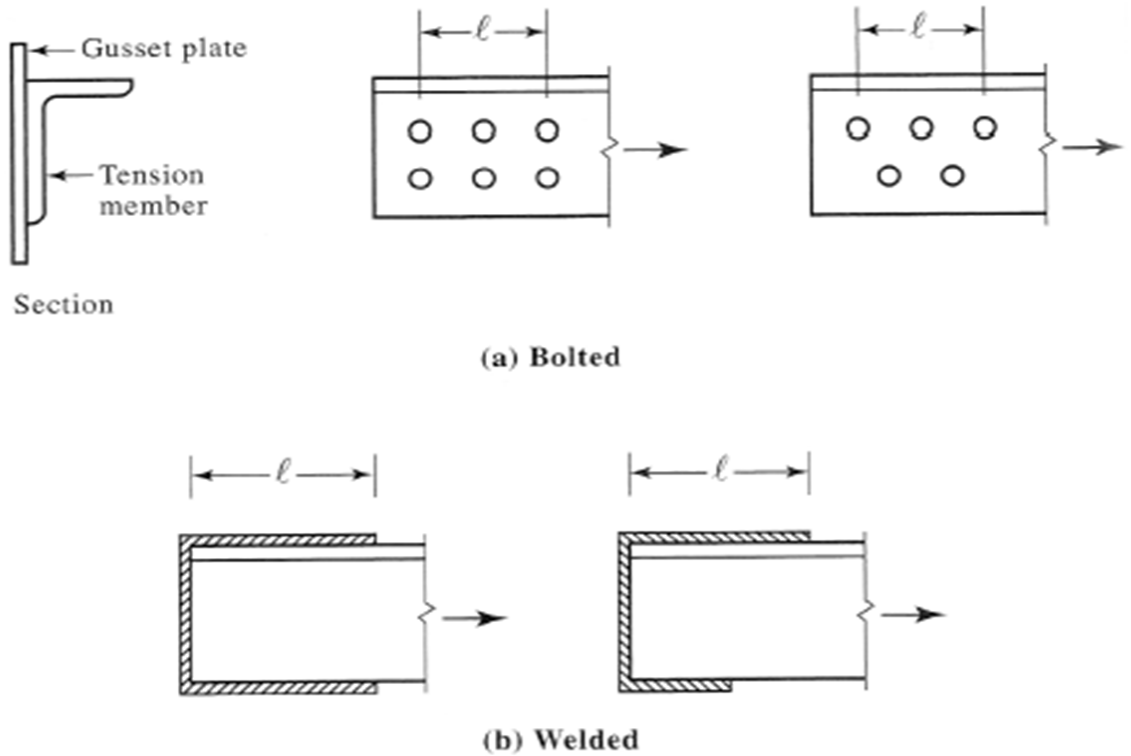
انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

- $\overline{X}$ برون محوری اتصال است (فاصله مرکز سطح قطعه اتصال یافته تا صفحه اتصال)
- اگر عضوی دارای دو صفحه اتصال، که بطور متقارن قرار گرفته‌اند، باشد $\overline{X}$ از مرکز نزدیکترین نیمه مقطع اندازه گیری می شود.



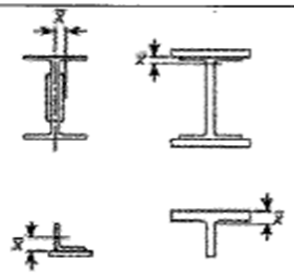
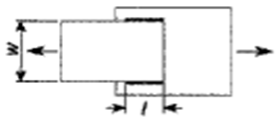
انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

ℓ = طول اتصال در راستای بارگذاری



انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

جدول۱۰-۲-۳-۱ ضریب تأخیر برش (U) برای اتصالات اعضای کششی

حالت	شرح	ضریب تأخیر برش، U	مثال
۱	کلیهٔ اعضای کششی که در آنها بار به وسیله پیچ، یا جوش مستقیماً به کلیه اجزای مقطع منتقل گردد (به غیر از حالت‌های ۳، ۴، ۵ و ۶)	$U = ۱$	
۲	کلیهٔ اعضای کششی (به غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آنها بار به وسیله پیچ یا جوش طولی و یا ترکیبی از جوش طولی و عرضی توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = ۱ - \frac{\bar{x}}{l}$	
۳	کلیه اعضای کششی که در آنها بار فقط به وسیله جوش عرضی و توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = ۱$ A_n= سطح مقطع قسمت (یا قسمتهای) اتصال یافته	
۴	تسمه‌های کششی که با جوش‌های طولی در دو لبهٔ موازی (در انتهای قطعه) متصل‌اند. در این حالت طول جوش‌ها نباید از فاصلهٔ عمودی بین آن‌ها (پهنای تسمه) کمتر باشد.	$w \le l < ۱/۵w \ldots U = ۰/۷۵$ $۱/۵w \le l < ۲w \ldots U = ۰/۸۷$ $l \ge ۲w \ldots U = ۱/۰$	

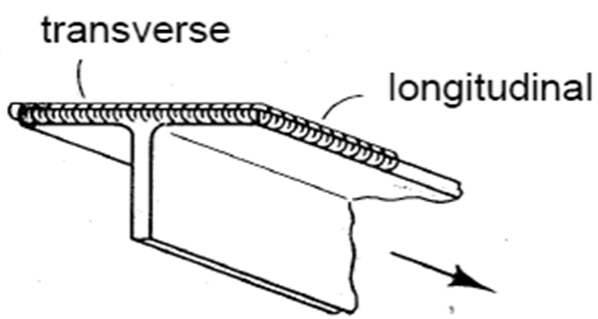
فضای کششی - عابدینی

انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

A_e برای اتصالات جوشی

A_e for welded connections

- $A_e = U A_g$



۱) برای هر نیمرخ I یا T شکل که فقط با جوش جانبی اتصال یافته باشد :

$U = 1$

$A_e =$ مساحت مقطع اجزایی که مستقیما اتصال یافته اند

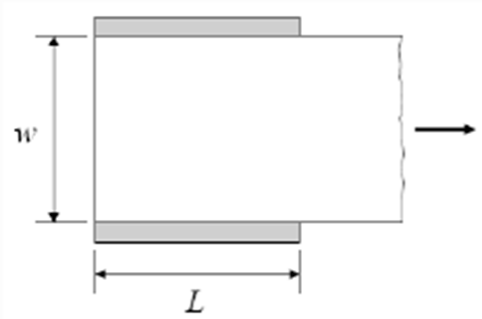
انواع سطح مقطع کششی در روابط آیین نامه ای

A_e برای اتصالات جوشی

A_e for welded connections

۲) برای ورقها یا میله هایی که در انتهایشان با جوشهای طولی اتصال یافته اند :

- U=1 $L \geq 2w$
- U=0.87 $2w > L \geq 1.5w$
- U=0.75 $1.5w > L \geq w$



L = طول زوج جوشها $\geq$ w

w = فاصله بین جوشها

حل یک مثال:

بر اساس نتایج تحلیل خرپای نشان داده در شکل زیر، نیروی کششی به وجود آمده در عضو AB تحت بارهای مرده، زنده و زلزله به شرح ذیل می‌باشد.

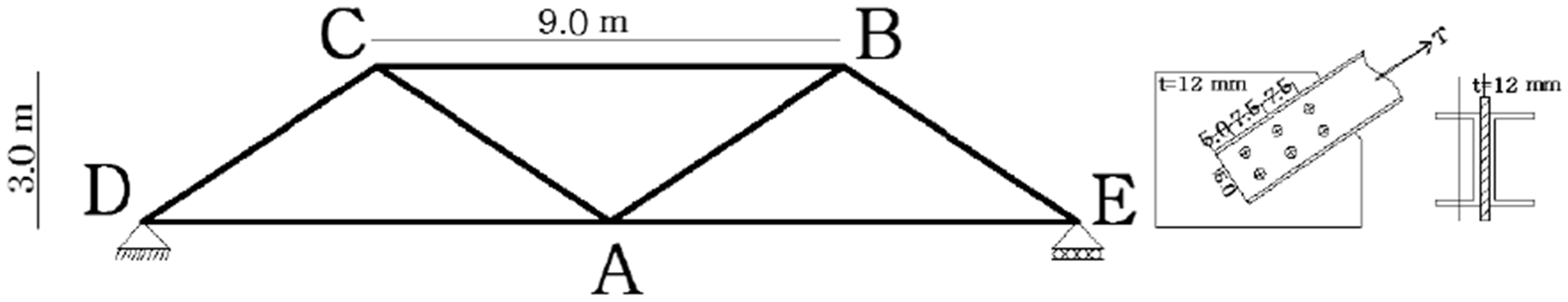
T_D=20 ton , T_L=25 ton , T_E=20 ton

مطلوب است طراحی عضو AB از مقطع دوبل ناودانی،

فرضیات، ۱) دوبل ناودانی از طریق جان و توسط دو ردیف پیچ به ورق اتصال متصل شده است.

۲) در هر ردیف اتصال ۳ پیچ **M18** وجود دارد.

۳) فولاد مصرفی از نوع ST37 با F_Y=2400 kg/cm^2 و F_U=3700 kg/cm^2 است.



خرپا و دتایل اتصال مثال

توجه مهم: مثالهای حل شده کتاب دکتر میرقادری(فصل دوم) بسیار مهم هستند.

تمرین: از تمرینهای انتهای فصل طراحی اعضای کششی کتاب مهندس طاحونی ۳ مسئله به دلخواه انتخاب و حل شوند.