Subject :
Year . Month . Date .

بسم الله الرحمن الرحیم

طراحی سازه‌های فولادی (یک)

فولاد : (steel)

فولاد از مهمترین مصالح ساختمانی می باشد. مشخصات مهم فولاد که آن را نسبت به سایر مصالح ساختمانی ممتاز ساخته است، مقاومت بالا، شکل پذیری و یکسان بودن مقاومت آن در فشار و کشش می باشد. در کنار مزایای فوق، فراوانی معادن سنگ آهن نیز از عوامل موثر در مهمیت یافتن مصرف فولادی باشد. فولاد به صورت سنگ آهن (هماتیت، مگنتیت، لیمونیت، پیریت و غیره) در طبیعت یافت می شود.

فولاد کربن دار:

فولاد کربن دار به فولادی اطلاق می شود که علاوه بر آهن، حداکثر درصد کربن و آلیاژهای مختلف آن به قرار زیر باشد:

الف- کربن 1.7 درصد ب- منگنز 1.65 درصد پ- سیلیس 0.6 درصد

ت- مس 0.6 درصد. کربن و منگنز عناصر اصلی افزایش مقاومت نسبت به آهن خالص می باشند. انواع مختلف فولاد در حد فاصل آهن خالص با صفر درصد کربن و چدن با 1.7 درصد کربن قرار دارند. این فولادها به چهار ردهٔ کم کربن (مقدار کربن کمتر از 0.15 درصد)، کربن ملایم (0.15 الی 0.29 درصد)، کربن متوسط (0.3 تا 0.59 درصد) و پر کربن (0.6 تا 1.7 درصد) تقسیم می شوند.

فولادهای کربن دار ساختمانی در ردهٔ کربن ملایم قرار دارند و به آن فولاد نرم هم گویند. مثلاً حداکثر کربن فولاد A36 بسته به ضخامت، بین 0.25 الی 0.29 درصد قرار دارد. افزایش درصد کربن باعث افزایش تنش جاری شدن، لیکن باعث کم شدن شکل پذیری و مشکل شدن جوشکاری می شود. در صورتی که درصد کربن از 0.3 تجاوز نماید عمل جوشکاری بر خرج شده و احتیاج به پیش گرمایش، پس گرمایش و الکترودهای مخصوص خواهد بود.

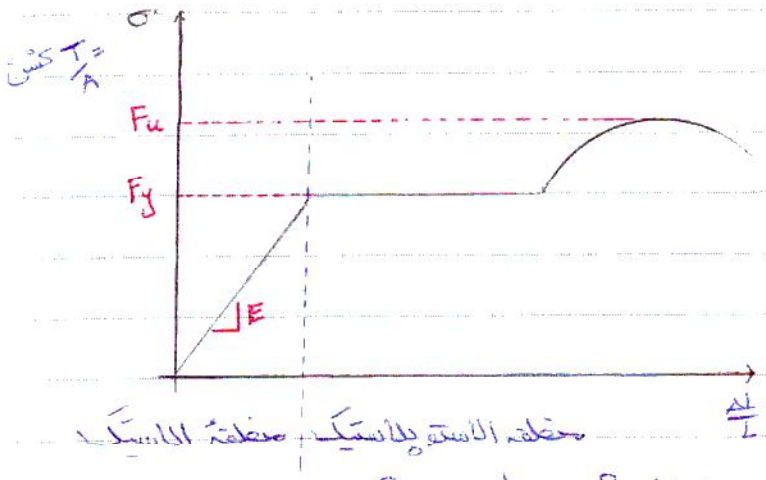
St 37

steel_stahl → F_u = 37 kg/mm²

بیشتر به فولاد مصرفی در صنعت ساختمان سازی در دههٔ دنیا فولاد St 37 و پس St52 است. St33 برای ساخت لوله‌های تاسیسات بکار می رود.

Subject :
Year . Month . Date .

مشخصات مکانیکی و فیزیکی فولاد:



St 37
$F_y = 2400\ kg/cm^2$
$F_u = 3600\ kg/cm^2$

St 52
$F_y = 3600\ kg/cm^2$
$F_u = 5200\ kg/cm^2$

در رابطه با این نمودار بعضی از مشخصات مهندسی فولاد شرح داده می شود.

ناحیه خطی - ضریب الاستیسیته E:

ناحیه ابتدایی نمودار که در آن ارتباط تنش - کرنش به صورت خطی می باشد، ناحیه خطی نامیده شده و ارتباط تنش - کرنش با رابطه $\sigma = E\varepsilon$ بیان می شود که به قانون هوک معروف است. ضریب تناسب E، ضریب الاستیسیته یا مدول یانگ نام دارد و مقدار آن برای فولاد در حدود 2×10^6 الی 2.1×10^6 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشد که برای طراحی عدد $2\times10^6\ kg/cm^2$ توصیه می شود.

ناحیه جاری شدن: (F_y یا σ_y)

تنش نظیر نقطه ای که در آن نمودار به حالت افقی در می آید، به تنش جاری شدن یا تنش تسلیم معروف است. برای فولادهای گرده دار و پرمقاومت کم آلیاژ، این نقطه به خوبی مشخص بوده و تقریباً منطبق بر حد خطی می باشد. برای فولادهای خشک، نقطه مشخصی برای جاری شدن وجود ندارد و تقریباً از کرنش 0.2 درصد، خطی موازی با شیب اولیه رسم می گردد. محل تقاطع این خط با نمودار، تنش جاری شدن نامیده می شود. این طریقه، روش امنت نامیده می شود.

ناحیه پلاستیک:

در نمودار بعد از تنش جاری شدن ناحیه ای تقریباً مسطح و افقی وجود دارد که طول آن در حدود 15 تا 20 برابر کرنش نظیر حد خطی می باشد. به این ناحیه، محدوده پلاستیک گفته شده و از خواص آن در طراحی پلاستیک استفاده می گردد. برای فولاد خشک چنین ناحیه ای وجود ندارد و به همین جهت تاکنون اجازه تحلیل پلاستیک برای این گونه فولادها داده نشده است.

سخت شدگی مجدد:

در نمودار پس از ناحیه پلاستیک، ناحیه ای وجود دارد که تنش مجدداً با افزایش کرنش، از دیاد پیدا می کند، لکن با شیب به مراتب کمتر از ناحیه الاستیک.

ضریب پواسون:

ضریب پواسون فولاد معمولی $\mu = 0.3$ در نظر گرفته می شود.

Subject :
Year . Month . Date .

ضریب انبساط حرارتی فولاد:

ضریب انبساط حرارتی فولاد معماری $\alpha = 11 \times 10^{-6}$ بر درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود. برای عضوی به طول L که دمای آن ΔT درجهٔ سانتیگراد تغییر کرده است، تغییر طول برابر است با: $\Delta L = \alpha (\Delta T) L$

اثر درجه حرارت بالا در مشخصات مکانیکی فولاد:

در طراحی ساختمانی که تحت درجه حرارت انتشار قرار دارد، مطالعه اثر درجه حرارت بالا در روی مشخصات مکانیکی فولاد ضروری می‌باشد. رفتار فولاد در درجه حرارت بالا، در هنگام مطالعهٔ روشهای جوشکاری و یا اثر آتش‌سوزی مورد توجه قرار می‌گیرد. وقتی دما از 93° تجاوز می‌کند، نمودار تنش - کرنش از حالت خطی خارج شده و به تدریج نقطهٔ جاری شدن از حالت مشخص خارج می‌شود. با افزایش درجه حرارت، ضریب الاستیسیته، تنش جاری شدن و مقاومت کششی کاهش می‌یابد. در محدوده بین 430 تا 540 درجه سانتیگراد، سرعت کاهش خواص مکانیکی است. برای رفع این نقیصه در عمل سعی می‌شود با پوشش بتنی روی اعضای فولادی، عایق مناسبی برای مقاومت در مقابل درجه حرارت ناشی از آتش‌سوزی ایجاد گردد. همچنین برای کم کردن وزن مردهٔ بتن پاشیده شده، در صورت امکان باید از ماسهٔ سبک استفاده شود.

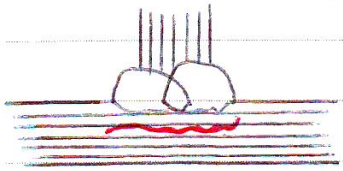
ترد شکنی:

ترد شکنی یک نوع خرابی ناجهٔ انگیز است که به سرعت و قبل از هرگونه تغییر شکل پلاستیک رخ می‌دهد. عوامل موثر در ترد شکنی عبارتند از: درجه حرارت، سرعت بارگذاری، تمرکز تنش وجود ترکهای موئی، ضخامت ورق یا مسافت از تغییر شکل، هندسهٔ اتصال و اجرا

پارگی لامللار:

یک قطعهٔ چوب را در نظر بگیرید. ساختار درونی چوب، مجموعه‌ای از الیاف به هم فشرده می‌باشد که به موازات یکدیگر قرار دارند. در نتیجه مقاومت کششی چوب در امتداد طولی (به موازات الیاف) به مراتب بزرگتر از امتداد عرضی (عمود بر الیاف) می‌باشد. عل خورد فولاد نیز در وانع چنین ساختمانی را در داخل فولاد (البته با شدت کمتری) به وجود می‌آورد. از طرف دیگر می‌دانیم در اتصال جوشی دو قطعه به یکدیگر، فلز جوش در هنگام سرد شدن، منقبض (جمع) می‌شود. حال اگر انقباض و جمع شدن جوش عمود بر امتداد الیاف (عرضی فولاد) باشد، گسیختگی های داخلی در امتداد سطح تماس الیاف ایجاد می‌شود که به آن پارگی لامللار گفته می‌شود. پارگی لامللار یک نوع ترد شکنی است.

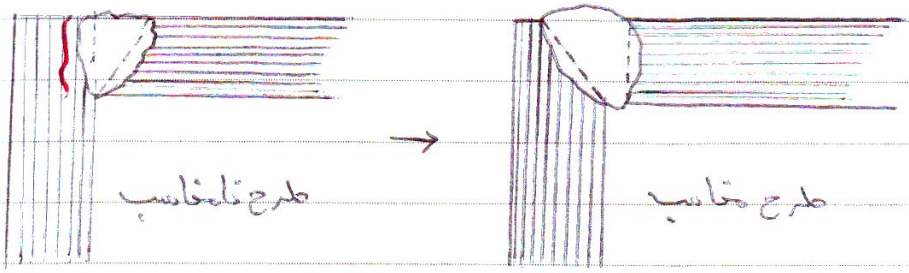
به طور کلی همواره باید سعی شود که جمع شدن جوش عمود بر امتداد الیاف نباشد.



پارگی لامللار به علت جمع شدگی جوش

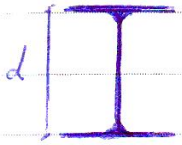
Subject :

Year . Month . Date .



نیم رخهای ساختمانی فولاد:

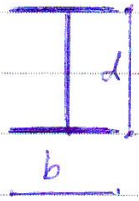
۱- پروفیل I شکل:



نرمال ← INP ← تولید از شماره (12 → 27)

نوع سبک ← IPE ← " " "

تفاوت INP و IPE در شیب داخلی بالهاست



جان (web) ، بال (flange)

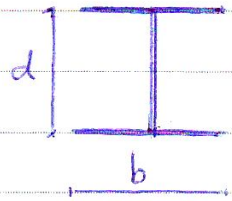
در پروفیل I شکل داریم: $b \approx 0.5\,d$

2- پروفیل های H شکل (بال پهن): IPB

بال پهن سبک ← IPB_1 ← تقریباً تولید نمی شود.

بال پهن معمولی ← IPB ← بیشترین مصرف به عنوان ستون ← در ایران تولید می شود.

بال پهن سنگین ← IPB_2 ← برای شمع کوبی و دیوار اسکلها ← در ایران اصطلاحاً شمع یا H گفته می شود.



تا شماره 30 و خود 30 ← IPB ← $b = d$

بالاتر از شماره 30 ← $b = 30$ و ارتفاع لازم = d

3- پروفیل ناودانی: UNP ← تولید از شماره: (UNP 80 — UNP 160)

4- نبشی ها:

نبشی با بال مساوی: ← بال یا ساق

(در ساختمان استفاده می شود)

نبشی با بال نامساوی: a ، b ، t

t همگی در تولید برابر ۱۰ بال می باشد.

از نبشی شماره 5 × 50 × 50 تا با لا استفاده می شود.

تولید تا شماره 15 × 150 × 150

نبشی های 7 - 9 ، 11 تولید نمی شوند.

Subject :
Year . Month . Date .

5- ورق ها و نیمرخ ها:

نیمرخ (bar) ← تولید با عرض 2cm تا 20cm

ورق (Plate) ← تولید با عرض 10 تا 300 cm

- صنعت ساختمان
- آجدار
- صنعتی
- لوبیایی

- از ضخامت 5mm به بالا در ساختمان سازی استفاده می شود.
- در ورق لوبیایی آب می تواند به راحتی از بین زائده ها حرکت کند.

6- میلگردها:

- صنعت ساختمان: AI ← ST 37
- آجدار: AII ← Fy = 3000, Fu = 4000
- خشک: AIII ← Fy = 4000, Fu = 5000

7- پیچ ها:

- پیچ معمولی ← ST 37
- پیچ پرمقاومت ← HV 5.6 ، HV 8.8 پرمصرف ، HV = 10.9 پرمصرف

جدول: $F_u 10 \times 10 = 100\ kg/mm^2$

جدول دوم: $F_u 0.9 \Rightarrow 100 \times 0.9 = 90\ kg/mm^2$

HV 8.8 (پرمصرف ترین)

$F_y = 6400\ kg/mm^2$

$F_u = 8000\ kg/mm^2$

8- پروفیل های Z شکل (پرلین یا لاپه)

Subject :
Year . Month . Date .

روش های طراحی :

فلسفه هر طراحی، تولید سازهٔ ایمن و اقتصادی می باشد. اگر مقاومت سازه را با S و بارهای وارد بر آن را با L نمایش دهیم، شرط سازهٔ ایمن این می باشد که:

$$S \geq L$$

مقاومت کل و بارهای واردهٔ L، طبیعت آماری داشته و به یقین نمی توان گفت که مقاومت مصالحی که از کارخانه بیرون می آید چه مقداری است و یا بار وارد بر یک ساختمان دقیقاً چقدر است. از طرف دیگر، در روشهایی که برای تحلیل سازه به کار می رود، فرضیاتی وجود دارد که این فرضیات، در عمل و اجرا دقیقاً قابل تامین نمی باشند. لذا لازم است ضرایب اطمینانی بر دو طرف معادله فوق اعمال نمود تا اطمینان از ایمنی سازه به دست آورد. البته ضریب اطمینان اعمال شده نباید طوری باشد که اقتصاد طرح را برهم زند.

ضریبی که بر S وارد می شود همواره باید کوچکتر از ۱ و ضریبی که بر L اعمال می شود باید بزرگتر از ۱ باشد. در نتیجه رابطهٔ فوق به صورت زیر نوشته می شود.

$$\phi S \geq \gamma L$$

در رابطهٔ فوق:

ϕ = ضریب کاهش ظرفیت که همواره کوچکتر از یک می باشد.

γ = ضریب تشدید بار (یا ضریب بار) که همواره بزرگتر از ۱ می باشد.

برحسب چگونگی اعمال ضرایب ϕ و γ در حال حاضر سه روش طراحی توسط AISC به رسمیت شناخته می شود:

الف - روش تنش های مجاز: (ASD)

در روش تنش های مجاز، هر دو ضریب اطمینان به سمت چپ معادله آورده می شوند. در نتیجه رابطهٔ فوق به صورت زیر در می آید:

$$\frac{\phi}{\gamma} S \geq L$$

به این معنی که مقاومت سازه که در ضریب کوچکتر از ۱ ضرب شده است، باید بزرگتر از بارهای وارده بدون اعمال هیچ گونه ضریبی باشند. در عمل در طراحی به روش تنشهای مجاز، تنشهای نهایی یا اجرائی در ضرایب کوچکتر از واحدی ضرب می شوند، تا تنشهای مجاز به دست آیند. سپس با استفاده از این تنشهای مجاز، ظرفیت محوری، برشی و یا خمشی عضو با توجه به روابط مقاومت مصالح و مشخصات هندسی مقطع محاسبه می شود. ظرفیت مجاز محوری، برشی و یا خمشی عضو که به این روش به دست می آید باید بزرگتر از نیروهای داخلی سازه باشد که از تحلیل الاستیک سازه در مقابل بارهای وارده مرده و زنده، بدون هیچگونه ضریبی بدست می آیند.

ب - روش طرح پلاستیک:

در روش طرح پلاستیک، هر دو ضریب اطمینان به سمت راست معادله برده شده و در نتیجه شرط ایمنی سازه به صورت زیر در می آید.

$$S > \frac{\gamma}{\phi} L$$

Subject :
Year . Month . Date .

$\frac{\gamma}{\phi}$ ضریبی بزرگتر از واحد می باشد که با اعمال بر بار، خدمت L، آن را تبدیل به بار نهایی می نماید، علاوه بر اختلافات ظاهری فوق، در اختلاف عمده دیگر بین روش طرح پلاستیک و روش تنشهای مجاز وجود دارد. اختلاف اول در تعیین مقاومت کراست. در روش طرح پلاستیک با توجه به خصوصیات شکل پذیری فولاد، به جای استفاده از مقاومت مجاز در محدودهٔ الاستیک، از مقاومت نهایی در حالت پلاستیک استفاده می گردد. اختلاف دوم این است که در روش تحلیل پلاستیک برای تحلیل سازه به جای تحلیل الاستیک، از تحلیل حدی یا تحلیل پلاستیک که در آن مکانیزمهای محتمل خرابی تعیین می گردند، استفاده می شود.

ب - روش ضریب بار و مقاومت. (LRFD)

Load and Resistance Factor Design

عیب عمده روش پلاستیک در این است که طراح می باید برای تحلیل سازه از تحلیل حدی (تحلیل پلاستیک) استفاده نماید.

فلسفهٔ کلی روش LRFD مشابه تحلیل پلاستیکی باشد، با این فرق که تحلیل الاستیک را نیز در کنار تحلیل حدی مجاز می داند. در مورد ضرایب ایمنی ϕ و γ، روش LRFD فلسفه ای مبتنی بر اصول آمار و احتمالات در پیش می گیرد. بدین معنی که در معادلهٔ شرط ایمنی سازه، ضریب کاهش ظرفیت را در سمت چپ و ضریب بار را در سمت راست معادله منظور کند. برای بارهای مختلف (مرده، زنده، برف و ...) با توجه به حدود تغییرات آماری، ضرایب بار گوناگونی معرفی می کند. در نتیجه رابطه شرط ایمنی سازه بصورت زیر در می آید:

$$\phi S > \sum \gamma_i L_i$$

که در رابطهٔ فوق، L_i نوع بار و γ_i ضریب بار مربوطه و ϕ ضریب کاهش مقاومت و S مقاومت نهایی عضو برحسب توزیع تنش در حالت نهایی (پلاستیک) می باشد.

ضرایب اطمینان:

اعضای یک سازه باید دارای مقاومت ذخیره ای ما زاد بر مقاومت لازم تحت بارهای بهره برداری باشد.

فرض نمایید که بارهای واقعی وارد بر سازه به اندازهٔ ΔL از مقدار بار طراحی L تجاوز نموده و مقاومت آن به اندازهٔ ΔS کوچکتر از مقاومت اسمی S باشد. در این صورت سازه وقتی دقیقاً کافی است که:

$$S - \Delta S = L + \Delta L \rightarrow S(1 - \Delta S/S) = L(1 + \frac{\Delta L}{L})$$

ضریب اطمینان، مساوی نسبت مقاومت اسمی که به بار طراحی L می باشد:

$$FS = \frac{S}{L} = \frac{1 + \Delta L/L}{1 - \Delta S/S}$$

رابطهٔ فوق با اینکه اثر افزایش بار و کاهش مقاومت را نشان می دهد، لیکن درصد مشارکت هرکدام از آنها را معین نمی کند. مثلاً، اگر فرض نماییم که میزان افزایش $\Delta L/L$ مساوی 40 درصد و میزان کاهش مقاومت $\Delta S/S$ مساوی 15 درصد باشد،

Subject :
Year Month . Date .

ضریب اطمینان FS برابر خواهد شد با:

$$FS = \frac{1+0.4}{1-0.15} = \frac{1.4}{0.85} = 1.65$$

هرچند که ضریب اطمینان 1.65 بیان کنندهٔ احتمال افزایش بار یا کاهش مقاومت می باشد، لیکن هیچ اطلاعاتی در مورد احتمال بزرگتر شدن تغییرات از مقادیر مفروض نمی دهد.

آئین نامهٔ AISC-78 از ضریب اطمینان $FS=1.67$ به عنوان ضریب اطمینان پایه در طراحی به روش الاستیک و ضریب اطمینان $FS=1.7$ در طراحی به روش پلاستیک استفاده می نماید. در طراحی به روش تنش مجاز، مکرس 1.67 به صورت ضریب 0.6 در تنش جاری شدن اعمال می گردد تا تنش مجاز بدست آید و در روش طرح پلاستیک ضریب اطمینان 1.7 به صورت ضریب بار در بار خدمت اعمال می گردد تا بار نهایی بدست آید.

ضرایب اطمینان مورد استفاده در روش LRFD انطباق بیشتری با نظریهٔ آمار و احتمالات دارند. در این روش ضرایب بار نیز نسبت به نوع بار و میزان تغییرات آماری آن و همچنین ترکیبات مختلف بارگذاری متفاوت است.

مشخصات هندسی مقطع:

روابط محاسباتی که در طراحی اعضای ساختمانی به کار می روند شامل ضرایبی هستند که هم خواص مصالح را در بر می گیرند و هم شامل ضرایبی هستند که مشخصات هندسی مقطع را در بر می گیرد. مشخصات هندسی مقطع، نشان دهندهٔ موثر بودن مصالح می باشند.

مشخصات هندسی که معمولاً در مسائل سازه با آن برخورد می کنیم به ترتیب اهمیت عبارتند از:

1- سطح مقطع (A)
2- ممان اینرسی (I)
3- اساس مقطع (S)
4- شعاع ژیراسیون (r)
5- ثابت پیچش (J)

سطح مقطع (A):

سطح مقطع (A)، که دارای بعد $(\text{طول})^2$ می باشد و معمولاً در مسائل ساختمان فلزی بر حسب cm^2 بدست می آید، در مسائل مربوط به فشار، کشش و برش مورد استفاده قرار می گیرد.

ممان اینرسی (I):

هرگاه بر یک عضو سازه ای لنگر خمش وارد گردد، این لنگر تمایل به انحنا دادن عضو خواهد داشت. سختی عضو در مقابل عمل بالا را به وسیله ممان اینرسی مقطع نشان می دهند. بنابراین در مسائلی که عامل خمش وجود دارد، محاسبه ممان اینرسی مقطع مهم خواهد بود. ممان اینرسی یک مقطع در به دست آوردن اساس مقطع به کار گرفته می شود. ممان اینرسی دارای بعد $(\text{طول})^4$ می باشد.

Subject :
Year . Month . Date .

- الف - تعیین محل تار خنثی :

تار خنثی یک مقطع مکانیک هندسی تعادلی از مقطع است که دارای تغییر طول نسبی صفر در حین خمش باشند. چون تغییر طول نسبی در تار خنثی صفر است، تنش نیز در تار خنثی صفر خواهد بود. جهت تنش‌ها در دو طرف تار خنثی مخالف یکدیگر است. یعنی اگر در بالای تار خنثی تنش کشش داشته باشیم، در پایین تار خنثی تنش کشش خواهیم داشت.

برای بدست آوردن محل تار خنثی به ترتیب زیر عمل می‌کنیم:

- فاصله تار خنثی را از محل محور مبنا برابر با n فرض می‌کنیم (محور مبنا را معمولاً تار پایین در نظر می‌گیرند)
- سپس مقطع را به عناصر مستطیلی تقسیم می‌کنیم.
- لنگر استاتیک هر جزء مستطیل را نسبت به محور مبنا به دست می‌آوریم. این لنگر استاتیک را به صورت M نمایش می‌دهیم.

فاصله مرکز ثقل جزء مستطیل تا محور مبنا ضربدر مساحت هر جزء مستطیل = M

- این عمل را برای تمام جزء مستطیل‌ها انجام می‌دهیم.
- سطح کل مقطع را بدست می‌آوریم. (A)
- در آخر مقدار n را از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

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

- ب - تعیین ممان اینرسی :

- روش اول :

ممان اینرسی برای مقاطع ساده :

در این روش برای تعیین ممان اینرسی از روابط خصوصی که برای اشکال مختلف وجود دارد استفاده می‌کنیم. دقت شود که مقدار ممان اینرسی بستگی به محوری که نسبت به آن ممان اینرسی را بدست می‌آوریم دارد. در مسائل مربوط به خمش ممان اینرسی را باید نسبت به تار خنثی بدست آورد.

به عنوان مثال ممان اینرسی یک مقطع مربع مستطیل نسبت به محور مار بر مرکز هندسی (یا تار خنثی) از رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$I_n = \frac{bd^3}{12}$$

ولی ممان اینرسی نسبت به محوری که منطبق بر تار پایین می‌باشد از رابطهٔ زیر بدست می‌آید

$$I_b = \frac{bd^3}{3}$$

b = پهنای مستطیل ، d = ارتفاع مستطیل

- روش دوم : (تعیین ممان اینرسی مقطع با تقسیم آن به اجزای کوچکتر)

در روش دوم مقطع مورد نظر به اجزای مستطیلی کوچکتر تقسیم می‌گردد. قبل از این کار

Subject :
Year . Month . Date .

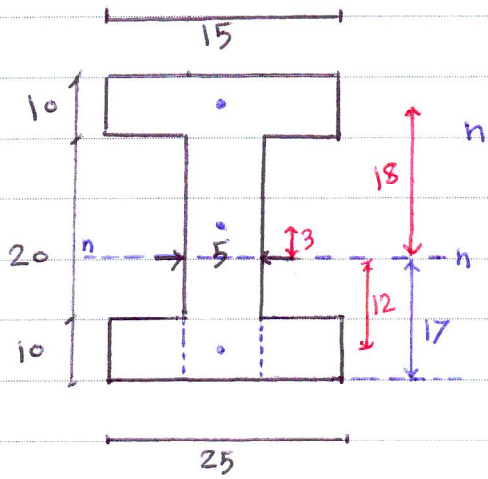
لازم است که محور خنثای کل مقطع بدست آید. اکنون ماده اینرسی کل مقطع را می توان مجموعهٔ دو سری ماده اینرسی دانست:

۱- ماده اینرسی هریک از اجزای مستطیلی نسبت به مرکز سطح خود که بوسیلهٔ روابط مخصوص اشکال ساده بدست می آید.

۲- ماده اینرسی هریک از اجزای مستطیلی نسبت به محور خنثای کل مقطع. مقدار این ماده اینرسی برابراست با حاصلضرب مساحت هر جزء مستطیلی در مجذور فاصله مرکز سطح هر جزء مستطیلی از محور خنثای کل مقطع.

مثال: مطلوب است تعیین ماده اینرسی برای مقطع نشان داده شده در شکل زیر:

تعیین محور خنثی کل مقطع:



$$n = \frac{(10\times15\times35)+(5\times30\times15)+2(5\times10\times10)}{(10\times15)+(5\times30)+2(10\times10)} = 17\,cm$$

$$I_n = \frac{15\times10^3}{12} + (10\times15\times18^2) + \frac{5\times20^3}{12} + (5\times20\times3^2) + \frac{25\times10^3}{12} + (10\times25\times12^2) = 92166\,cm^4$$

- روش سوم: در تعیین ماده اینرسی با اضافه کردن اثر سطوح به یکدیگر، با استفاده از این روش می توانیم بدون بدست آوردن محل تار خنثی، ماده اینرسی مقاطع مرکب را بدست می آوریم.

این روش برای بدست آوردن ماده اینرسی تیرورقهای مرکب و ستونهای مرکب خیلی توصیه می شود، زیرا اضافه یا کسرکردن یک ورق اضافی در مقطع تاثیری در عملیات قبلی نمی گذارد و تنها کافی است که عملیاتی برای ورق اضافه یا کسرشده انجام دهیم بدون اینکه دستی به عملیات قبلی ببریم.

با استفاده از قضیه انتقال محورهای موازی، مقدار ماده اینرسی نسبت به محور مبنای $Y-Y$ که موازی با تار خنثی می باشد، برابراست با:

$$I_y = I_n + An^2 \quad \rightarrow I_n = I_y - An^2$$

از طرفی داریم: $n = \frac{M}{A} \Rightarrow n^2 = \frac{M^2}{A^2}$

با جایگزینی در رابطهٔ فوق داریم:

$$I_n = I_y - \frac{AM^2}{A^2}$$ (توجه شود که مقدار n یا محل تار خنثی حذف شده)

Subject :

Year . Month . Date .

$$I_n = I_y - \frac{M^2}{A}$$

پس :

که در آن :

I_n = ممان اینرسی کل مقطع نسبت به محور خنثای آن .

I_y = مجموع ممان اینرسی تمام اجزا نسبت به یک محور مبنای y-y .

M = مجموع لنگر استاتیک تمام اجزاء نسبت به همان محور مبنای y-y .

A = مجموع سطوح تمام اجزای مقطع .

مقدار I_y شامل دو قسمت خواهد شد :

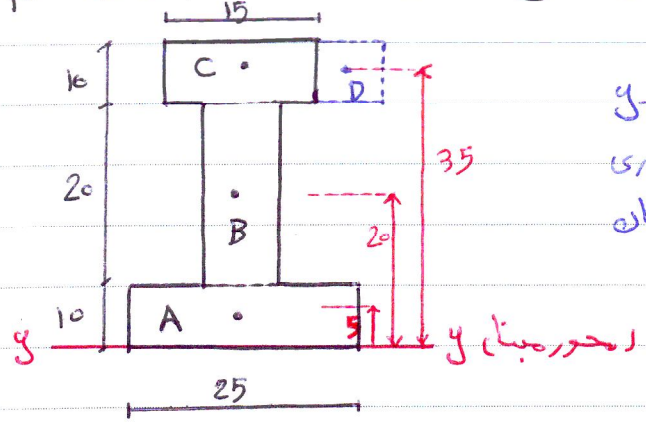
الف - ممان اینرسی نسبت به مرکز سطح هر جزء

ب - حاصلضرب مساحت هر جزء در مجذور فاصله مرکز سطح آن جزء تا محور مبنا

پس رابطه بصورت زیر نوشته خواهد شد :

$$I_n = I_y + I_g - \frac{M^2}{A}$$

مثال : مطلوب است تعیین ممان اینرسی برای مقطع نشان داده شده با روش سوم :



تار پایین این مقطع به عنوان محور مبنای y-y به کار می رود . ابعاد هر جزء مستقیلا باید طوری نوشته شود که ابتدا ایهنا و سپس ارتفاع نشان داده شود . (b × d)

جزء	b × d	فاصله از محور مبنا y	$A = b \cdot d$ cm^2	$M = A \cdot y$ cm^3	$I_y = Ay^2 = My$ cm^4	$I_g = \frac{bd^3}{12}$ cm^4
A	25 × 10	5	250	1250	6250	2083
B	5 × 20	20	100	2000	40000	3333
C	15 × 10	35	150	5250	183750	1250
			500	8500	230000	6666
مجموع						

$$I_n = I_y + I_g - \frac{M^2}{A} = 230000 + 6666 - \frac{8500^2}{500} = 92166 \ cm^4$$

و داریم :

$$h = \frac{M}{A} = \frac{8500}{500} = 17 \ cm$$

TAMASHA

Subject :

Year . Month . Date .

مثال: برای نشان دادن برتری این روش فرض می کنیم که مقدار ممان اینرسی بدست آمده ($92166\ cm^4$) کافی نمی باشد و لازم است که ابعاد مقطع را بزرگتر اختیار کنیم. برای این کار ورق فوقانی c را به جای $15\times10\ cm$ ، $20\times10\ cm$ درنظر می گیریم. این به منزله آن است که ورق چهارمی به ابعاد 5×10 به مقطع اضافه کنیم. بنابراین داریم:

	مقطع	مقطع	500	8500	230000	6666
D	5×10	35	50	1750	61250	417
		مجموع	550	10250	291250	7083

$$I_n = I_y + I_g - \frac{M^2}{A} = 291250 + 7083 - \frac{10250^2}{550} = 107310\ cm^4$$

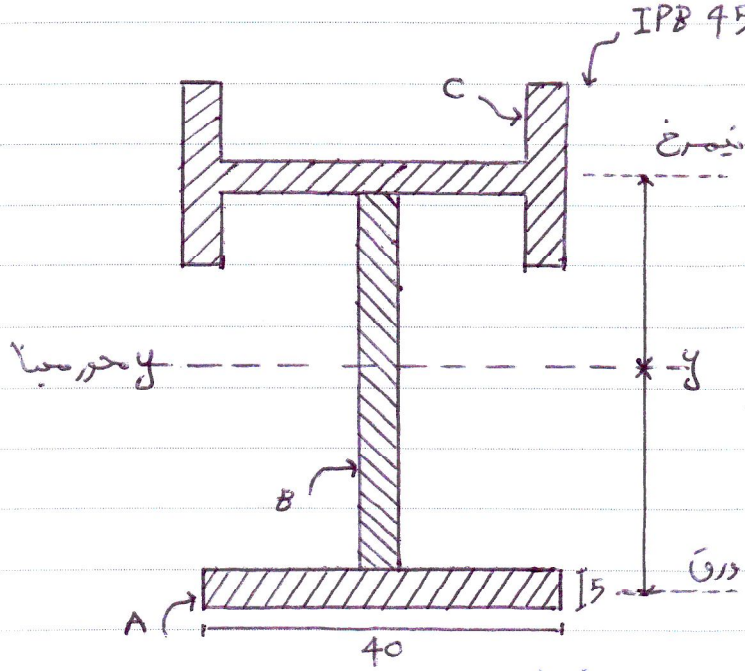
و مقدار:

$$h = \frac{M}{A} = \frac{10250}{550} = 18.63\ cm$$

- روش چهارم: (ممان اینرسی مقاطع خوردشده)

ممان اینرسی مقاطع خوردشده از جداول مخصوصی که به همین منظور تهیه شده بدست می آید.

مثال: مطلوب است تعیین مشخصات هندسی مقطع مرکب زیر:



محور مبنای y-y را در مرکز هندسی ورق جان انتخاب می کنیم. در این صورت مقدار y برای ورق B برابر با صفر خواهد بود و عملیات مربوط به ورق جان از بین می رود.

مشخصات هندسی IPB 450 به صورت زیر خواهد بود:

$A = 218\ cm^2$ $I_g = 11720\ cm^4$ $t_w = 1.4\ cm$

Subject :
Year . Month . Date .

با تشکیل دادن جدول مربوطه داریم:

ورق	اندازه	y	A	M	I_y	I_g
A	40×5	-42.5	200	-8500	361250	417
B	2.5×80	0	200	0	0	106666
C	IPB 450	+40.7	218	8873	361114	11720
مجموع			618	373	722364	118803

ممان اینرسی ست به محور خنثی:

$$I_n = I_y + I_g - \frac{M^2}{A} = 722364 + 118803 - \frac{373^2}{618} = 840942 \ cm^4$$

فاصله تار خنثی از محور مبنا:

$$n = \frac{M}{A} = \frac{373}{618} = 0.6 \ cm$$

فاصله تار خنثی از تار خارجی پایینی:

$$c_b = 45 + 0.6 = 45.6 \ cm$$

- اگر محور مبنا را در پایهٔ مقطع مرکب در نظر بگیریم، مقدار n بدست آمده، همان فاصله تار خنثی از تار پایینی خواهد گشت.

- اساس مقطع (S):

اساس مقطع S از تقسیم ممان اینرسی مقطع، بر فاصله تار خنثی از تارهای خارجی مقطع بدست می آید.

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

به علت اینکه مقدار c از دو جهت قابل اندازه گیری است (بالا و پایین)، بنابراین دو مقدار S برای یک مقطع وجود دارد که البته طراحی همیشه مقدار کوچکتر S است؛ چون تنشهای بزرگتری نتیجه خواهد داد. در مقاطع متقارن این دو مقدار (S) با هم برابر خواهند شد. اساس مقطع نشان دهندهٔ قدرت مقطع در مقابل بارهای خنثی می باشد.

- شعاع ژیراسیون (r):

برابر است با فاصله تار خنثای مقطع از یک نقطه فرضی که تمام سطح مقطع را می توان در آن نقطه متمرکز فرض کرد بدون اینکه تغییری در ممان اینرسی به وجود آید.

TAMASHA

Subject :
Year . Month . Date .

این مشخصه از مقطع در طراحی ستون ها به کار گرفته می شود.
شعاع ژیراسیون برحسب واحد طول که معمولاً سانتیمتر می باشد بیان می شود و از رابطه زیر بدست می آید:

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

I = ماده اینرسی نسبت به محور مورد نظر.
A = سطح مقطع

- ماه اینرسی قطبی:

ماه اینرسی قطبی (I_o) برابر است با مجموع دو ماه اینرسی در حول دو محور عمود بر هم خود ماه اینرسی قطبی نسبت به محل تقاطع این دو محور در نظر گرفته می شود.

$$I_o = I_x + I_y$$

از ماه اینرسی قطبی در تعیین اساس مقطع قطبی (I_o/c) که در مسائل پیچش لوله های گرد توپر و توخالی مورد استفاده قرار می گیرد، استفاده می کنند.

- ثابت پیچش (J):

در مسائل مربوط به پیچش مقاطع باز و غیرگرد به جای ماه اینرسی قطبی به کار می رود.

- محور برش و مرکز برش:

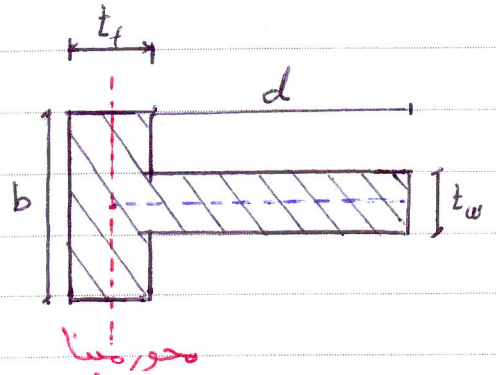
برای هر مقطع، نقطه ای وجود دارد که اگر امتداد نیروی خارجی از آن نقطه عبور نماید، هیچگونه لنگر پیچشی در مقطع ایجاد نمی شود. این نقطه مرکز برش نامیده می شود و با حرف Q نمایش داده می شود. هر نیروی خارجی، تحت هر زاویه به مرکز برش وارد آید، هیچگونه لنگر پیچشی در مقطع بوجود نخواهد آورد و فقط تنشهای خمشی و برشی در مقطع خواهیم داشت در غیر اینصورت در مقطع علاوه بر خمش، پیچش نیز به وجود می آید.
در صورت عدم عبور نیروی خارجی P از مرکز برش، تحلیل تنشها به صورت زیر انجام می شود.
1- ابتدا نیروی P را به موازات خود به مرکز برش انتقال داده و در آنجا آن را تبدیل به دو مولفه در دو امتداد محورهای اصلی می نماییم.
2- در مرکز برش، علاوه بر نیروی فوق، یک لنگر پیچشی (T) برابر با لنگر نیروی P حول نقطه Q مرکز برش، خواهیم داشت. تنشهای حاصله از این لنگر پیچشی باید با تنشهای خمشی حاصل از عمل خمشی مولفه های نیروی P جمع گردد.
- اگر مقطعی یک محور تقارن داشته باشد مرکز برش در روی آن خواهد بود و اگر مقطعی دارای دو محور تقارن باشد مرکز برش محل تقاطع آنها خواهد بود.
در مقاطعی که یک محور تقارن $x-x$ دارند محل عبور محور برش دوم از رابطه زیر بدست می آید:

$$e = \frac{\Sigma I_x X}{\Sigma I_x}$$

Subject :

Year . Month . Date .

مثال: مرکز برش را برای شکل زیر بدست آورید.



برای بدست آوردن محل محور برش، ابتدا یک محور مبنای (y-y) انتخاب می‌کنیم و سپس ممان اینرسی I_x را برای هر مقطع نسبت به محور خنثای خود آن مقطع به دست می‌آوریم. در گام سوم فاصله x یعنی فاصله مرکز سطح هر مقطع را تا محور مبنا بدست می‌آوریم. e یعنی فاصلهٔ مرکز برش از محور مبنای انتخابی از رابطهٔ $e = \frac{\sum I_x X}{\sum I_x}$ بدست می‌آید.

$$e = \frac{\frac{t_f b^3}{12} \times 0 + d \cdot \frac{t_w^3}{12} \times (t_f + d)/2}{I_x} = \frac{d \cdot t_w^3 \cdot (t_f + d)}{24\, I_x}$$

- **نسبت لاغری:**

هرچه ستون بلندتر یا به‌معنای دقیق‌تر لاغرتر گردد تمایل به احتمال در اثر کمانش در آن بیشتر خواهد گشت. مقدار تمایل به کمانش در ستون‌ها را به وسیلهٔ ضریب لاغری نشان می‌دهند که طبق رابطهٔ L_e/r تعریف می‌شود که در آن، L_e طول موثر کمانش و r شعاع ژیراسیون حداقل مقطع می‌باشد.

هرچه عضو فشاری را بلندتر در نظر بگیریم و لی بار وارد بر آن و سطح مقطع آن را ثابت نرمال بگیریم، تنش‌های فشاری در آن تغییری نخواهند کرد ولی تمایل به کمانش در آن بالا خواهد رفت، بنابراین نتیجه می‌گیریم که هرچه نسبت لاغری در عضو فشاری افزایش پیدا کند، تنش مجاز فشاری کاهش خواهد یافت. افزایش ضریب لاغری یا در اثر افزایش طول مهار نشده و یا در اثر کاهش شعاع ژیراسیون خواهد بود.

- **شعاع ژیراسیون حداقل:**

در یک مقطع برای اینکه همیشه بحرانی‌ترین حالت را داشته باشیم (بزرگترین ضریب لاغری) باید شعاع ژیراسیون حداقل مقطع را در نظر بگیریم.

برای مقاطع نورد شده، شعاع ژیراسیون حداقل و حداکثر در جداول آمده است. برای سایر مقاطع باید به طریق محاسبه را استفاده از رابطهٔ زیر شعاع ژیراسیون حداقل را به دست آورد.

$$r_{min} = \sqrt{I_{min}/A}$$

- **ممان اینرسی حداقل:**

ممان اینرسی حداکثر I_{max} و ممان اینرسی حداقل I_{min} نسبت به محورهای اصلی عمود برهم از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$I_{\substack{max \\ min}} = \frac{I_x + I_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + I_{xy}^2}$$

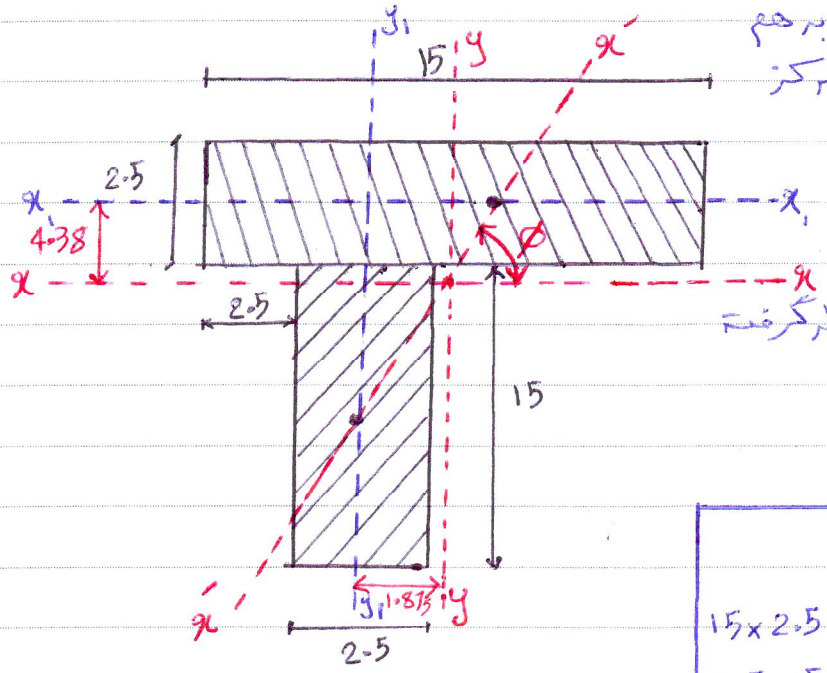
TAMASHA

Subject :
Year . Month . Date .

با داشتن مقادیر I_x ، I_y ، I_{xy} نسبت به هر دو محور عمود بر هم دلخواه می توانیم ممان اینرسی حداقل و حداکثر را بدست آوریم.

مثال: مطلوب است تعیین محل محورهای مرکزی $x-x$ ، $y-y$ شکل زیر.

محورهای مرکزی دو محور عمود بر هم می باشند که محل تقاطع آنها مرکز هندسی مقطع می باشد.



تعیین محل محور $x-x$:

محور مبنا، محور x_1-x_1 در نظر گرفته می شود.

	A	d	M
15×2.5	37.5	0	0
2.5×15	37.5	-8.75	-328.2
جمع	75		-328.2

$$N A_{x-x} = \frac{\Sigma M}{\Sigma A} = \frac{-328.2}{75} = -4.38 \text{ cm}$$

تعیین محل محور $y-y$:

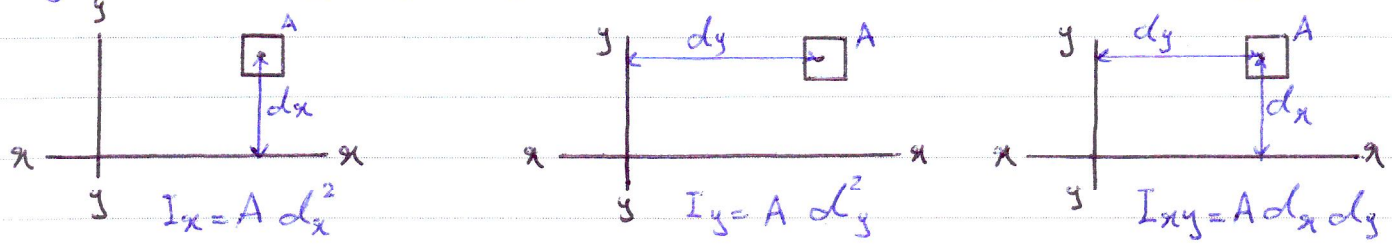
محور مبنا، محور y_1-y_1 در نظر گرفته می شود.

	A	d	M
2.5×15	37.5	3.75	140.6
15×2.5	37.5	0	0
جمع	75		140.6

$$N A_{y-y} = \frac{\Sigma M}{\Sigma A} = \frac{140.6}{75} = 1.875$$

- ممان اینرسی حاصلضرب (I_{xy}):

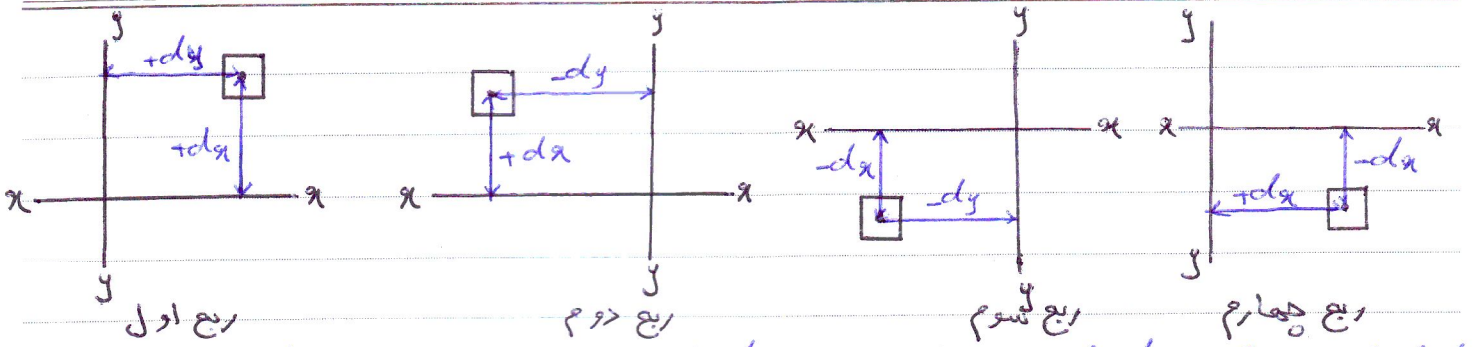
ممان اینرسی حاصلضرب عبارت است از حاصلضرب سطح مقطع A در d_y ، d_x



ممان اینرسی نسبت به محور $x-x$ | ممان اینرسی نسبت به محور $y-y$ | ممان اینرسی حاصلضرب نسبت به محور $y-y$ ، $x-x$

Subject :

Year . Month . Date .



ربع اول $I_{xy} = +A\,d_x d_y$ — ربع دوم $I_{xy} = -A\,d_x d_y$ — ربع سوم $I_{xy} = +A\,d_x d_y$ — ربع چهارم $I_{xy} = -A\,d_x d_y$

مثال: مطلوب است تعیین شعاع ژیراسیون حداقل برای مقطع T شکل داده شده در صفحهٔ قبل.

ممان اینرسی نسبت به محور $x-x$:

ادامهٔ جدول:

I	I_g
0	19.5
2871	703
3593.5	

NA_y

$$I_x = I - \frac{M^2}{A} = 3593.5 - \frac{328.1^2}{75} =$$

$$I_x = 2158\ cm^4$$

ممان اینرسی نسبت به محور $y-y$:

ادامهٔ جدول:

I	I_g
527	703
0	19.5
1249.5	

$$I_y = I - \frac{M^2}{A} = 1249.5 - \frac{140.6^2}{75}$$

$$I_y = 986\ cm^4$$

ممان اینرسی حاصلضرب:

$$I_{xy} = \sum A\,(d_x)(d_y)$$
$$= (2.5\times15)(4.38)(1.875) + (2.5\times15)(-4.38)(-1.575)$$
$$= 615.94\ cm^4$$

ممان اینرسی حداقل:

$$I_{min} = \frac{2158+986}{2} - \sqrt{\left(\frac{2158-986}{2}\right)^2 + 615.94^2} = 722\ cm^4$$

شعاع ژیراسیون حداقل از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$r_{min} = \sqrt{I_{min}/A} = \sqrt{722/75} = 3.1\ cm$$

این شعاع ژیراسیون نسبت به محور $x'-x'$ خواهد بود. که از زاویهٔ θ بدست خواهد آمد.

$$tg\,2\theta = -\frac{2\,I_{xy}}{I_x - I_y} = -1.05 \Rightarrow 2\theta = 133.6 \Rightarrow \theta = 66.8$$

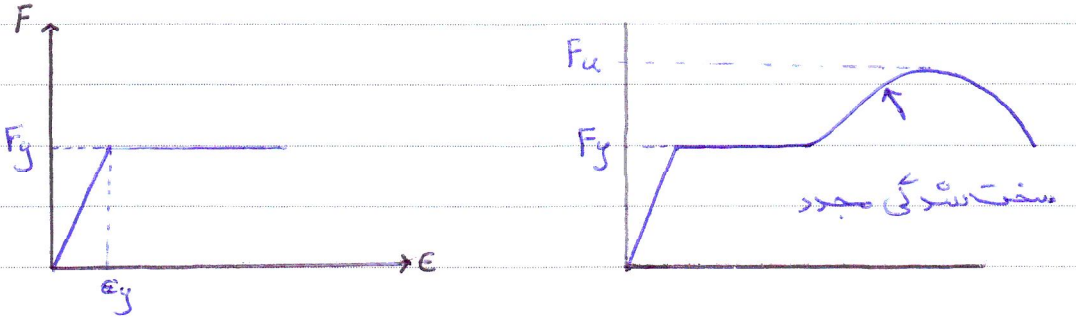
TAMASHA

Subject :
Year . Month . Date .

طرح اعضای کششی :

اگر رفتار فولاد را مطابق شکل زیر در نظر بگیریم (یک جسم الاستو-پلاستیک (ایجای-ئیری))، در یک عضو کششی بدون سوراخ، مقاومت نهایی T_u وقتی فرا می‌رسد که تمام تارهای آن به طور یکنواخت به حد جاری شدن (تسلیم) در کشش رسیده باشند. داریم:

$$T_u = F_y A_g$$

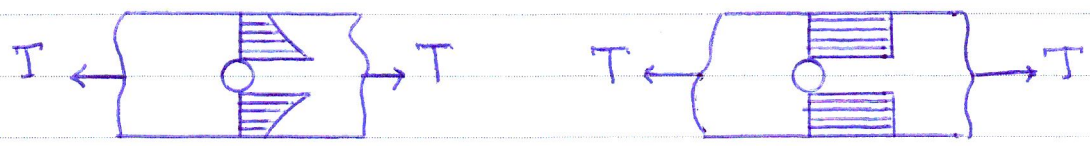


نمودار تنش - کرنش واقعی — نمودار تنش - کرنش ایده ال

که در رابطه فوق A_g سطح مقطع کل عضو کششی می‌باشد. (سطح مقطع ناخالص)
وقتی در عضو کششی برای اتصالات پیچی یا پرچی، سوراخ تعبیه گردد، از سطح مقطع موثر آن در مقابل نیروی خارجی کاسته می‌شود. به سطح مقطع باقیمانده پس از کسر سوراخ، سطح مقطع خالص (A_n) می‌گویند.

تجربیات آزمایشگاهی و مطالعات تئوریک نشان می‌دهد که در تنشهای خدمت، در اطراف سوراخ تمرکز تنش به وجود می‌آید و توزیع تنش در عرض مقطع دیگر یکنواخت نمی‌باشد لیکن با افزایش نیروی کششی، وقتی تنش ماکزیمم به حد جاری شدن می‌رسد، مقدار آن ثابت مانده و افزایش بیشتر نیروی کششی باعث جاری شدن تارهای مجاور می‌شود تا اینکه در حالت نهایی، توزیع تنش در عرض مقطع به صورت یکنواخت با مقدار F_y درمی‌آید. مقاومت نهایی عضو کششی در این حالت برابر است با:

$$T_u = F_y A_n$$



حالت الاستیک — حالت نهایی

نمودار تنش - کرنش واقعی فولاد، نشان می‌دهد که پس از جاری شدن فولاد، یک مرحله سخت شوندگی و افزایش مقاومت مجدد وجود دارد که پس از آن تنش گسیختگی یا نهایی F_u فرا می‌رسد. اگرچه جاری شدن فولاد که همراه با تغییر شکلهای بزرگی می‌باشد، همواره به عنوان مقاومت نهایی عضو در نظر گرفته می‌شود، لیکن باید متذکر شد که گسیختگی واقعی وقتی فرا می‌رسد که به تنش F_u رسیده باشیم. آزمایشات متعدد نیز مؤید این نظریه

می باشند. بدین معنی که آزمایشات نشان داده اند که قبل از شروع گسیختگی در مقطع سوراخدار (یعنی رسیدن به تنش نهایی F_u)، تنش در مقطع کل به ناحیه ای از مقطع سوراخدار، به حد جاری شدن می رسد. بدین مفهوم، آئین نامه AISC در چاپهای جدید و در طراحی اعضای کششی به روش تنش مجاز، کنترل دو تنش زیر را مقرر می دارد.

الف - کنترل تنش جاری شده در مقطع کل:

$$f_a = \frac{T}{A_g} \le F_t = 0.60 F_y$$

ب - کنترل تنش نهایی در مقطع موثر خالص:

$$f_a = \frac{T}{A_e} \le F_t = 0.50 F_u$$

در روابط فوق:

T = نیروی کششی در حالت خدمت

F_y = تنش جاری شده فولاد مصرفی

F_u = تنش نهایی فولاد مصرفی

A_g = سطح مقطع کل

A_e = سطح مقطع موثر خالص که ممکن است کوچکتر از سطح مقطع خالص A_n باشد.

F_t = تنش مجاز کششی

* AISC (فقط برای بارگذاری استاتیک):

- برای اعضای کششی غیر از اتصالات با پنج و خار مغزی:

$F_t = 0.60 F_y$ (در سطح مقطع کل)

$F_t = 0.5 F_u$ (در سطح مقطع موثر خالص)

- در اتصالات با پنج و خار مغزی:

$F_t = 0.45 F_y$ (در سطح مقطع خالص)

$F_t = 0.33 F_u$ برای میله های مهار دنده نشده:

* اشتو (پلاستیسیته) نیز در مواردی که عامل خستگی تنشهای کوچکتری را ایجاب نماید:

$F_t = 0.55 F_y$ (در سطح مقطع کل)

$F_t = 0.46 F_u$ (در سطح مقطع خالص موثر)

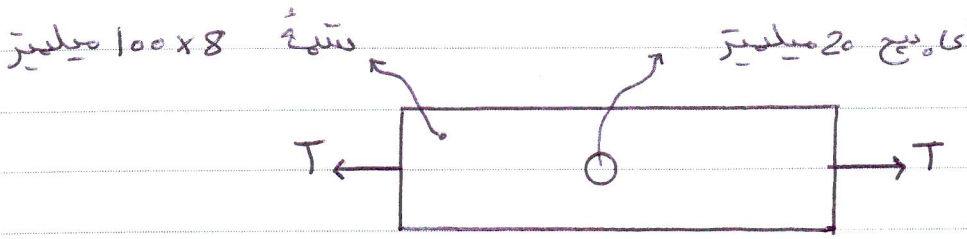
- تنشهای مجاز توصیه شده در طراحی اعضای کششی -

- سطح مقطع خالص: (A_n)

اگر در اتصال اعضای کششی و یا هر عضو دیگر از پیچ و پرچ استفاده گردد، به علت تضعیف سوراخهای لازم، از سطح مقطع مفروض کاسته می گردد. به سطح مقطع کل پس از کسر سوراخ سطح مقطع خالص گفته می شود.

Subject :
Year . Month . Date .

مثال: برای عضو کششی نشان داده شده در شکل ، سطح مقطع خالص A_n را محاسبه نمایید.



$A_g = 10 \times 0.8 = 8\ cm^2$

$A_n = A_g - ($تعداد سوراخ$) \times ($ضخامت ورق$)$

$= 8 - (2.4) \times (0.8) = 6.08\ cm^2$

برای ایجاد سوراخ در اعضای فولادی ، روشهای مختلفی به کار می رود که بسته به دقت هر روش ، مقطع سوراخ مقداری بزرگتر از مقطع پیچهای مصرفی بدست می آید.

روش اول : از انتریر و متداولترین روش ، استفاده از دستگاه سوراخ کن ضربه ای (پانچ) برای ایجاد سوراخ استاندارد به مقطع ۱.۶ میلیمتر بزرگتر از مقطع اسمی پیچ یا پرچ می باشد. در حین سوراخکاری توسط دستگاه پانچ ، در لبه های سوراخ ترکهای موئی ایجاد می شود که از لحاظ طراحی ، طول این ترکها به اندازه ۰.۸ میلیمتر در امتداد شعاع سوراخ در نظر گرفته می شود. بنابراین در هنگام کنترل عضو کششی ، مقطع سوراخهای استاندارد ایجاد شده توسط دستگاه پانچ ۳.۲ میلیمتر (4 میلیمتر) بزرگتر از مقطع اسمی پیچ در نظر گرفته می شود.

روش دوم : توسط دستگاه پانچ سوراخی به مقطع ۳ میلیمتر کوچکتر از مقطع اسمی پیچ یا پرچ ایجاد می شود و سپس بعد از جفت و جور کردن قطعات متصل شونده به یکدیگر ، توسط مته ، مقطع سوراخ به اندازه مقطع اسمی پیچ یا پرچ درمی آید. این روش گرانتر از روش ایجاد سوراخ توسط دستگاه پانچ می باشد ولی کیفیت اجرا و هم محور بودن قطعات در آن بسیار بالاتر از روش اول می باشد.

روش سوم : در این روش سوراخ توسط مته سوراخی به مقطع ۰.۸ میلیمتر بزرگتر از مقطع اسمی پیچ ایجاد می شود. این روش پرخرج بوده و غالباً از آن برای مقطعات با ضخامت زیاد استفاده می شود.

البته اگر در اتصال از پیچهای پرمقاومت اصطکاکی استفاده شود ، مقطع سوراخ می تواند بزرگتر از مقطع سوراخ استاندارد در نظر گرفته شود.

Subject :
Year Month . Date .

سطح مقطع خالص موثر (A_e):

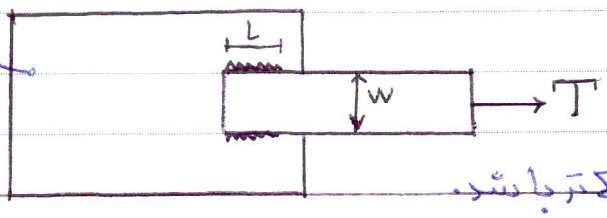
علاوه بر کاهش مقاومت کششی به علت وجود سوراخ، عوامل دیگری وجود دارند که توزیع غیریکنواخت تنش در مقطع، نیز از مقاومت کششی عضو می کاهند. به عنوان مثال، مقاومت کششی یک نبشی که فقط یک بال آن به ورق اتصال وصل شده باشد، از مقاومت کششی نبشی نظیر که هر دو بال آن متصل شده است، به مراتب کوچکتر می باشد. به طور کلی در تمام حالاتی که اعضای کششی دارای نیرخهایی می باشند که تمام اجزای آنها در یک صفحه قرار ندارند (به عبارت دیگر دارای صفحاتی برجسته می باشند، نظیر، ساق برجستهٔ یک نبشی که فقط یک بال آن متصل شده است، یا جان یک نیرخ I که فقط از طریق بالها متصل شده است و یا تمام موارد مشابه)، سطح مقطع موثر در مقاومت کششی از سطح مقطع خالص کوچکتر بوده و به صورت

$$A_e = \alpha A_n$$

تعریف می گردد. که در آن α ضریب کوچکتر از واحد می باشد.

در اعضای کششی کوتاه، شامل ورقهای وصله و اتصال، که در آنها مقطع اصلی اساساً در یک صفحه قرار دارد، سطح مقطع موثر خالص A_e، مساوی سطح مقطع خالص A_n در نظر گرفته می شود که نباید از 85 درصد سطح مقطع کل A_g بیشتر باشد.

نوع عضو	ضریب تأثیر α
- مقاطع کششی که همهٔ اجزاء آنها جهت انتقال کشش متصل شده اند	یک
- مقاطعات کششی کوتاه، مثل اتکی، وصله یا اتصال یتر به ستونه یا با دبنز	0.85
- پروفیلهای I، T بریده از I، اگر با اتصال جوش باشند	0.85
- همهٔ پروفیلها اگر اتصال با پیچ باشد (حداقل سه پیچ در امتداد نیرو)	0.85
- همهٔ اعضا با اتصال پیچ (یا در پیچ)	0.75
- نبشی با اتصال جوشی به یک بال	یک
- نبشی با اتصال پیچی به یک بال	0.85
- بقیهٔ ها، ورق ها (اتصال با جوش)، اگر:	
- $w < L < 1.5w$	0.75
- $1.5w < L < 2w$	0.85
- $2w < L$	یک



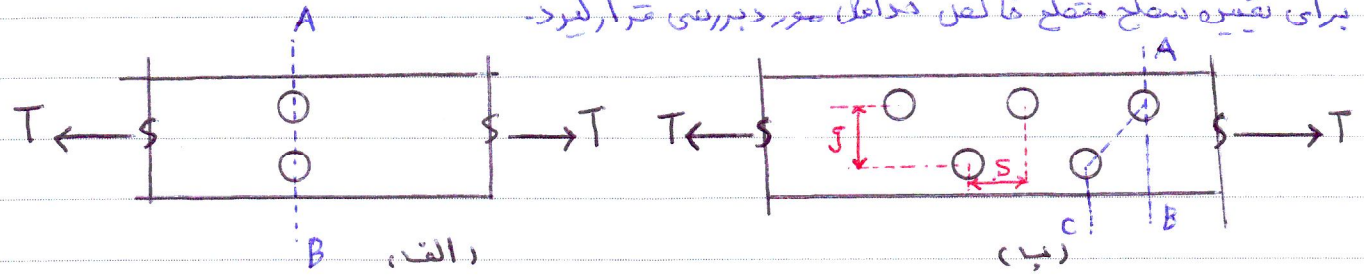
ورق تحت کشش

- طول جوش نباید از عرض ورق کمتر باشد.

TAMASHA

- اثر سوراخهای یک در میان در مساحت خالص :

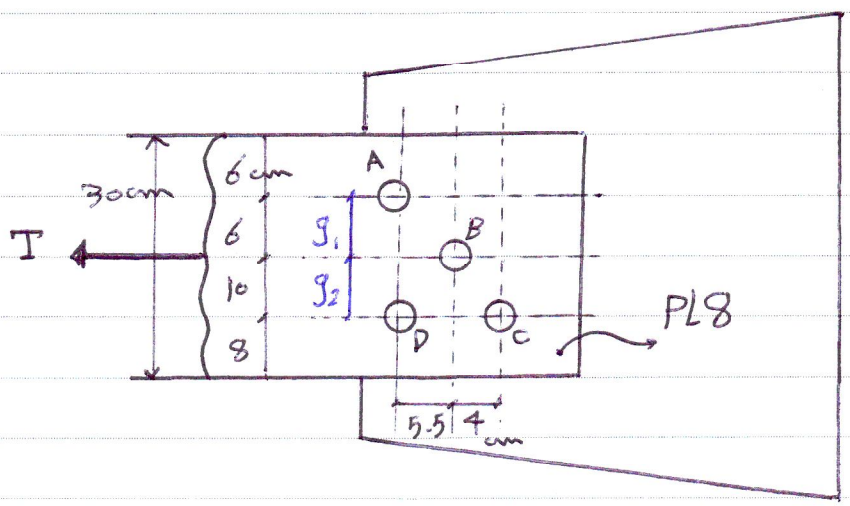
برای ازدیاد سطح مقطع خالص، به جای اینکه سوراخها در یک ردیف عمود بر امتداد نیرو قرار داده شوند بهتر است به صورت یک در میان آرایش داده شوند. در چنین حالتی باید خطوط گسیختگی مختلف برای تعیین سطح مقطع خالص در اعضا مورد بررسی قرار گیرد.



- S فاصله سوراخها در امتداد نیرو
- g فاصله سوراخها در امتداد عمود بر جهت نیرو

در شکل الف، خط گسیختگی در امتداد A-B می باشد. در شکل ب، خط گسیختگی ممکن است در امتداد A-B باشد که مقطع یک سوراخ را قطع می کند و یا در امتداد A-C باشد که دارای یک مسیر مورب می باشد و دو سوراخ را قطع می کند. در نتیجه برای تعیین کوچکترین سطح مقطع خالص، باید هم مسیر A-B و هم A-C مورد بررسی قرار گیرند. کنترل دقیق مقاومت در امتداد A-C مقداری پیچیده می باشد ولی یک روش تجربی ساده وجود دارد که توسط کوکرین پیشنهاد شده و مورد قبول AISC نیز می باشد. در این روش به جای تعیین طول مسیر مورب از تصویر آن در امتدادی عمود بر امتداد نیرو استفاده شده، لیکن به ازای هر مسیر مورب یک جمله $S^2/4g$ بر طول تصویر افزوده می شود. کوچکترین مقدار مسیرها، کنترل کننده خواهد بود. g را فاصله عرضی و S را فاصله طولی می گوییم.

مثال : مطلوب است تعیین مقطع خالص ورق زیر با فرض اینکه سوراخها با پانچ استاندارد برای پیچ M20 اجرا شده است.



Subject :
Year . Month . Date .

$A_{n(A-D)} = A_g - 2\,d'\cdot t = 30\times 0.8 - 2(2.4)(0.8) = 20.16\ cm^2$

$A_{n(A-B-D)} = A_g - 3(d'\cdot t) + t\sum \frac{S^2}{4g}$

$= 30\times 0.8 - 3(2.4\times 0.8) + 0.8\times\frac{5.5^2}{4\times 6} + 0.8\times\frac{5.5^2}{4\times 10} =$

$= 19.85\ cm^2$

$A_n =$ کمترین مقدار $= 19.85\ cm^2$

$A_e \le 0.85\,A_g$

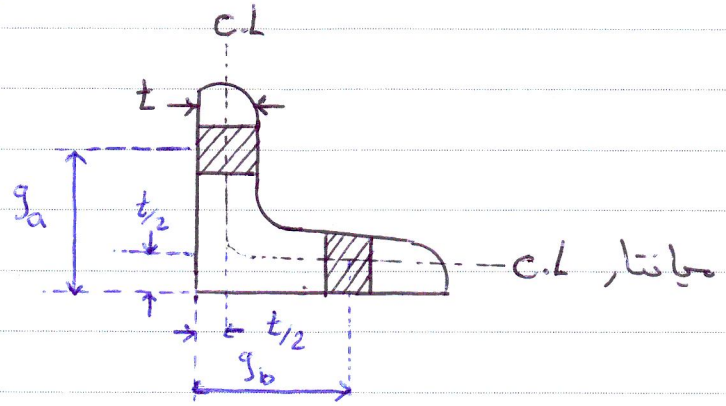
$0.85\times 30\times 0.8 = 20.4\ cm^2$ سطح مقطع موثر

$A_n \le A_e \Rightarrow 19.85 \le 20.4 \Rightarrow$ OK

- نبشی ها:

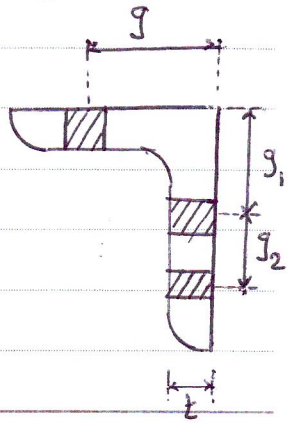
وقتی که سوراخها به صورت یک در میان در دو ساق یک نبشی قرار می گیرند، فاصله عرضی g در رابطه $S^2/4g$ باید به نحو مناسبی تعریف گردد. در این حالت فاصله عرضی g در امتداد یا عمود بر امتداد ضخامت نبشی اندازه گیری می شود. مثلاً در شکل زیر، فاصله g برای دو پیچ نشان داده شده، فاصله در نقطه A, B در امتداد یا عمود بر امتداد ضخامت می باشد که به صورت زیر تعریف می شود.

$g = g_{Ja} - \frac{t}{2} + g_{Jb} - \frac{t}{2} = g_{Ja} + g_{Jb} - t$



به منظور تامین امکانات اجرایی، فاصله مرکز هندسی سوراخها از گوشه خارجی نبشی باید به نحو مناسبی اختیار گردد. اعداد جدول زیر از دستنامه AISC انتخاب گشته اند که در این مورد قابل توصیه می باشند.

ساق نبشی mm	200	180	150	120	100	90	80	70	60	50	40	30
g	115	100	90	75	65	50	45	40	35	30	22	20
g_1	75	70	55	45	بقیه دو سوراخ در یک امتداد عملی نیست							
g_2	75	70	55	45								



TAMASHA

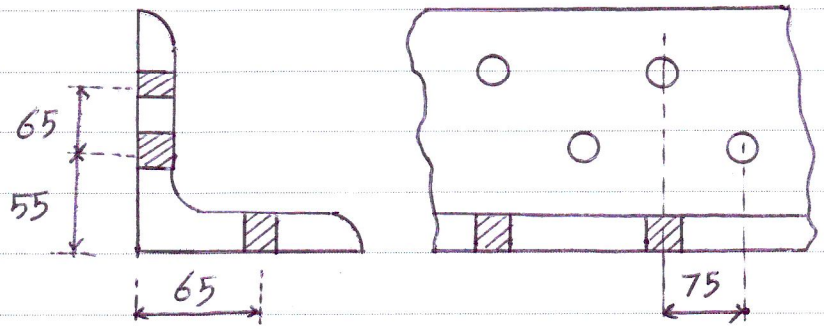
Subject :
Year . Month . Date .

مثال : برای بشی نشان داده شده در زیر ، سطح مقطع خالص حداقل A_n را محاسبه نمایید. قطر سوراخها 24 mm می باشد .

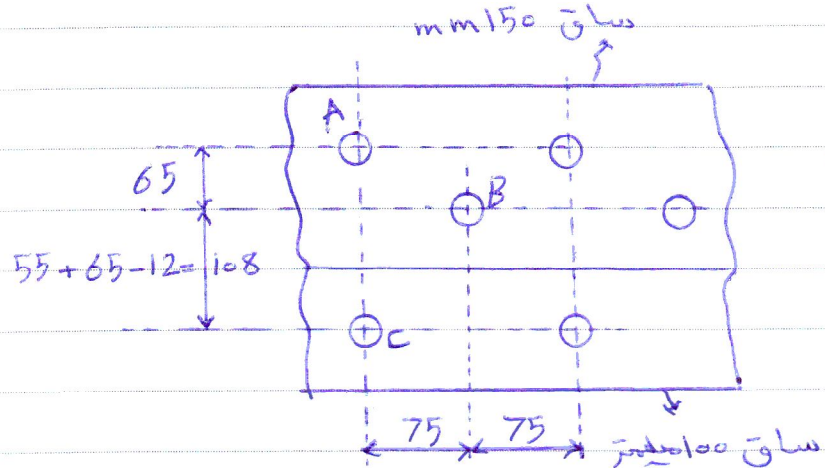
بشی $150 \times 100 \times 12$ mm

$A = 28.7 \ cm^2$

ابعاد بر حسب میلیمتر



برای تعیین سطح مقطع خالص ، بشی را در امتداد میانتار ضخامت آن گسترده می نماییم .



مسیر AC :

$$A_n = 28.7 - 2(2.4 + 0.2)1.2$$
$$= 22.46 \ cm^2$$

مسیر ABC :

$$A_n = 28.7 - 3(2.4 + 0.2)1.2 + \left[\frac{7.5^2}{4 \times 10.8} + \frac{7.5^2}{4 \times 6.5}\right] \times 1.2 =$$
$$= 23.50 \ cm^2$$

A_n در مسیر A_c کنترل کننده می باشد .

- میلگردهای کششی : (میله مهارها)

از معمولترین و متداولترین اعضای کششی ، میلگردهایی می باشد که دو سر آن دنده شده است این گونه از اعضای کششی غالباً نقش درجه دوم دارند . میلگردهای کششی در اغلب موارد به عنوان عضو کششی در مهاربندیهای ضربدری قابهای ساختمانی در مقابل نیروهای باد و زلزله مورد استفاده قرار می گیرند . در اغلب موارد ، و بخصوص در مورد اخیر ، میله مهارها راحت مقداری کشش اولیه قرار می دهند .

این کشش اولیه ، اولاً شل شدگی میله مهار را از بین برده و آن را آماده جذب نیرو می نماید . ثانیاً بر سختی سازه می افزاید و از نوسانات آن در مقابل نیروهای باد و زلزله جلوگیری می کند . برای ایجاد چنین کشش اولیه ، کافی است میله مهار به ازای هر 6 متر طول ، به اندازه 1.6 میلیمتر کوتاهتر شود . در عمل برای ایجاد کشش اولیه در میله مهارها از پیچهای قوطی استفاده می نمایند .

مثال : مطلوب است تعیین مقطع یک میله مهار کششی برای حمل نیروی کششی 4 تن . از فولاد نرمه ST37 با تنش جاری شدن $F_y = 2400 \ kg/cm^2$ و تنش نهایی

TAMASHA

$F_u = 3700\ kg/cm^2$ استفاده نمایید.

تنش مجاز کششی برای میله مهارهای دنده شده برابر است با:

$$F_t = 0.33 F_u$$

تنش مجاز فوق در روی سطح مقطع کل اندازه گیری می شود.

$$F_t = 0.33 \times 3700 = 1221 \quad kg/cm^2$$

در ایران برای طراحی میله مهارها غالباً از تنش مجاز 980 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع استفاده می شود.)

$$A_D = \frac{T}{F_t} = \frac{4 \times 10^3}{1221} = 3.28 \quad cm^2$$

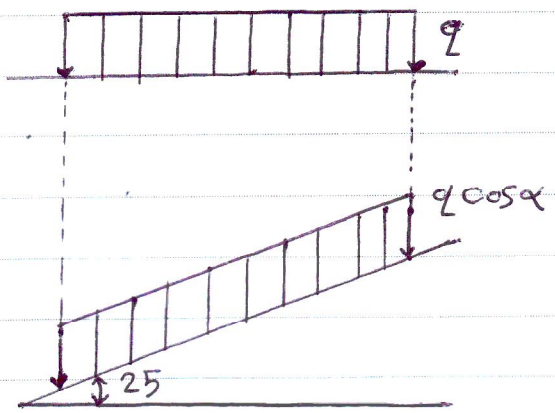
سطح مقطع فوق برمبنای مقطر خارجی (نه مقطر ریشه) ناحیه دنده شده اندازه گیری می شود اگر این مقطر را مساوی تنه میله مهار منظور نماییم، مقطر لازم برابر خواهد بود با:

$$D = \sqrt{4/\pi \times 3.28} = 2.05\ cm \Rightarrow$$ از میله مهار $\varnothing 22$ استفاده می نماییم

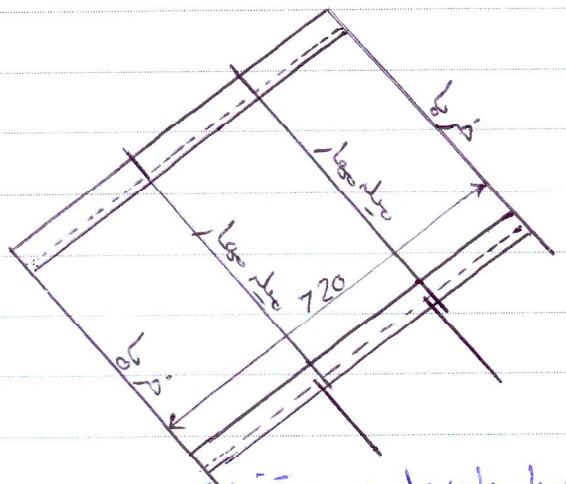
$$A = \frac{\pi \cdot 2.2^2}{4} = 3.80 > 3.28 \quad o.k$$

مثال: مطلوب است طراحی میله مهارهای تایه های بام ساختمان هنگی نشان داده شده در شکل زیر. دهانه تایه ها، فاصله محور به محور دو خرپا، مساوی 7.2 متر می باشد و میله مهارها در نقاط $\frac{1}{3}$ دهانه نصب شده اند. از فولاد ST 37 با تنش جاری شدن $F_y = 2400\ kg/cm^2$ و تنش نهایی $F_u = 3700\ kg/cm^2$ استفاده خواهد شد. بار برف را مساوی $100\ kg/m^2$ در نظر بگیرید. طول پوشش تایه ها (750 متر)

شدت بار وارد بر سطح افق



شدت بار وارد بر سطح شیب دار



تعیین بارهای وارد بر سقف:

[وزن تایه $(17\ kg/m^2)$ + بیشبند شیشه + ورق کرکره ای $(20\ kg/m^2)$ + بار برف بر متر مربع سقف $(100 \cos 25 = 90)\ kg/m^2$] = 127 بر متر مربع سقف