فیلم های آموزشی دروس بتن و فولاد

ICIVIL

فیلم آموزشی طراحی سازه های فولادی ۱

فولاد1

استاد ارجمند جناب آقای دکتر متین پور

تذکر:این جزوه توسط یکی از دانشجویان ترم های قبلی نگاشته شده و فقط توسط بنده بارگزاری شده است و بنده هیچگونه مسئولیتی در قبال محتوی جزوه ندارم

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

۱- مقدمه - آشنایی با فولاد و خواص آن، انواع فولادهای ساختمانی، انواع سازه‌های فولادی، آئین‌نامه‌های طراحی و روشهای طراحی

۲- اعضاء کششی

۳- طراحی اعضای فشاری (ستونها) تئوری کمانش - مفهوم ضریب لاغری - طرح ستونهای مرکب

۴- طراحی اعضای خمشی (تیرها) - کمانش جانبی، پدیده‌ی تیرها - طرح تیرهایی با شرایط مختلف خمشی و محدود

۵-

۶- طراحی صفحات پای ستون

مراجع

1. Steel structures. by: Salmon 2010

2. Steel structures. by: smuth

طراحی سازه‌های فولادی به روش ... و مقاومت (ادی)

ترجمه: فریدون ایرانی
ترجمه: شاپور طاحونی
ترجمه: مجتبی ازهری

آئین‌نامه
A.I.S.C_LRFD
یکی از روشهای طراحی فولادی (جدید)

* مبحث دهم - مقررات ملی ساختمان ایران آئین‌نامه طرح و اجرای سازه‌های فولادی

BIST * (کتاب مدول پرتال ساختمانی)

Subject:
Year: Month: Date:

فصل اول

مقدمه

ساختمان های فولادی، ساختمان هایی هستند که ساختار اصلی آنها (اجزای سازه‌ای آنها) از فولاد تشکیل شده است.

به دلیل آنکه فولاد دارای خواص ویژگی های مقاومتی است نسبت به سایر مواد، باعث شده که بتوان جایگزین دیگری برای آن پیدا نکنند.

مزیت های فولاد زیاد است: مقاومت، سختی، شکل پذیری و ...

فولاد سه عیب مشخص دارد: ۱- کاهش مقاومت در برابر حرارت ← (قابل برطرف کردن با عایق کاری)

۲- خوردگی فولاد یا مقاومت در برابر خوردگی (عدم مقاومت در برابر عوامل جوی) ← (قابل برطرف کردن با رنگ و ...)

عوامل آلوده محیط سریع پوسیده می شود. (با پوشش های مقاوم می توان این عیب را برطرف کرد)

۳- مقاومت کم نسبی: چون اجزای فولاد ضعیف هستند نسبت به بتن.

فولاد ماده‌ای است که به تنهایی در طبیعت وجود ندارد بلکه از آهن تهیه می شود. (Fe)

آهن نیز از سنگ آهن تهیه می گردد.

سنگ آهن
$FeCO_3$
Fe_2O_3
(کوره بلند)
(60 تا 150 m)

حرارت

آهن خام
(درجه خلوص کمتری نسبت به سنگ آهن دارد)

روش الکترولیتی

روش کوره زیمنس

حرارت

تنظیم

ناخالصی ها

فولاد

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

فولاد ماده‌ای است که با انجام دادن دو عملیات روی سنگ آهن بدست می‌آید.

خود فولاد یک ماده مشخص و واحدی نیست، چون با هر درصدی تولید می‌شود نوع فولاد متفاوت خواهد بود به علت آلیاژهای مختلف آن.
با این روش ذکر شده می‌توان بی‌نهایت نوع فولاد تهیه کرد، چون هر آلیاژ با هر میزان یک خاصیت به فولاد می‌دهد.

طبقه‌بندی فولادها بر مبنای ساختمانی سه دسته است.

دسته اول: فولادهای کربنی C.S، دسته دوم: فولادهای آلیاژی A.S، دسته سوم: فولادهای حرارتی T.S

فولادهای کربنی

آن دسته از فولادهایی هستند که درصد کربن آن نسبت به آلیاژهای دیگر بیشتر است. این فولاد تهیه شده در فولادهای کربنی آلیاژ دیگری وجود ندارد یا اگر وجود دارد نقش اساسی در فولاد ندارد.

به دلیل اینکه تولید آن ساده است، جزء فولادهای بسیار قدیمی است. به دلیل تولید ساده و ارزان قیمت بودن آن در اکثر سازه‌ها از فولاد کربنی استفاده می‌کنند.

فولادهای آلیاژی

در فولادهای آلیاژی کربن نقش اساسی ندارد بلکه عناصر آلیاژهای دیگر مانند: کروم، نیکل و آلومینیوم و... نقش اساسی دارد.
عامل تعیین کننده رفتار و خواص فیزیکی فولاد کربن نیست بلکه آلیاژهای دیگر است.

فولادهای حرارتی

فولادهایی هستند که آنها نیز مانند آلیاژهای مختلف نقش اساسی دارند بلکه یک سری عملیات حرارتی رفتار فولاد را مشخص می‌کنند.
عملیات حرارتی یعنی گرم و سرد کردن. عملیات حرارتی می‌تواند رفتار فولاد را کاملاً تغییر بدهد.
رفتار این نوع فولادها تابع عملیات حرارتی است.

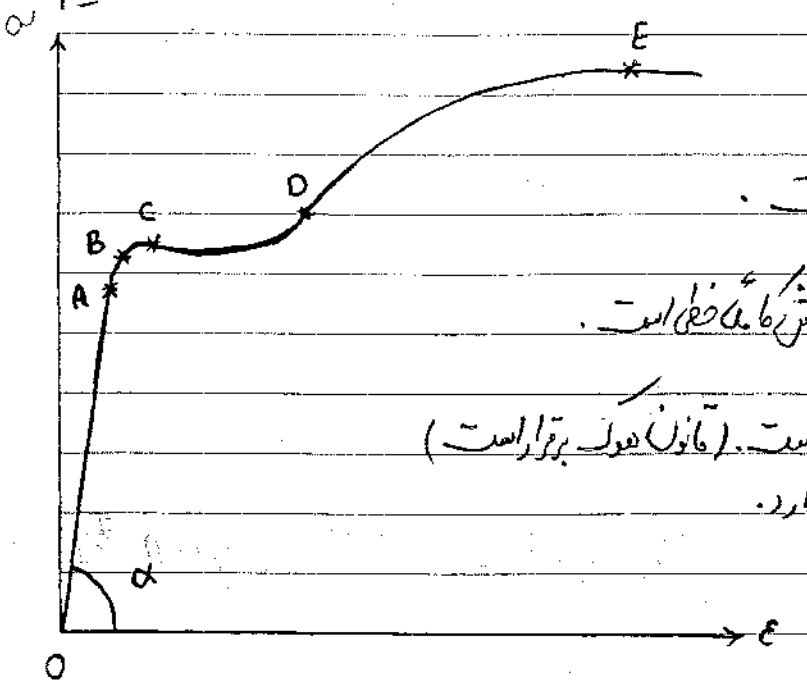
BIST

Subject:
Year: Month: Date:

نقش کربن در فولاد: افزایش درصد کربن در فولاد، جدا شدن و مقاومت نهایی و شکنندگی فولاد را افزایش می دهد.

- با افزایش درصد کربن در فولاد، شکل پذیری فولاد کاهش می یابد.
- با افزایش درصد کربن در فولاد، خاصیت چکش پذیری و جوش پذیری فولاد کاهش می یابد.
- با افزایش درصد کربن در فولاد، مدول الاستیسیته فولاد به مقدار بسیار جزئی افزایش می یابد.
(سختی فولاد)
- با افزایش درصد کربن در فولاد، مقاومت فولاد در برابر خوردگی به مقدار بسیار جزئی افزایش می یابد.

برای مشخص کردن جدا شدن، مقاومت نهایی و شکنندگی فولاد، آزمایش ساده کشش را انجام می دهیم.



در نقطه O تنش و کرنش مساوی صفر است.

تا نقطه A رفتار فولاد برحسب تنش و کرنش کاملاً خطی است.

OA
رابطه بین تنش و کرنش خطی است. (قانون هوک برقرار است)
خاصیت فنری یا ارتجاعی دارد.

معادله خط $\sigma = \tan\alpha \cdot \varepsilon$

$\sigma = E \cdot \varepsilon$

ضریب زاویه خط OA = مدول الاستیسیته

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

$\sigma = E$ اگر $E=1$ باشد، یعنی $\frac{\Delta L}{L_0} = 1$ (تغییر طول با طول اولیه یکی باشد)

اولاً مدول الاستیسیته جنس اتش از جنس فنر است.
ثانیاً مقدار تنش را نشان می دهد.

مدول الاستیسیته نشان دهنده، مقدار تنشی است که اگر با آن تنش را وارد بکنیم، باعث می شود به تغییر طول نسبت به طول اولیه یکی باشد.

ماده ای که مدول الاستیسیته بیشتری دارد به علت اینکه تغییر شکل کمتری دارد بنابراین مقاومت آن بیشتر است.

مدول الاستیسیته همان سختی ماده در آزمایش کشش است.

زاویه α در فولاد نزدیک به 90° است.

فولاد سختی بسیار زیادی دارد. (همان مدول الاستیسیته بالا)

$\sigma = \tan\alpha \cdot \varepsilon$

$\boxed{\sigma = E \cdot \varepsilon}$ قانون هوک

$E_s = (2-2.1)\times 10^6 \ kg/cm^2$

در هر جا خط OA، نیرو حذف شود، فولاد دقیقاً در همان نقطه تغییر شکل خود را از دست داده و قطعه به شکل اول خود برمی گردد. شکل خاصیت فنر.

نقطه A: آخرین نقطه ای است که شکل خطی داریم.

تنش A را با σ_A نشان می دهند و آنرا حد خطی می نامند. بعد از آن خاصیت خمیری برقرار است.

نقطه B: در فاصله AB رابطه خطی برقرار نیست ولی خاصیت ارتجاعی برقرار است، آخرین نقطه ای است که خاصیت ارتجاعی در آن برقرار است.

AB
- قانون هوک برقرار نیست.
- خاصیت ارتجاعی برقرار است.

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

بعد از نقطه B مدجانیرو را حذف کنیم، فولاد به شکل اول خود برمی گردد.

تنش نقطه B را با σ_B نشان می دهند و حد ارتجاعی می نامند.

در نقطه C: فولاد به طور کامل سختی خود را از دست می دهد. $E=0$ (مدول الاستیسیته) تغییر شکل زیاد.

تنش نقطه C را با σ_C نشان می دهند و حد تسلیم می نامند. فولاد در برابر نیرو تسلیم شده و مقاومت نمی کند، یعنی جاری و روان می شود پس حد روانی و جاری شدن گویند.

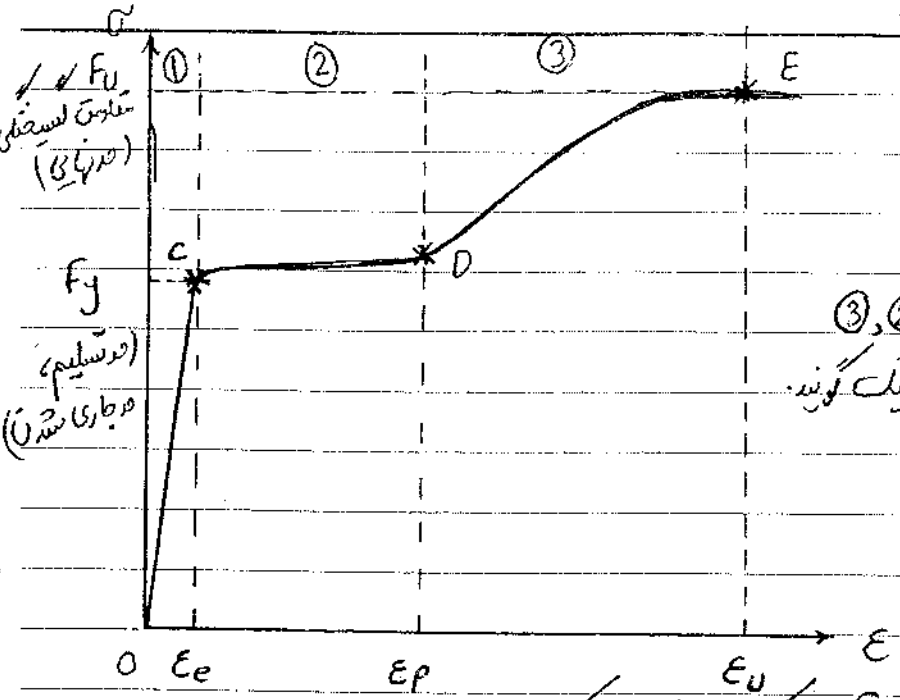
بعد از نقطه C رفتار فولاد با یک خمیر فرقی ندارد پس به آن حد خمیری هم می گویند.

در نقطه E فولاد گسیخته می شود. تنش نقطه E را با σ_E نشان می دهیم و حد نهایی یا مقاومت نهایی یا مقاومت گسیختگی دارد. از نقطه C تا آخر فولاد تبدیل شده است به یک خمیر.

در فولادهایی که کربن زیادی دارند، مقاومت نهایی بالاتر است.
در فولادهایی که کربن کمتری دارند، مقاومت نهایی پایین تر است.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:



نقاط F_y ، F_u مشخصه‌های مکانیکی فولاد است.

محور به سه ناحیه تقسیم می‌شود: ناحیه ①، ②، ③

ناحیه ①: ناحیه خطی، ارتجاعی و یا الاستیک گویند.

ناحیه ②: پله پلاستیک، پله خمیری

ناحیه ③: ناحیه سخت شدگی مجدد

ناحیه ②، ③: ناحیه خمیری

چون نقاط A، B، C به هم نزدیک هستند، آنها را در یک نقطه رسم می‌کنیم.

ماکزیمم برش در ناحیه ①، برش نقطه C است و آنرا با ε_e نشان می‌دهند و برش الاستیک گویند.

$$\sigma = E.\varepsilon$$

$$F_y = E.\varepsilon_e \Rightarrow \varepsilon_e = \frac{F_y}{E} = \frac{2400}{2\times10^6} = 0.0012$$

ماکزیمم برش در ناحیه ②، برش نقطه D است و آنرا با ε_p نشان می‌دهند و برش پلاستیک گویند.

$$\boxed{\varepsilon_p = (15-20)\varepsilon_e}$$

حدوداً 15 الی 20 برابر برش الاستیک است.

ε_p = تقریباً برش بزرگی است.

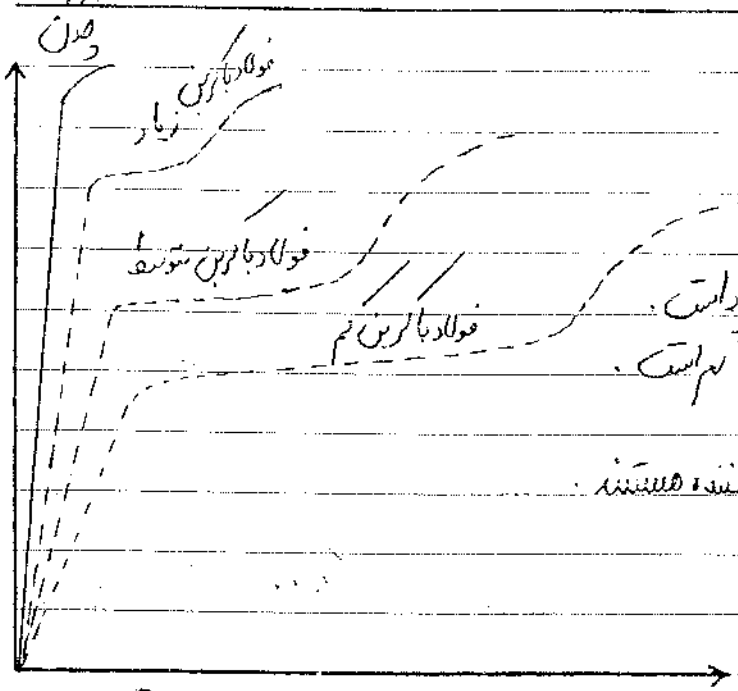
در طراحی بیشتر از ناحیه یک استفاده می‌کنند.

در فاصله C تا D فولاد از خود واکنش نشان می‌دهد و فقط برش از خود نشان می‌دهد.

هیچ ماده‌ای به شکل فولاد می‌تواند پله خمیری داشته باشد.

BIST

Subject:
Year: Month: Date:



فولادهایی که نقطه تسلیم ندارند، درصد کربن خیلی زیاد است.

فولادهایی که نقطه تسلیم کوتاه دارند، درصد کربن کم است.

فولادهایی که نقطه تسلیم ندارند، آهن نا خالص و شکننده هستند.

تقسیم بندی فولادها بر اساس کربن:

۱- فولاد با کربن کم: درصد وزنی کربن (C) $0 < \%C < \%0.15$ شکل پذیری آن خیلی زیاد، ولی مقاومت خیلی کم است.

در سازه ها از این نوع فولاد استفاده نمی کنند، اکثراً برای ساختن بدنه اتومبیل ها استفاده می شود.

۲- فولاد با کربن ملایم: $\%0.15 < \%C < \%0.29$ مقاومت نسبتاً زیاد و شکل پذیری نسبتاً خوبی دارد. بهترین فولاد برای سازه ها است. فولاد ساختمان، فولاد معمولی، فولاد نرمه هم گویند.

۳- فولاد با کربن متوسط: $\%0.30 < \%C < \%0.59$ مقاومت بالاتری در عوض شکل پذیری کمتر. در ساختمان ها استفاده نمی شود، چون شکل پذیری کم است. برای تولید پیچ و مهره ها استفاده می شود.

۴- فولاد با کربن زیاد: $\%0.6 < \%C < \%1.7$ مقاومت خیلی بالا و شکل پذیری خیلی پایین. حتی در تولید پیچ و مهره و ساختمان ها استفاده می شود. فقط در بعضی قطعات اتومبیل استفاده می شود. قطعاتی که نیاز به مقاومت زیاد دارند.

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

در آئین نامه ASTM آمریکا، فولاد کربن نرمه را با اسم A 36 می شناسند در آئین نامه اروپای I.S.O یا CE ST_37 می شناسند.

در آمریکا عدد 36 یعنی تا اروپای عدد 37 یعنی دارد، یعنی حدهای آن فولاد $F_u = 3700\ kg/cm^2$ است.

همه فولادهای که با نام فولاد کربنی تهیه می شوند و در بین محدوده ② یعنی $\%0.15 < \%C < \%0.29$ هستند را grade 36 گویند.

موقع از فولاد grade 36 استفاده کردیم باید از مقدارات ملی (مبحث 10) تبعیت بکنیم

یعنی (مقدارات ملی) $\rightarrow \begin{cases} F_y = 2400\ kg/cm^2 \\ F_u = 3600\ kg/cm^2 \end{cases}$

فولاد آلیاژی A.S

تقسیم بندی آلیاژها: ۱ آلیاژهای مفید: Cu، Cr، Mn، Si، Al، Ni، Mo، وانادیم و...

۲ آلیاژهای مضر: S و P؛ باعث شکنندگی فولادی شود و باعث از بین رفتن جوش پذیری فولادی شود.

فولادهای آلیاژی کلاً به دو دسته تقسیم می شوند:

۱ـ کم آلیاژ: مجموع درصدی آلیاژها از وزن کل آلیاژ از ۵٪ کمتر باشد. $\Sigma\%A < \%5$

۲ـ پر آلیاژ: مجموع درصدی آلیاژها از وزن کل آلیاژ از ۵٪ بیشتر باشد. $\Sigma\%A > \%5$

BIST

۹

Subject:
Year: Month: Date:

از فولادهای پرآلیاژ در ساختمان استفاده می شوند، چون تهیه ی آنها خیلی مشکل است و ی تهیه فولاد کم آلیاژ آسان تر است.

انواع فولاد کم آلیاژ:

در طبقه بندی ASTM ولی چون از نظر مقاومت تقریباً به هم نزدیک هستند همه ی آنها را در

A 440

A 570

⋮

طبقه بندی اروپایی I.S.O فولاد ST-52 نشان می دهند، یعنی مدولهای $F_U = 5200\ kg/cm^2$

همه ی آنها را با grade 50 می شناسند. ما موقع از grade 50 استفاده کردیم باید از مقررات ملی تبعیت بکنیم.

مقررات ملی. $\begin{cases} F_y = 3500\ kg/cm^2 \\ F_U = 5000\ kg/cm^2 \end{cases}$

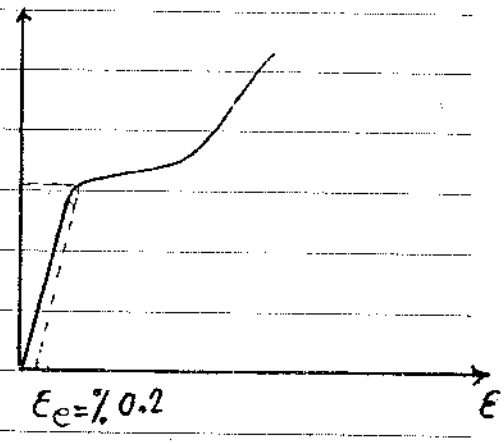
از دو نوع فولاد کم آلیاژ خیلی استفاده می شود: ۱- W.ST (weather steel): یعنی فولادی که در برابر هوازدگی می زند. سه عنصر اصلی آن Cr و Cu، Ni است.

۲- Staeinless.ST: فولاد ضدزنگ است یعنی نه در هوا و نه در آب و... زنگ نمی زند. عناصر آن Cr، Mo، Ni، در برابر دما هم مقاومت آن خیلی بالا رفته است و مقاومت در برابر دما خیلی زیاد است.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

فرق دیگر فولاد آلیاژی با فولاد کربنی: شکل پذیری بهتر است نسبت به فولادهای کربنی در عوض مقاومت آنها بالا است.



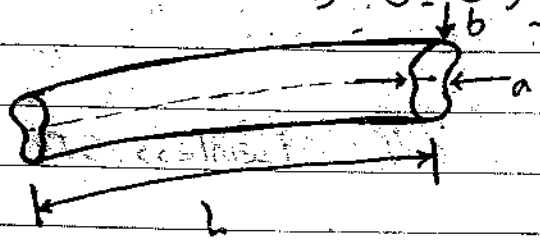
برای مشخص کردن σ_y از نقطه ε_e=٪0.2 عمودی خطالیه خطی رسم می‌کنیم، نقطه برخورد، F_y است.

انواع سازه‌های فولادی:

۱- سازه‌های قاب بندی شده.
۲- سازه‌های پوسته‌ای.
۳- سازه‌های معلق.

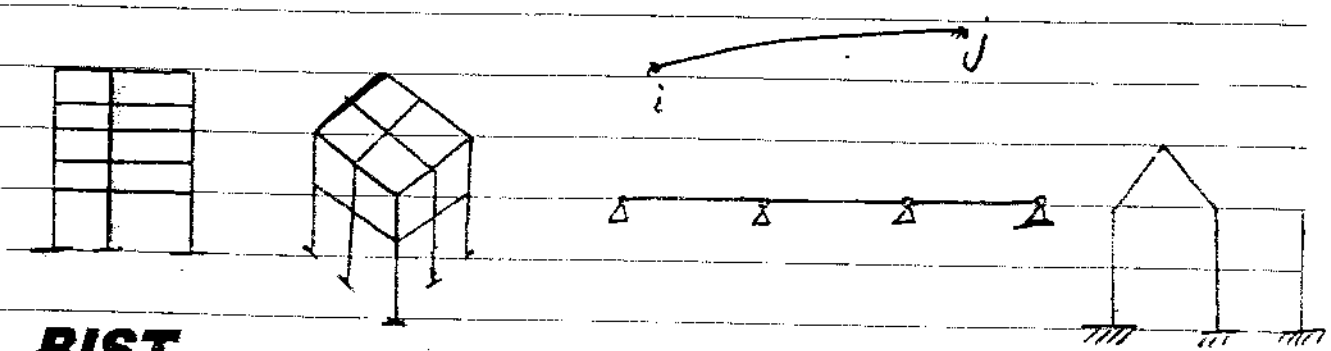
سازه‌های قاب بندی شده: آن دسته سازه‌ها هستند که در آنها کلیه اعضا از اعضای منشوری تشکیل شده است.

اعضای منشوری: اعضایی است که یک بعد آن نسبت به بعدهای دیگر آن خیلی بیشتر باشد.



نوع اعضای منشوری شکل مهم نیست.

در مدل‌های تحلیلی فقط میان تار آنها را بررسی می‌کنند.

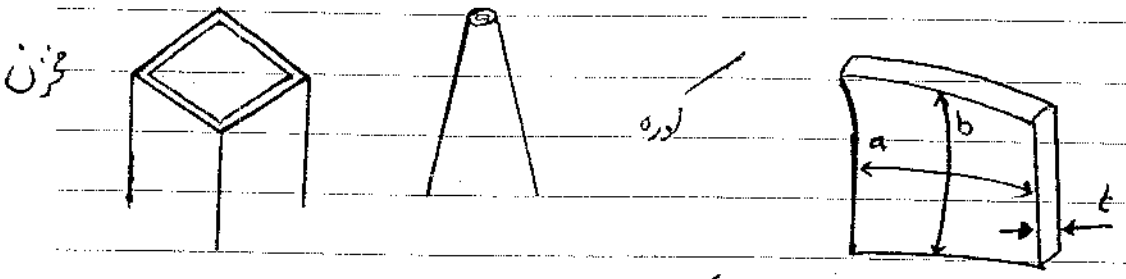


BIST

Subject:
Year: Month: Date:

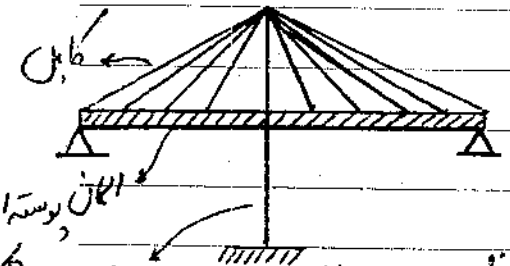
سازه‌های پوسته‌ای: اگر همه المان‌های سازه المان پوسته‌ای باشند، سازه را سازه پوسته‌ای گویند.

المان پوسته‌ای: در بعد آن نسبت به یک بعد آن بیشتر است. (سازه‌های پوسته‌ای رفتار خطی دارند)



سازه‌های قاب‌بندی شده و پوسته‌ای را می‌توان باهم ترکیب کرد.

سازه معلق: سازه‌ای است که علاوه بر وجود المان‌های منشوری شکل و پوسته‌ای، در سازه از کابل هم استفاده شود.



به دلیل اینکه رفتار کابل خطی نیست، جزو المان‌های منشوری حساب می‌شود.

کابل برای نیروهای مثبت (کششی) جواب می‌دهد ولی برای نیروهای منفی (فشاری) جوابی ندارد.

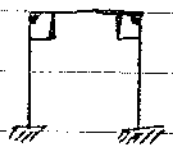
پس روش تحلیل سازه غیره خطی است و روش طراحی آن هم متفاوت است.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

سازه‌های قاب‌بندی شده: ۱- سازه‌های گروه ۱ (قاب‌های خمشی) ۲- سازه‌های گروه ۲ (قاب‌های مهاربندی شده) ۳- سازه‌های گروه ۳ (قاب‌های نیمه‌گیردار)

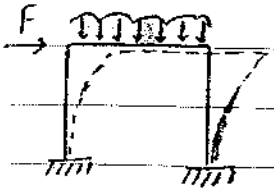
سازه‌های گروه یک: آن دسته از قاب‌هایی هستند که کلیه تکیه‌گاه‌ها و کلیه اتصالات از نوع گیردار کامل هستند



مثلاً: یک سازه یک طبقه، یک دهانه مسطح که ساده‌ترین سازه گروه یک است.

دارای دو تکیه‌گاه گیردار و دو اتصال گیردار است. اکثر قاب‌های پایداری هستند.

می‌توانند هر نوع باری را تحمل بکنند. یعنی می‌توانند بارهای ثقلی را تحمل کنند ولی در برابر بارهای جانبی به راحتی می‌توانند تغییر مکان داشته باشند.



اتصال گیردار: اتصالی است که تغییر زاویه را در اتصال قبل و بعد از بارگذاری تغییر نمی‌کند.

در ساختمان‌ها بارها به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱- بارهای ثقلی (بارهای رو به پایین، بارهای زنده طبقات، تجهیزات)

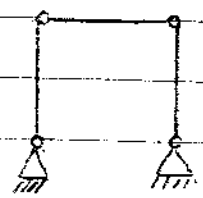
۲- بارهای جانبی (بار باد یا زلزله به شکل جانبی یا افقی اثر می‌کنند)

قاب‌های گروه یک: قاب‌های شکل‌پذیر است و مناسب برای مناطق زلزله‌خیز است و می‌توانند تمام بارها را تحمل بکنند.

سازه‌های گروه دو: سازه‌هایی هستند که در این سازه‌ها کلیه تکیه‌گاه و اتصالات از نوع مفصلی است.

اتصال مفصلی: اتصالی است که امکان تغییر زاویه وجود دارد و قابلیت نسبت

دیگر به این گشتاوری در انتهای اعضا ایجاد نمی‌شود.



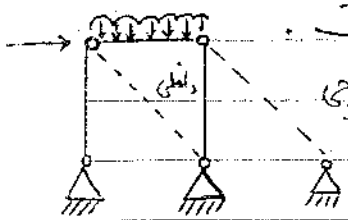
BIST

قاب‌های مهاربندی شده

Subject:
Year: Month: Date:

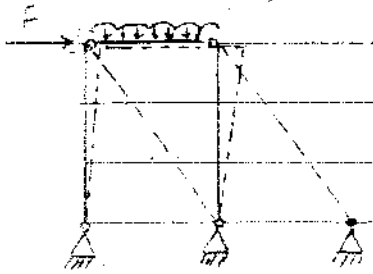
هیچ نیروی را نمی‌توانند تحمل کنند مگر در یک حالت خاص که سازه متقارن باشد و بارهای ثقلی متقارن باشند، هیچ وجه هم نمی‌توانند بارهای جانبی حتی به اندازه کوچک را تحمل کنند. برای ساختمان مناسب نیست.

قاب‌های ساده را به روشهای ساده‌ای پایدار می‌کنند با اضافه کردن تکیه‌گاه و المان‌های. المان‌هایی که باعث پایداری سازه‌های گروه ۲ می‌شوند به آنها مهاربند گویند. یک المان اضافی است که به سازه اضافه می‌شود جهت پایداری ساختمان گاهی از خارج ساختمان است که به آنها مهاربند خارجی گویند، گاهی هم از داخل ساختمان استفاده می‌شوند به آنها مهاربند داخلی می‌گویند. در نهایت با اضافه کردن مهاربند سازه کاملاً پایدار است. می‌تواند نیروهای ثقلی و همچنین جانبی زیادی را تحمل کند. منظور آئین نامه از گروه ۲ قاب ساده + اضافه مهاربند است.



در اثر نیروی جانبی تغییر شکل جانبی خیلی کم است نسبت به گروه یک (مقاومت زیاد شکل‌پذیری کم)

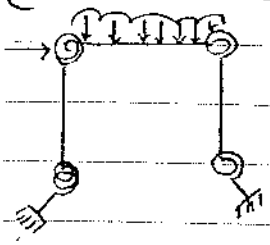
اشخاص داخل ساختمان این تغییر شکل را احساس نمی‌کنند و ناراحتی ایجاد نمی‌کنند. اما زمانی، مهاربند منهدم می‌شود و سازه از کار می‌شود. جزو قاب‌های کاملاً شکننده‌اند و هشداری نمی‌دهند. برای مناطق زلزله خیز مناسب نمی‌باشند، چون شکننده‌اند در مناطق که شدت بار زیاد است از آن استفاده می‌کنند. در زلزله عامل هشدار سازه است، وی در بار، عامل هشدار بار است. به این دلیل به این المان‌ها مهاربند گویند، چون برای مناطقی که بار شدید است مناسب‌تر اند.



www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

سازه‌های گروه ۳: سازه‌هایی هستند که در آن عضو سازه‌ها فقط به گره‌ها از نوع نیمه گیردار و لقیدی اتصالات از نوع نیمه گیردار است.



اتصال نیمه گیردار: اتصالی است که رفتاری بین اتصال مفصل کامل و اتصال گیردار کامل دارد.

هم می‌توانند تغییر زاویه داشته باشند و هم لنگر ایجاد کنند در انتهای اعضا. تغییر زاویه و لنگر نسبی اند. هرچه قدر درجه گیرداری کمتر به مفصل نزدیک می‌شویم، تغییر زاویه بیشتر و لنگر کمتر است. در این سازه‌ها پایداری بستگی دارد به درجه گیرداری، درجه گیرداری بیشتر، پایداری بیشتر و هرچه درجه گیرداری کمتر، پایداری نیز کمتر است.

در برابر نیروی جانبی، پایداری نسبی است. این سازه‌ها مناسب برای مناطق با لرزه خیزی پایین یا متوسط که نیروی باد شدت کمی دارد. تا حدی می‌تواند نیروی جانبی را تحمل کند. و عمل می‌توان اتصالی ساخت که سختی آن بی‌نهایت است و یا اتصال ساخت که سختی آن صفر باشد. یعنی عملاً ساخت تاب‌ها یا گره یک و گره دو اتصال دیر نیست، بنابراین عملاً در جایی ساخته نمی‌شود، تاب نیمه گیردار است.

مثال اساسی تاب‌ها: در تاب اول را می‌توان تحلیل کرد ولی نمی‌شود آن را ساخت چون قابل ساختن نیست

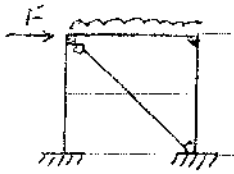
در تاب سوم را نمی‌توان تحلیل کرد ولی می‌توان آن را ساخت

برای حل این مشکل آیین نامه کمک می‌کند. می‌توان کارهایی روی اتصال انجام داد تا سختی اتصال تا جایی به ایدئال دارد بالا برده شود یا پایین آورده شود. طبقه آیین نامه: اگر سختی را بالا ببریم تاب گره یک و اگر سختی آن را پایین بیاوریم تاب گره دو. گاهی تاب‌های گره یک و گره دو را هم ترکیب می‌کنند به تاب‌های مستقلی نیستند ولی این ترکیب سومین تاب‌های ترکیبی نیستند.

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

به قاب های ترکیبی یک می توان مهاربند هم اضافه کرد. قاب های ترکیبی دوگانه مختلط هم می گویند.



قاب های ترکیبی یک پایدارند، مهاربند هم پایداری آنها را زیاد می کند. هم نیروی های ثقلی و هم نیروی جانبی زیادی را می توانند تحمل بکنند. بخشی توسط مهاربند و بخش دیگری (قاب مختلط) توسط قاب تحمل می شوند. این نوع قاب ها مناسب برای سازه هایی که نیروهای جانبی زیادی دارند است مناسب برای مناطق زلزله خیز، سازه های بلند مرتبه و یا سازه های سنگین.

آئین نامه های ساختمانی و روشهای طراحی

A.I.S.C

آئین نامه مرجع مبحث دهم مقررات ملی ایران

سه روش برای طرح سازه های فولادی وجود دارد طبق این آئین نامه: ۱- روش تنشهای مجاز A.S.D، ۲- روش ضرایب بار و مقاومت L.R.F.D، ۳- روش طرح پلاستیک P.D

روش تنشهای مجاز (A.S.D): قدیمی ترین و ابتدایی ترین روش سازه های فولادی است. دقت بسیار پایین چون تعدی است تا در به پاسخگویی به بعضی مسائل نیست. به همین علت این روش را کنار گذاشته اند.

روش ضرایب بار و مقاومت (L.R.F.D): روش جدید و دقیق و کاملتری است. قدمت آن 50 سال است و فقط هم روی آن تحقیق و بررسی می شود و کامل نشده است.

روش پلاستیک (P.D): یک روش ویژه ای است برای همه سازه ها کاربرد ندارد و یک روش خاص است. این روش جدیدی است و عمومی نیست، برای سازه های غیرخطی تحلیل می شوند کاربرد دارد.

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

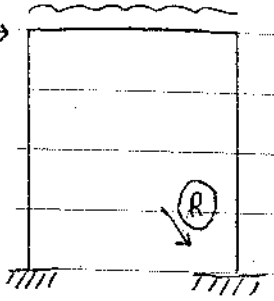
Subject:
Year: Month: Date:

مثال: روان سازه می‌بردی توان بارهای وارد بر سازه را حساب نمود. (درس بارگذاری)

می‌توانیم هر سازه‌ای که داشته باشیم بارهای آن را حساب کنیم (Q بارهای محاسباتی اسمی)

علاوه بر آن هر سازه‌ای را که داشته باشیم از علومی که در تحلیل سازه و مقاومت مصالح داریم می‌توانیم مقاومت آن را

حساب کنیم (R مقاومت محاسباتی یا اسمی)



$Q \leqslant R$ نامساوی تئوریک کنترل سازه است.

از نظر عملی ممکن است درست نباشد چون ممکن است بارهایی که وجود دارند از بارهایی

که ما برآورد کردیم کمتر یا بیشتر باشد (خطاهای ساخت)

مسئله وقتی است که بار از آن چیزی که ما محاسبه کردیم بیشتر باشد $Q+\Delta Q \leqslant R$

مسئله وقتی است که مقاومت از آن چیزی که محاسبه کردیم به اندازه مشخص کمتر باشد $Q+\Delta Q \leqslant R-\Delta R$

در درس فولاد یاد می‌گیریم، چگونه ΔR و ΔQ را افزایش و کاهش دهیم.

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

$$Q\left(1+\frac{\Delta Q}{Q}\right) \leqslant R\left(1-\frac{\Delta R}{R}\right) \xrightarrow{A.I.S.C} \lambda . Q \leqslant \Phi . R$$

$\lambda \geqslant 1.0$ ضریب بار

$\Phi \leqslant 1.0$ ضریب مقاومت

روش اول (ASD):

$$Q \leqslant \frac{\Phi . R}{\lambda} \Rightarrow Q \leqslant \frac{\Phi}{\lambda} R$$

$$S.F. = \frac{\lambda}{\Phi} \geqslant 1.0 \Rightarrow Q \leqslant \frac{R}{S.F.}$$

مقاومت مجاز $R_a = \frac{R}{SF_1}$

$Q \leqslant R_a$

BIST ضریب اطمینان

Subject:
Year: Month: Date:

روش دوم: L.R.F.D $\quad \lambda Q \leq \phi R \Rightarrow \sum \lambda_i Q_i \leq \phi_j R_j$

هر بار ضریب جداگانه‌ای دارد. احتمال ضرایب بار می‌تواند بالا برود.

بار زنده، هم احتمال تغییرات آن زیاد است و هم قابل پیش‌بینی نیست، بنابراین ضرایب بار زنده باید بزرگتر باشد.

ولی بار مرده هم احتمال تغییرات آن خیلی کم است و هم اینکه قابل پیش‌بینی است بنابراین ضرایب بار مرده کوچکتر است.

زیرا نباید ضریب آن بزرگتر باشد چون قابل پیش‌بینی نیست.

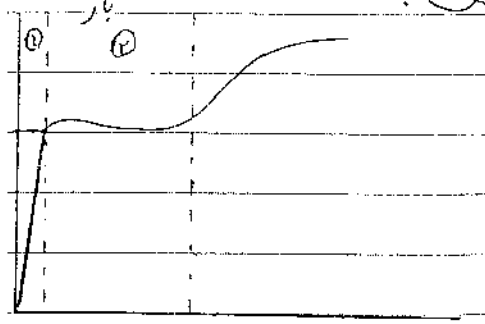
روش سوم P.D $\quad 1.0 < \frac{\lambda}{\phi} Q \leq R$

$\quad \textcircled{x} Q \leq R$

این روش بارها را افزایش می‌دهد بدون اینکه بارها را کاهش دهد.

حداکثر مقاومت یک مقطع می‌تواند داشته باشد همان ظرفیت مقطع است.

ضریب تشدید یا افزایش بار



در دو روش قبلی یعنی A.S.D و L.R.F.D چون در ناحیه یک هستند با روش خطی تحلیل می‌شدند ولی در P.D روش ورشای است. با روش غیر خطی تحلیل می‌شود.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

انواع بارها: ۱- بارهای دائمی ۲- بارهای لذا

بارهای دائمی: آن دسته از بارهای هستند که بطور دائم و طول عمر سازه همیشه به سازه اثر می‌کنند یعنی ماهیت دائمی دارند و همیشه همراه سازه‌اند.

بارهای دائمی از نظر شدت بار به دو دسته تقسیم می‌شوند: ① ثابت: آن دسته بارهای دائمی است که علاوه بر اینکه همواره به سازه اثر می‌کنند، شدت بار هم ثابت است. مثل بار مرده، فشار مایعات (وزن مایعات)

② متغیر: آن دسته از بارهای دائمی هستند که علاوه بر اینکه به طور دائم به سازه اثر می‌کنند شدت تغییرات آنها بسیار زیاد است، یعنی دائماً کم و زیاد می‌شوند و میزان تغییرات چشمگیر است و زیاد. مثل بارهای زنده، فشار خاک روی دیوارهای حائل

بارهای لذا: آن دسته از بارهای هستند که در طول عمر سازه فقط چند بار اتفاق می‌افتند و در هر بار اتفاق هم مدت زمان اتفاق آن محدود است. مثل بار زلزله، بار باد، و یا آتش سوزی

(منظور از باد، بادهای شدید است نه بادهای معمولی)

بیشترین ضریب λ را آئین نامه برای بارهای زنده (دائمی متغیر) تعیین می‌کند و بعد از آن بارهای لذا است

لازمه کمتر بودن بارهای دائمی ثابت ضریب λ کوچکتری دارند.

$$\sum \lambda_i Q_i < \sum \phi_i R_i$$ L.R.F.D

ضرایب λ را آئین نامه مشخص می‌کند. ضریب ϕ هم آئین نامه مشخص می‌کند.

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

تقسیم بندی ، ساختمان براساس بارهایی که به آنها وارد می شود (طبق آئین نامه)

۱- ساختمان هایی که فقط دارای بارهای مرده و زنده اند. در حالت برای ضریب λ تعریف می کند.

حالت اول : فرض می کند، ساختمان فقط دارای بار مرده است. این حالت وقتی اتفاق می افتد که در ساختمان تغییرات انجام می دهند یا سازه در حال اجرا است.

λ ضریب ⇒ 1.4D (مرده)

میزان تغییرات بار ممکن است 40٪ بیشتر آن که هست، باشد.

حالت دوم : سازه در حال بهره برداری است. 1.25D + 1.5L (زنده)

چون مطمئن هستند در سازه اصلاحاتی وجود ندارد.

در حالت بالا برای سازه هایی هستند که تحت بارهای زنده و مرده اند. می توان گفت کدام یک از دو حالت تعیین کننده است. هرکدام را بیشتر در معادله قرار داده و رابطه را کنترل می نیم.

۲- ساختمان هایی که تحت بار مرده و زنده و تحت بار زلزله یا باد هم قرار می گیرند:

حالت اول : ساختمان در حال بهره برداری است. D + 1.2L + 1.2(E یا W) (باد و زلزله)

(ضریب بتن)

چون احتمال اتفاق افتادن هر دو زلزله و باد در یک زمان بسیار کم است بنابراین این را اضافه می کنند.

حالت دوم : زلزله و باد ممکن است در حال اجرای سازه اتفاق بیفتاند.

0.85D + 1.2(E یا W)

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

۳- ساختمان هایی هستند زیر تحت بار مرده و زنده و علاوه بر آن ها فشار مایع یا فشار خاک و ... اعمال می شود (مثل مخزن آب، بار مرده دارد فشار آب) (خد طبقه از ساختمان زیر زمین، فشار خاک بر آن وارد می شود)

حالت اول: در حال بهره برداری — مایعات، فشار خاک

$1.25(D+F)+1.5(L+S.P)$

حالت دوم: در حین اجراء

$0.85D+1.25F+1.5\,S.P$

۴- ساختمان هایی که تحت بار مرده و زنده اند و همچنین اثر دما، یا نشست تکیه گاهی یا فرش

T

حالت اول: در حین بهره برداری

$D+1.2L+T$

حالت دوم: در حین اجراء

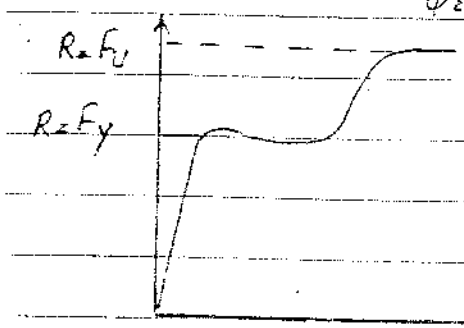
$1.25D+1.25T$

نکته * نیروهای زلزله و باد به کل سازه اعمال می شوند ولی اثر دما موضعی است.

برای سمت راست عادله در L.R.F.D ← $\phi_c 0.9$ (همیشه طراحی در ناحیه الاستیک ناقص)

ضریب ϕ برای در حالتی متغیر است.

برای مسائل جاری شدن $\phi_c 0.9$ برای مسائل پلاستیکی $\phi_c 0.75$

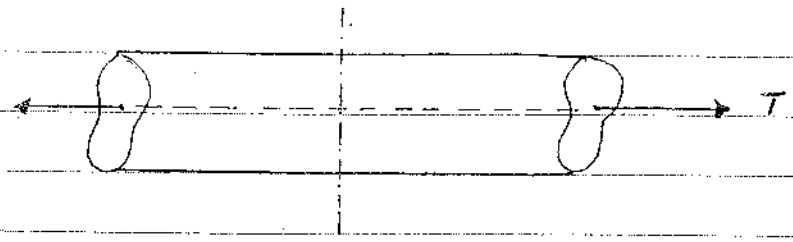


BIST

Subject:
Year: Month: Date:

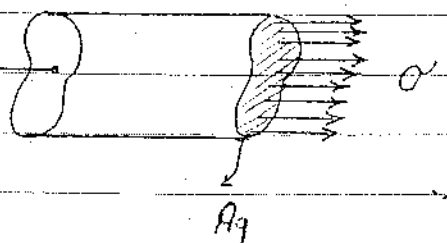
فصل دوم

اعضاء کششی: اعضایی هستند که فقط تحت نیروی محوری اند. و نیروی محوری کاملا منطبق بر میان تار است و به همین جهت نیروی محوری طوری است که در هر مقطع عمودی دلخواه تنش ها از نوع زوال و کشش می باشند.



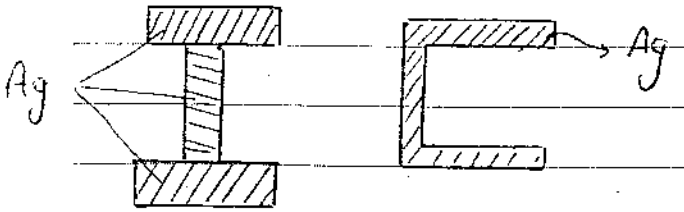
سه شرط مهم

۱- فقط نیروی محوری داشته باشد.
۲- نیروی محوری منطبق بر میان تار باشد.
۳- در هر مقطع عمودی دلخواه تنها از نوع زوال و کشش باشد.



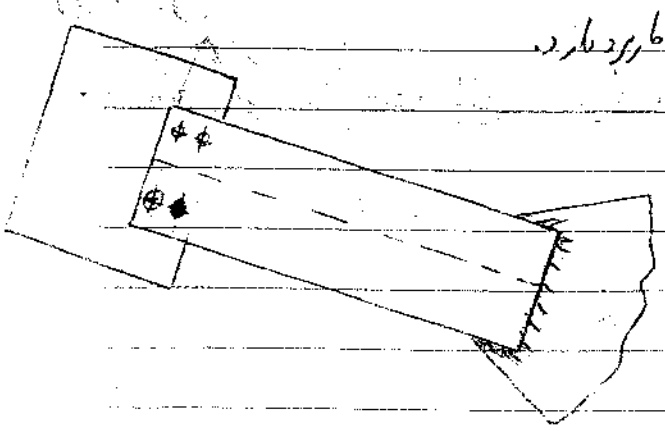
سطح مقطع کل یک عضو کششی Ag: برابر است با مجموع مساحت های قسمت های تشکیل دهنده آن عضو در یک مقطع عمودی

Gross Area



سطح مقطع خالص An: net Area

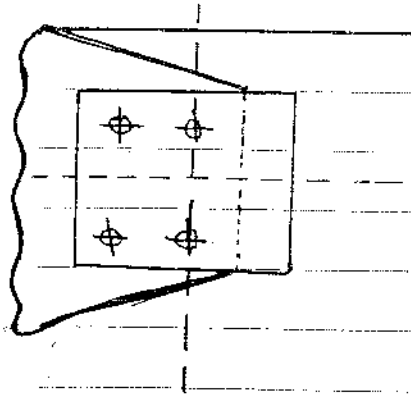
نقطه در مواردی به اتصال قطعه کششی از پیچ یا پرچ استفاده شود کاربرد دارد.



برای اتصال از طریق پیچ سوراخ هایی ایجاد می شود جهت بستن قطعه

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

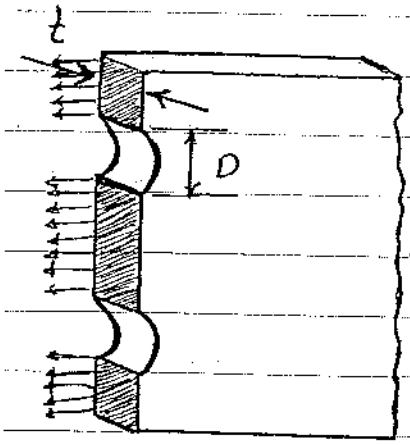
Subject:
Year: Month: Date:



$A_n = A_g - ($ سطح سوراخ ها در یک مقطع عمودی $)$

$A_n = A_g - m.D.t$

m: تعداد سوراخ
D: قطر سوراخ
t: ضخامت قطعه در محل تعبیه سوراخ پیچ

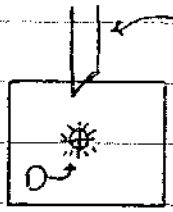


دو روش برای ایجاد سوراخ وجود دارد:

① روش استفاده از پانچ یا مشه (سوراخ زنی)

در روش پانچ در محل سوراخ ترک‌های ایجاد می‌شود و حاصل ضرب سمبه است.

ترک‌های ایجاد شده تنش تحمل می‌کنند.



قطر پیچ

$D = \Phi + 4mm$

قطر سوراخ محاسباتی

هل سوراخ ها نمی‌توانند تنش را انتقال دهند

② روش ایجاد سوراخ با مته یا دریل:

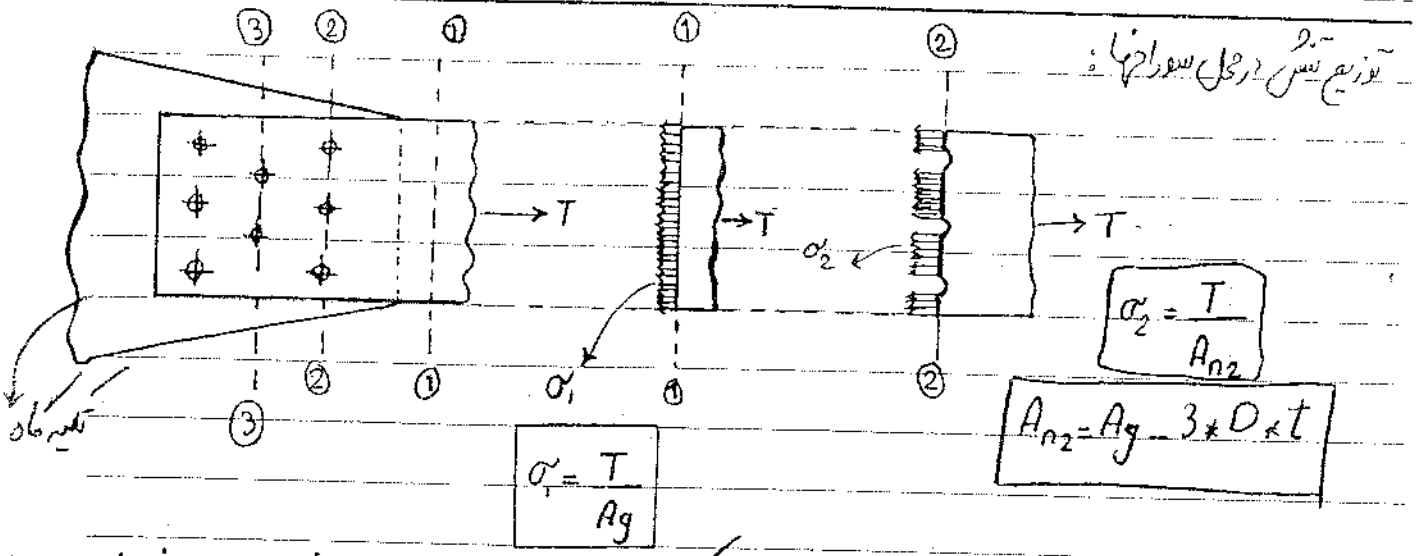
$D = \Phi + 2mm$

* باید مشخص کرد سوراخ کاری با پانچ است یا با دریل.

در مسائل کلاسی از رابطه $D = \Phi + 4mm$ استفاده می‌کنیم.

Subject:
Year: Month: Date:

توزیع تنش در مقاطع سوراخ‌ها:



$$\sigma_2 = \frac{T}{A_{n2}}$$

$$A_{n2} = A_g - 3 * D * t$$

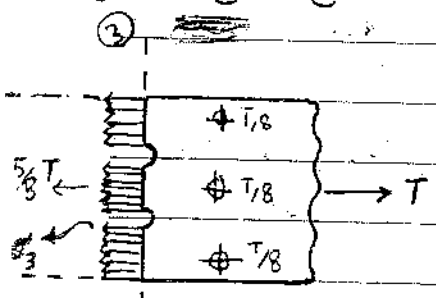
$$\sigma_1 = \frac{T}{A_g}$$

* با افزایش T، تنش لبه‌های پیچ‌ها افزایش می‌یابد تا جایی که به حد جاری شدن می‌رسند. در نهایت هم نقاط به حد جاری شدن می‌رسند و در نهایت توزیع تنش در ② ... ② یکنواخت می‌شود. این لحظه زمانی است که مقطع ② در حال انهدام است.

آئین‌نامه فرض می‌کند مقطع 2 به حالت انهدام می‌رسد و توزیع تنش یکنواخت می‌شود. با فرض نسبتی (انهدام) مقطع 2 توزیع تنش یکنواخت فرض می‌کنیم.

مقطع بحرانی: به آن مقطعی از یک عضو کششی که بیشترین تنش را داشته باشد، به آن مقطع، مقطع بحرانی می‌گویند.

همه مقاطع را بررسی می‌کنیم تا به مقطع بحرانی برسیم.



در مقطع 3، سه تا از پیچ‌ها را رد کردیم. وظیفه هر پیچ انتقال نیرو به تکیه‌گاه است.

پیچ‌ها دور از نیرو است، نیروی کمتری به آن می‌رسد.

با رمای که کل پیچ‌ها منهدم نشده‌اند، مقطعه منهدم می‌شود.

نیرو در مقطع ③ یک مقدار کمتر از T است $(\frac{5}{8}T)$

(تنش مقطع بیشترین است از مقطع سه ۳)

$$\sigma_3 = \frac{\frac{5}{8}T}{A_{n3}}$$

$$A_{n3} = A_g - 2 . D . t$$

تنش در مقطع چهار 4 کم‌تر است. دلیل مقطعی را پیدا کنید. ۱۰۰٪ نیرو (T) از آن عبور می‌کند. یعنی مقطع 4 و 3 پیچ بیشتر از مقطع 3 پیچ است.

$\frac{3}{8}T$

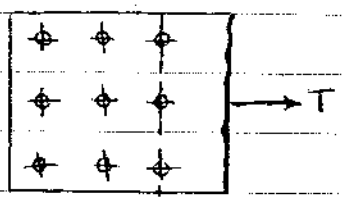
BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

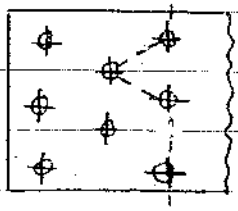
Subject:
Year: Month: Date:

نکته: در اتصالاتی که آرایش پیچ ها منظم است (همه پیچ ها در ردیف و ستونهای متشکل تراز باشند)

مقطع بحرانی همان مقطعی است که مقطع پیچهای ستون اول است.



در اتصالاتی که آرایش های نامنظم دارند (آرایش بعضی از پیچها از ردیف های مشترک جابجا شده اند) این آرایش ها نامنظم گویند یا زیگزاگ گویند.

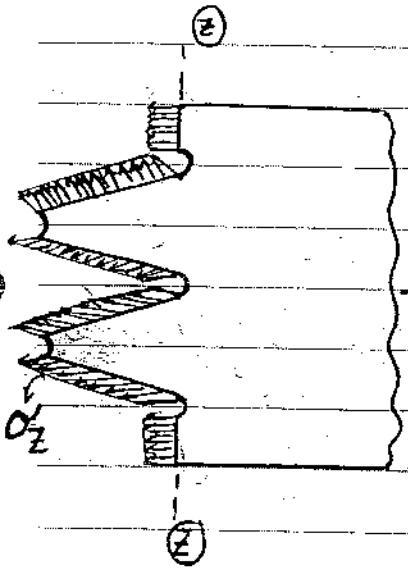


در آرایش های نامنظم پیچ های ستون اول احتمال دارد بحرانی نباشند

چون ممکن است مسیرهای پیدا کرد که 100٪ به آنها نیرو وارد نشود.

در تسلیل صفحه قبل باید مسیرهای زیگزاگ را هم بررسی کنیم.

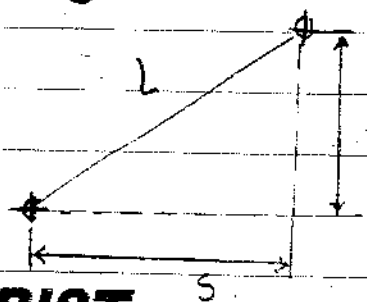
با فرض یکنواختی مقطع، تنش را یکنواخت فرض می کنیم.



برای هر مسیر مایل یکبار $\frac{s^2}{4g}t$ حساب شده به مقطع اضافه می کنیم.

$$\sigma_z = \frac{T}{A_{nz}}$$

$$A_{nz} = A_g - 5.D.t + \sum \frac{s^2}{4g} \times t$$



$$L = \sqrt{s^2 + g^2}$$

$$\Delta L = L - g = \sqrt{s^2+g^2} - g \simeq \frac{s^2}{4g}$$

$$\Delta A_z = \Delta L \times T = \frac{s^2}{4g} \times T$$

طبق آئین نامه

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

نیروی کشش در مقطع 2 بیشتر است یا در مقطع 2، چون به t و s بستگی دارد.

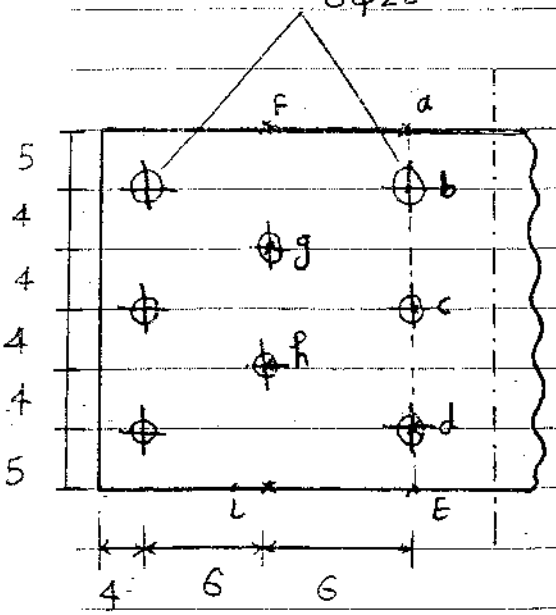
نتیجه‌گیری: اولاً در بال مقاطعی برای سیستم در بال مقطعی مستقیم تنش نیرو به آن وارد می‌شود.

دوماً از بین مقاطعی که 100٪ نیرو به آنها وارد می‌شود: مقطعی که سطح خالص آن از همه کمتر است، آن مقطع بحرانی است.

به مقطعی که سطح مقطع آن از همه کمتر است بیان سطح مقطع خالص بحرانی گویند.

مثال:

به عرض 26cm و ضخامت 1.5cm به عنوان یک عضو کششی توسط 8 پیچ (8 Φ22) به یک تکیه‌گاه متصل شده است سطح مقطع خالص بحرانی را محاسبه کنید.

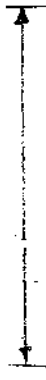


جواب: $A_n = 27.3\,cm^2$ (abcde)

سطح مقطع خالص شدن کسیختگی را نشان می‌دهد.

$t = 1.5$ cm

مسیر مایل فقط بین پیچ‌ها می‌باشد بین پیچ و سطح نمی‌باشد چون کوتاه‌ترین مسیر بین پیچ و سطح مسیر مایل است.



$A_g = 26 * 1.5 = 39\,cm^2$

A_n (abcdE) $= A_g - m.D.t \Rightarrow A_n$ (abcde) $= 39 - 3*2.6*1.5 \Rightarrow$ **$A_n = 27.3\,cm^2$ (abcde)**

A_n (abgcdE) $= 39 - 4*2.6*1.5 + 2\left(\frac{6^2}{16}\right)*1.5 = 30.15 \Rightarrow A_n = 30.15\,cm^2$ (abgcde)

A_n (abgchde) $= 39 - 5*2.6*1.5 + 4\left(\frac{6^2}{16}\right)*1.5 = 34.93$

$A_n = 33\,cm^2$ (abgchde)

BIST

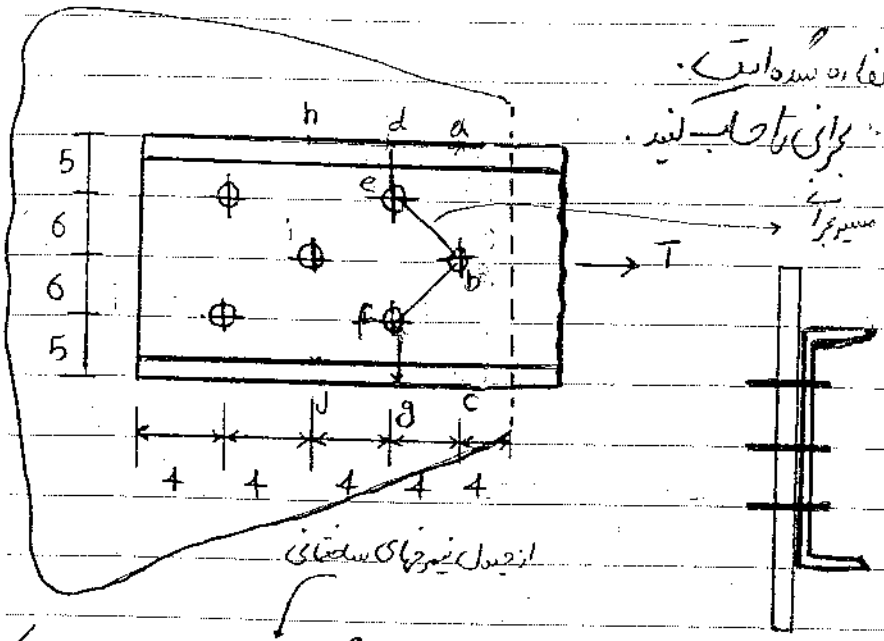
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

تمرین: برای اتصال پروفیل ناودانی UNP 220

به یک تکیه گاه از 6 ϕ 24 استفاده شده است.

سطح مقطع خالص برای هر مقطع برای را حساب کنید.



برای UNP 220 mm

از جدول نیمرخ های ساختمانی

سطح مقطع کل $\Rightarrow A_g = 37.4\ cm^2$ و $D = 24 + 4 = 28\ mm \Rightarrow D = 2.8\ cm$

(نیمرخ UNP220) از جدول نیمرخ های ساختمانی

$t_w =$

$$A_{n\,(abc)} = A_g - (m.D.t)$$

$$A_{n\,(abc)} = 37.4 - (1*2.8*0.9) \Rightarrow A_{n\,(abc)} = 34.88\ cm^2$$

$$A_{n\,(aebc)} = A_g - (m.D.t) + \sum\left(\frac{s^2}{4g}\right)t = 37.4 - (2*2.8*0.9) + \left(\frac{4^2}{4*5}\right)*0.9 + \left(\frac{4^2}{4*6}\right)*0.9 \Rightarrow A_{n\,(aebc)} = 33.68$$

$$A_{n\,(aebfc)} = A_g - (m.D.t) + \sum\left(\frac{s^2}{4g}\right)t = 37.4 - (3*2.8*0.9) + \left(\frac{4^2}{4*5}\right)*0.9 + \left(\frac{4^2}{4*6}\right)*0.9 + \left(\frac{4^2}{4*6}\right)*0.9 + \left(\frac{4^2}{4*5}\right)*0.9$$

$$A_{n\,(aebfc)} = 32.48\ cm^2$$

$$A_{n\,(debc)} = A_g - (m.D.t) + \sum\left(\frac{s^2}{4g}\right)*t = 37.4 - (2*2.8*0.9) + \left(\frac{4^2}{4*6}\right)*0.9 \Rightarrow A_{n\,(debc)} = 32.96\ cm^2$$

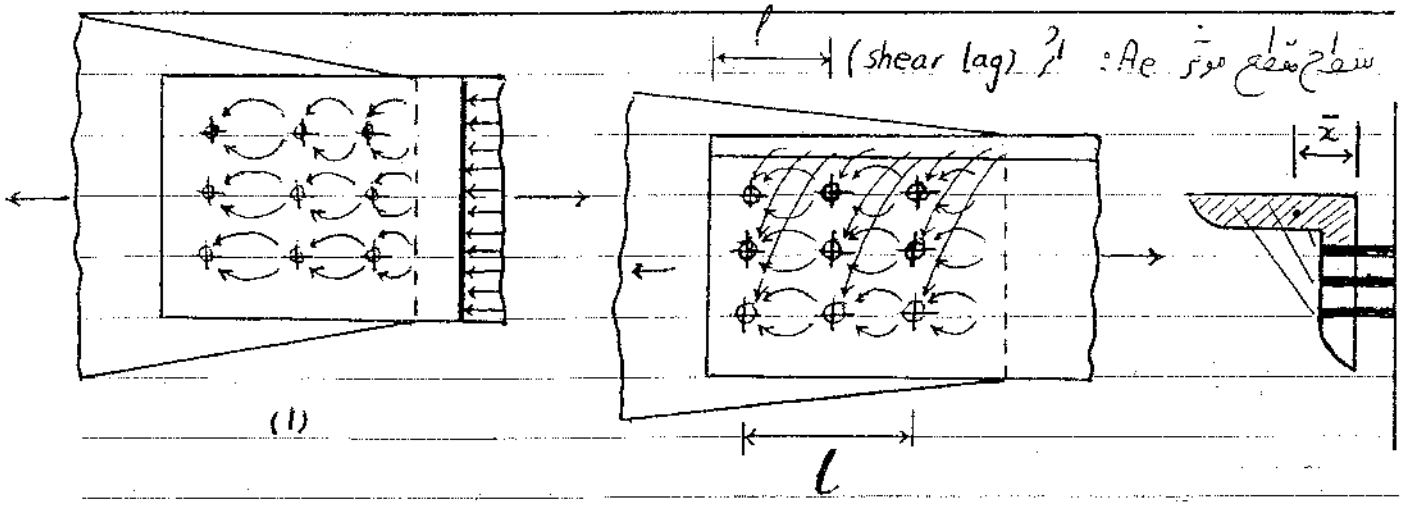
$$A_{n\,(debfc)} = A_g - (m.D.t) + \sum\left(\frac{s^2}{4g}\right)*t = 37.4 - (3*2.8*0.9) + \left(\frac{4^2}{4*6}\right)*0.9 + \left(\frac{4^2}{4*6}\right)*0.9 + \left(\frac{4^2}{4*5}\right)*0.9 \Rightarrow A_{n\,(debfc)} = 31.76\ cm^2$$

$$A_{n\,(debfg)} = A_g - (m.D.t) + \sum\left(\frac{s^2}{4g}\right)*t = 37.4 - (3*2.8*0.9) + \left(\frac{4^2}{4*6}\right)*0.9 + \left(\frac{4^2}{4*6}\right)*0.9 \Rightarrow A_{n\,(debfg)} = 31.04\ cm^2$$ ✓

BIST $A_{n\,(hebc)} = A_g - (m.D.t) + \sum\left(\frac{s^2}{4g}\right)*t = 37.4 - (2*2.8*0.9) + \left(\frac{4^2}{4*5}\right)*0.9 + \left(\frac{4^2}{4*6}\right)*0.9$

$A_{n\,(hebc)} = 33.68\ cm^2$

Subject:
Year: Month: Date:



تنش در شکل (1) به سمت پیچ ها منحرف می شود به آن برید (shear lag) یا بهم خوردن توزیع تنش در محل اتصال گویند.

در اتصال (2) قبل از ناحیه اتصال توزیع تنش یکنواخت است ولی وقتی به ناحیه اتصال می رسیم، تنش ها شمال می شوند به سمت پیچ ها. تنش های سمت آزاد هم به سمت پیچ ها اشتال می یابند. اشتغالی نسبت به شکل (1) بیشتر است.

shear lag وقتی بوجود می آید قسمتی از مقطع به ناحیه اتصال، متصل نشود.

shear lag به عامل بسیار مهم بستگی دارد: 1- ابعاد قسمت آزاد $S.L \propto \bar{x}$ (ابعاد بزرگتر S.L بزرگتر)

2- طول ناحیه اتصال. طول ناحیه اتصال (در اتصال پیچی) فاصله آکس سوراخ اول تا آکس سوراخ آخر است. در اتصال جوش، طول جوش مساوی با نیرو. هرچه قدر طول ناحیه اتصال بزرگتر، تمرکز تنش کمتر است.

$$S.L \propto \frac{1}{l} \Rightarrow S.L \propto \frac{\bar{x}}{l}$$
$$S.L \propto \bar{x}$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

سطح مقطع مؤثر A_e نشان دهنده اثر shear lag

نکته: در اتصالات پیچی A_e به A_n ضرب می‌شود ولی در اتصالات جوشی به A_g ضرب می‌شود.

$$A_e = U A_n$$

$$U \leq 1.0$$

اتصالاتی که S.L ندارند $\Rightarrow U = 1.0$

اتصالاتی که S.L دارند $\Rightarrow U < 1.0$

برای بدست آوردن U از آئین نامه کمک می‌گیریم:

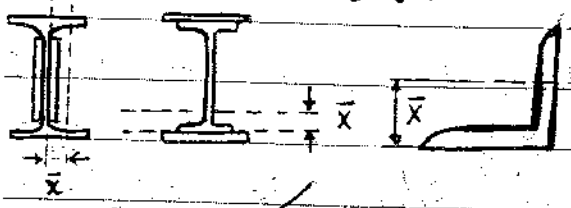
$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$$

ضرایب تأخیر برش، U صفحه 163 مبحث دهم

ردیف ۱ - کلیه اعضای کششی که در آنها بار بوسیله پیچ، پرچ و یا جوش مستقیماً به کلیه اجزای مقطع منتقل گردد (به غیر از حالت 6، 3، 5، 7)

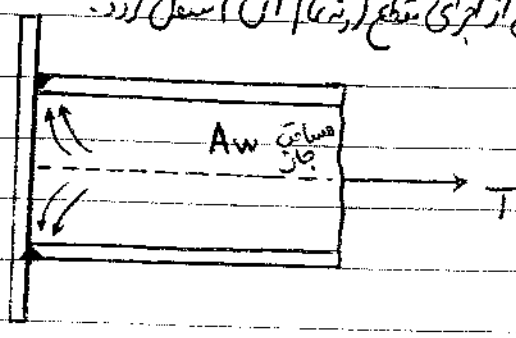
$$U = 1.0$$

ردیف ۲ - کلیه اعضای کششی (به غیر از نبشی‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آنها بار بوسیله پیچ، پرچ و یا جوش توسط متصل از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.



$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$$

ردیف ۳ - کلیه اعضای کششی که در آنها بار فقط بوسیله جوش عرضی و توسط تمامی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.



$$A_e = U \times A_g$$

$$U < 1.0$$

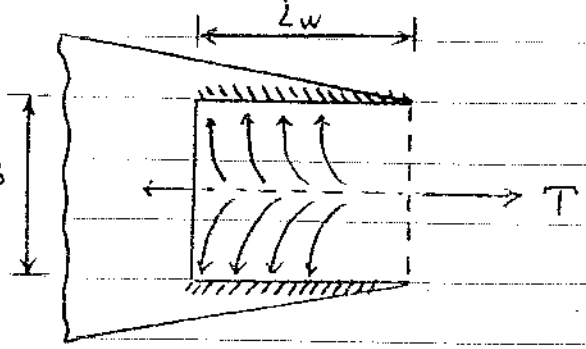
$$A' = A_g - A_w$$

$$A_e = 1 \times A'$$

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

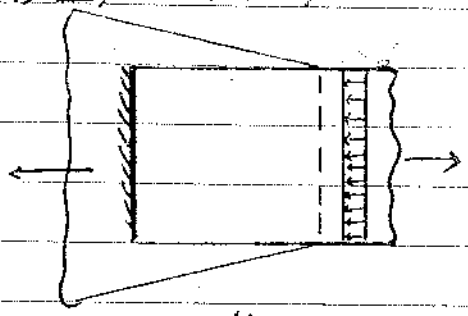
ردیف ۴ ـ شیم‌های کششی که با جوش‌های طولی در لبهٔ پروفیل (راستای تنش) متصل‌اند. در این حالت طول جوش‌ها نباید از فاصلهٔ عمودی بین آن‌ها (پهنای شیم) کمتر باشد. مگر از جوش‌های انگشتانه و کام در حد فاصل دو لبه استفاده شده باشد.



$B \leq L_w < 1.5B \Rightarrow U = 0.75$

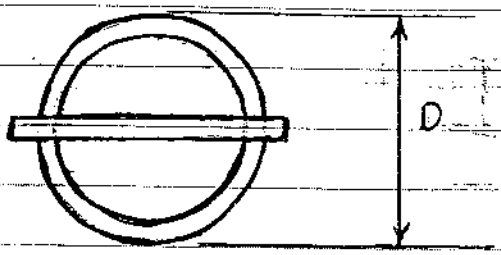
$1.5B \leq L_w < 2B \Rightarrow U = 0.87$

$L_w \geq 2B \Rightarrow U = 1.0$



انحرافی نداریم برای تنش $U = 1.0$

ردیف ۵ ـ در مقاطع لوله‌ای یا یک ورق اتصال هم خود، به شان طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.



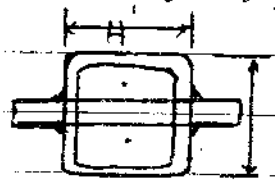
$D \leq L < 1.3D \Rightarrow U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$

$L \geq 1.3D \Rightarrow U = 1.0$

$\bar{x} = \frac{D}{\pi}$

ردیف ۶ ـ در مقاطع توخالی شکل

چنانچه اتصال تنها به یک یک ورق هم خود صورت گیرد، طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.



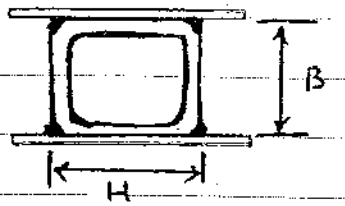
$L \geq H \qquad U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$

$\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

چنانچه اتصال به یک جان در یک اتصال دوردو وجه صورت گیرد در آن طول جوش ها نباید از H کمتر باشد.

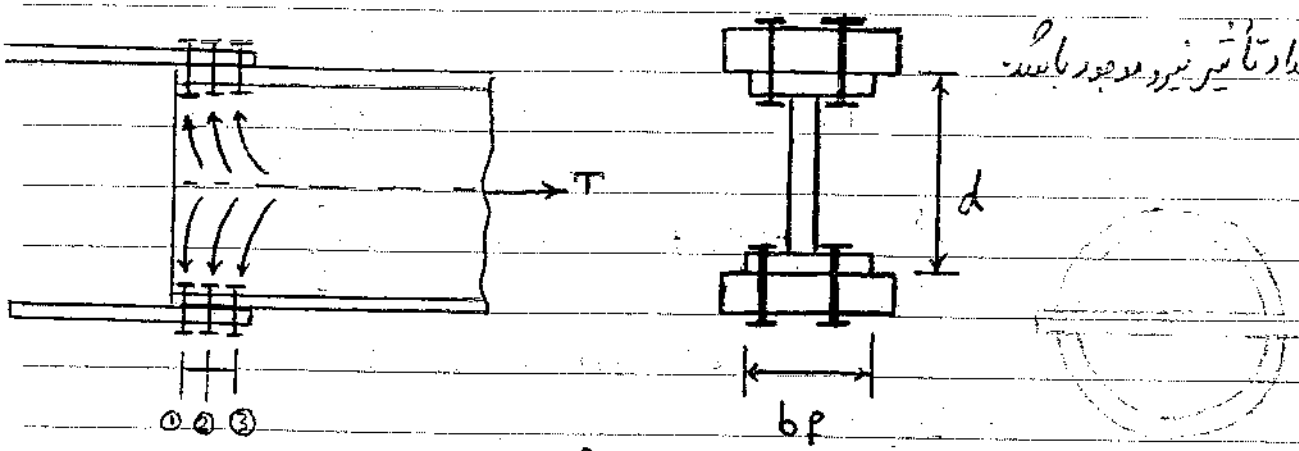


$l \geq H \qquad U = 1 - \frac{\bar{X}}{L}$

$$\bar{X} = \frac{B^2}{4(B+H)}$$

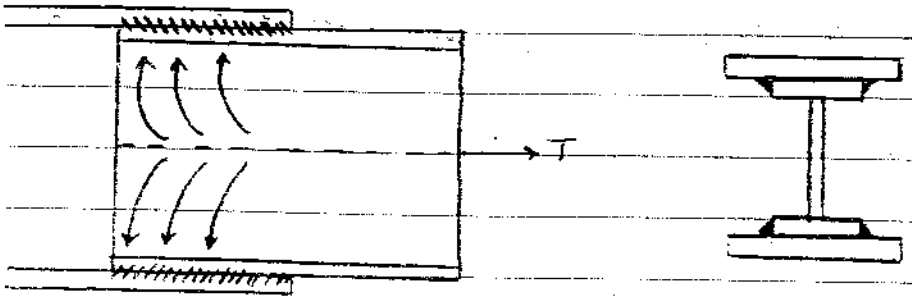
ردیف ۷ - در سرخ های I نورد شده و سری T بریده شده از آنها و همچنین سرخ های دیگری نظیر بال پهن، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجازی باشد.

در اتصالات جوشی پیچی یا پرچی ممکن است اتصال از طریق بال ها برقرار شده و حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.



بال پهن $bf \geq \frac{2}{3} d \rightarrow U = 0.90$

عمومی $bf < \frac{2}{3} d \rightarrow U = 0.85$

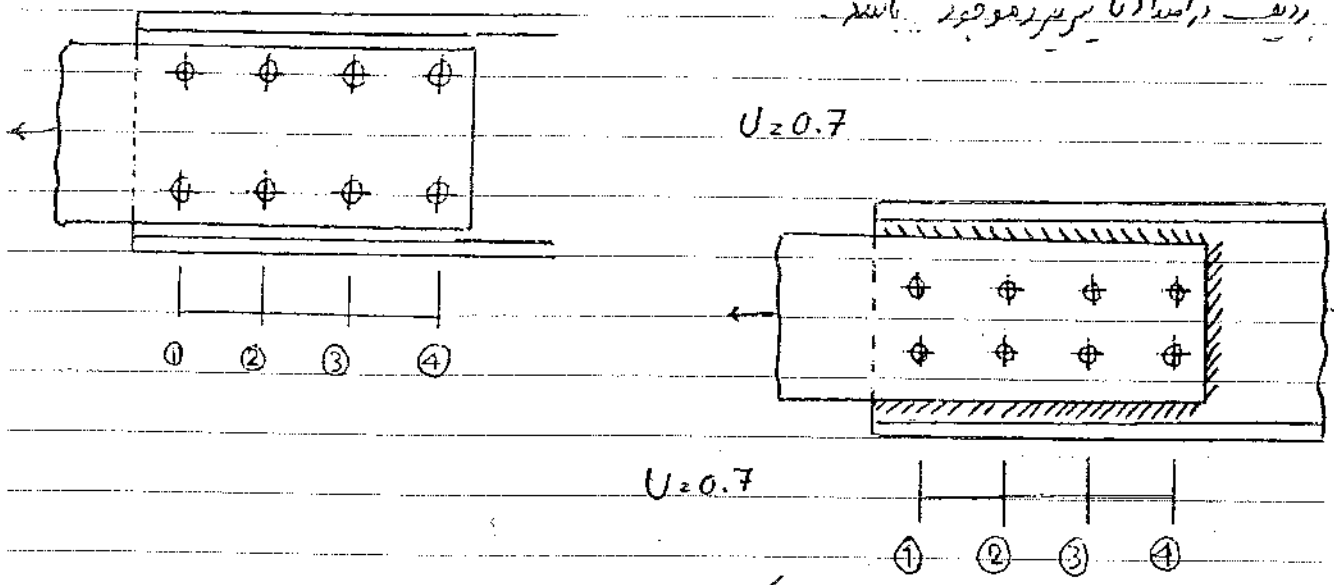


همین مقادیر بالا صادق است

BIST

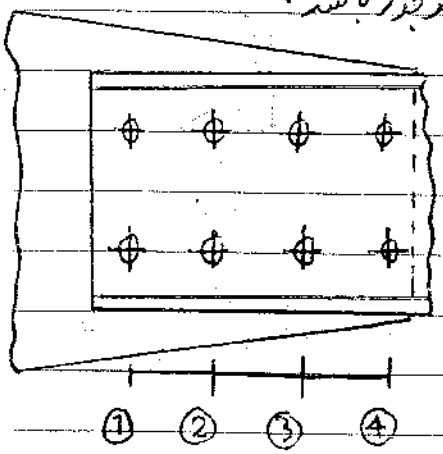
Subject:
Year: Month: Date:

در اتصالات جوشی، پیچی یا پرچی در صورتی که اتصال از طریق جان برقرار شده و حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.

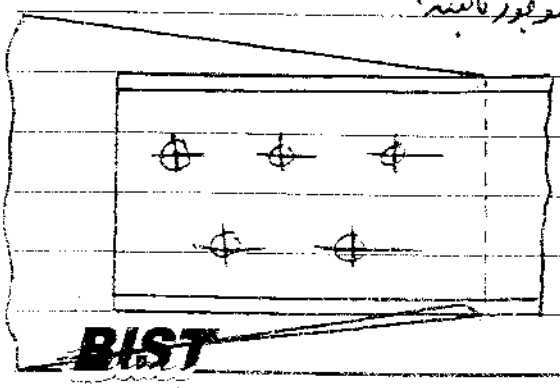


ردیف ۸- در تیرهای تک جانبی در صورتی که توسط یک بال متصل شده باشند.

چنانچه حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.



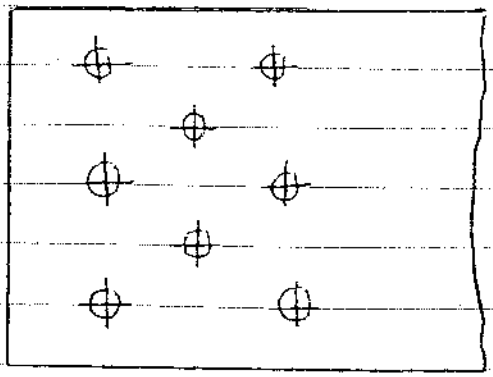
چنانچه در پاسه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.



www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: در ستاره‌های قبلی سطح مقطع موثر را محاسبه نمایید.



جواب مثال یک:

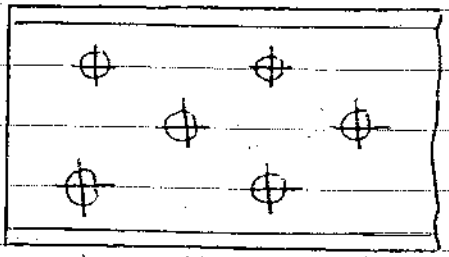
$A_g = 39\ cm^2$

$A_n = 27.3\ cm^2$ برابر

$A_e = U \cdot A_n$

$U = 1.0$ $\Rightarrow A_e = 1 * 27.3 = 27.3\ cm^2$

جواب مثال دو:



$A_g = 37.4\ cm^2$

$A_n = 31.04\ cm^2$ برابر

$A_e = U \cdot A_n$

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ ← تا اولین آکس اول

$l = 12\ cm$ طول آکس سوراخ اول تا آکس سوراخ آخر

$e_y = \bar{x} = 2.14$ ← فاصله مرکز ثقل تا خط اول پیچ‌ها

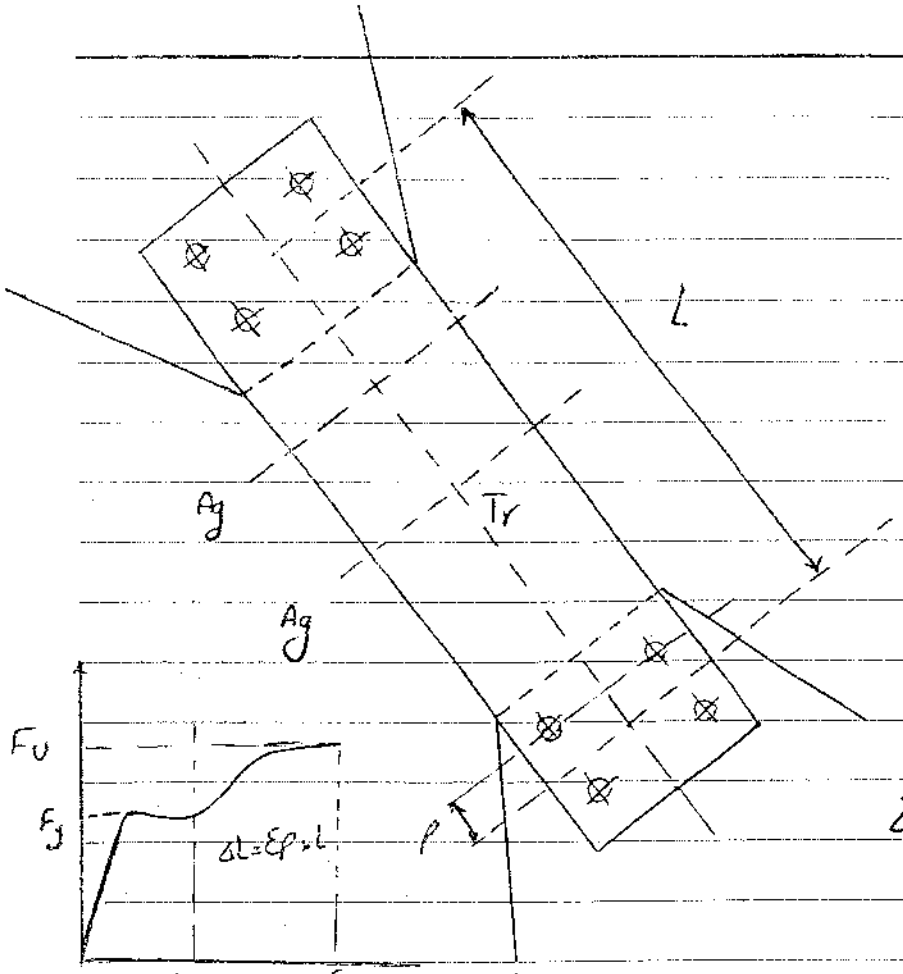
$U = 1 - \frac{2.14}{12} = 0.82$

$A_e = U \cdot A_n \Rightarrow A_e = 0.82 * 31.04 \Rightarrow A_e = 25.45\ cm^2$

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

ضوابط طرح عضو کششی



$$\sum \lambda_i Q_i \leq \sum \phi_j R_j$$

ضوابط آئین نامه

۱) تنش در سطح مقطع کل نباید - جاری شدن برسد.

$$1)\ \sigma = \frac{Tr}{Ag} \leq \phi . Fy \Rightarrow \boxed{Tr_1 \leq 0.9 F_y . Ag}$$

$\phi = 0.9$ ← معیار کنترل جاری شدن

۲) ناحیه اتصال هم باستی کنترل شود

$$2)\ \sigma = \frac{Tr}{Ae} \leq \phi . F_U$$

ناحیه اتصال می تواند تاهنرهای تنشی عمل بکند.

$\phi = 0.75$

$$\boxed{Tr_2 \leq 0.75 F_U . A_e}$$

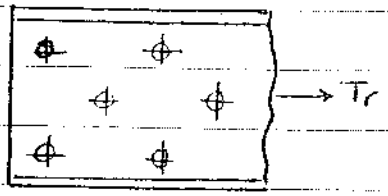
معیار کنترل گسیختگی ناحیه اتصال

نهایت $Tr = \min \{Tr_1, Tr_2\}$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: ادامه مثالهای قبلی



UnP220

$A_g = 37.4\ cm^2$

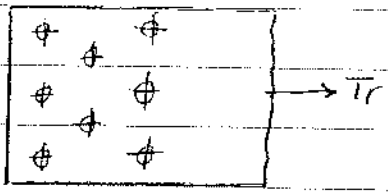
$A_n = 31.04\ cm^2$ برای

$A_e = 25.45\ cm^2$

$T_{r_1} \leq 0.9 * 2400 * 37.4 = 80784\ kg$

$T_{r_2} \leq 0.75 * 3600 * 25.45 = 68715\ kg$

$T_r = 68715\ kg$ ✓



$A_g = 39\ cm^2$

$A_n = 27.3\ cm^2$ برای

$A_e = 27.3\ cm^2$

$T_{r_1} \leq 0.9 * 2400 * 39 = 84240\ kg$

$T_{r_2} \leq 0.75 * 3600 * 27.3 = 73710\ kg$

$T_r = 73710\ kg$ ✓

طرح عضو کششی

T_r محاسبه

I) $T_r \leq 0.9 F_y . A_g$

II) $T_r \leq 0.75 F_u . A_e$

1 گام: $A_g \geq \frac{T_r}{0.9 F_y}$

2 گام: انتخاب پروفیل اقتصادی از جدول

3 گام: II کنترل معیار

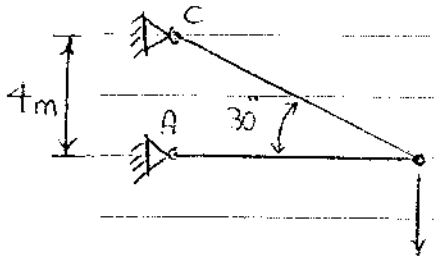
اگر $T_r \leq 0.75 F_u . A_e$ ⟶ End

BIST اگر $T_r \leq 0.75 F_u . A_e$ نبود پروفیل 2 گام بعدی تکرار گام 3

35

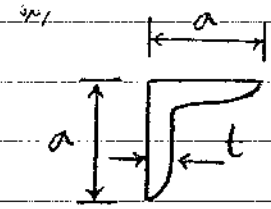
Subject:
Year: Month: Date:

مسئله ۱) در سازه مقابل المان BC را از پروفیل نبشی طراحی کنید.

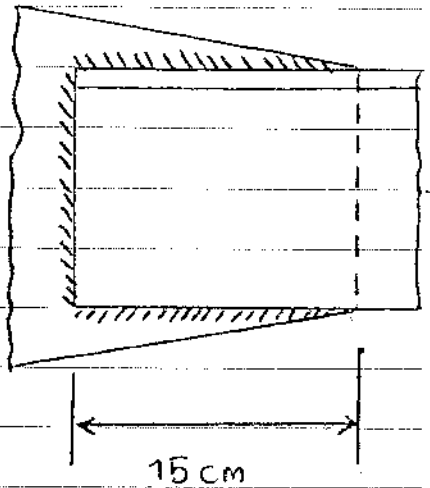


$P_D = 20\,T$

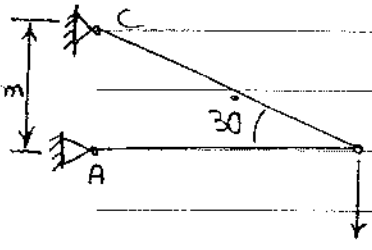
$P_L = 12\,T$



$l \; a \times a \times t$



حل:



برای سازه‌های زیر تحت بار زنده دوره‌ای

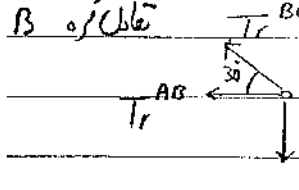
ترکیبات بار ⇒ $P_r = 1.4 * 20 = 28\,T$

$P_r = 1.25 * 20 + 1.5 * 12 = 43\,T$

چون با 28T ، 43T در یک نقطه‌اند

بنابراین 28T دیگر تعیین کننده نیست.

تعادل گره B



$\uparrow + \Sigma F_y = 0 : \; T_r^{BC} * \sin 30^\circ - 43 = 0 \Rightarrow T_r^{BC} = \frac{43}{\sin 30} \Rightarrow T_r^{BC} = 86$

عضو BC یک عضو فشاری است.

1 گام: $A_g \geq \frac{T_r}{0.9 F_y} \Rightarrow A_g \geq \frac{86000}{0.9 * 2400} = 39.81\ cm^2$

2 گام: Use: $l\,130 * 130 * 16$ $\quad A_g = 39.3$

$\frac{39.81 - 39.3}{39.81} = 0.012 < 0.02$ ✓

3 گام: کنترل حالت II $\quad T_r \leq 0.75 F_u . A_e$

$A_e = \frac{U . A_g}{J}$ | $U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$

$A_e = 0.74 * 39.3 = 29.08$ | $L = 15cm$ ⇒ $U = 1 - \frac{3.8}{15} = 0.74$

$T_r = 86000 \leq \frac{0.75 * 3600 * 29.08}{J} = 78516$ | $\bar{x} = e = 3.80$

طراحی نهایی

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

Use : L 140 * 140 * 15 $A_g = 40$ $e = 4.0$

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \Rightarrow U = 1 - \frac{4.0}{15} \Rightarrow U = 0.73$

$A_e = U * A_g \Rightarrow A_e = 29.2$

$T_r = 86000 \leqslant 0.75 * 3600 * 29.2 = 78840$

جواب نمی دهد

Use : L 150 * 150 * 15 $A_g = 43$ $e = 4.25$

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \Rightarrow U = 1 - \frac{4.25}{15} \Rightarrow U = 0.71$

$A_e = U * A_g \Rightarrow A_e = 30.53$

$T_r = 86000 \leqslant 0.75 * 3600 * 30.53 = 82431$

جواب نمی دهد

Use : L 150 * 150 * 16 $A_g = 45.7$ $e = 4.29$

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{4.29}{15} \Rightarrow U = 0.71$

$A_e = U * A_g \Rightarrow A_e = 32.44$

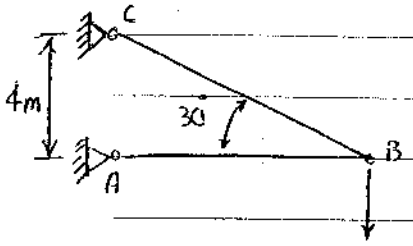
$T_r = 86000 \leqslant 0.75 * 3600 * 32.44 = 87588$ kg ✓

ok

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

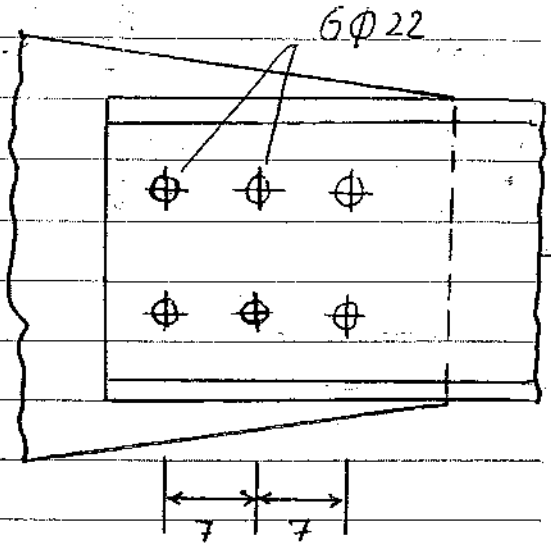
مسئله 2: در سازه مقابل المان BC را از پروفیل ناودانی طراحی نمائید.

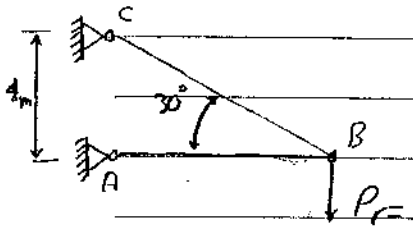


$P_D = 20\,T$

$P_L = 12\,T$

ترکیب بار ⇒
$P_r = 1.4 * 20 = 28\,T$
$P_r = 1.25 * 20 + 1.5 * 12 = 43\,T$

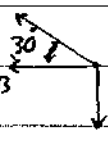




$P_r = 43\,T$

T_r^{BC}

B تعادل گره



$\uparrow + \sum F_y = 0 : T_r^{BC} * \sin 30 - 43 = 0$

$T_r^{BC} = 86$

1 گام: $A_g \geq \frac{T_r}{0.9 F_y} \Rightarrow A_g \geq \frac{86000}{0.9 * 2400} = 39.81\,cm^2$

2 گام: Use: UNP 240 $A_g = 42.3$ ✓ $t_w = 0.95$ ✓

3 گام: $T_r \leq 0.75 F_u . A_e$ $A_e = U . A_n$

برای A_n: $A_n = 42.3 - 2 * 2.6 * 0.95 \Rightarrow A_n = 37.36\,cm^2$ $e = 2.23$ ✓

$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{2.23}{14} \Rightarrow U = 0.84$

$A_e = U * A_n \Rightarrow A_e = 31.38$

$T_r = 86000 \leq 0.75 * 3600 * 31.38 = 84726$ جواب نمی دهد

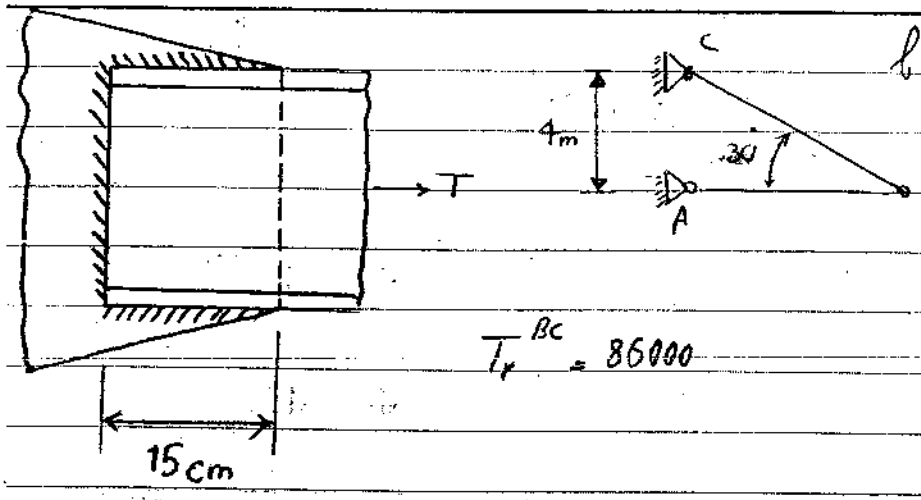
$\frac{86000 - 84726}{86000} = 0.015 < 0.02$

با خطای کمتر از 2٪ قابل قبول است

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

مسئله: در میله فولادی المان BC را از پروفیل نبشی طراحی کنید؟



$T_r^{BC} = 86000$

گام اول: $A_g \geq \frac{T_r}{0.9 F_y} \Rightarrow A_g \geq \frac{86000}{0.9 \times 2400} = 39.81\ cm^2$

گام دوم: Use: UNP 240 $A_g = 42.3$

گام سوم: کنترل حالت II: $T_r \leq 0.75 F_u . A_e$ $A_e = U . A_g$ ، $U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = e = 2.23$

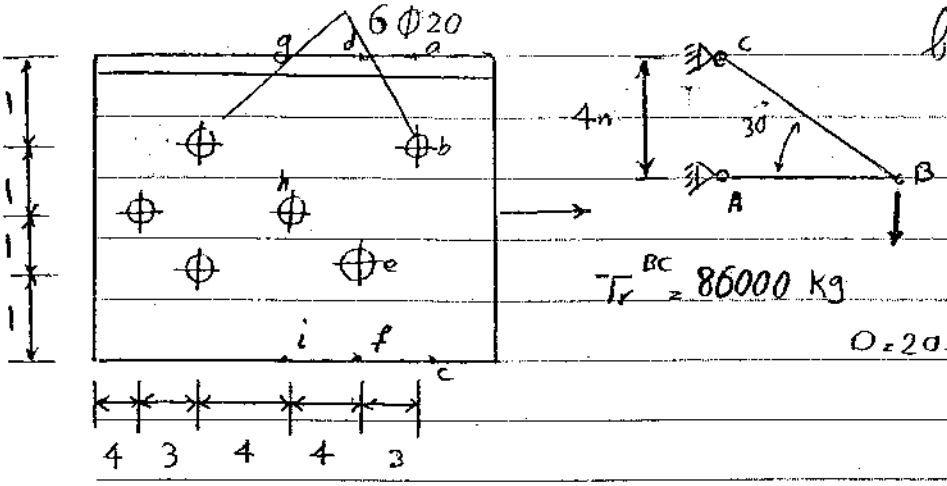
$l = 15cm$

$U = 1 - \frac{2.23}{15} = 0.85 \Rightarrow A_e = 0.85 \times 42.3 = 35.96 \Rightarrow A_e = 35.96$

$T_r = 86000 \leq 0.75 \times 3600 \times 35.96 = 97092 \rightarrow OK$

جواب قابل قبول است.

Subject:
Year: Month: Date:



مسئله: دربازه تکیه گاهی BC از پروفیل نبشی طراحی کنید؟

$T_r^{BC} = 86000\ kg$

$O = 20 + 4 = 24 = 2.4cm$ ✓

گام ۱: $A_g \geq \frac{T_r}{0.9 * F_y} \Rightarrow A_g \geq \frac{86000}{0.9 * 2400} = 39.81\ cm^2$

$\frac{39.81 - 39.3}{39.81} = 0.012 < 0.02$ ✓

گام ۲: Use: L 130 * 130 * 16 $A_g = 39.3$

گام ۳: $T_r \leq 0.75\ F_u . A_e$ $A_e = U . A_n$ $A_n = A_g - (m . D . t) + \Sigma\left(\frac{s^2}{4g}\right) * t$

$A_n = A_g - (m . D . t) + \Sigma\left(\frac{s^2}{4g}\right) * t = 39.3 - (3 * 2.4 * 1.6) + \frac{7^2}{4 * 11}$

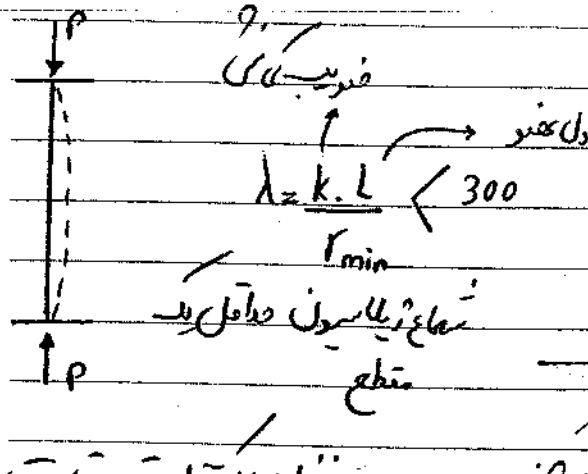
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

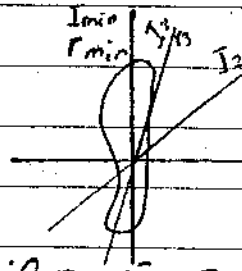
Subject:
Year: Month: Date:

معیار لاغری: نسبت یک عضو در برابر کمانش را نشان می‌دهد.

کمانش: کمانش یک نوع ناپایداری است که در اثر تنش‌های فشاری بوجود می‌آید. اعضاء سنسوری شکل

اثر تحت فشار قرار بگیرند ممکن است علاوه بر جاری شدن، کمانش دیده و دیده دیگری بنام کمانش ناپایدار شوند.





هرچقدر پارامتر لاغری بزرگتر باشد، عضو لاغرتر است و مقاومت آن در برابر نیروی فشاری کمتر است. مقاومت در برابر کمانش کمتر است. هرچقدر لاغری کوچکتر مقاومت در برابر کمانش بیشتر است.

کمانش در اعضای کششی مطرح نیست.

نکته: به دلیل مسائل نصب و حمل و نقل یک حداقل لاغری برای یک سری از اعضای فشاری در نظر گرفته می‌شود.

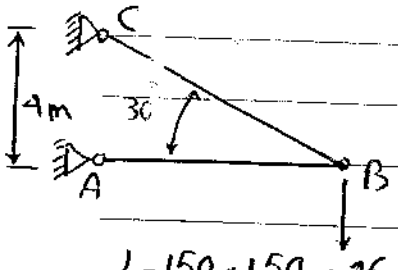
در برابر این نیروها باید عضو کمانه نکند. بنابراین در همه اعضاء کششی معیار لاغری هم کنترل می‌شود.

در همه مسائلی که طول مشخص است لاغری هم باید مشخص شود.

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

مسئله ۳: در مسئله ۳ صفحه 361 مشخصات لاغری هم کنترل شود.

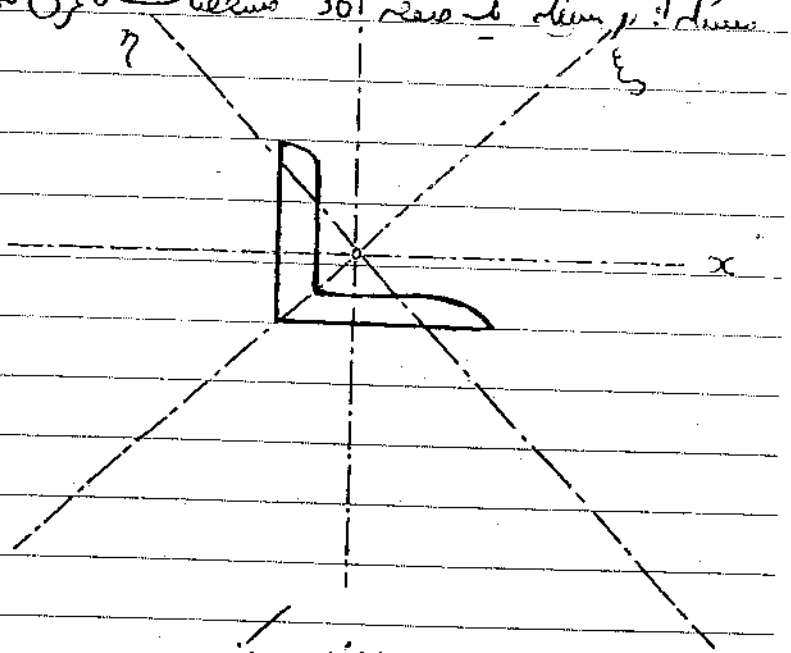


$L = 150 \times 150 \times 16$

$l_{BC} = \frac{4}{\sin 30^\circ} = 8m$

$r_{min} = i_\eta = 2.93\ cm$

$\lambda = \frac{800\ cm}{2.93} = 273 < 300$ ok



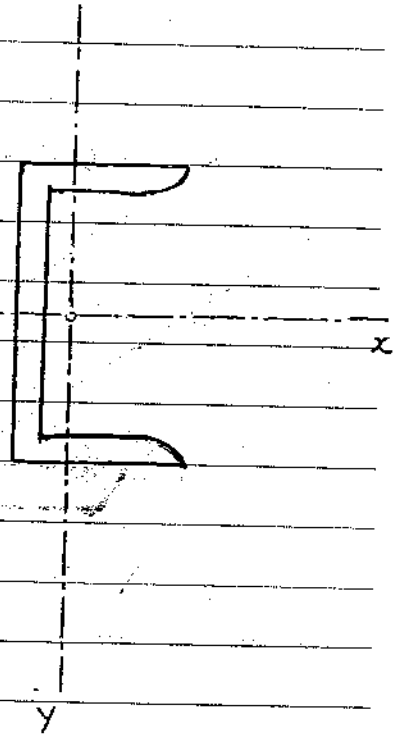
این η و ξ محور min را مشخص می‌کنیم.

مسئله ۴: در مسئله ۳ صفحه 38 مشخصات لاغری هم کنترل شود.

UNP 240

$r_y = r_{min} = 2.42$ ✓ $= i_y$ ← (NO) (در صورتی که در جدول نباشد)

$\lambda = \frac{L}{r_{min}} \Rightarrow \lambda = \frac{800}{2.42} = 330 \not< 300$



نسبت به x: max

نسبت به y: min

$r_y = r_{min}$ بنابراین

UNP 260

$r_y = 2.56$ $\lambda = \frac{800}{2.56} = 312.5 < 300$ X (NO) (در این رد شد)

UNP 280

$r_y = 2.74$ $\lambda = \frac{800}{2.74} = 291 < 300$ ✓ OK

در مسئله دو صفحه 38 جواب UNP280 می‌شود

چون UNP240 و UNP 260 برای لاغری جواب نمی‌دهد.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

مقاطع مرکب: مقاطعی است که از اتصال چند پروفیل با شکل‌های مختلف به هم تشکیل می‌شود.

گاهی نیروهای وارد بر اعضا به اندازه‌ای است که یک پروفیل موجود در جدول و یا یک پروفیل موجود در بازار جواب‌گوی نیروی وارده نمی‌شود، در این شرایط دو یا چند پروفیل را در کنار هم قرار می‌دهند تا شکل‌های مختلف مقاطع مرکب را بسازند.

[illegible]

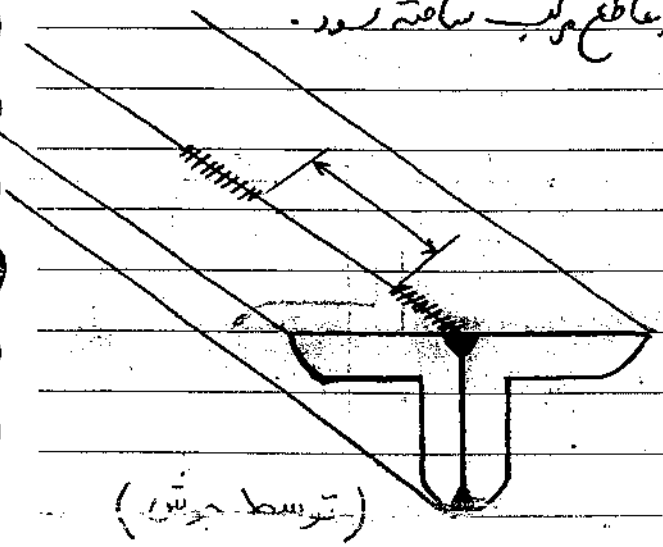
[illegible] می‌شود در نتیجه ممان اینرسی بزرگتر [illegible]

نکته: تنها مشکل مقاطع مرکب هزینه ساخت آنها است. احتیاج به یک سری وسایل اتصال دارد (جوش، پرچ، پیچ و ...) همچنین از نظر زمان ساخت زمان بر است بنابراین ساخت مقاطع مرکب غیر اقتصادی است.

نکته: حتما سعی شود از یک پروفیل استفاده شود، اگر نشد از مقاطع مرکب ساخته شود.

انواع مقاطع مرکب:

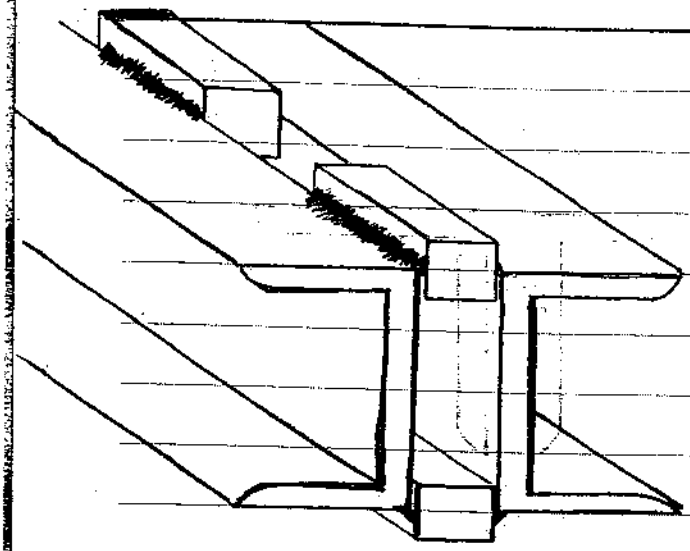
۱- مقطع مرکب با بال موازی



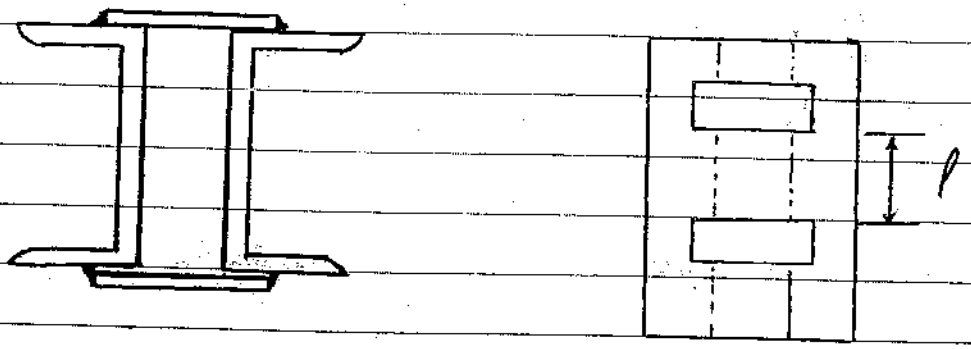
(توسط جوش)

Subject:
Year: Month: Date:

۲- مقطع مرکب ساخته شده با لقمه



۳- مقطع مرکب ساخته شده با قید یا تسمه



نکته: از فاصله آزاد بین تسمه ها، لقمه ها و بوش ها بیشتر یا تسمه ممکن است هر دو فیل - تنها یی عمل بلند یعنی مشترک عمل نکنند.

برای طراحی مقطع مرکب، روش طراحی هیچ فرقی با مقاطع تکی ندارد، روش ها همان است، تنها اختلافی است که هر جا از مشخصات هندسی لازم با تسمه، مشخصات هندسی مقطع مرکب را باید جایگزین بکنیم.

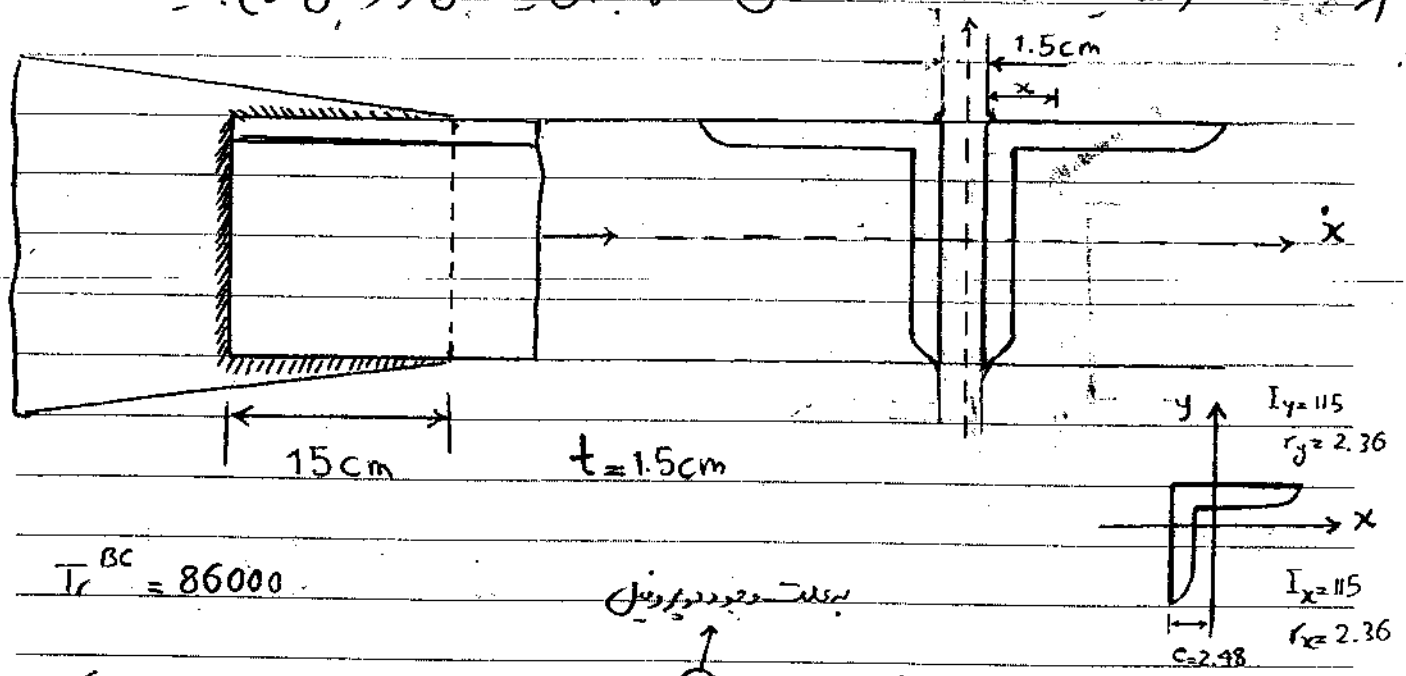
ابعاد تسمه ها، قیدها و لقمه ها در محاسبات سطح مقطع نقش ندارند.

نظر به بند درجه 166 و بند 167 آئین نامه مبحث دهم

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

مسئله: در مسئله یک صفحه 36، آلیاژ BC را به جای یک نبشی از دو نبشی طراحی بدهید.



$T_r^{BC} = 86000$ — به علت وجود دو نبشی

$\frac{1}{2}$

1گام: $A_g \geq \frac{T_r}{0.9 f_y} \Rightarrow A_g \geq \frac{86000}{0.9 \times 2400} \times \frac{1}{2} = 19.9\ cm^2$

2گام: Use: 2L 80×80×14 $A_g = 20.6\ cm^2$

$\frac{19.9 - 19.2}{19.9} = 0.035$ قابل قبول نیست

3گام: II, کنترل مقاومت $T_r \leq 0.75 f_u A_e \Rightarrow 86000 \leq 0.75 \times 3600 \times A_e$

$A_e = U \cdot A_g$ $\quad U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$, $\bar{x} = e = 2.48$ $\Rightarrow U = 1 - \frac{2.48}{15} \Rightarrow U = 0.83$

$A_e = 2(0.83 \times 20.6) \Rightarrow A_e = 34.19$

$T_r = 86000 \leq 0.75 \times 3600 \times 34.19 = 92313$ ⟶ ok

کنترل لاغری ←

$\frac{L}{r_{min}} = \frac{800}{?} \leq 300$ $\quad r_{min} = ?$

$T_x = 2 T_x$, $A = 2A$, $\Rightarrow r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{115}{20.6}} = 2.36$

$I_y = 2 I_y + A d^2$

$= 2 \times 115 + 2 \times 20.6 \times (2.48 - 0.75)^2 = 659.83$

$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \Rightarrow r_y = \sqrt{\frac{659.83}{2 \times 20.6}} = 4.0$

45

Subject:
Year: Month: Date:

$l_{BC} = 800$ cm
$r_{min} = 2.36$ $\Rightarrow \lambda = \frac{l}{r_{min}} = \frac{800}{2.36} = 339 \not< 300$

جواب نمی‌دهد.

$L = 110 * 110 * 10$ $A_g = 21.2$ $\bar{x} = e = 3.07$ $I_x = I_y = 239$ ✓
$r_x = r_y = 3.36$ ✓

$I_y = 2I_y + Ad^2 \rightarrow I_y = 2 * 239 + 2(21.2)(3.07 + 0.75)^2 = 1096.72$

$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A*2}} = \sqrt{\frac{1096.72}{2 \times 21.2}} = 5.08$

$l_{BC} = 800$ cm
$r_{min} = 3.36$ $\Rightarrow \lambda = \frac{l}{r_{min}} = \frac{800}{3.36} = 238 < 300$ $\longrightarrow$ Ok جواب

$A_e = U * A_g$ $U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$ $\bar{x} = e = 3.07$ $\Rightarrow U = 1 - \frac{3.07}{15} = 0.79$

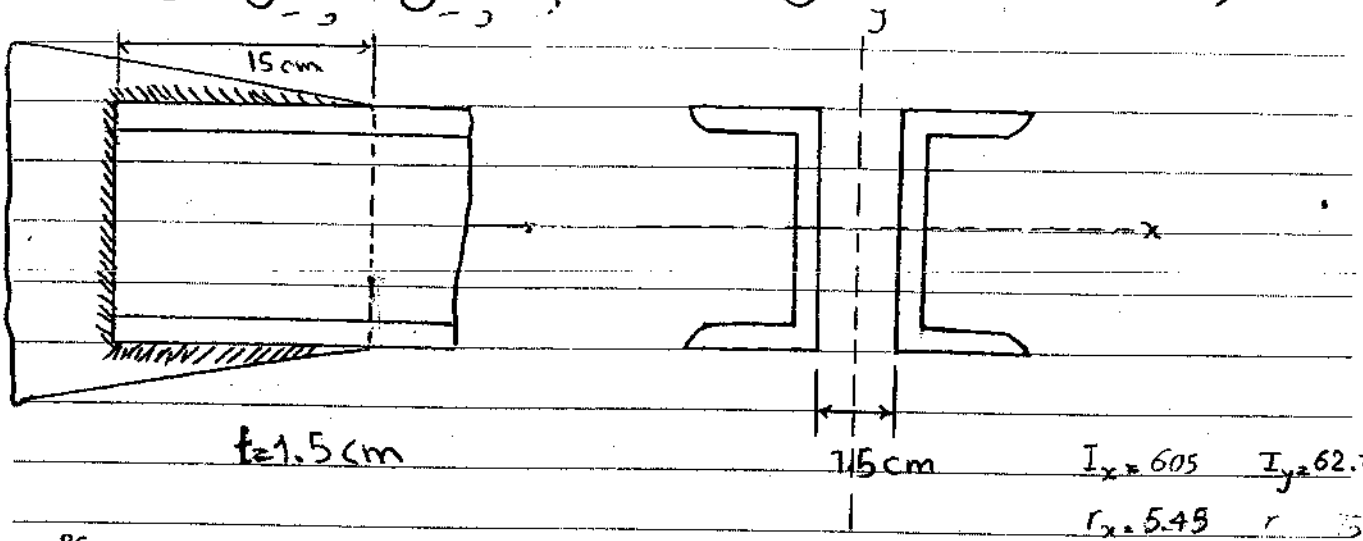
$A_e = 2 * (0.79 * 21.2) \Rightarrow A_e = 33.49$

$T_r = 86000 \leqslant 0.75 * 3600 * 33.49 = 90423 \longrightarrow$ ok

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

مسئله دوم صفحه 38، المان BC را به جای یک پروفیل I از دو پروفیل ∪ ساخته شده.



$t_f = 1.5\ cm$ $\quad 7.5\ cm$ $\quad I_x = 605$ $\quad I_y = 62.7$ $\quad r_x = 5.45$ $\quad r$

$T_r^{BC} = 86000$

1) $A_g \geq \frac{T_r}{0.9 F_y} \Rightarrow A_g \geq \frac{86000}{0.9 * 2400} \times \frac{1}{2} = 19.9\ cm^2$

2) Use 2 UNP 140 $\quad A_g = 20.4$

3) $T_r \leq 0.75 F_u . A_e \Rightarrow 86000 \leq 0.75 * 3600 * A_e$ $\quad A_e = U * A_g$ $\quad U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$, $\bar{x} = e = 1.75$ $\Rightarrow U = 1 - \frac{1.75}{15}$

$A_e = 2 * (0.88 * 20.4) \Rightarrow A_e = 35.90$ $\quad U = 0.88$

$T_r = 86000 \leq 0.75 * 3600 * 35.90 = 96930 \rightarrow ok$

ستون U شکل

$L_{BC} = 800\ cm$ $\quad r_{min} = ?$ $\quad I_x = 2 I_x$, $A = 2A$ $\Rightarrow r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{605}{20.4}} = 5.45$

$I_y = 2 I_g + A d^2 = 2 \times 62.7 + 2 \times 20.4 \times (1.75 - 0.75)^2 = 380.4$

$I_y = 380.4$ $\quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{380.4}{2 * 20.4}} \Rightarrow r_y = 3.05$

$\lambda = \frac{kL}{r_{min}}$ $\quad k = 1 \Rightarrow \lambda = \frac{800}{3.05} = 262 < 300 \rightarrow ok$ جواب می‌دهد

BIST بیست

Subject:

Year: Month: Date:

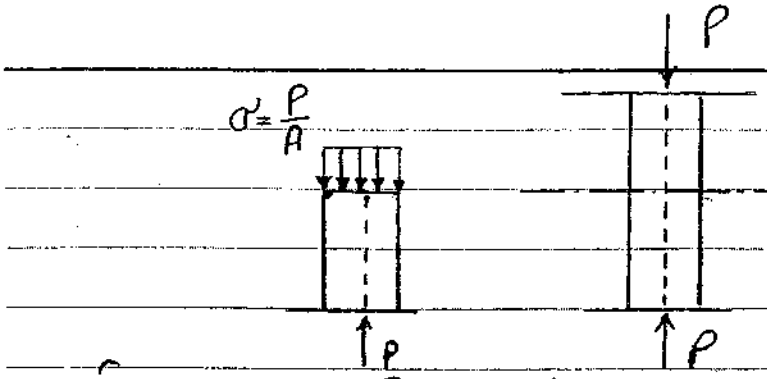
فیلم های آموزشی دروس بتن و فولاد

ICIVIL

فیلم آموزشی طراحی سازه های فولادی ۱

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:



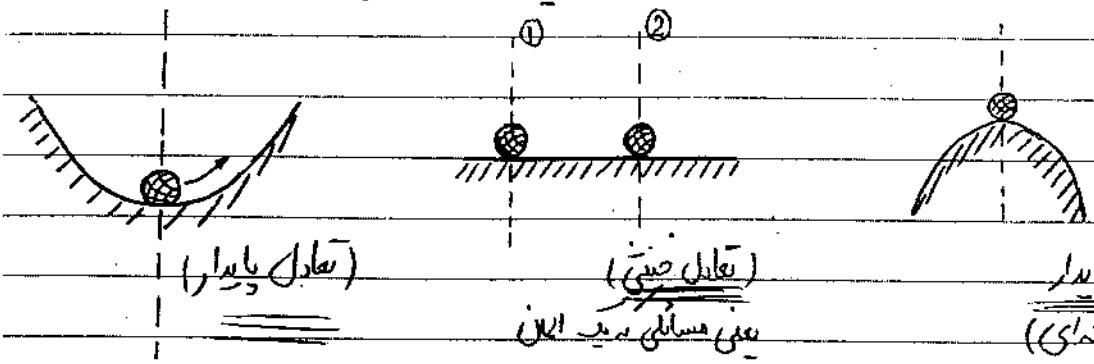
* فصل سوم:

اعضاء فشاری
(کلاتر ستونها)

المان هایی هستند که فقط تحت بارمحوری اند، نیروی محوری منطبق بر محور تار است، جهت آن طوری است که در هر مقطع عمودی دلخواه که ایجاد می کند، از نوع تنش نرمال فشاری است.

تنش های

در اعضاء فشاری برخلاف اعضاء کششی موضوع ناپایداری مقطع F_u و F_y ختم نمی شود، بلکه پدیده دیگری وجود دارد که ناگهانی است یعنی عضوی تواند تحت پدیده کمانش ناپایدار شود.



(تعادل پایدار)

(تعادل خنثی)
یعنی مسائلی به این المان می تواند در چندین موقعیت تعادل داشته باشد.

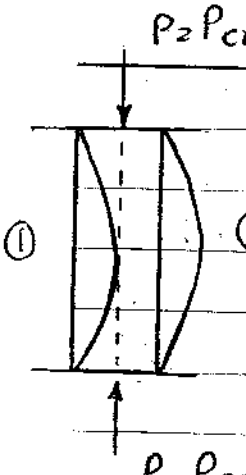
(تعادل ناپایدار)
(پایدار لحظه ای)

موضوع کمانش در این المان، لحظه ای است که عضو تعادل خنثی است.

با توجه به این مباحث، مقدار تعادل ستون پایدار است. (مستقیم)

هم مستقیم و هم خمیده، ستون تعادل دارد.

Subject:
Year: Month: Date:



$P < P_{cr}$ ← (ستون نیروی P را تحمل می‌کند) تعادل ستون پایدار

$P = P_{cr}$ ← تعادل خنثی ← کمانش *

$P > P_{cr}$ ← (ستون منهدم می‌شود) ناپایدار

تعادل خنثی به شکل‌های مختلف تقسیم می‌شود.

۱- کمانش الاستیک: بعضی از ستون‌ها قبل از رسیدن به F_y، کمانش می‌یابند به این‌ها کمانش الاستیک گویند.

یعنی قبل از اینکه به حد جاری شدن برسد کمانش می‌یابند.

۲- کمانش الاستو پلاستیک: بعضی از ستون‌ها کمی قوی‌تراند، تنش در چند نقطه از مقطع به حد جاری شدن می‌رسد

نه در کل نقاط، حد کمانش صدمه می‌بیند به آن کمانش الاستو پلاستیک گویند.

۳- کمانش غیر الاستیک کامل (پلاستیک): بعضی از ستون‌ها، آنقدر قوی‌اند که بعد از اینکه کل نقاط جاری شدند

و حاصله F_u و F_y کمانش اتفاق می‌افتد که به آن کمانش غیر الاستیک کامل (پلاستیک) گویند.

در حالت کلی سه نوع کمانش وجود دارد که از نظر

عملی دو نوع کمانش وجود دارد: ۱- کمانش الاستیک ۲- کمانش الاستو- پلاستیک (غیر الاستیک)

قبل از رسیدن به حد جاری شدن — بعضی نقاط به حد جاری شدن

BIST

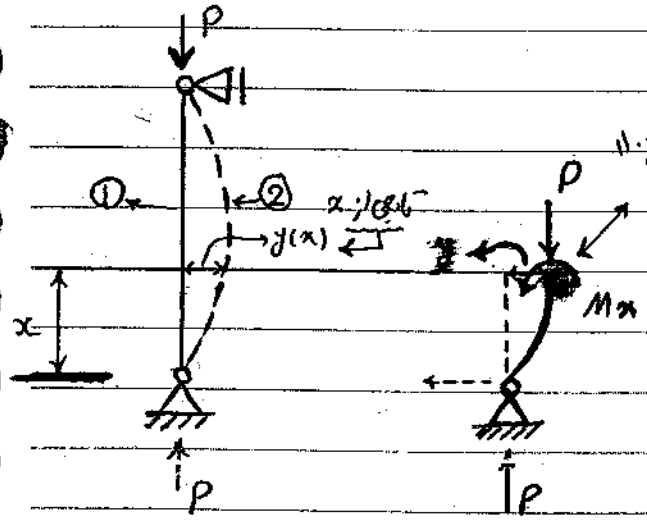
www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

* کمانش الاستیک (اویلر) *

* شرایط اویلر: ① ستون دوسر مفصلی ② ستون کاملاً مستقیم ③ بار کاملاً منطبق بر میانیار ④ جنس کمانش الاستیک است (رابطه بین جابجایی و تنش خطی است). $\sigma = E.\varepsilon$ قانون هوک

$$\frac{1}{\rho} = \frac{y''}{[1+y'^2]^{\frac{3}{2}}} \approx y'' = \frac{M}{EI}$$



در حالت ستون می‌تواند تعادل خود را حفظ کند. (2.1)

$$\Sigma M_a = 0 : \quad M_x - Py = 0 \quad -EIy'' - Py = 0 \Rightarrow y'' + \frac{P}{EI}.y = 0 \qquad k^2 = \frac{P}{EI}$$

$$\Rightarrow \boxed{y'' + k^2.y = 0} \qquad y = A\sin kx + B\cos kx$$

شرایط مرزی: $\begin{cases} x=0 \;,\; y=0 & ① \\ x=L \;,\; y=0 & ② \end{cases}$

$① \Rightarrow 0 = A\sin 0 + B\cos 0$

اگر $A=0$ باشد، ستون در حالت ① در حال تعادل است.

$② \Rightarrow 0 = A\sin kL \Rightarrow \begin{cases} A \neq 0 \\ \sin kL = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} kL = 0 & \text{(ناقض فرض ما)} \\ \boxed{kL = n\pi} & * \end{cases}$

چون ستون طول دارد نه k صفر است، پس جواب $kL = n\pi$ است.

جواب مورد نظر

نظری تعادل خنثی یا لحظه کمانش است

51

Subject:
Year: Month: Date:

لحظه‌ی کمانش می‌تواند در لحظات متعددی اتفاق بیفتد.

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

$kl=2\pi \rightarrow \frac{P}{EI}l^2=(2\pi)^2 \rightarrow P=\frac{4\pi^2 EI}{l^2}$

$kl=3\pi \rightarrow \frac{P}{EI}l^2=(3\pi)^2 \rightarrow P=\frac{9\pi^2 EI}{l^2}$

جواب‌های ریاضی

اگر در بار $P=\frac{\pi^2 EI}{l^2}$ ستون کمانش کرد

بنابراین بار بحرانی می‌توان نوشت

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

نشان خواهیم داد.

برای یک ستون در سر منفصل یک لحظه وجود دارد که وقتی بار به حد $P_{cr}=\frac{\pi^2 EI}{l^2}$ می‌رسد، می‌تواند ستون در دو حالت تعادل داشته باشد.

در فنرها $P_{cr}=\frac{\pi^2 EI}{l^2}$

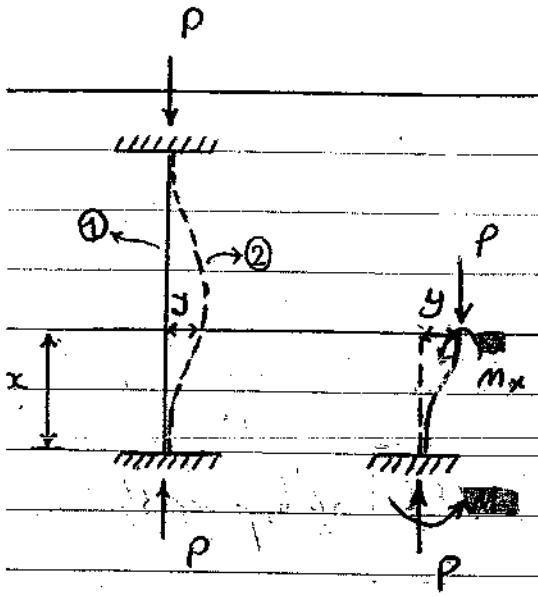
EI: سختی ستون، هرچه EI بزرگتر باشد مقاومت بزرگتر است

l: طول ستون، هرچه l ستون بزرگتر باشد مقاومت با توان 2 کوچکتر است.

پس بار بحرانی به دو پارامتر EI و l بستگی دارد.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

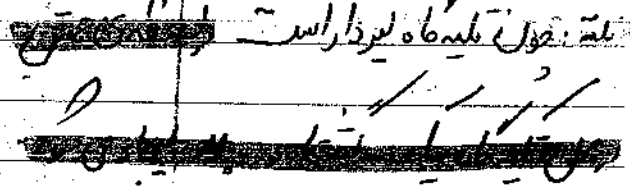
Subject:
Year: Month: Date:



شکل خمیده متناسب با تابع ماه ها فرض می شود

در حالت ① تعادل پایدار است.

نکته: خول تابع ماه پذیرا است



+

$\sum M_a = 0 : \quad M_x + M_0 - Py = 0 \quad -EIy'' + M_0 - Py = 0$ ② بررسی حالت

$\div EI \rightarrow y'' + \frac{Py}{EI} = \frac{M_0}{EI} \Rightarrow \left(k^2 = \frac{P}{EI}\right) \Rightarrow \boxed{y'' + k^2 y = \frac{M_0}{EI}}$

جواب عمومی

$y = y_G + y_S$ جواب خصوصی

$y_G = A\sin kx + B\cos kx$ جواب عمومی:

$y_S = \frac{M_0}{EI.k^2} = \frac{M_0}{P}$ جواب خصوصی

$\boxed{y = A\sin kx + B\cos kx + \frac{M_0}{P}}$

شرایط مرزی:
- $x=0, y=0$ ⓐ
- $x=0, y'=0$ ⓑ
- $x=l, y=0$ ⓒ
- $x=l, y'=0$ ⓓ

جابجایی
شیب

تابع ماه پذیرا

✓ هم شیب ها صفر
✓ هم جابجایی نقاط صفر

① $0 = A\sin 0 + B\cos 0 + \frac{M_0}{P} \Rightarrow \boxed{B = -\frac{M_0}{P}}$

② $y' = Ak\cos kx - Bk\sin kx \Rightarrow 0 = Ak\cos 0 - Bk\sin 0 \Rightarrow \boxed{A = 0}$

$\boxed{y = \frac{M_0}{P}(1 - \cos kx)}$

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

③ $0 = \frac{M_0}{P}(1-\cos kL)$ $\begin{cases} \frac{M_0}{P}=0 \leftarrow \frac{M_0}{P} \text{ صفر نیست} \\ 1-\cos kL=0 \begin{cases} kL=0 \\ \boxed{kL=2n\pi} \end{cases} \end{cases}$

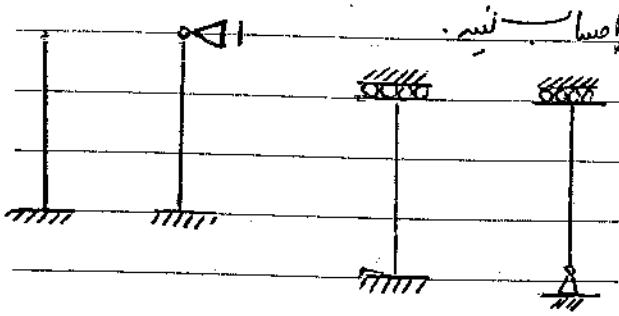
هر دو حالت ① و ② قابل.

$\boxed{kL=2\pi} \Longrightarrow \boxed{P_{cr}=\frac{4\pi^2 EI}{L^2}}$

نتیجه گیری: شرایط تکیه گاهی در بارهای اویلری بسیار موثر است.

بار اویلری تابع سه پارامتر است: ۱- شرایط تکیه گاهی (نوع تکیه گاه)، ۲- سختی ستون (EI)، ۳- طول ستون (L)

تمرین: با تشکیل معادلات دیفرانسیل بار اویلری ستون های زیر را حساب کنید.



www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:

Year: Month: Date:

Subject:

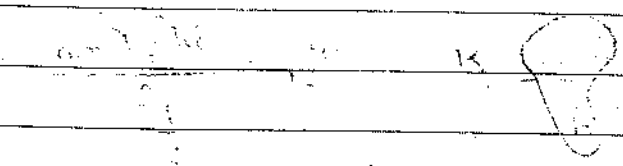
Year: Month: Date:

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

Subject:

Year: Month: Date:



www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

تنش بحرانی

رفلت لی ⟶ $P_{cr} = \frac{\beta \pi^2 E I}{L^2}$

I_{min}

I_1

I_3

I_2

I_1

I_{max}

I_{min}

I_{max}

* شرایط تکیه‌گاهی مقاومت ستون فقط باعث تغییر β می‌شود

نکته: ستون حول محوری کمانش می‌کند که I_{min} حول آن رخ دهد

نکته: ستون در صفحه‌ای کمانش می‌کند که I_{min} در آن صفحه باشد

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\beta \pi^2 E I_{min}}{L^2 A} \rightarrow r$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\beta \pi^2 E r_{min}^2}{L^2}$$

تنش بحرانی

E و π^2 در مورد یک جنس مشخص ثابت هستند.

$$\beta = \frac{1}{k^2} \Rightarrow k = \sqrt{\frac{1}{\beta}}$$

تغیرهای L ، β ، r_{min} نامشخص هستند.

L (طول ستون)

β (نوع تکیه‌گاهی ستون)

r_{min} (خواص مقطع)

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r_{min}}\right)^2} \Rightarrow \lambda = \left(\frac{kL}{r_{min}}\right)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$ ✗

با افزایش λ ، تنش بحرانی کاهش می‌یابد و برعکس ✓ ✗

BIST

تذکر: با افزایش λ تنش بحرانی کمتر یعنی ستون در

Subject:
Year: Month: Date:

λ = لاغری ✓ چون با افزایش λ ستون لاغرتر می‌شود و مقاومت آن کاهش می‌یابد و با کاهش λ ستون مقاومت بالاتری می‌شود.

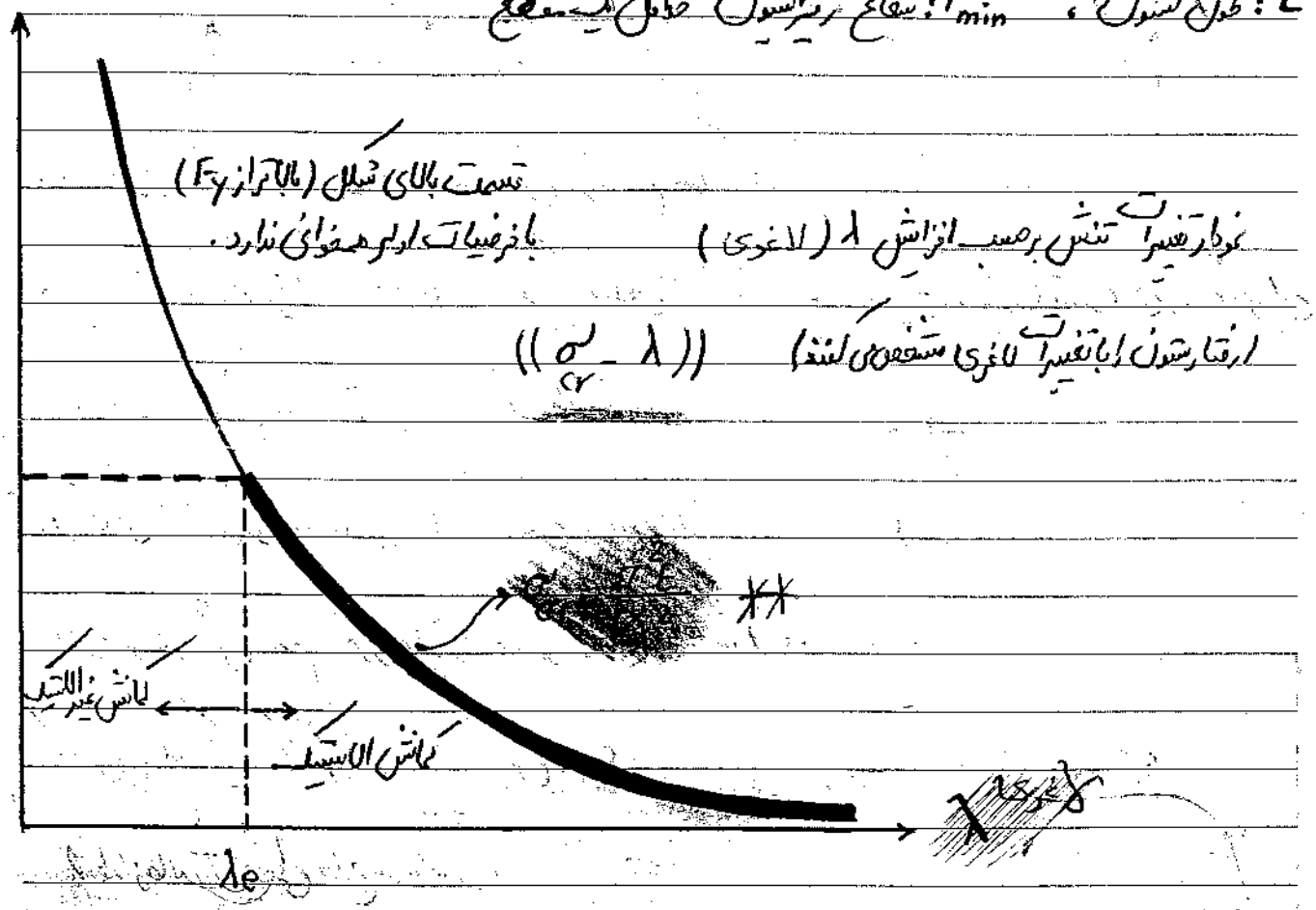
ضریب تکیه گاهی

لاغری $\lambda = \frac{kL}{r_{min}}$

k: ضریب گیرداری (فقط به شرایط تکیه گاهی بستگی دارد) ✓ *

L: طول ستون ، r_{min}: شعاع ژیراسیون حداقل یک مقطع

تنش بحرانی σ_{cr}



مقدار لاغری برای وقتی که مقدار تنش F_y است (برای فولاد نرمه)

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_y}} \simeq 91 \quad \leftarrow \quad F_y = \frac{\pi^2 E}{(\lambda_e)^2}$$

نکته: اگر ستونی لاغری $\lambda = 91$ داشته باشد تنش بحرانی آن F_y است. اگر لاغری λ بیشتر از 91 باشد کمانش الاستیک و اگر λ کمتر از 91 باشد، کمانش غیرالاستیک است.

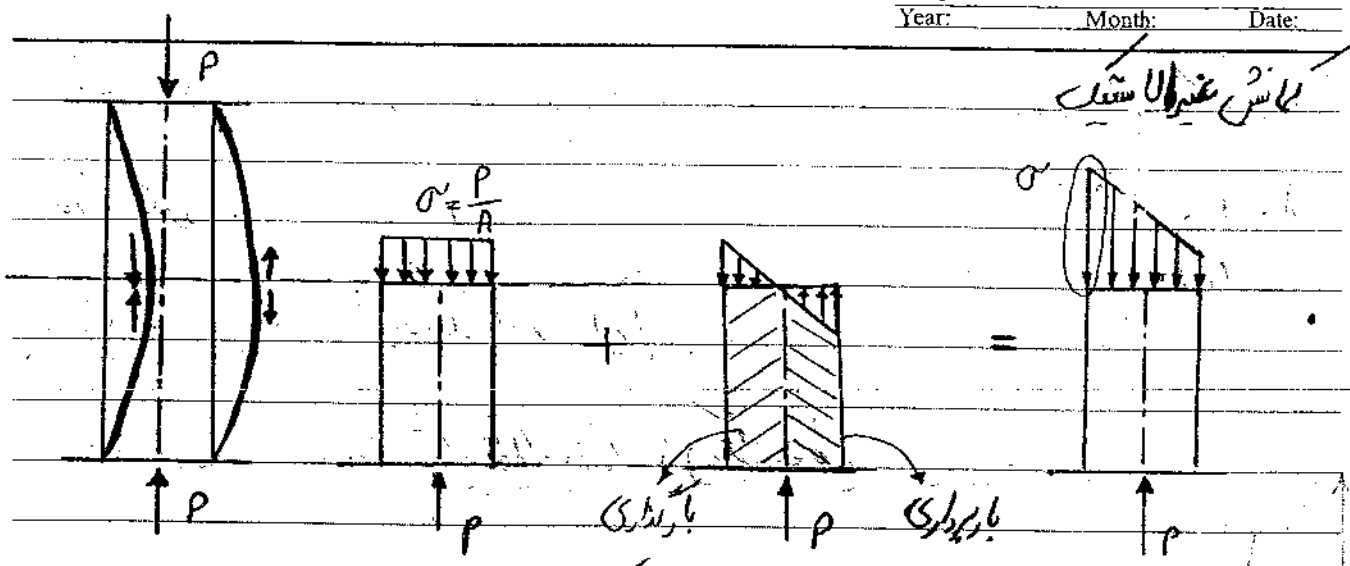
اگر λ از 91 کوچکتر شد دیگر از رابطه $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$ استفاده نمی‌کنیم.

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

کانش غیرالاستیک



وقتی ستون تحت بارگذاری است، تنش در مقاطع ستون یکنواخت است. (σ)

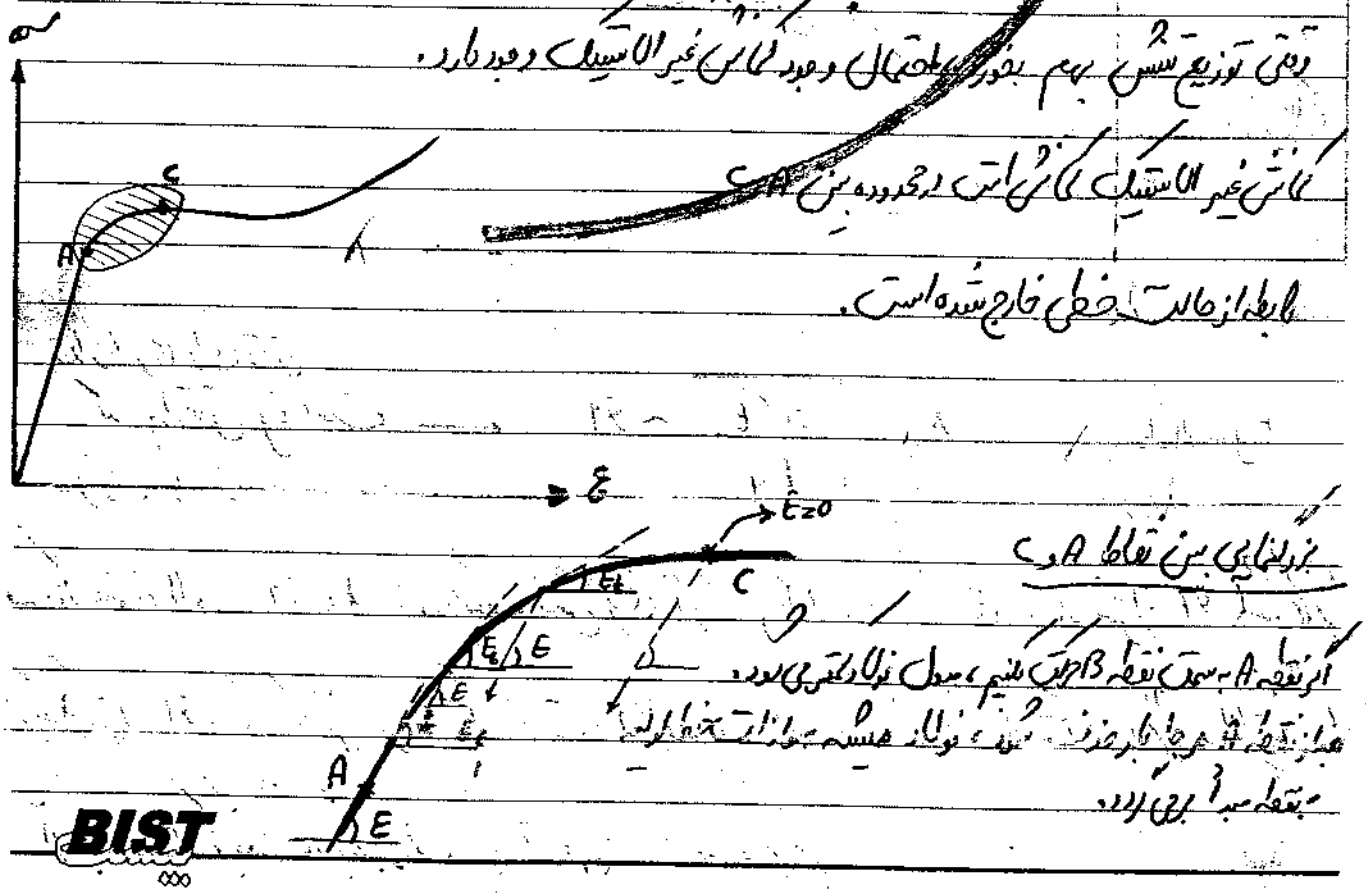
طبق تعریف کانش غیرالاستیک: کانشی است که در بعضی از نقاط مقطع، تنش به حد جاری شدن می‌رسد، اگر در این حالت ستون کانش بیابد، کانش غیرالاستیک است. *

وقتی کانش ایجاد می‌شود در بعضی از تارها تنش در بعضی از تارها فشار حاصل می‌شود.

وقتی توزیع تنش به هم بخورد احتمال وجود کانش غیرالاستیک وجود دارد.

کانش غیرالاستیک کانشی است که محدوده بین A و C

رابطه از حالت خطی خارج شده است.

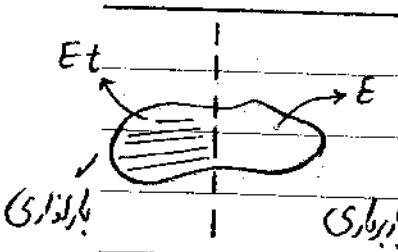


بارگذاری بین نقاط A و C

اگر نقطه A به سمت نقطه B حرکت کنیم، مدول نوار کمتری دارد.
هر نقطه A هر جا باشد، شیب نوار همیشه مماس بر منحنی است.
نقطه مبدأ بوده است.

BIST

Subject:
Year: Month: Date:



در حالت کمانش غیر الاستیک نیمه ستون بارگذاری و نیمه دیگر ستون باربرداری دارد.

نیمی از مقطع جنس اش E_t و نیمی دیگر E است.

روش‌های حل مسئله:

۱- تئوری مدول مماس ✓

۲- تئوری مدول دوگانه ✓

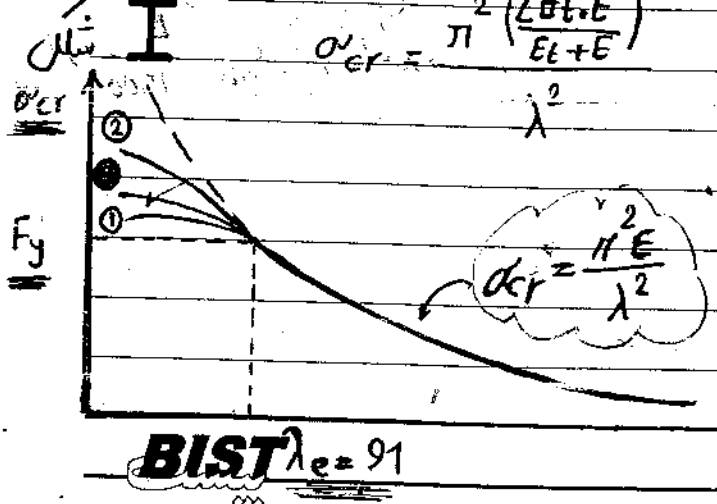
۳- تئوری شانلی ✓

در روش تئوری مدول مماس: برای حل ستون مورد نظر مقطع با E_T فرض می‌کنیم. (همه قسمت‌ها از مدول E_T فرض شده‌اند.)

نتیجه: برای تنش بحرانی همان تئوری اویلر است ⟵ $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_T}{\lambda^2}$

در روش تئوری مدول دوگانه: برای حل ستون‌ها به همان شکل موجود حل می‌کنند یعنی یک نیمه از جنس E و نیمه دیگر از جنس E_T و نسبتاً دقیق‌تر است [جزء سرفصل‌های درسی ما نمی‌باشد] ٪۸۰

در روش تئوری شانلی: برای کمانش غیر الاستیک ستون‌ها نه تئوری ① و نه تئوری ② دقیق نیستند. روی تئوری شانلی قسمت ضعیف‌تر سطح اش بزرگتری شود و قسمت قوی‌تر سطح است کوچکتر می‌شود. تئوری دقیق است.



برای لاغری مشخص مقادیر تئوری ① از همه بزرگتر است.

برای لاغری مشخص مقادیر تئوری ② از همه کوچکتر است.

برای لاغری مشخص مقادیر تئوری ③ بین ① و ② است.

$\lambda > 91$ کمانش الاستیک (اویلر)

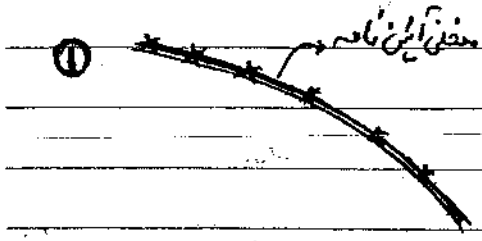
$\lambda < 91$ کمانش غیر الاستیک

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

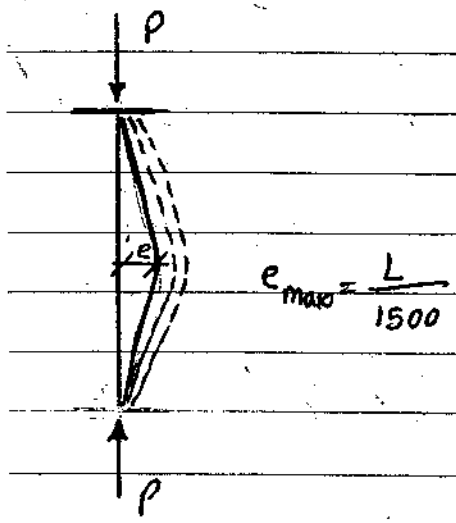
در کارهای عملی در آئین نامه ها از منحنی اسفندیار استفاده می‌کنند چون از همه دقیق‌تر است (از همه بنفع اطمینان است).

امکان بی‌نهایت E_T وجود ندارد.



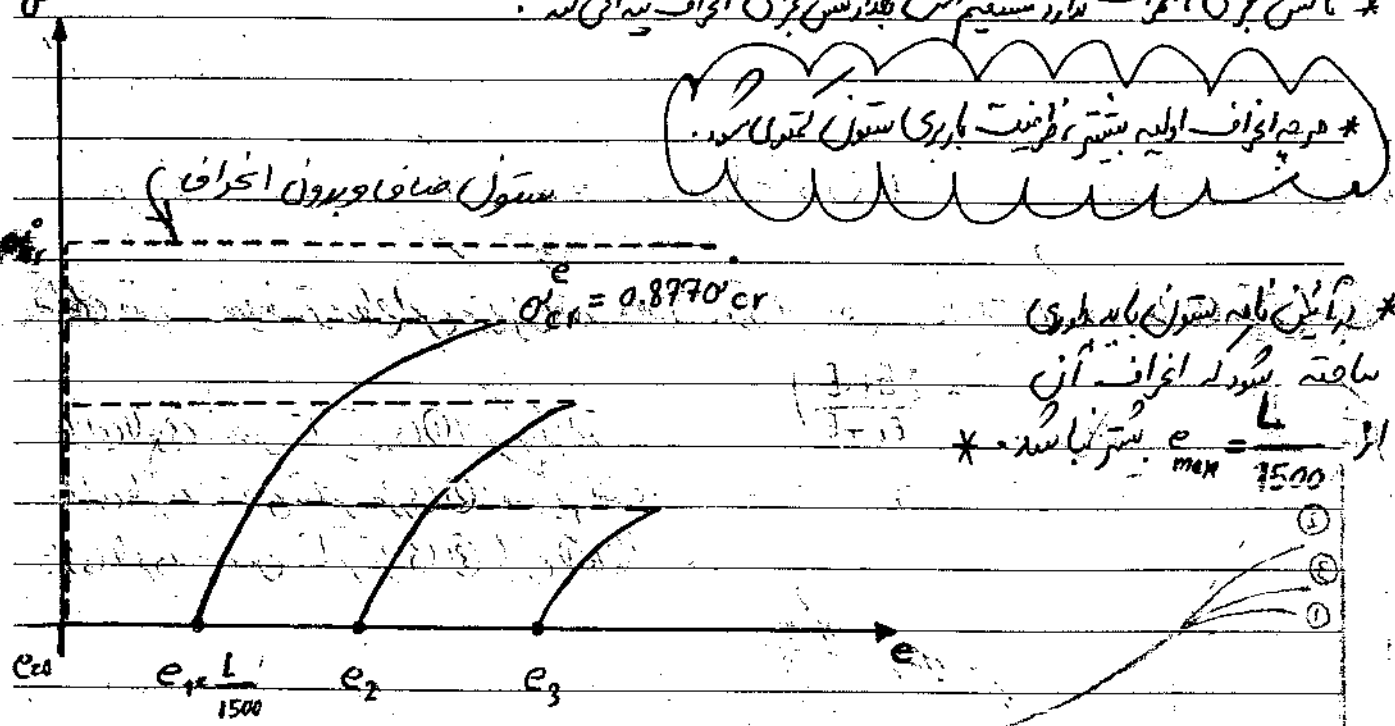
پارامترهای دخالت جابجایی منحنی هایی شود:

۱- انحنای اولیه در ستون ها: امکان ساخت ستون مستقیم وجود ندارد.



* تا تنش برآنی، انحراف اولیه مستقیم است هیچ تنشی برای انحراف پیدا نمی‌کند.

* هرچه انحراف اولیه بیشتر، ظرفیت باربری ستون کمتری شود.



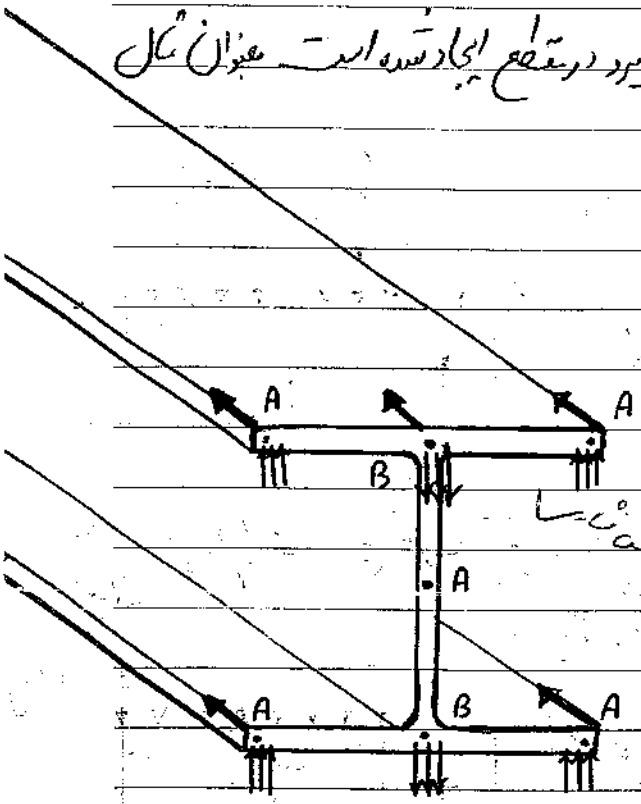
* در آئین نامه ستون باید طوری ساخته شود که انحراف آن از $e_{max} = \frac{L}{1500}$ بیشتر نباشد.

Subject:
Year: Month: Date:

۲- تنش پسماند: تنش هایی هستند که در اثر هر نوع عملیات حرارتی، روی قطعات فولادی بوجود می آیند.

هر نوع فولاد به نحوی گرم یا سرد شود در اثر این گرم و سرد شدن یک سری تنش های در مقطع ایجاد می شوند که ناشی از حرارت است که به آن تنش پسماند می گویند. تنشی است که بدون اعمال نیرو در مقطع ایجاد شده است. مثلاً در جوش، برش و...

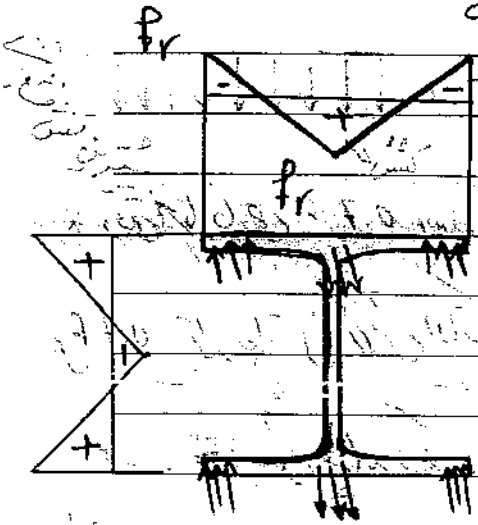
(* تنش ناشی از نورد فولاد بهترین تنش پسماند است.)



سرعت سرد شدن قطعه یکسان نیست، پس تقلع ضخامت های مختلف دارد.

* نقاط A: زودتر سرد می شوند و فشاری می توانند با محیط اطراف تبادل حرارت کنند، ضخامت کمتر

* نقاط B: دیرتر سرد می شوند، کششی، تبادل با محیط اطراف ندارند، ضخامت بیشتر.



ایجاد نقاط A باعث می شود اجازه ندهد نقاط B با هم برخورد کنند.

✓ مجموع تنش های کششی و فشاری (پسماند) طوری است که حاصل در مقطع برابر با صفر است.

Fr: برآیند تنش پسماند یا برش یا در ماهیچه است

مقطع ضخیم تر، حرارت بیشتر، تنش پسماند بیشتر. ✓

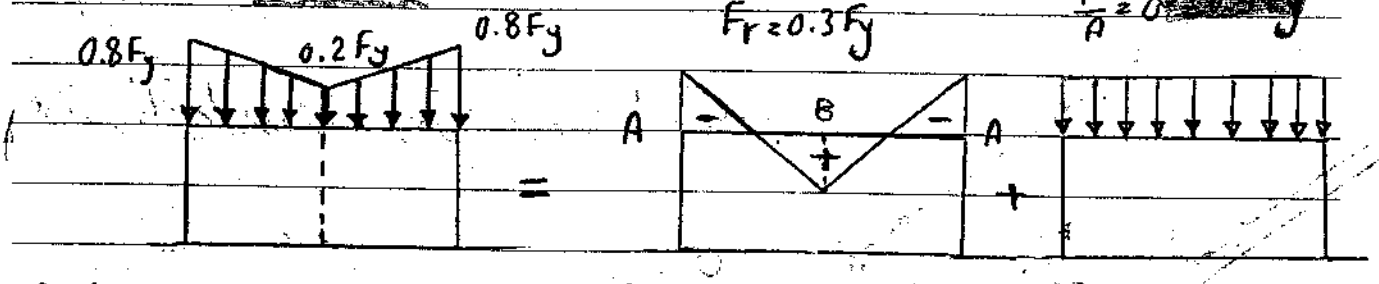
مقطع نازک تر، حرارت کمتر، تنش پسماند کمتر. ✓

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

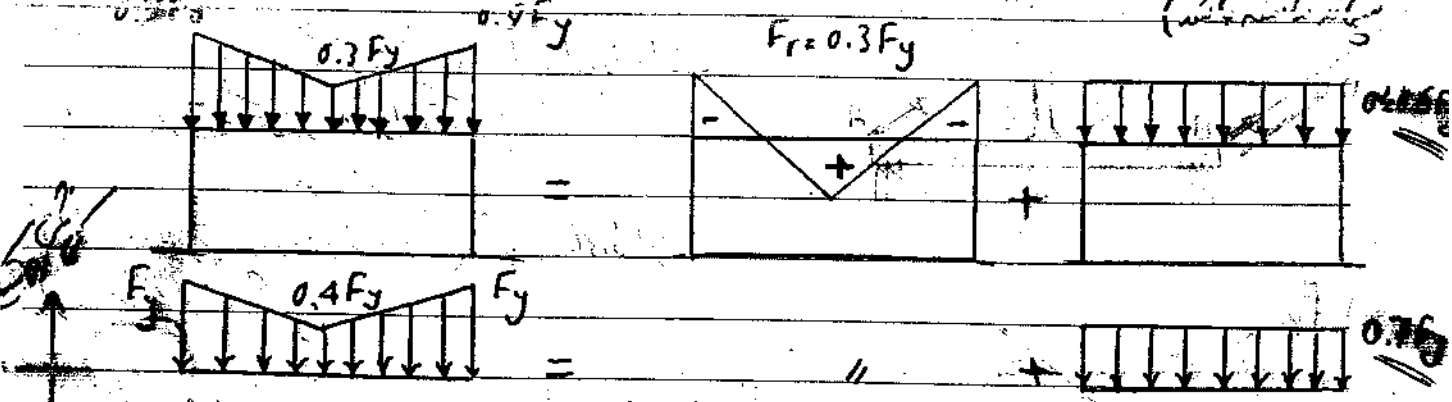
Subject:
Year: Month: Date:

IPE
INP
UNP
L
$f_r \simeq 1.3 F_y$ (تنش‌های متعارف)

HEH
HEB
HEM
$f_r \simeq 0.5 F_y$



نتیجه ۱- عامل اصلی در توزیع تنش در مقطع ها از خلال یکنواخت خارج می‌کند، تنش پسماند است. (هیچ ربطی به نیروی خارجی ندارد)



* وقتی بارخارجی به 0.7 برسد، دو نقطه از مقطع به مرحله‌ی تسلیم می‌رسند.

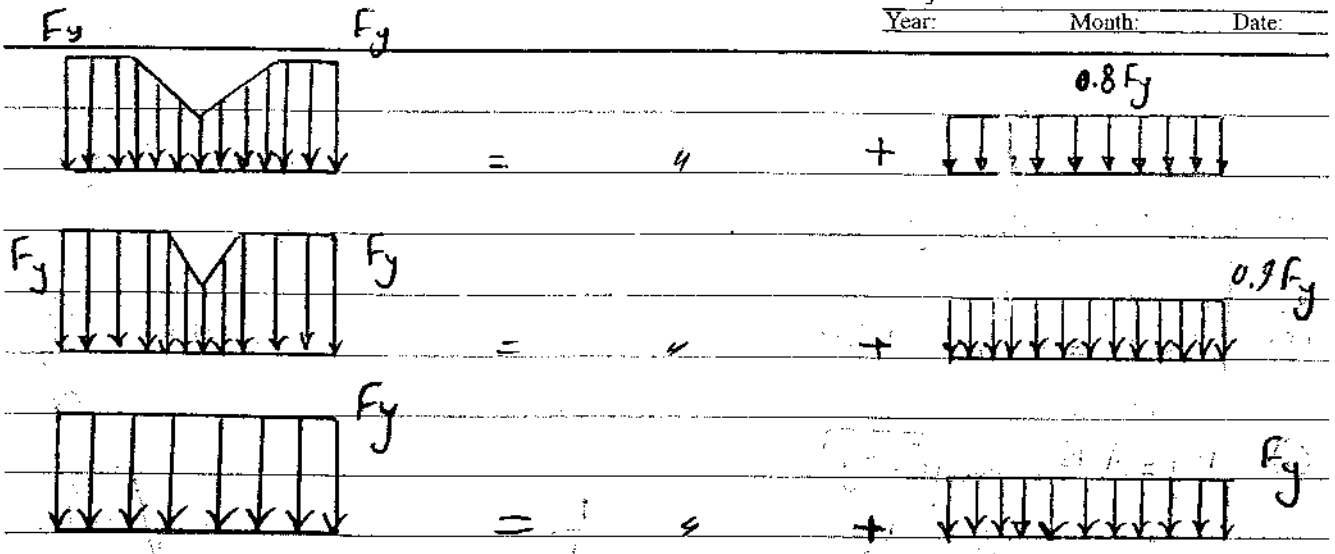
$F_p = F_y - f_r$

0.7Fy تنش جداشدن قسمت الاستیک و غیرالاستیک است.

۲- وجود تنش پسماند در یک مقطع موجب قسمت الاستیک و غیرالاستیک را جابجا می‌کند.

BIST

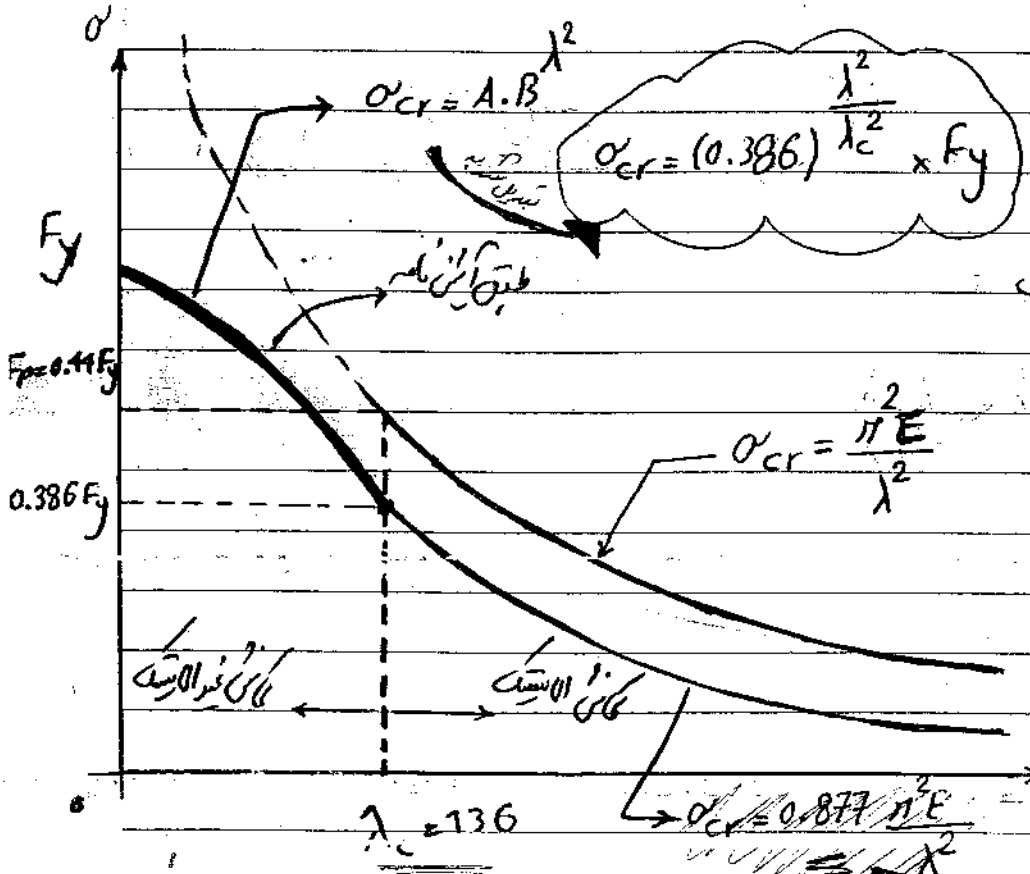
Subject:
Year: Month: Date:



جمع شدن غیرخطی است. (از روی صداست)

آخرین حد بار خارجی $\sigma = F_y$

۳- اگر ستونی بتواند تا حد آخر کرنش نکند، تنش‌های پسماند در مقاومت نهایی مقاطع فشرده تأثیر ندارند.



روابط واج بتون:

برای آئین نامه برای ستونها پوشش بال پهن مناسب است بعلت سطح آزاد بیرون بال،

$F_p = 0.56F_y$

طبق آئین نامه

$F_p = F_y - 0.56F_y$ با فاصله

$F_p = 0.44F_y$

BIST

با اعمال انحنای اولیه ستون

در ستون ستونهای

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

(نمره 10) (که λ از 91 به ... رسد ...)

Subject:
Year: Month: Date:

ادبشرط وجود، برنقاط F_y و مابین عبور ند:

شرایط

① $\lambda = 0 \Rightarrow \sigma_{cr} = F_y$

② $\lambda = \lambda_c \Rightarrow \sigma_{cr} = 0.386 F_y$

$0.44 F_y = \frac{\pi^2 E}{\lambda_c^2}$

① $\rightarrow F_y = A.B^0 \Rightarrow \boxed{A = F_y}$ ✱

② $\rightarrow 0.386 F_y = F_y \times B$ $\left(B = 0.386 \frac{1}{\lambda_c^2}\right)$

$\lambda_c = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.44 F_y}} = 136$ (نواحی)

$\boxed{\sigma_{cr} = \left(0.386 \frac{\lambda^2}{\lambda_c^2}\right) \times F_y}$

برای خولاد نرمه

تنش بحرانی ← $\sigma_n = 0.877 \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$ ← کمانش الاستیک ← $136 = \lambda_c \ll \lambda$ -1

$\sigma_n = (0.386) \frac{\lambda^2}{\lambda_c^2} \times F_y$ ← کمانش غیرالاستیک ← $\lambda_c \gg \lambda$ -2

$P_n = \sigma_n . A$ برای ✓

برای ضریب بار $P_r \leq \phi P_n$ ✓

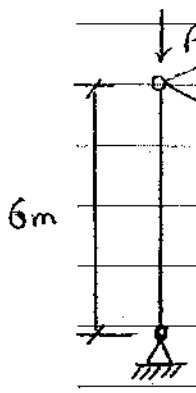
$\phi = 0.9$

برای ستون ها

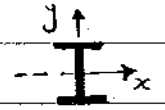
Subject:
Year: Month: Date:

300

مثال: در یک ستون دوسر مفصل به طول 6m حداکثر بار ضربدر دار (خارجیت ستون) را حساب کنید. از روش بال پهن



HEB 300 $\begin{cases} A=149 \\ r_x=13.0 \\ r_y=7.58 \end{cases}$



$P_r = P$ kg

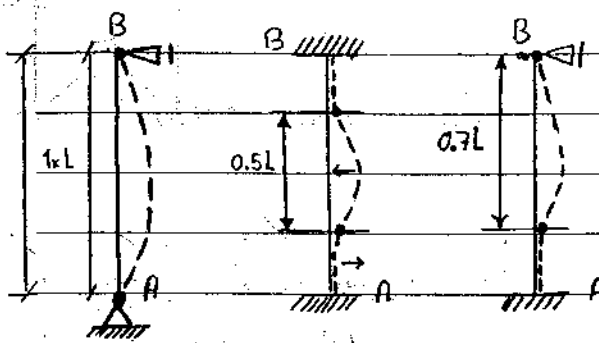
$\lambda = \frac{k.L}{r_{min}} = \frac{1 \times 600}{7.58} = 79 < \lambda_c = 136$ ← ستون غیر لاستیک

* $\alpha_n = (0.386)^{\frac{\lambda^2}{\lambda_c^2}} * f_y = (0.386)^{\frac{79^2}{136^2}} \times 2400 = 1741$ ✓

$P_n = \alpha_n \times A = 1741 \times 149 = 259409 \Rightarrow P_r \leq \phi P_n \xrightarrow{\phi=0.9} P_r \leq 0.9 \times 259409$

$P_r \leq 233468$ kg

مفهوم ضریب کمانش



ضریب کمانش برابر است با: فاصله بین نقاط عطف (میانی)

کمانش هر ضریبی از طول ستون را باشد.

* ضریب کمانش را به دو صورت می‌توان حساب کرد: یا عالی (دیفرانسیل طول می‌زنیم)

و یا نقاط عطف را پیدا کرده، فاصله بین آن‌ها را مشخص می‌کنیم.

تئوری: $K=1.0$ $K=0.5$ $K=0.7$

عملی: $K=1.0$ $K=0.65$ $K=0.8$

فاصله بین نقاط عطف

$\lambda = \frac{K \cdot L}{r_{min}}$ ← طول موثر ستون

* می‌توانیم به جای طول ستون یا طول L، یک ستون دوسر مفصل به طول KL حل کنیم

ضریب کمانش دقیق = طول ستون خیلی کمتر، طول موثر به دست می‌آید.

مفهوم: ستون‌ها می‌توانند یک ستون دوسر مفصلی طول r با طول موثر.

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

اگر در ساخت تکیه گاه گیردار یا مفصل کامل وجود ندارد، باید ضریب کاهش آنها نیز اصلاح گردد. (در تکیه گاه ها یک مقدار صفر تری می‌شود)

طبق آئین نامه: هر جا ضریب کاهش ستون، قوی تر از حالت تئوریک است k را اصلاح می‌کنیم.

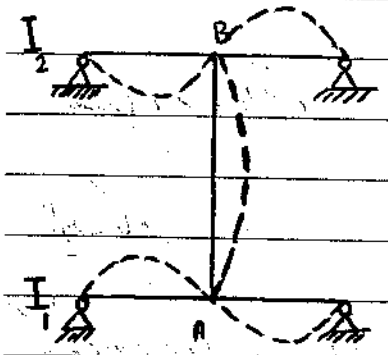
هر جا ضریب کاهش ستون، ضعیف تر از حالت تئوریک ست از این k باید در نظر گرفته شود. (k اصلاح گردد)

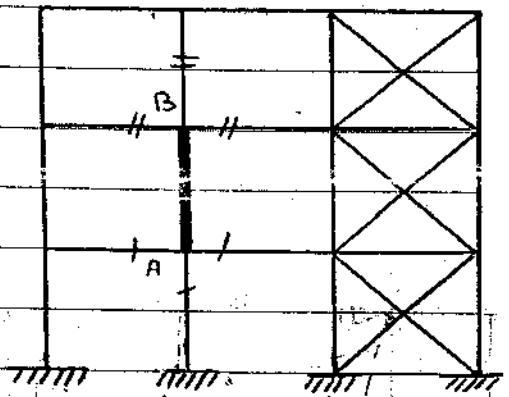
در هر ستون صفحه قبل، در لحظه کمانش انتهای B نسبت به A حرکت جانبی یا دورانی نسبی افقی ندارد. نقطه B کاملا ثابت در جهت افقی است.

قابهای مهاربندی شده: قابهای بدون انتقال جانبی

نقطه B نسبت به A حرکت جزئی است یا دورانی نمی‌کند.

* المان های اطراف را برداشته و به جای آنها تیری با سختی های I_1 و I_2 در نظر گرفته می‌شود.





نکته: ضریب کاهش ستونهای در قابهای مهاربندی شده معمولا عددی بین 0.5 و 1.0 قرار دارد.

تیرها بسیار سفت باشند — تئوری

$I_1, I_2 \to \infty \Rightarrow k \to 0.5$

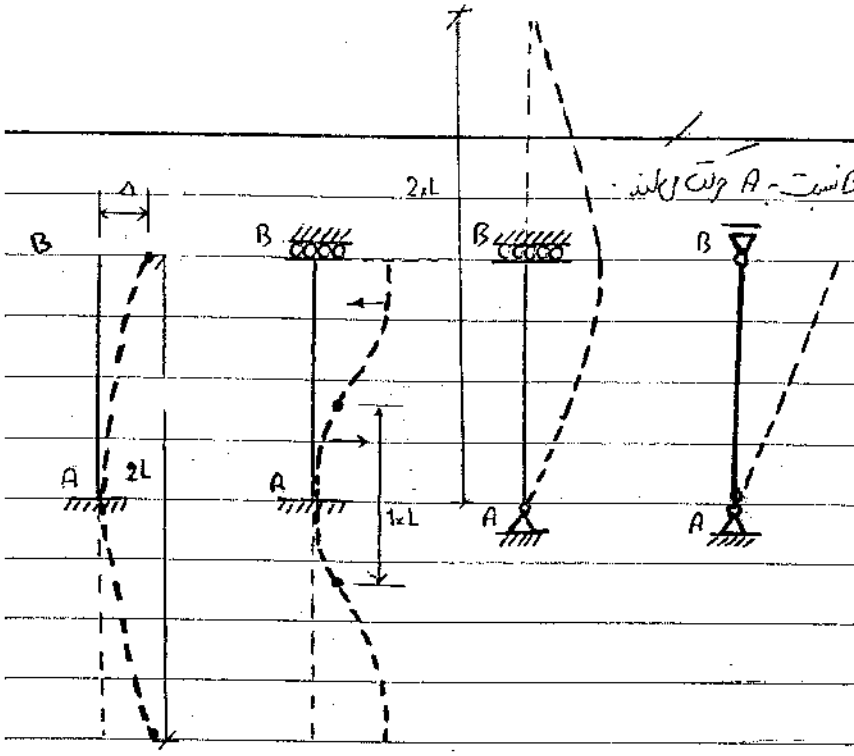
$I_1, I_2 \to 0 \Rightarrow k \to 1.0$

$\Rightarrow \boxed{0.5 \leq k \leq 1.0}$

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

در لحظه‌ی ناش جابجایی وجود دارد انتهای B نسبت به A حرکت می‌کند.



* اگر یک نقطه عطف وجود داشته باشد، تقریبش را راحت می‌کنیم.

تئوری: $k=2.0$ $k=1.0$ $k=2.0$ $k=\infty$

عملی: $k=2.1$ $k=1.20$ $k=2.0$ $k=$ وجود ندارد

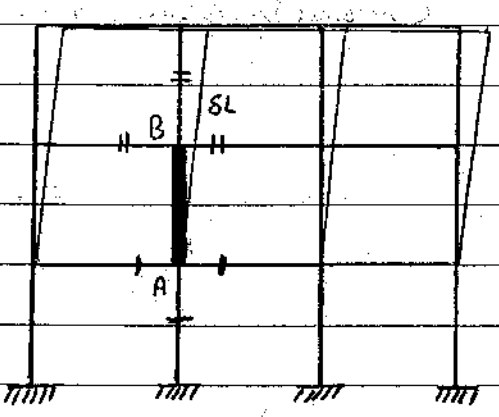
چون در حالت واقعی است ← (ستون ناپایدار است عملاً طراحی نمی‌شود)

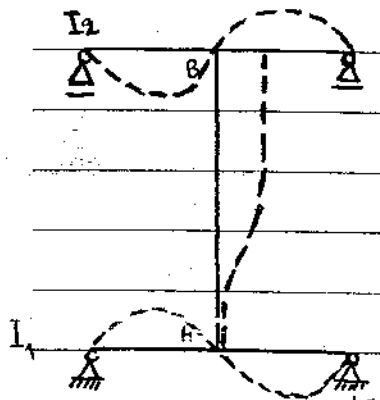
← فاصله‌اش دستوری نیست.

تابهای بدون مهاربند: قابهای خمشی، قابهای انتقال جانبی (تغییر شکل زیاد)

$\Delta = \delta_2 - \delta_1$

انتهای ستون نسبت به ابتدای می‌تواند حرکت کند.





تئوری ← ستاره ← فیلیپاکی

* حدود بالایی ستونهای در قابهای بدون مهاربند قرار می‌گیرند عدد عددی بین 1.0 و ∞ است.

$I_1, I_2 \longrightarrow \infty \Rightarrow k \longrightarrow 1.0$

$I_1, I_2 \longrightarrow 0 \Rightarrow k \longrightarrow \infty$

$1.0 < k < \infty$

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

برابر است با مجموع سختی ستونهای که به آن گره می‌رسند، تقسیم بر مجموع سختی تیرهایی که به یک گره می‌رسند

$$G_A = \frac{\sum(\frac{I_c}{L_c})_{\text{ستون‌ها}}}{\sum(\frac{I_b}{L_b})_{\text{تیرها}}} \quad (A \text{ در})$$

$$G_B = \frac{\sum(\frac{I_c}{L_c})_{\text{ستون‌ها}}}{\sum(\frac{I_b}{L_b})_{\text{تیرها}}} \quad (B \text{ در})$$

$$K = \sqrt{\frac{1.6\,G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{7.5 + G_A + G_B}}$$

← k همیشه 1 میل می‌کند.

(وقتی سختی تیرها زیاد باشد یا تیرهای اطراف زیاد باشد سختی ستون)

نتیجه: مقادیر k برای قابهای بدون مهاربندی همواره بیشتر از قابهای مهاربندی شده است.

قابهای مهاربندی شده: $k=1.0$

قابهای بدون مهاربندی: k از رابطه بالا بدست می‌آید (همواره بزرگتر از یک خواهد بود)

* اگر نقطه B نسبت به نقطه A حرکت نماید مهاربندی نیست و اگر نقطه B نسبت به A حرکت نکند مهاربندی نشده است.

تذکر: در ستون ① G_B را که محاسبه کردیم دیگر لازم به محاسبه G_A در ستون ⑤ نمی باشد

چون ستون پنجم $G_{B_5} = G_{A_1}$ ستون اول

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: فرض می‌کنیم در قاب مسطح مقابل کلیه ستونها از پروفیل HEB 300 و کلیه تیرها از IPE 360 باشند.

ضریب طول ستونهای قاب را بیابید.

نکته: قاب مسطح است، فقط در صفحه ab می‌تواند حرکت کند.

دوران هم در همان صفحه است. (دوران حول محور عمود بر صفحه)

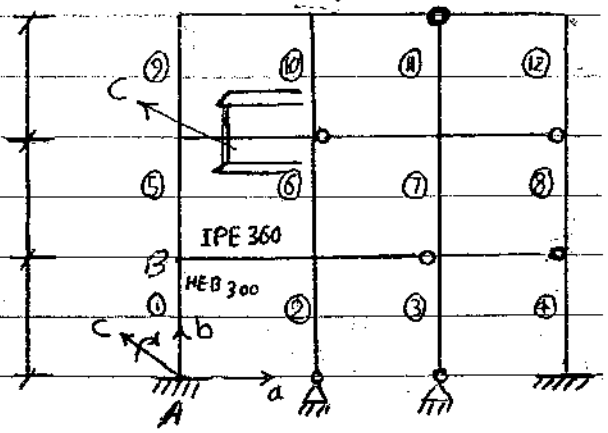
m3

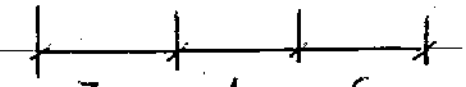
m4 تغییر مکان هم حول محور c است.

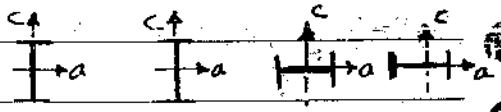
m5

HEB 300 $\begin{cases} I_x = 25170 \\ I_y = 8560 \end{cases}$

IPE 360 $\begin{cases} I_x = 16270 \\ I_y = \text{از بین رفته} \end{cases}$







نکته اول: در محاسبه G در هر یک انتهای ستون در سیستم قاب بتنی، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

ستون شماره ①: $G_A = \dfrac{\frac{8560}{500}}{\frac{\infty}{}} = 0 \xrightarrow{\text{عمل}} G_A = 1.0$

نکته دوم: در تیرها صلبیت از I_x استفاده می‌کنیم، در تیرها از I_y استفاده نمی‌کنیم.

$G_B = \dfrac{\frac{8560}{500} + \frac{8560}{400}}{\frac{16270}{700}} \rightarrow G_B = 1.66$

$K_1 = \sqrt{\dfrac{1.6\,G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7.5}{7.5 + G_A + G_B}} \Rightarrow K_1 = \sqrt{\dfrac{1.6(1.0 \times 1.66) + 4(1.0 + 1.66) + 7.5}{7.5 + 1.0 + 1.66}}$

$K_1 = 1.48$

نکته سوم: در محاسبه G در هر یک انتهای ستون در سیستم قاب بتنی، صفحه صلبیت داریم.

ستون شماره ①: $G_A = \dfrac{\frac{8560}{500}}{0} = \infty \xrightarrow{\text{عمل}} G_A = 10$

نکته چهارم: در هر گره دقت کنیم که انتهای دو یک از تیرها مفصل باشد، نصف سختی آن را حساب می‌آوریم.

$G_B = \dfrac{\frac{8560}{500} + \frac{8560}{400}}{\frac{16270}{700} + (0.5\frac{16270}{400})} \rightarrow G_B = 0.88$

$K_2 = \sqrt{\dfrac{1.6(10 \times 0.88) + 4(10 + 0.88) + 7.5}{7.5 + 10 + 0.88}} \Rightarrow K_2 = 1.88$

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

ستون ①: $G_A = 10$

$$G_B = \frac{\frac{25170}{500} + \frac{25170}{400}}{0 + 0.5\,\frac{16270}{600}} \Rightarrow G_B = 8.35$$

$$k_3 = \sqrt{\frac{1.6(10 \times 8.35) + 4(10 + 8.35) + 7.5}{7.5 + 10 + 8.35}} \Rightarrow k_3 = 2.88$$

ستون ④: $G_A = 1.0$

$$G_B = \frac{\frac{25170}{500} + \frac{25170}{400}}{0} = \infty$$

$$k_4 = \sqrt{\frac{1.6(1.0 \times \infty) + 4(1.0 + \infty) + 7.5}{7.5 + 1.0 + \infty}} \Rightarrow k_4 = \sqrt{5.5} \Rightarrow k_4 = 2.37$$

ستون ②: $G_A = \frac{\frac{8560}{500} + \frac{8560}{400}}{\frac{16270}{700}} \Rightarrow G_A = 1.66$ (طبق توضیح بالای صفحه قبل) $= G_B$ (ستون ①)

$$G_B = \frac{\frac{8560}{400} + \frac{8560}{300}}{\frac{16270}{700}} \Rightarrow G_B = 2.15$$

$$k_5 = \sqrt{\frac{1.6(1.66 \times 2.15) + 4(1.66 + 2.15) + 7.5}{7.5 + 1.66 + 2.15}}$$

$k_5 = 1.59$

ستون ⑤: $G_A = \frac{\frac{8560}{500} + \frac{8560}{400}}{\frac{16270}{700} + 0.5\,\frac{16270}{400}} \Rightarrow G_A = 0.88$ $= G_B$ (ستون ②)

$$G_B = \frac{\frac{8560}{400} + \frac{8560}{300}}{\frac{16270}{700} + 0} \Rightarrow G_B = 2.15$$

$$k_6 = \sqrt{\frac{1.6(0.88 \times 2.15) + 4(0.88 + 2.15) + 7.5}{7.5 + 0.88 + 2.15}}$$

$k_6 = 1.47$

BIST

Subject:
Year: Month: Date:

(۷) ستون شماره ۷:

$$G_{A7} = \frac{\frac{25170}{500} + \frac{25170}{400}}{0 + 0.5\frac{16270}{600}} \Rightarrow G_{A7} = 8.35$$

$$G_{B7} = \frac{\frac{25170}{400} + \frac{25170}{300}}{0.5\left(\frac{16270}{400}\right) + 0.5\left(\frac{16270}{600}\right)} \Rightarrow G_{B7} = 4.33$$

$$k_{7} = \sqrt{\frac{1.6(8.35 \times 4.33) + 4(8.35 + 4.33) + 7.5}{7.5 + 8.35 + 4.33}}$$

$$k_{7} = 2.40$$

(۸) ستون شماره ۸:

$$G_{A8} = \frac{\frac{25170}{500} + \frac{25170}{400}}{0} = \infty$$

$$G_{B8} = \frac{\frac{25170}{400} + \frac{25170}{300}}{0} = \infty$$

$$k_{8} = \sqrt{\frac{1.6(\infty \times \infty) + 4(\infty + \infty) + 7.5}{7.5 + \infty + \infty}}$$

$k_{B8} = 0$

(۹) ستون شماره ۹:

$$G_{A9} = \frac{\frac{8560}{400} + \frac{8560}{300}}{\frac{16270}{700}} \Rightarrow G_{A9} = 2.15$$

$$G_{B9} = \frac{\frac{8560}{300}}{\frac{16270}{700}} \Rightarrow G_{B9} = 1.23$$

$$k_{9} = \sqrt{\frac{1.6(2.15 \times 1.23) + 4(2.15 + 1.23) + 7.5}{7.5 + 2.15 + 1.23}}$$

$$k_{9} = 1.52$$

(۱۰) ستون شماره ۱۰:

$$G_{A10} = \frac{\frac{8560}{400} + \frac{8560}{300}}{\frac{16270}{700} + 0} \Rightarrow G_{A10} = 2.15$$

$$G_{B10} = \frac{\frac{8560}{300}}{\frac{16270}{700} + 0.5\left(\frac{16270}{400}\right)} \Rightarrow G_{B10} = 0.66$$

$$k_{10} = \sqrt{\frac{1.6(2.15 \times 0.66) + 4(2.15 + 0.66) + 7.5}{7.5 + 2.15 + 0.66}}$$

$$k_{10} = 1.43$$

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

ستون شماره (۱۱):

$$G_A = \frac{\frac{25170}{400} + \frac{25170}{300}}{0.5\left(\frac{16270}{400}\right) + 0.5\left(\frac{16270}{600}\right)} \Rightarrow G_A = 4.33$$

$$G_B = \frac{\frac{25170}{300}}{0} = \infty$$

$$K_{11} = \sqrt{\frac{1.6(4.33\times\infty) + 4(4.33+\infty) + 7.5}{7.5 + 4.33 + \infty}}$$

$$K_{11} = \sqrt{\frac{10.928}{1}} \Rightarrow K_{11} = 3.31$$

ستون شماره (۱۲):

$$G_A = \frac{\frac{25170}{400} + \frac{25170}{300}}{0} = \infty$$

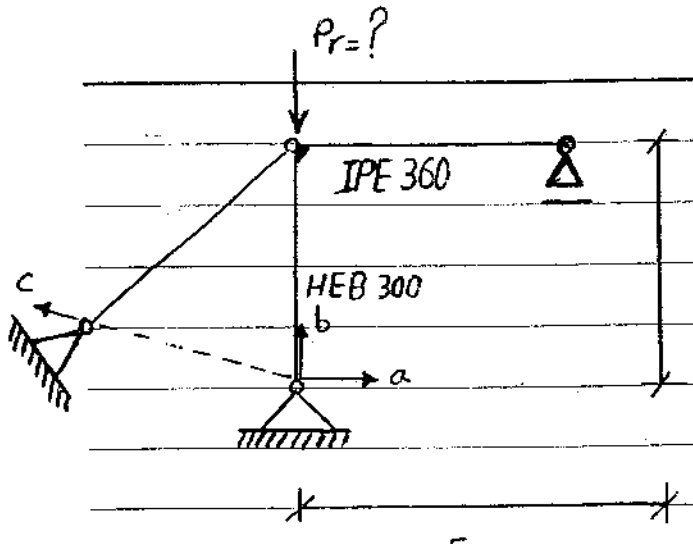
$$G_B = \frac{\frac{25170}{300}}{0.5\left(\frac{16270}{600}\right)} \Rightarrow G_B = 6.19$$

$$K_{12} = \sqrt{\frac{1.6(\infty\times 6.19) + 4(\infty + 6.19) + 7.5}{7.5 + \infty + 6.19}}$$

$$K_{12} = \sqrt{\frac{13.904}{1}} \Rightarrow K_{12} = 3.73$$

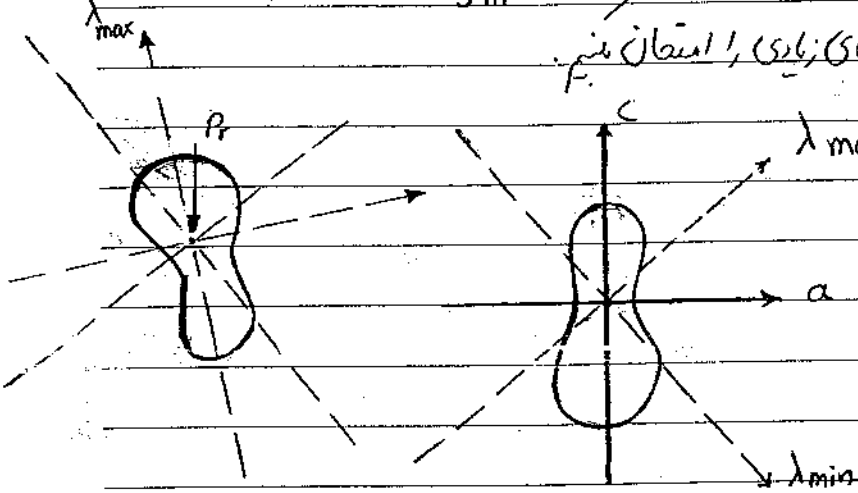
BIST

Subject:
Year: Month: Date:



تمرین: حداکثر بار ضریب دار را محاسبه کنید؟

اگر ستون در صفحه باشد کمانشی است باستی مودهای زیادی را امتحان کنیم.



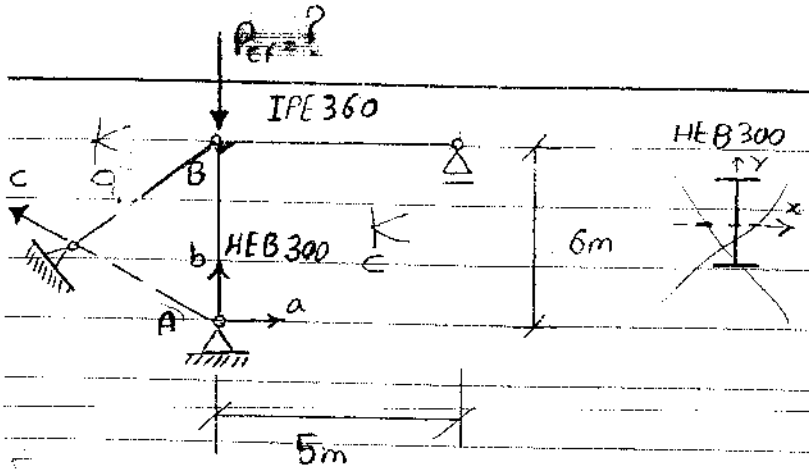
* اگر تارها عمود بر هم باشند و محورهای اصلی یک مقطع منطبق شود، مودهای سازه، کاربسیار ساده‌تری شود. در این صورت پیدا کردن لازی Max در مقطع بسیار ساده است.

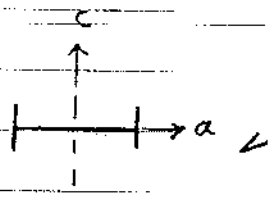
در این گونه مثالها، برای پیدا کردن λ_{max} کافی است لازی حول a و c را حساب کنیم، هرکدام بزرگتر شد، همان λ_{max} است.

BIST

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:





کمانش در صفحه ab = کمانش حول محور c
(در صفحه طاق تابستان مهاربند)
چون B نسبت A حرکت می کند.

$G_A = 10$

$G_B = \dfrac{\frac{25170}{600}}{0.5 \times \frac{16270}{500}} \Rightarrow G_B = 2.58$

$k_c = \sqrt{\dfrac{1.6(10 \times 2.58) + 4(10 + 2.58) + 7.5}{7.5 + 10 \times 2.58}} \Rightarrow k_c = 2.22$

کمانش در صفحه bc = حول محور a
یک سر مهاربندی شده است

$k_a = 1.0$

$\lambda_c = \dfrac{k.l}{r_c} = \dfrac{2.22 \times 600}{13} = 102$ λ_{max}

$\lambda_a = \dfrac{k.L}{r_a} = \dfrac{1.0 \times 600}{7.58} = 79$ λ_{min}

$\lambda_{max} = 102 < 136$ ✓

$\sigma_n = (0.386)^{\frac{102^2}{136^2}} \times 2400 \Rightarrow \sigma_n = 1405 \rightarrow P_n = \sigma_n \times A \Rightarrow P_n = 1405 \times 149 \Rightarrow P_n = 209345$ kg

$P_r \leq \phi . P_n \Rightarrow P_r \leq 0.9 \times 209345 = 188410$ kg ✓

$\phi = 0.9$

اعوجاجی

اعوجاجی مقطع

Subject:
Year: Month: Date:

$M_w = V_p \cdot h \Rightarrow u_w = -EI_p \cdot \frac{h}{2} \frac{d\varphi}{dz^3}$ $\quad c_w$ اندیس $\leftarrow c_w = I_p \cdot \frac{h^2}{2}$

ممان اعوجاجی

$$M_w = -E c_w \frac{d^3\varphi}{dx^3} \quad *$$

سختی اعوجاجی — انحنای اعوجاجی

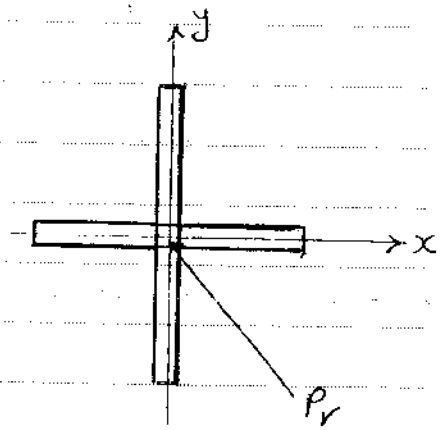
z را به x عوض کردم

تقاوت اعوجاجی مقطع *

$M_T = M_p + M_w \Rightarrow$ $M_T = G.J \frac{d\varphi}{dx} - EC_w \frac{d^3\varphi}{dx^3}$ * رابطه کلی

کشاور کل پیچش

بار بحرانی (کمانش خمشی) $\rightarrow P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{(KL)^2}$



کمانش پیچشی

$$\sigma_{cr(1)} = \left[\frac{\pi^2 E c_w}{(K_2 L)^2} + GJ\right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad \checkmark$$

$\sigma_{cr(1)} > \sigma_{cr(2)} \leftarrow$ می‌پیچد.

کمانش خمشی

$$\sigma_{cr(2)} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad \checkmark$$

$\sigma_{cr(2)} < \sigma_{cr(1)} \leftarrow$ خم می‌شود.

آئین‌نامه در فصل ستونها صفحه 176 بند 4_2_10_2

صفحه 178 کمانش پیچشی بند الف

بند ب صفحه 179 تا آخر 9_4_2_10

10_4_2_10

ستونهای طول کوتاه — مقطع باز - مقاومت کمانش پیچشی کمتری دارند

ستونهای بلند و طول زیاد — مقطع نزدیک به بسته‌اند - مقاومت کمانش خمشی کمتر است.

* در اکثر ستونهای که ما با آنها روبرو هستیم چون لاغر هستند یعنی طول آنها زیاد است، بنابراین مقاومت

مربع طول کمتر یا مساوی ۸ [illegible] است.

کمانش خمشی کمتر است.

مقاومت

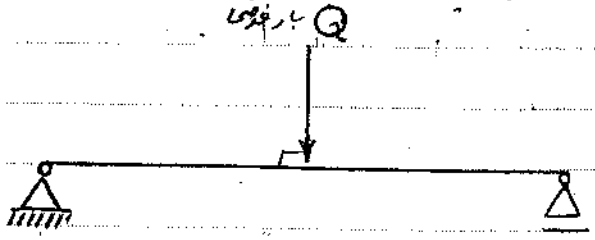
SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

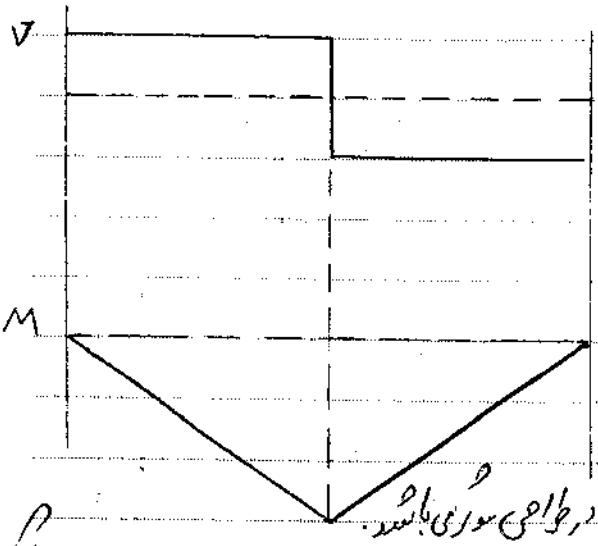
فصل چهارم: اعضای خمشی (تیر)

اعضای خمشی: المان‌های هستند که بار وارد بر این المان دقیقاً عمود بر میان تار است. برخلاف اعضای کششی و فشاری بار عمود بر میان تار است. بار عمود بر میان تار = بار عرضی



بارهای عرضی باعث می‌شود المان تحت نیروی برشی و خمشی قرار گیرد. نیروی محوری ایجاد نمی‌شود در المان.

عضوی است که نیروی محوری ندارد و در عوض در مقاطع نیروی برشی و لنگر خمشی دارد (عضو خمشی)



* برخلاف اعضای کششی و فشاری در اعضای خمشی عوامل متعددی در طراحی موثر می‌باشد.

✓ ۱- خمش، ۲- برش، ۳- تغییر شکل، ۴- کمانش جانبی - پیچش بال فشاری تیر، ۵- کمانش موضعی جان تیر دار برش

۶- جاری شدن، کمانش جان در اثر بارهای متمرکز نسبتی. ۷- خمش دوجهته، ۸- ترکیب تنش‌ها، ۹- پیچش

* ۴ عامل اول مهم‌تر اند

SANYAZ

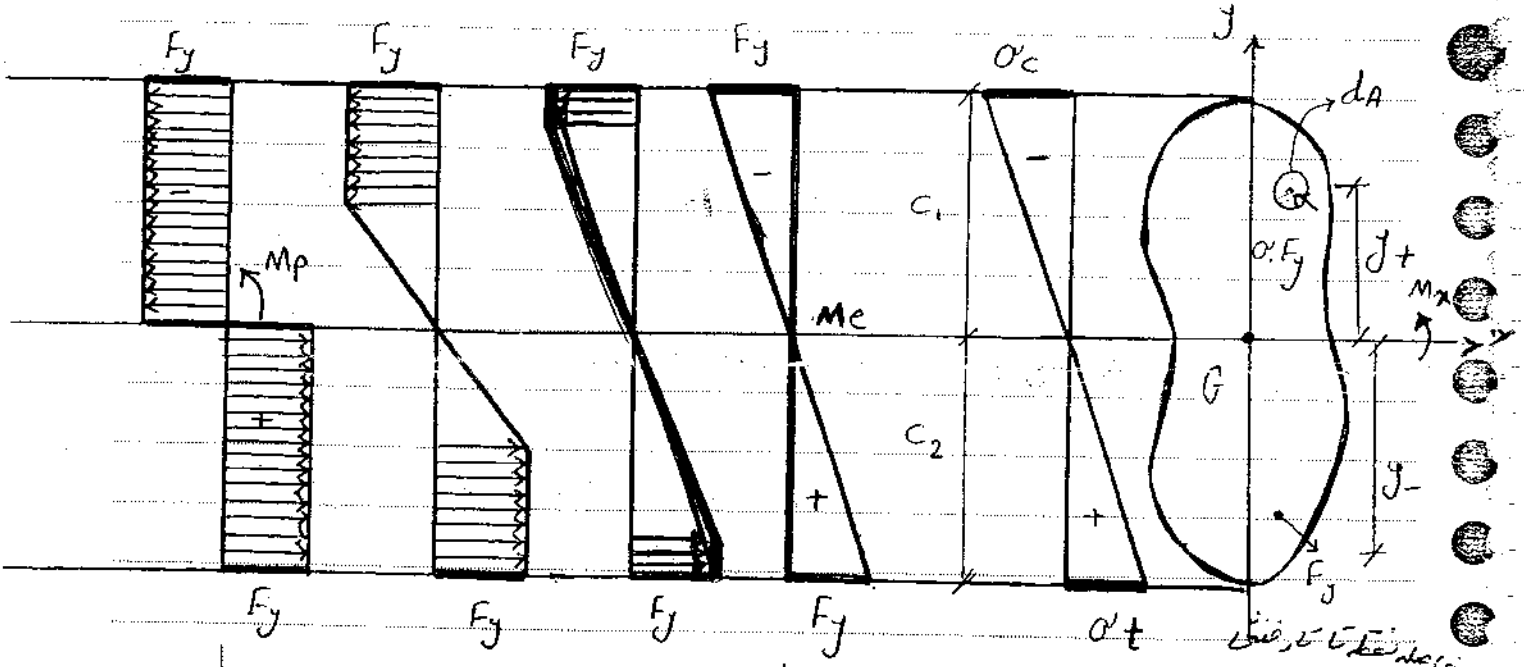
Subject:
Year: Month: Date:

* خمش : (ساده‌ترین حالت خمش)

✓ ۱- محور x و y محورهای اصلی

✓ ۲- محور z محور تقارن (عمود بر مقطع) الاستیک خیز الاستیک

✓ ۳- گشتاور نقاط حول محور x



$c = \max\{c_1, c_2\}$

$\sigma_{max} = \frac{M_x \cdot c}{I_x}$ ✓

$W_{ex} = \frac{I_x}{c}$

$\sigma_{max} = \frac{M_x}{W_{ex}}$ * * ← محور x

$\sigma_{c\,max} = -\frac{M_x \cdot c_1}{I_x}$ ماکزیمم تنش فشاری

$\sigma_{t\,max} = \frac{M_x \cdot c_2}{I_x}$ ماکزیمم تنش کششی

$\sigma = -\frac{M_x \cdot y}{I_x}$ رابطه تنش در هر نقطه *

مدول الاستیک مقطع: تنها پارامتری است که مقاومت مقطع را در برابر خمش نشان می‌دهد.

مدول الاستیک یک مقطع

مدول الاستیک مقطع

گشتاور الاستیک مقطع: به مقدار گشتاوری گفته می‌شود تنش در یکی از تارهای مقطع به حد جاری شدن برسد. گشتاور الاستیک

$F_y = \frac{M_e}{W_e} \Rightarrow \boxed{M_e = F_y \cdot W_e}$ (Me) مقطع کوچک

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

گشتاور نهایی یا پلاستیک یک مقطع: به مقدار گشتاوری که باعث می‌شود، کل مقاطع مقطع به جاری شدن برسند

$M_p = \int (F_y \cdot dA) \cdot y$ ← گشتاور المان سطح

$M_p = F_y \int |y| \cdot dA$

↳ W_p مدول پلاستیک

$$M_p = F_y \cdot W_p \quad *$$

* مدول پلاستیک جزو خواص هندسی مقطع است *

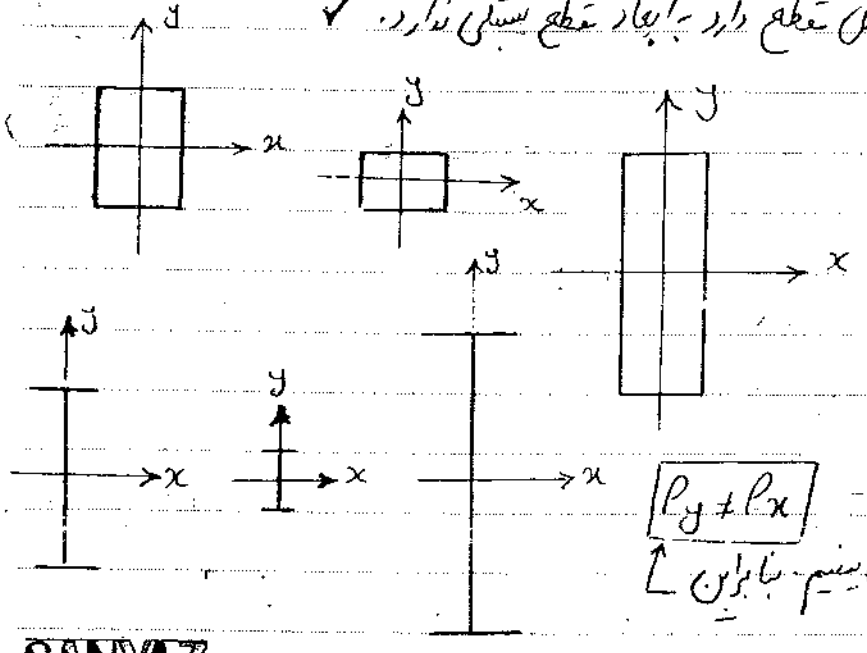
$W_p =$ گشتاور الاستیک سطح بالا نسبت به محور x + گشتاور الاستیک سطح پایین نسبت به محور x

$$f = \frac{M_p}{M_e} = \frac{|M_p|}{W_e} > 1.0$$

تنها پارامتری که شکل پذیری یک مقطع را نشان می‌دهد، ضریب شکل پذیری است.

اگر بزرگتر از 1.0 باشد، شکل پذیری بیشتر است در مقابل خمش.

ضریب شکل پذیری = تنها بستگی به شکل مقطع دارد و ابعاد مقطع بستگی ندارد. ✓



$f_y = f_x$

نسبت به محور x بالا و پایین تیری بینیم.

$f_y \neq f_x$

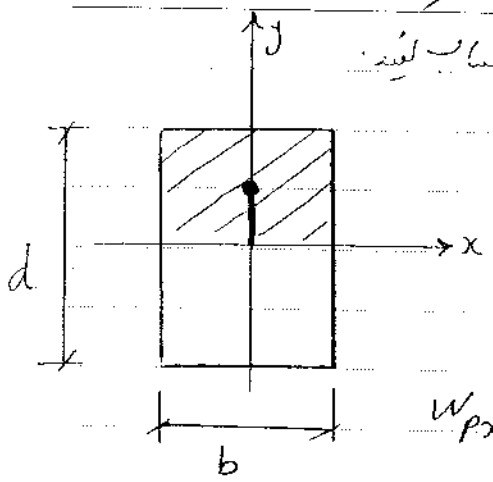
نسبت به محور y چپ و راست را می‌بینیم. بنابراین

SANYAZ

* آئین نامه تنش مجاز را در تیرها 3 ۰ فرض می کند ۰ *

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: ضریب شکل مقطع مستطیلی نسبت به محورهای x و y را محاسبه کنید.



فاصله مرکز هاف موثر خمیری از تار خنثی

$$f_x = \frac{W_{px}}{W_{ex}}$$

فاصله از مرکز

مساحت های شور خورده

$$W_{px} = \int |y|\, dA = 2 \times \left[b \times \frac{d}{2} \times \frac{d}{4} \right] = \frac{bd^2}{4}$$

$$W_{ex} = \frac{I_x}{c} = \frac{\frac{bd^3}{12}}{\frac{d}{2}} = \frac{bd^2}{6} \quad \checkmark$$

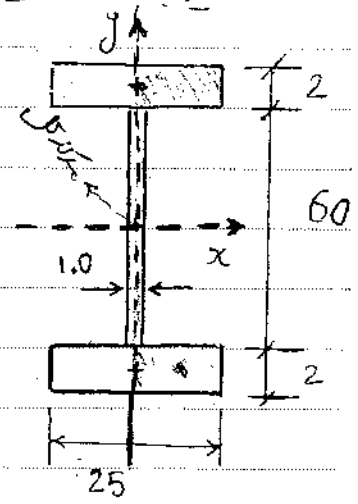
نصف ارتفاع مقطع

$$f_x = \frac{\frac{bd^2}{4}}{\frac{bd^2}{6}} = 1.5 \quad , \quad f_y = 1.5 \quad \checkmark$$

در تمامی مستطیل ها

مثال: ضریب شکل مقطع زیر را نسبت به محورهای x و y محاسبه کنید.

$$f_x = \frac{W_{px}}{W_{ex}} \qquad f_x \neq f_y$$



$$W_{px} = \int |y|\, dA = 2 \times \left[25 \times 2 \times 31 + 30 \times 1 \times 15 \right] = 4000$$

$$W_{ex} = \frac{I_x}{c}$$

(ها فاصله مرکز تا مرکز)

$$I_x = \frac{1 \times 60^3}{12} + \frac{2 \times (25 \times 2^3)}{12} + 2 \times 2 \times 25 \times 31^2 = 114133$$

$$W_{ex} = \frac{114133}{32} = 3566 \quad \Rightarrow \quad f_x = \frac{4000}{3566} = 1.12$$

نتیجه: مقطع I شکل دیگری با هر ابعادی قطعاً ضریب شکل آن باید 1.12 باشد.

$1.10 < f_x < 1.15$ ← برای تمام پروفیل های I شکل

و اما ضریب شکل مقطع I شکل $f_x = 1.12$ است.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

$W_p = 2 * (\text{مساحت بالای تار}) * (\text{فاصله مرکز سطح بالای تار تا محور خنثی})$: برای خودم

Subject:
Year: Month: Date:

$$f_y = \frac{W_{py}}{W_{ey}}$$

$$W_{py} = \int |x| dA = 2 \times \left[2 \times 12.5 \times 2 \times 6.25 + 60 \times 0.5 \times 0.25 \right] = 640 \quad \checkmark$$

$$W_{ey} = \frac{I_y}{c} \qquad I_y = \frac{60 \times 1^3}{12} + \frac{2 \times 25^3}{12} = 5213 \quad \checkmark$$

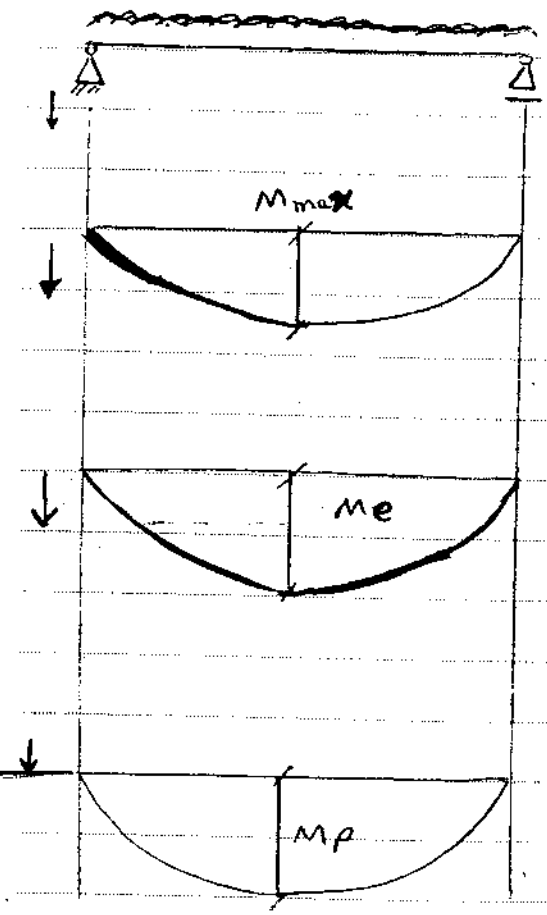
$$W_{ey} = \frac{5213}{12.5} = 417 \Rightarrow f_y = \frac{640}{417} = 1.5 \qquad \boxed{f_y = 1.5} \quad \checkmark$$

عملی

$1.5 < f_y < 1.55$

نتیجه: ضریب شکل کلیه مقاطع I شکل نسبت به محور x [redacted] نسبت به محور y [redacted] است.

* جریان بارگذاری در تیر:



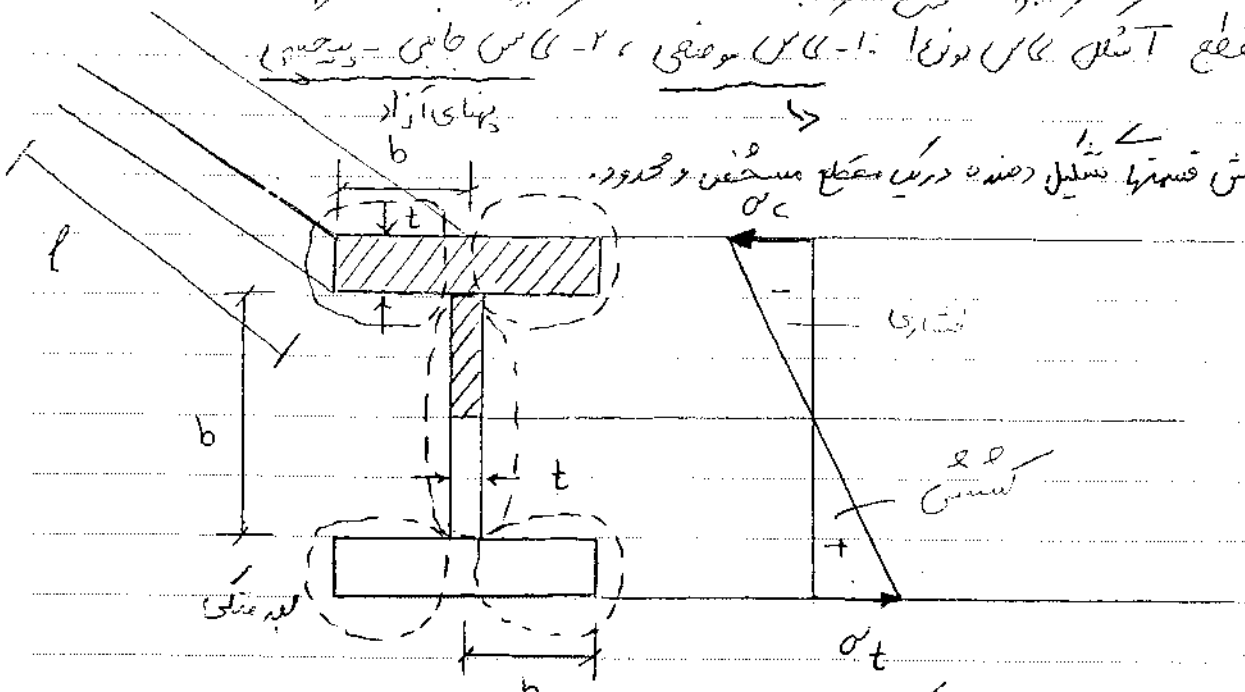
با افزایش بار گشتاورها افزایش می‌یابند. هان مقطعی که در آن گشتاور Max بود به گشتاور الاستیک می‌رسد Me و بعد همان مقطع به گشتاور پلاستیک می‌رسد Mp و دقتی به گشتاور پلاستیک رسید

چون تنش‌های فشاری زیاد است می‌تواند کمانش ایجاد کند.

SANYAZ

Subject:
Year: Month: Date:

در مقطع I شکل کمانش موضعی ۱- کمانش موضعی ، ۲- کمانش جانبی - پیچشی



- طوری که شرط لازم است که بتوان تنش و را در یک مقطع I شکل به تنش در پلاستیک برسانیم:

* از نظر تئوری کامل تیر وقتی می توان استفاده کرد که کمانش موضعی و کمانش جانبی - پیچشی اتفاق نیفتد. *

✓ شرط یک: تا رسیدن تنش در به تنش در پلاستیک قسمت های تشکیل دهنده مقطع کمانش موضعی نداشته باشد.

* قسمت های تشکیل دهنده یک مقطع: اجزای از یک مقطع است که حداقل از یک طرف و یا از هر دو طرف به اجزای دیگر متصل اند. در شکل بالا با خطوط خط چین آنها نشان داده شده اند.

پهنای آزاد: با تعریف عرض هر قسمت را پهنای آزاد آن قسمت گویند. (b)

ضخامت هر قسمت، ضخامت آن جزء است (t)

هرچه قدر نسبت $\frac{b}{t}$ بزرگتر باشد در آن قسمت طول بزرگتر و ضخامت کمتر است. (کمتر فشار می تواند (طول محدودی) کمانه کند) (اگر بیش)

* $\lambda = \frac{b}{t}$ لاغری اجزای تشکیل دهنده

SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

$\lambda = \frac{b}{t}$

$\frac{b}{t}$ دوری‌ها لاغری نامیده می‌شود.

کمانش موضعی، کمانش قسمت‌های تشکیل دهنده مقطع در طول محدودی از عضو است به همین دلیل کمانش موضعی لوکال نیز.

✓ کمانش موضعی فقط تابع $\frac{b}{t}$ است، $\frac{b}{t}$ بیشتر کمانش موضعی بیشتر است. ✓

* اجزای از یک طرف متصل = اجزای یک لبه متکی

** اجزای از دو طرف متصل = اجزای دو لبه متکی

اگر $\frac{b}{t}$ کم باشد ← مقطع ضخیم‌تر ← تا کشسان (یا خمیری، پلاستیک) کمانش موضعی اتفاق نمی‌افتد

~~بین مقطع مقاطع فشرده تا Compact~~

اگر $\frac{b}{t}$ یک مقدار بزرگ ← تا کشسان ✓ کمانش موضعی ندارد ولی بین کشسان و الاستیک، کشسان و پلاستیک ✓

کمانش موضعی می‌تواند اتفاق بیفتاد ← این مقاطع، مقاطع غیر فشرده لوکال

اگر $\frac{b}{t}$ بزرگتر ← قبل از اینکه حتی کشسان به کشسان الاستیک برسد در یک نقطه‌ای کمانش موضعی دارند.

مقاطع لاغر (استفاده از آن ممنوع) طبق آئین نامه فولاد ایران

* دسته‌بندی مقاطع به سه دسته طبق آئین نامه: ۱- مقاطع فشرده ✓
۲- مقاطع غیر فشرده ✓
۳- مقاطع لاغر غیر قابل استفاده

نکته) طبق صفحات 158 به 155 آئین نامه، تعاریفی مقاطع فشرده و غیر فشرده آمده است.

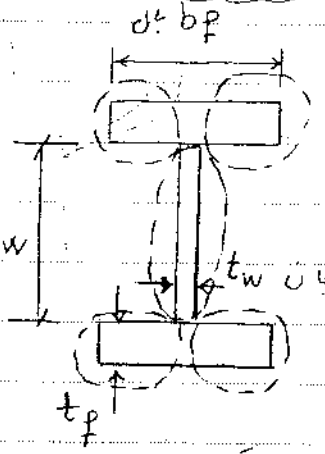
SANYAZ

Subject:
Year: Month: Date:

نتیجه سوال اول: اگر می خواستیم گشتاور را به گشتاور M_p برسانیم، حتماً باید مقطع فشرده باشد.

جدول صفحه 155 - جدول 1.2-2-10 محدودیت نسبت پهنا به ضخامت اجزای فشاری

158



از ردیف ۱ جدول برای بال تیر

بال فشرده $\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} \simeq 11$ ✓

بال غیرفشرده $0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b_f}{2t_f} < 0.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} \simeq 22$

هرچه قدر به 0.76 نزدیکتر شود به غیرفشردگی نزدیکتر است. ✓

هرچه قدر به 0.38 نزدیکتر شود، غیرفشردگی کمتر است. ✓ پس فشردگی بیشتر *

از ردیف ۹ جدول برای جان تیر

جان فشرده $\frac{h}{t_w} \leq 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} \simeq 108$ ✓

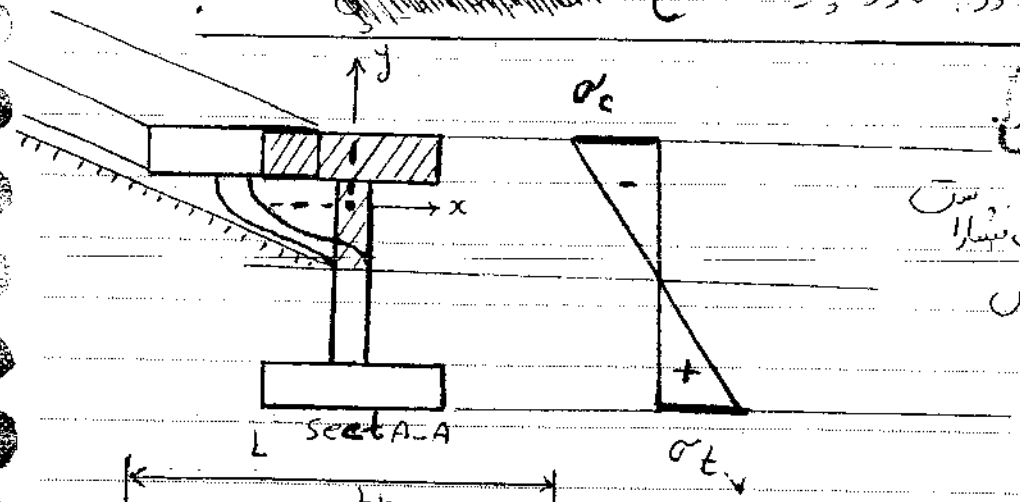
جان غیرفشرده $3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} < 5.7\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

✗ اگر بال فشرده و جان نیز فشرده باشد، مقطع فشرده است.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

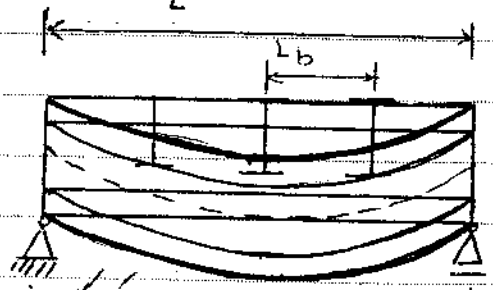
Subject:
Year: Month: Date:

نکته مهم: پایه ستون کشاد در راستای طولی پل، مقطع T شکل نداشته باشد.



شرط دوم اهمیت زیادی دارد.

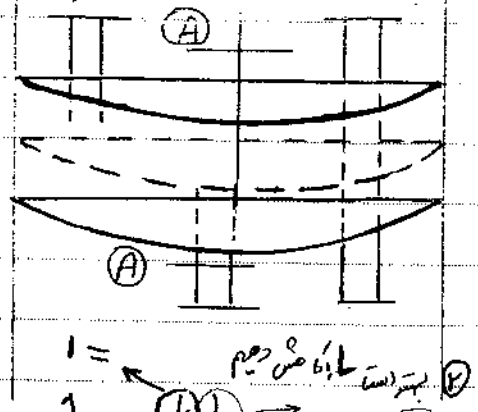
* بهتر است مقطع T شکل بالا به تخت نباشد.
بجای کابین مرضی مانند یک ستون
با مقطع T کابین کامل بکنند.



اگر ستونی با مقطع T باشد، احتمال کمانه کردن حول محور x است یا حول محور y.

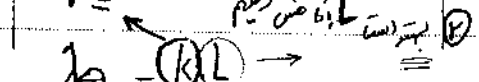
نسبت به محور x به هیچ وجه نباید کمانه بکند. (امکان پذیر نیست)

حول محور y عامل وجود ندارد، می تواند تا حتی حول محور y کمانه بکند.



* کمانش جانبی از کمانش مرضی هم بسیار خطرناک تر است. *

چون یک کمانش کلی است و در کل تیر اتفاق می افتد.



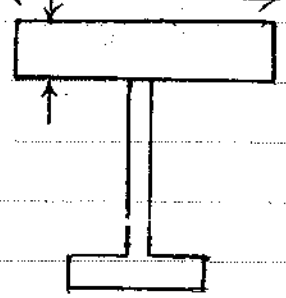
کمانش جانبی در تراست به شکل جابجایی در راس یا به شکل پیچش است.

برای جلوگیری از کمانش جانبی دو نوع راه حل داریم: ۱- افزایش r_y ۲- کاهش L

(با افزایش عرض بال، r_y را بیشتر کنیم و ضخامت را بیشتر کنیم)

هم عرض بال و هم ضخامت بال را بیشتر بکنیم.

در پل ها استفاده می کنند.



SANYAZ

Subject:
Year: Monith: Date:

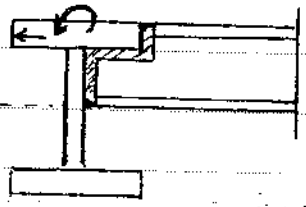
III ← (۲) ۱ (طول) کمانش را کاهش دهیم (موثرتر و مناسب‌تر است) با اضافه کردن تکیه‌گاه‌های جانبی (L_b)

تکیه‌گاه‌های جانبی: تیرهای فرعی هستند به فواصل مشخص L_b طوری تنظیم می‌شوند که جلوی کمانش جانبی را بگیرند.

نتیجه شرط دوم

اگر می‌خواهیم گشتاور به گشتاور پلاستیک برسد یا اضافه کردن تکیه‌گاه‌های جانبی به فواصل مشخص جلوی کمانش جانبی پیچشی را بگیریم اتصال آن بسیار مهم است. طوری تیر فرعی را متصل کنیم که **دورانی** (قیمت فشاری باشد؟) اینا، هم جلوی ورقت را بگیرد

هم جلوی خودش را بگیرد.



* در اجرای تیرها حالتهای بسیار مختلفی با وجود شرط گفته شده بوجود می‌آید!

فرض می‌کنیم ۱- مقطع I شکل ۲- متقارن حول محور ۲ ۳- جسم حول محور x (محور قوی) *

حالت‌های فرعیات بال:

a ✓ - مقطع فشرده (بال فشرده، جان فشرده) و دارای تکیه‌گاه جانبی به حد کافی

مقطع فشرده

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$ ✓ بال فشرده

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$ ✓ جان فشرده

$h_w = h - 2t_f$

است

$L_p = 1.76\, r_y\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ✓ ✓ ✓ طول لازم برای رسیدن گشتاور به گشتاور پلاستیک

آیین نامه

شعاع ژیراسیون حول محور ضعیف

تکیه‌گاه به حد کافی ($L_b < L_p$)

حد کافی: تکیه‌گاه جانبی داشته باشیم که فاصله تکیه‌گاه‌ها از L_p کوچکتر باشد

SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

✓ مقاومت‌های طراحی تحت بارگذاری پلاستیک است.

$M_n = M_p$

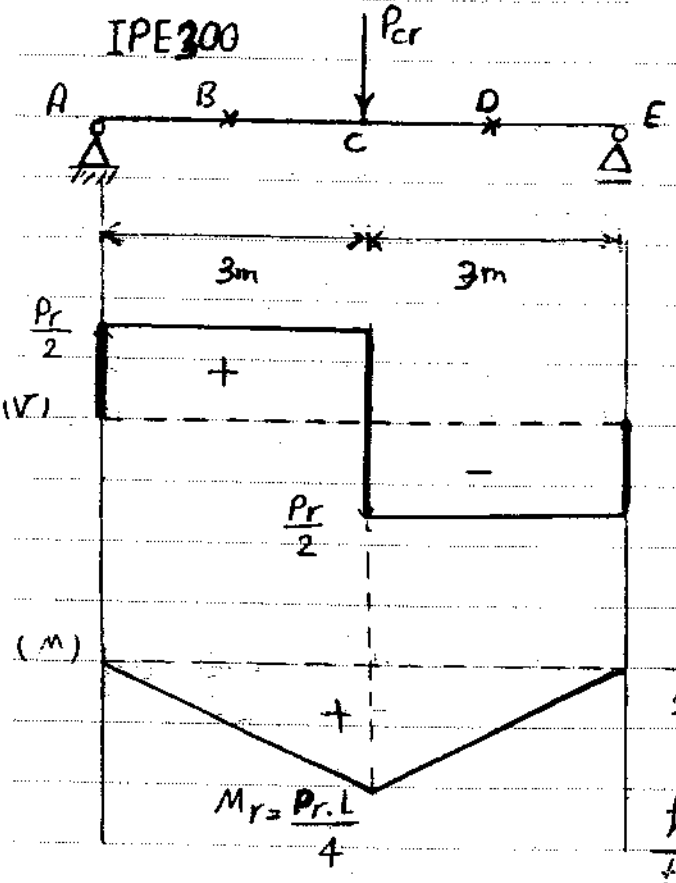
$M_n = M_p = W_p \times F_y$

$M_r \leq \phi M_n$ تحت بارهای ضریب‌دار

$\phi = 0.9$ *

مسئله 1: در تیر مقابل در نقاط A, B, C, D, E تکیه‌گاه جانبی تأمین شده است.

حداکثر بار ضریب‌دار را محاسبه کنید؟



IPE 300 { $W_e = 557$, $W_p = 624$, $t_f = 15$, $t_p = 1.07$, $t_w = 0.71$, $r_y = 3.35$

* نکته: اگر W_p در جدول پروفیل موجود نباشد، $W_p = W_e \times 1.12$ می‌باشد.

① تیر فشرده

$\frac{b_f}{2t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$\frac{15}{2 \times 1.07} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11$ ✓ بال فشرده

$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$\frac{(30 - 2 \times 1.07)}{0.71} = 39 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$ ✓ جان فشرده

} مقطع فشرده

* اگر پروفیل‌های تولید شده فشرده نباشند مقاومت بر اساس کمانش کنترل می‌شود.

Subject:
Year: Month: Date:

$L_b = 150$ cm

① کنترل شرایط تکیه‌گاهی جانبی

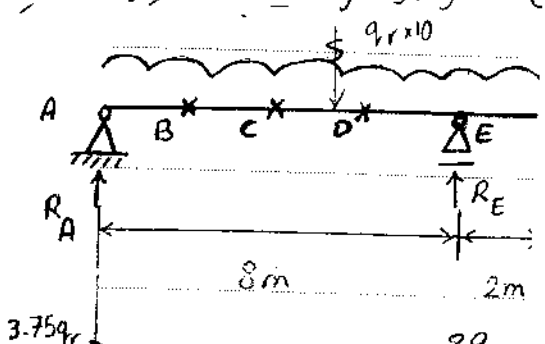
$L_p = 1.76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.35 \times \sqrt{\frac{2\times10^6}{2400}} = 170$ cm $\Rightarrow L_b < L_p$ تکیه‌گاه جانبی مناسب است.

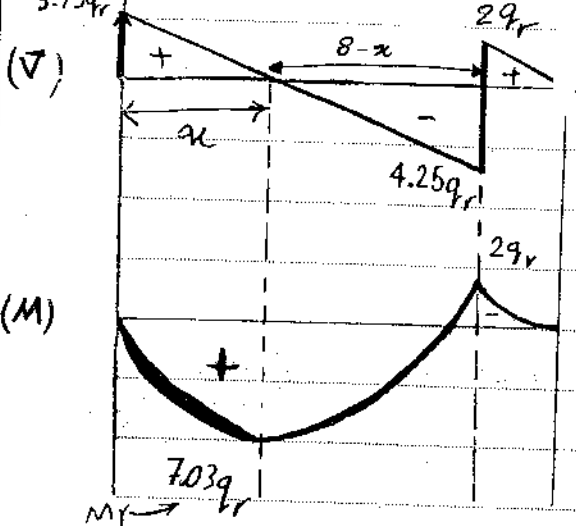
حالت (a)

$M_n = M_p = W_p \times F_y = 624 \times 2400 \Rightarrow M_n = 1497600$ kg.cm

$M_r \leqslant \phi M_n \Rightarrow \left(\frac{P_r \times 600}{4}\right) \leqslant 0.9 \times 1497600 \Rightarrow P_r \leqslant 8985.6$ kg

مسئله ۲: در تیر نکاتی مهم برای رسم دیاگرام V و M





M_r → kg.m

$\frac{\text{مساحت}}{\text{مساحت}} = \frac{x}{8-x} = \frac{3.75q_r}{4.25q_r} \Rightarrow x = 3.75$

$M_{max} = \frac{3.75q_r \times 3.75}{2} = 7.03q_r$

$\frac{\text{مساحت}}{\text{مساحت}} = \frac{3.75q_r \times 3.75}{2} = -9.38q_r$

$+7.03q_r - 9.38q_r = -2q_r$

$\sum M_E = 0$

$E = 6.25q_r$

IPE 400 { $W_e = 1100$, $W_{pz} = 1299 = W_e * 1.12$, $b_f = 18$, $t_f = 1.35$, $t_w = 0.86$, $r_y = 3.95$ }

① کنترل فشردگی

$\frac{b_f}{2t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{18}{2\times1.35} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11$ ✓ بال فشرده

$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{(40-2\times1.35)}{0.86} = 43 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$ ✓ جان فشرده

مقطع فشرده

SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

② کنترل شرایط تکیه‌گاه جانبی

$L_b = 200\ cm$

$L_p = 1.76 \times 3.95 \times \sqrt{\frac{2\times10^6}{2400}} = 201\ cm \Rightarrow$ [redacted]

* حالت [redacted]

$M_n = M_p = W_p \times F_y = 1299 \times 2400 \Rightarrow M_n = 3117600\ kg.cm$

متر به سانتی متر تبدیل شده است ← cm

$M_r \leq \phi M_n \Rightarrow (7.03 \times q_r) \times 100 \leq 0.9 \times 3117600 \Rightarrow q_r \leq 3991\ kg/m$

b- [redacted]

$\frac{b_f}{2t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ✓✓ } تقاطع نکرده

$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

فاصله تکیه‌گاه، بیشتر از حد لازم است برای رسیدن به لنگر پلاستیک (M_p)

$L_p < L_b < L_e$

L_e: فاصله‌ی لازم برای رسیدن به لنگر الاستیک (M_e) است.

* تکیه‌گاه‌ها فاصله‌شان یک مقدار بیشتر است. یعنی مقاومت خمشی تیر تا لنگر پلاستیک (M_p) می‌رسد.

در فاصله بین لنگر الاستیک (M_e) و لنگر پلاستیک (M_p) می‌تواند کمش پیدا کند.

$0.7M_e \leq M_n < M_p$ * ← در نظر گرفته شده

مقاومت تیر کوچکتر از لنگر M_p است.

مقاومت خمشی تیری بین لنگر M_e و M_p است. *

* هرچه قدر فاصله‌ها به L_e نزدیکتر شوند مقاومت کاهش می‌یابد به $0.7M_e$ و هرچه قدر فاصله‌ها به L_p نزدیک شوند، مقاومت افزایش می‌یابد به M_p.

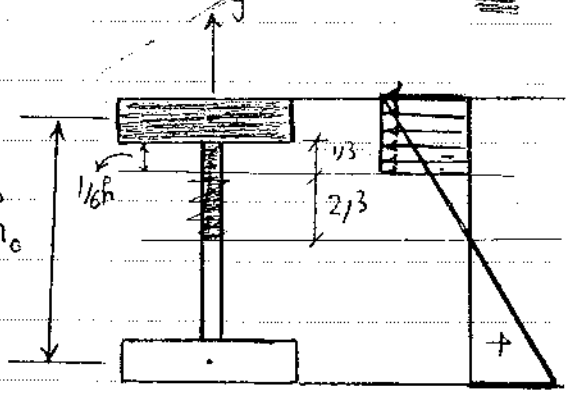
SANYAZ

Subject:
Year: Month: Date:

$L_e = \pi . r_{ts} * \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}}$

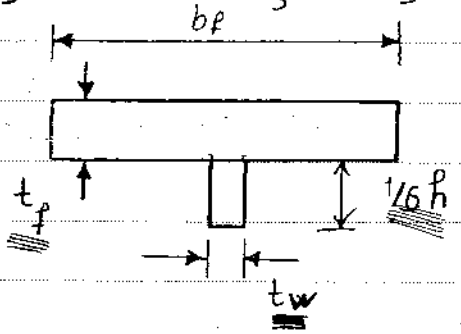
← به خاطر تنش پسماند

r_{ts} : شعاع ژیراسیون مقطع شکلی که می‌تواند کمانه کند نسبت به محور y



فرض آیین نامه $\frac{2}{3}$ طول را کمانه می‌کند و $\frac{1}{3}$ آن را حساب می‌کند.

→ به شکل معادل



$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y . h_o}{2 w_e}}$$

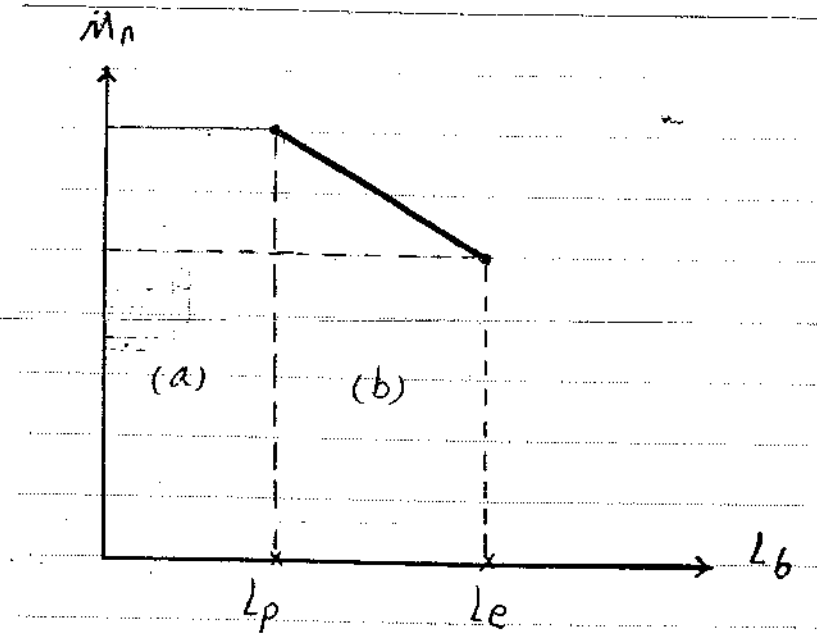
برای پروفیل‌های دوردیده $r_{ts} \simeq 1.20 r_y$

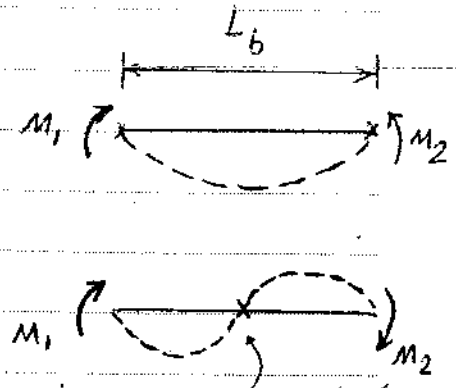
h_o : فاصله مرکز به مرکز بال‌ها

I_y : لنگر اینرسی کل مقطع نسبت به محور y

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:



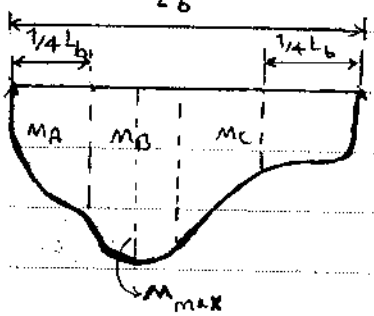


* تکیه گاه مجازی خود به خود ایجاد شده است.

$$M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0.7M_e)\left(\frac{L_b - L_p}{L_e - L_p}\right)\right] \leq M_p$$

C_b: C_b بزرگتر یا مساوی یک ضریب اصلاحی که اثر نمودار گشتاور خمشی را در فاصله جانبی نشان می دهد.

* چون در اثر ضرب کردن معادله بالا به ضریب C_b حاصل خیلی بالا می شود به همین دلیل معادله بالا را کوچکتر مساوی M_p قرار داده ایم.



نمودار خمش

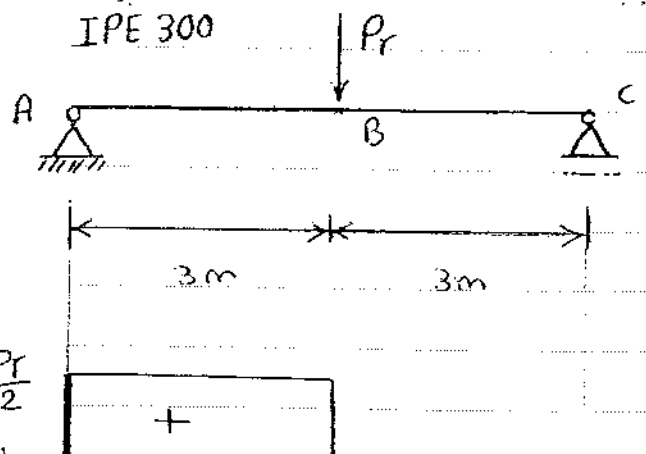
$$1.0 \leq C_b = \frac{12.5\, M_{max}}{2.5M_{Max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 3.0$$

* همواره عددی بزرگ 3.0 و 1.0 است. قدر مطلق مقادیر در معادله جایگذاری می شود ($|M_A|$ ، $|M_B|$ ، $|M_C|$)

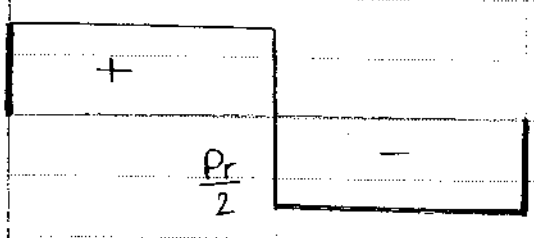
آئین نامه مد 200 جدول 2_5_2_10

Subject:
Year: Month: Date:

مسئله ۲: فرض می‌کنیم تیر در نقاط A, B, C دارای تکیه‌گاه جانبی است. با استفاده از یک نیمرخ IPE 300 مقطع ۹۷ زده



IPE 300 { $W_e = 557$, $W_p = 624$ ← $W_p = 1.12 W_e$, $b_f = 15$, $t_f = 1.07$, $t_w = 0.71$, $r_y = 3.35$ } مناسب کنید.

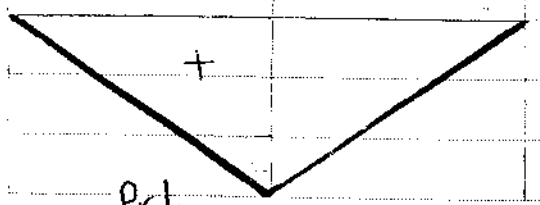


(V)

① کنترل فشردگی

$$\frac{b_f}{2t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{15}{2\times 1.07} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11 \quad \checkmark \text{ بال فشرده}$$



(M)

$$M_r = \frac{P_r L}{4}$$

$$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{(30 - 2\times 1.07)}{0.71} = 39 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108 \quad \checkmark \text{ جان فشرده}$$

} مقاطع فشرده

② کنترل شرایط تکیه‌گاه جانبی

$L_b = 300\,cm$

$$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.35 \times \sqrt{\frac{2\times 10^6}{2400}} = 170\,cm$$

$$L_e = \pi . r_{ts}\sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} \Rightarrow L_e = \pi \times (1.2 \times 3.35) \times \sqrt{\frac{2\times 10^6}{0.7\times 2400}} = 435\,cm$$

$L_p < L_b < L_e$ ← حالت (b)

$$M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0.7M_e)\left(\frac{L_b - L_p}{L_e - L_p}\right)\right]$$

$C_b = 1.65$ از جدول صفحه ۲۰۰ آیین‌نامه *

$M_p = W_p \times F_y = 624 \times 2400 = 1497600$

$M_p = W_e \times F_y = 557 \times 2400 = 1336800$

SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

$$M_n = 1.65\left[1497600 - \left(1497600 - 0.7\times 1336800\right)\left(\frac{300-170}{435-170}\right)\right] = 2016267 \leqslant M_p = 1497600$$

935760

$$M_n = M_p = 1497600 \quad *$$

$$M_r \leqslant \phi M_n \Rightarrow \frac{P_r \times 600}{4} \leqslant 0.9 \times 1497600 \Rightarrow P_r \leqslant 8986\ kg \quad \surd$$

c – مقطع فشرده (بال فشرده، جان فشرده) و فاقد شرایط تکیه گاهی جانبی

$$\left.\begin{aligned} \frac{b_f}{2t_f} &< 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{h}{t_w} &< 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} \end{aligned}\right\}$$

$L_b > L_e$: فاقد شرایط تکیه گاه

بنابراین قبل از اینکه لنگر در طول به لنگر پلاستیک (M_e) برسد کمانش جانبی می دهد.

$M_n \leqslant 0.7 M_e$

چون کمانش قبل از لنگر پلاستیک (M_e) است، شکل کمانش هم کمانش الاستیک است (اویلر)

$$M_n = F_{cr} \times W_e \leqslant M_p$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \times \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}\sqrt{1 + 0.078\,\frac{J \times C}{W_e h_o}\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

J_c : مقاومت پیچشی مقطع

* J در جدول نوشته نشده باشد ولی در جدول ها کلا کمبکا پایان جزوه می توان به علت ناچیز بودن است. سود جست

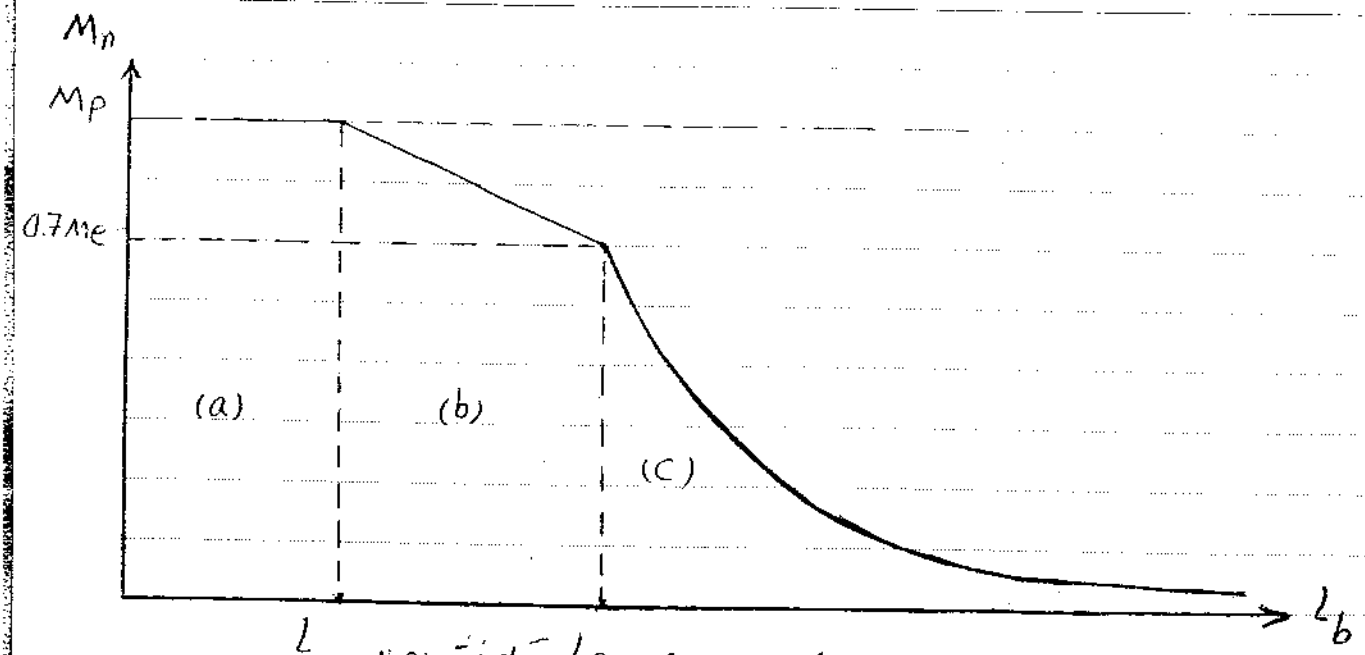
$J = \frac{1}{3}\sum b t^3$ → ضخامت ورق‌ها

عرض ورق‌ها

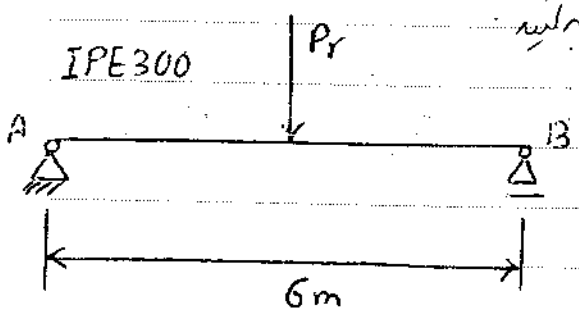
برای پروفیل های نورد شده از جدول $C = 1$

برای پروفیل های I شکل همیشه یک است.

Subject:
Year: Month: Date:



مثال: حداکثر بار ضریب داری که تیر می‌تواند تحمل کند را محاسبه کنید



فقط در نقاط A و B مهارهای جانبی

IPE 300
$W_e = 557$
$W_p = 624$
$b_f = 15$
$t_f = 1.07$
$r_y = 3.35$

① کنترل فشردگی ✓

$\frac{b_f}{2t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$\frac{15}{2\times 1.07} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11$ ✓ بال فشرده

$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$\frac{(30 - 2\times 1.07)}{0.71} = 39 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$ ✓ جان فشرده

} ✓ مقطع فشرده

② کنترل شرایط تکیه‌گاهی

$L_b = 600$ cm

$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76\times 3.35 \times \sqrt{\frac{2\times 10^6}{2400}} = 170$ cm

$L_e = \pi \cdot r_{ts}\sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} = \pi \times (1.2\times 3.35)\times \sqrt{\frac{2\times 10^6}{0.7\times 2400}} = 435$ cm

} $L_b > L_p$ (C) مسئله جزء حالت

SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

$M_n = F_{cr} \cdot W_e \leq M_p$ ✓

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}\sqrt{1+0.078\frac{J\times c}{h_o W_e}\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} = \frac{1.3\,\pi^2\times 2\times 10^6}{\left(\frac{600}{4.01}\right)^2}\sqrt{1+0.078\frac{19.47\times 1}{28.93\times 557}\left(\frac{600}{4.01}\right)^2}$$

$C_b = 1.3$

$r_{ts} = 1.2 \times 3.35 = 4.01$ $\qquad F_{cr} = 2025$

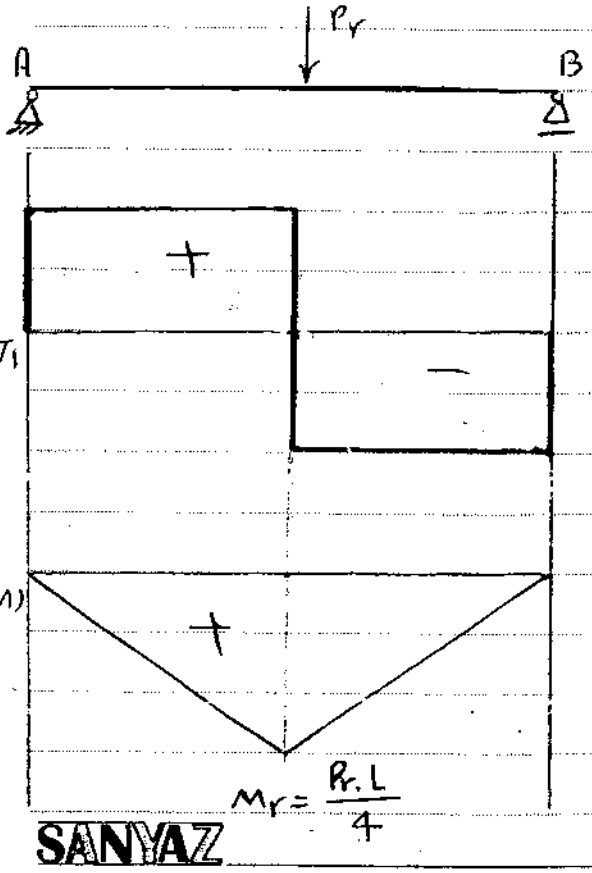
$J = \frac{1}{3}\sum b t^3 = 19.47$ $\qquad M_n = F_{cr} \times W_e = 2021 \times 557 = 1125697 < M_p = W_{px} F_y =$ 1127925 1497600 ✓

$h_o = 30 - 1.07 = 28.93$ (d, t_f)

$M_r \leq \phi M_n$

$\left(\frac{P_r \times 600}{4}\right) \leq 0.9 \times 1125697 \Rightarrow P_r = 6751$ kg 1127925 6767

نتیجه گرفتیم از ظرفیت کامل تیر استفاده نکردیم حداقل باید یک تکیه گاه جانبی در وسط تیر AB داشته باشیم.



SANYAZ

Subject:
Year: Month: Date:

* d ـ بال غیرفشرده ـ جان فشرده ـ تکیه‌گاه به صورت خمشی

$$\lambda_{pf} = 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} < \lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} < \lambda_{ef} = 0.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_b < L_p$$

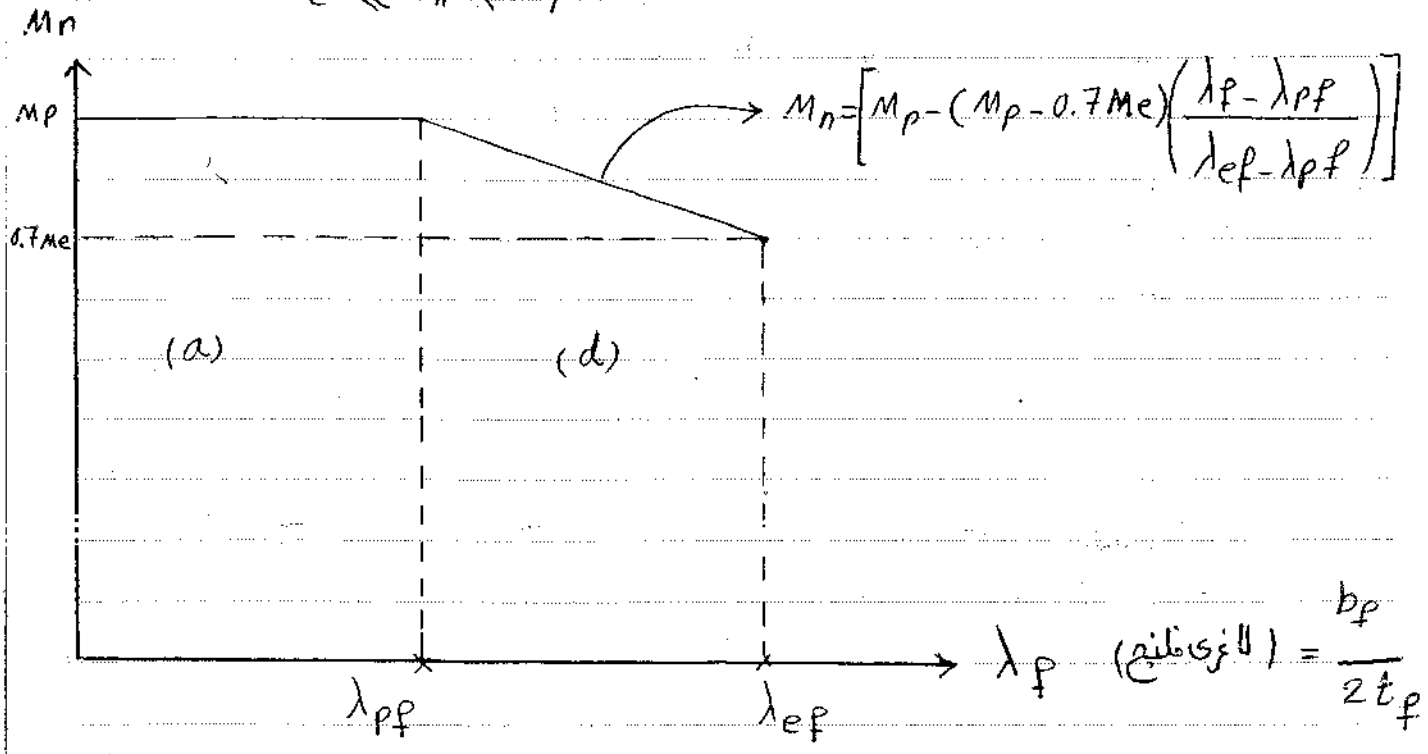
چون تکیه‌گاه به صورت خمشی دارد، تنش خمشی سطحی می‌شود

به علت اینکه بال غیرفشرده است، در فاصله بین لنگار الاستیک (M_e) و لنگار پلاستیک (M_p) تنش موضعی وجود دارد.

نتیجه: قطعاً ظرفیت تیر بین لنگار الاستیک (M_e) و لنگار پلاستیک (M_p) خواهد بود.

چون بال خیلی فشرده است مشکل تیر کمانش موضعی است.

$$0.7M_e \leq M_n < M_p$$



برای جان فشرده، $L_b < L_p$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

* e - بال غیرفشرده - جان فشرده - برای تکیه گاه جانبی ناکافی

$$\lambda_{pf} < \lambda_f < \lambda_{ef}$$

$$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_p < L_b < L_e$$

* دو حالت دارد ۱- بال غیره فشرده ۲- تکیه گاه قاسم تر است.

بال غیرفشرده = بین گشتاور الاستیک M_e و گشتاور پلاستیک M_p کمانش موضعی می کند.

تکیه گاه ناکافی = بین گشتاور الاستیک M_e و گشتاور پلاستیک M_p کمانش جانبی هم می تواند اتفاق بیفتاد.

$$M_n = \min \begin{cases} M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7M_e)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{ef} - \lambda_{pf}}\right)\right] & \text{کمانش موضعی} \\ M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0.7M_e)\left(\frac{L_b - L_p}{L_e - L_p}\right)\right] & \text{کمانش جانبی} \end{cases}$$

* f - بال غیره فشرده - جان فشرده - فاقد شرایط تکیه گاهی

$$\lambda_{pf} < \lambda_f < \lambda_{ef}$$

$$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_b > L_e$$

✓ هم احتمال کمانش موضعی وجود دارد.

✓ هم احتمال کمانش جانبی وجود دارد.

!!! کمانش جانبی بیشتر از کمانش موضعی است چون $L_e > L_b$ است.

$$M_n = \min \begin{cases} M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7M_e)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{ef} - \lambda_{pf}}\right)\right] \\ M_n = F_{cr} \times W_e \quad F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}\sqrt{1 + 0.078\frac{J_c}{W_e \cdot h_o}\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \end{cases}$$

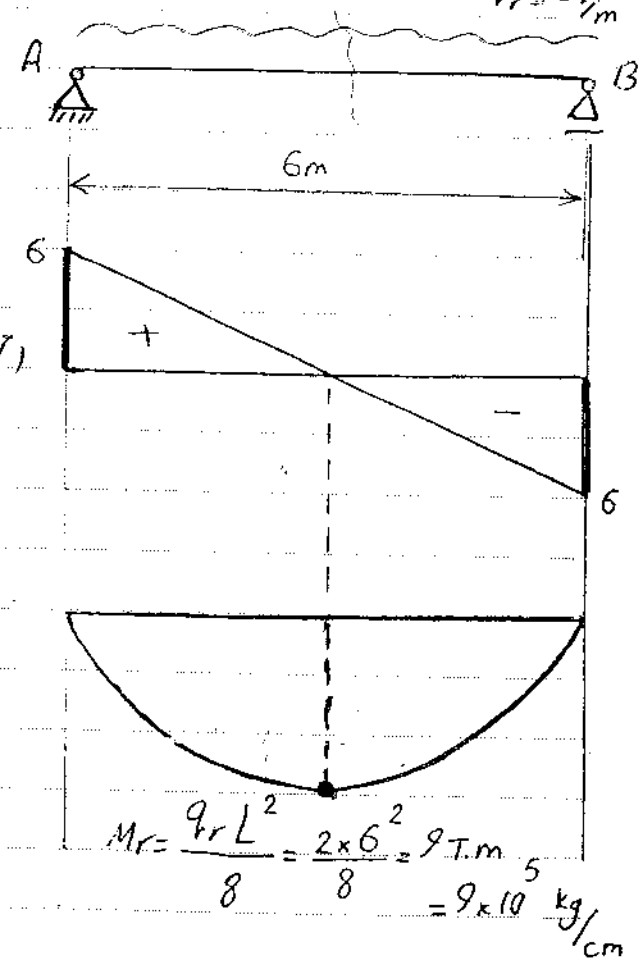
SANYAZ

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: تیر مقابل در نقاط A, B دارای تکیه گاه‌های مفصلی است. مقطع تیر را از پروفیل IPE طراحی کنید.

تا زمانی که مقاطع تیر مستحکم نشده نمی‌توان جواب را حساب کرد.

از روش آزمون و خطا استفاده می‌کنیم. مشکل انتخاب پروفیل اولیه است.



$$M_r = \frac{q_r L^2}{8} = \frac{2 \times 6^2}{8} = 9\ T.m = 9 \times 10^5\ kg/cm$$

فرض

$$M_r \leq \phi M_n \rightarrow \boxed{M_n = M_p}$$

حداکثر مقدار

اگر می‌خواهیم از کوچکترین پروفیل شروع کنیم، بهتر است فرض کنیم M_n بیشترین مقدار را دارد.

$$M_r \leq \phi . W_p . F_y$$

$$M_r \leq \phi \times (1.12 \times W_e) \times F_y$$

تقریبی:

$$\boxed{W_e \geq \frac{M_r}{\phi \times 1.12 \times F_y}}$$

$$W_e \geq \frac{9 \times 10^5}{0.9 \times 1.12 \times 2400} = 372$$

Use = IPE 270

$W_e = 429$

$W_p = 429 \times 1.12 = 480$

$b_f = ?.5$

$t_f = 1.02$

$t_w = 0.66$

$r_y = 3.02$

SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

① کنترل فشردگی

بال فشرده $\frac{13.5}{2\times1.02} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11$ ✓

جان فشرده $\left(\frac{27-2\times1.02}{0.66}\right) = 38 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$ ✓

مقطع فشرده

② کنترل شرایط تکیه‌گاهی

$L_b = 600\ cm$

$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.02 \times \sqrt{\frac{2\times10^6}{2400}} = 153\ cm$

$r_{ts} \simeq 1.2\, r_y$

$L_e = \pi \times r_{ts} \times \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} = \pi \times (1.2 \times 3.02) \times \sqrt{\frac{2\times10^6}{0.7\times2400}} = 392\ cm$

$L_b > L_e$

⇓

(C) $M_n = F_{cr} \times W_e \leq M_p$

$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J_c}{W_e h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \Rightarrow F_{cr} = 1628$

$C_b = 1.15$

$r_{ts} = 1.2\, r_y = 1.2\times3.02 =$

$J = 14.93$

$h_o = 27 - 1.02 = 25.98$

$W_e = 42.9$

$M_n = F_{cr} \times W_e \leq M_p$

$M_n = 1628 \times 429 = 698412 < M_p = W_{pr} F_y = 480\times2400 = 1152000$ ✓

$M_r \leq \phi M_n$

$9\times10^5 \times 0.9 = 698412 = 628570$ نوع تنش زلزله

Subject:
Year: Month: Date:

Use IPE 300

$W_e = 557$

$W_p = 557 \times 1.12 = 624$

$b_f = 15$

$t_f = 1.07$

$t_w = 0.71$

$r_y = 3.35$

① کنترل فشردگی

$$\frac{b_f}{2t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$\frac{15}{2\times 1.07} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11$ ✓ بال فشرده

$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} \Rightarrow \frac{(30-2\times 1.07)}{0.71} = 39 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$ ✓ جان فشرده

مقطع فشرده ✓

② کنترل شرایط تکیه‌گاهی جانبی

$L_b = 600$ cm

$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.35 \times \sqrt{\frac{2\times 10^6}{2400}} \Rightarrow L_p = 170$ cm

$r_{ts} = 1.2 \times r_y$

$L_e = \pi \times r_{ts} \times \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} = \pi \times (1.2 \times 3.35) \times \sqrt{\frac{2\times 10^6}{0.7\times 2400}} \Rightarrow L_e = 435$ cm

$L_b > L_e$

(C)

$$M_n = F_{cr} \times W_e \qquad F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}\sqrt{1 + 0.078\frac{J_c}{W_e h_o}\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

$C_b = 1.15$

$r_{ts} = 1.2\, r_y = 1.2 \times 3.35 = 4.02$

$J = 18.47$

$h_o = 30 - 1.07 = 28.93$

$W_e = 557$

$\Rightarrow F_{cr} = 1794$

$M_n = F_{cr} \times W_e \leq M_p = W_p \times F_y$

$M_n = 1794 \times 557 = 999258 \leq M_p = 624 \times 2400 = 1497600$

$M_r \leq \phi M_n$

$M_r = 9 \times 10^5 \leq 0.9 \times 999258 = 899332.2$ ✓

با اضافه کردن 2 ناودانی

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

use : IPE 330

$$\begin{cases} We = 713 \\ Wp = 713 \times 1.12 = 799 \\ b_f = 16 \\ t_f = 1.15 \\ t_w = 0.75 \\ r_y = 3.55 \end{cases}$$

① کنترل فشردگی

مقطع فشرده

بال فشرده: $\frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{16}{2 \times 1.15} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11$ ✓

جان فشرده: $\frac{h}{t_w} = \frac{33 - 2 \times 1.15}{0.75} = 50 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$ ✓

② کنترل شرایط تکیه‌گاهی جانبی: (BC دهانه)

$L_b = 600\ cm$

$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.55 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} \Rightarrow L_p = 180\ cm$

$r_{ts} = 1.2\, r_y = 1.2 \times 3.55$

$L_e = \pi \cdot r_{ts} \times \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} = \pi \times (1.2 \times 3.55) \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{0.7 \times 2400}} \Rightarrow L_e = 431\ cm$

$L_b > L_e$

(C)

$$\Downarrow \quad M_n = F_{cr} \times W_e \qquad F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J c}{W_e \cdot h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

$C_b = 1.18$

$r_{ts} = 1.2 \times r_y = 1.2 \times 3.55 = 4.26$

$J = 25.70$

$h_o = 33 - 1.15 = 31.85$

$W_e = 713$

$\Rightarrow F_{cr} = 1948$

$M_n = F_{cr} \times W_e \leq M_p = W_p \times F_y$

$M_n = 1948 \times 713 = 1388924 \leq M_p = 1917600$ ✓

$M_r \leq \phi M_n$

$M_r = 11.35 \times 10^5 \leq 0.9 \times 1917600 = 1725840$

$1135000 \leq 1725840$ ✓ مقطع مناسب است.

Subject:
Year: Month: Date:

$L_b = 400$
$L_e = 431$
$L_p = 180$

$L_p < L_b < L_e$

$\Downarrow$

(b)

دهانه CD : کنترل شرایط کلیه مقطعات

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 M_e)\left(\frac{L_b - L_p}{L_e - L_p}\right) \right]$$

از جدول $C_b = 1.65$

$M_p = W_p \times F_y = 799 \times 2400 = 1917600$

$M_e = W_e \cdot F_y = 713 \times 2400 = 1711200$

$$M_n = 1.65 \left[1917600 - (1917600 - 1197840)\left(\frac{400 - 180}{431 - 180}\right) \right] = 2123112 \ll M_p = 1917600$$

OK ✓

$M_n = M_p = 1917600 \Rightarrow M_r \leq \phi M_n \Rightarrow 6.97 \times 10^5 \leq 0.9 \times 1917600$

$697000 \leq 1725840$ ✓ ok

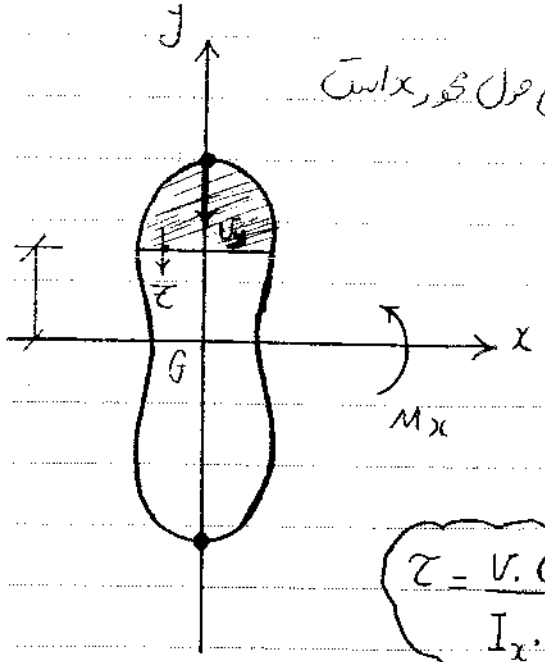
SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

برش در تیرها

محورهای x و y، محورهای اصلی، y محور تقارن، خمش حول محور x است



اثر تنش و خمشی نیروی برشی است در جهت محور y

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I_x \cdot t}$$

✓ V: نیروی برشی

✓ Q: گشتاور استاتیک سطح بالای مورد نظر نسبت به محور x (قسمت هاشور زده)

نقطه‌ای

$\frac{V}{I_x}$ ← ثابت است

✓ I_x: گشتاور اینرسی کل مقطع نسبت به x

t: عرض مقطع در نقطه مورد نظر

تنش برشی نقطه نسبت $\frac{Q}{t}$ بستگی دارد.

هرچه مقدار $\frac{Q}{t}$ بیشتر باشد تنش برشی بیشتر است.

در بالاترین و پایین‌ترین نقطه تنش برشی صفر است.

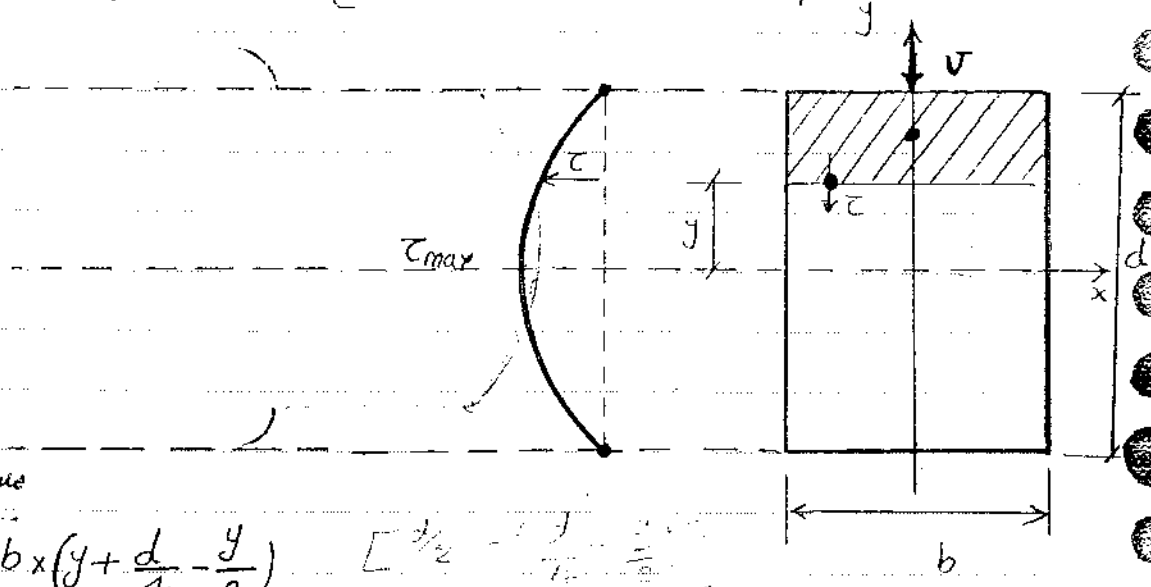
* برای مقاطعی که عرض آنها ثابت است، تنش وقتی Max است که Q_{max} باشد.

نتیجه: تنش برشی در مقاطعی که عرض ثابت دارند، در میان تار Max است.

مثلاً در مستطیل در میان تار τ_{max} باید.

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: فرض می‌کنیم نیروی برشی در مقطع V باشد؛ توزیع تنش برشی را در این مقطع مساحت کنید.



مساحت هاشور خورده

$$Q = \left(\frac{d}{2} - y\right) \times b \times \left(y + \frac{d}{4} - \frac{y}{2}\right)$$

$$Q = \frac{b}{2}\left(\frac{d}{2} - y\right)\left(\frac{d}{2} + y\right) \Rightarrow Q = \frac{b}{2}\left(\frac{d^2}{4} - y^2\right)$$

$$t = b \qquad I_x = \frac{bd^3}{12}$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{V \frac{b}{2}\left(\frac{d^2}{4} - y^2\right)}{\frac{bd^3}{12} \cdot b}$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{6V\left(\frac{d^2}{4} - y^2\right)}{bd^3} \qquad y = \pm d/2 \Rightarrow \tau = 0$$

$$y = 0 \Rightarrow \tau_{max} = \frac{3}{2}\left(\frac{V}{bd}\right)$$

* تنش متوسط *

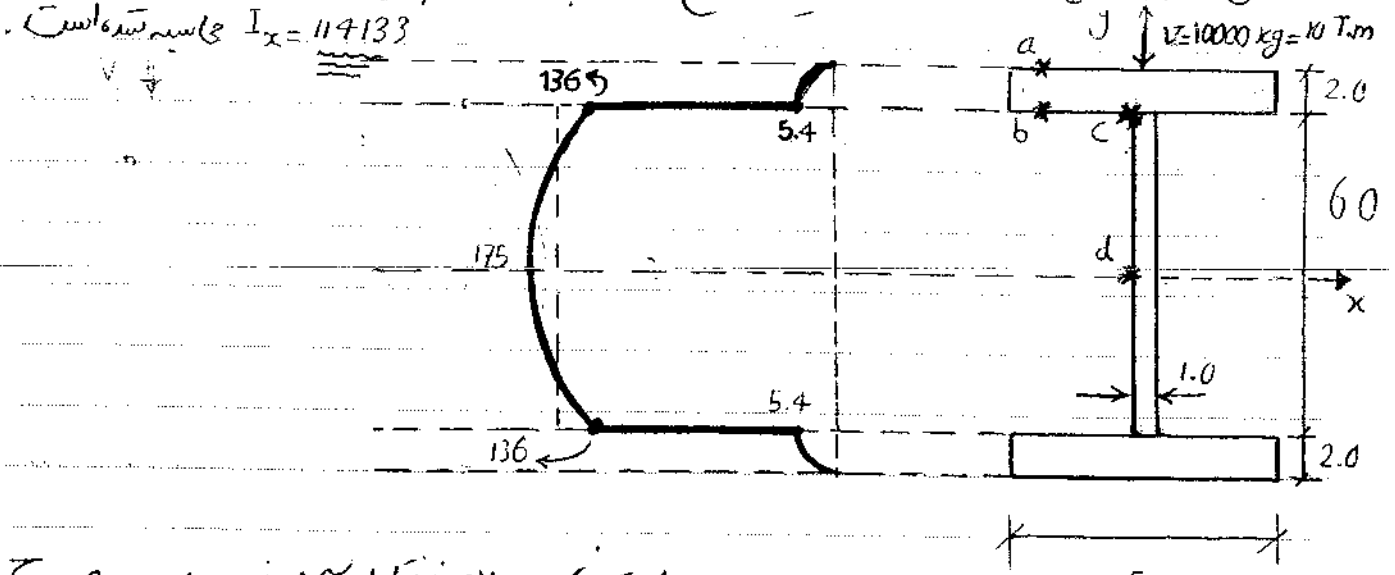
$$\tau_{max} = 1.5\,(\tau_{mid})$$

نتیجه‌گیری: ۱- توزیع تنش برشی در مستطیل سهمی است. ۲- بالاترین و پایین‌ترین نقطه صفر و وسط Max است.

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: برای تیرآهن I شکل زیر توزیع تنش برشی را رسم کنید. (ذیل صفحه 90 جزوه قبلاً محاسبه شده است. $I_x = 114133$)



$\tau_a = 0$ ← بالاترین نقاط τ صفر، پایین‌ترین

$$\tau_b = \frac{10000 \times (25 \times 2 \times 31)}{114133 \times 25} = 5.4 \quad *$$

(ν: فاصله مرکز سطح تا محور خنثی، b: عرض اضافات)

$$\tau_c = \frac{10000 \times (25 \times 2 \times 31)}{114133 \times 1.0} = 136 \quad *$$

$$\tau_d = \frac{10000 \times (25 \times 2 \times 31 + 30 \times 1 \times 15)}{114133 \times 1.0} = (175 \text{ همان } \tau_{max}) \quad *$$

** نتیجه‌گیری: ۱- تنش ایجاد شده در بالها ناچیز است بنابراین بالها تنش برشی در تحمل نیروهای برشی ندارند. جان تیرآهن بیشترین تنش برشی را تحمل می‌کند.

۲- توزیع تنش در جان تیرآهن سهمی است (مانند مستطیل) برخلاف مستطیل تک، در بالا و پایین مستطیل جان تنش صفر نیست بلکه در بالا و پایین تنش خیلی زیاد است. صرفاً توزیع تنش برای مقاطع تیرآهن I شکل یکسان است: در تیرآهن I شکل تمام جان تقریباً اجرای است.

۳- چون اختلاف بین تنش در نقاط c و d زیاد نیست، بنابراین توزیع تنش یکنواخت فرض می‌کنند.

* در تیرآهن I شکل می‌توان توزیع تنش را یکنواخت فرض کرد و از آئین‌نامه طبق رابطه روبرو بدست آورد.

(در تیرورق‌ها) $\tau_{max} = \frac{V_r}{h \times t_w} = \frac{10000}{60 \times 1.0} = 157$

(t_w: ضخامت جان)

SANYAZ

$f_{rv} = \frac{V_r}{A_w} \leq \phi\, F_{nv}$

Subject:

Year: Month: Date:

$A_w = d \cdot t_w$ ← سطح جان پروفیل

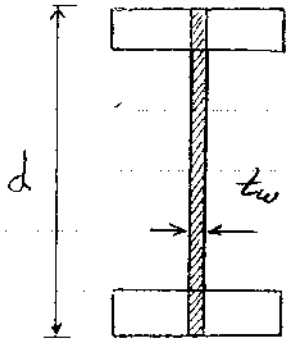
300 mm = 30 cm

ارتفاع کل مقطع همان ارتفاع پروفیل

برای پروفیل‌های نورد شده

$\tau_{max} = \frac{V_r}{d \cdot t_w}$

ارتفاع کل پروفیل



اگر جان تیرآهن ضخامت زیاد داشته باشد = تنش‌های برشی توانند تا حد جاری شدن بالا روند.

اگر جان تیرآهن ضخامت کمتری داشته باشد = تنش‌ها می‌توانند در جان کمانش برشی ایجاد کند.

$f_{vr} \leq \phi_v \cdot F_{nv}$

F_{vr} = تنش موجود در برش

F_{nv} = مقاومت اسمی در برش

$F_{nv} = 0.6\, F_y$

* طبق آئین نامه *

تیرآهن‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند ۱- جان تیرآهن دارای ضخامت زیاد
۲- جان تیرآهن دارای ضخامت کمتر

* موضوع بحث فولاد (۱)

$\frac{h}{t_w} < 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} \simeq 65$ ← تیرهای معمولی

$\frac{h}{t_w}$ ← جان دارای ضخامت زیاد

جاری شدن گسیختگی جان زودتر ظاهر شدن

$\frac{h}{t_w}$ بزرگتر باشد، کمانه کردن زودتر رخ می‌دهد.

$\frac{h}{t_w}$ کمتر باشد = تیرهای معمولی

$F_{yv} = \frac{1}{\sqrt{3}} F_{yt} = 0.6\, F_y$ ← تنشی F_y

F_{yv} ← حد جاری شدن در برش

F_{yt} ← جاری شدن در برابر کشش

$F_{nv} = 0.6\, F_y$

$\phi_v = 1.0$ و $C_v = 1.0$

SANYAZ

$C_v < 1.0$ ← گسیختگی در جان ← $\frac{h}{t_w} > 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} \simeq 65$

$\frac{h}{t_w} > 260$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: در مثال صفحه 108 جزوه تکمیل شود.

$V_z = 6\ T$ از روی نمودار V *

طراحی شده است IPE 300

$$\frac{h}{t_w} < 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{h = h - 2t_f}{t_w}$$

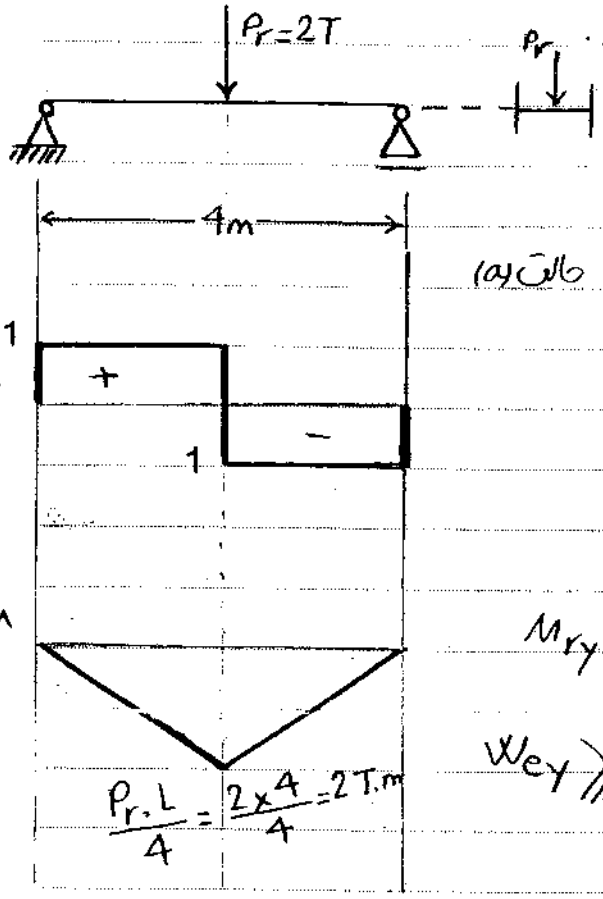
$$\frac{(30 - 2\times 1.07)}{0.71} = 39 < 2.24\sqrt{\frac{E}{F_y}} \simeq 65 \quad \checkmark$$

$F_{nv} = 0.6F_y$

$\phi \quad 0.6 \times F_y$

$$\left(f_{vr} = \frac{V}{h \times t_w}\right) \quad f_{vr} = \frac{6000\ (kg)}{30\times 0.71} = 281 < 1\times 0.6\times 2400 = 1440 \quad \left(f_{vr} = \frac{V(kg)}{h\times t_w} \le \phi \times 0.6\right)$$

مثال: در تیر مقابل سطح تیر را از پروفیل IPE طراحی کنید.



حالت (a) $M_{ry} \le \phi M_{ny}$

$$M_{ny} = M_{py} = W_{py} \times F_y = 1.5\, W_{ey} \times F_y$$

$$M_{ry} \le \phi (1.5 \times W_{ey}) \times F_y$$

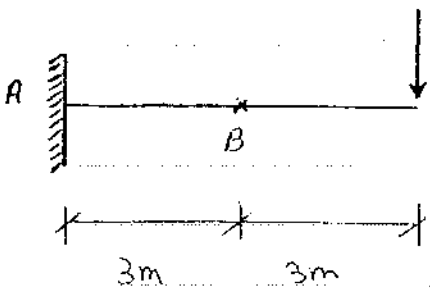
$$W_{ey} \ge \frac{M_{ry}}{\phi \times 1.5 \times F_y} \Rightarrow W_{ey} \ge \frac{2\times 10^5}{0.9\times 1.5\times 2400} = 62$$

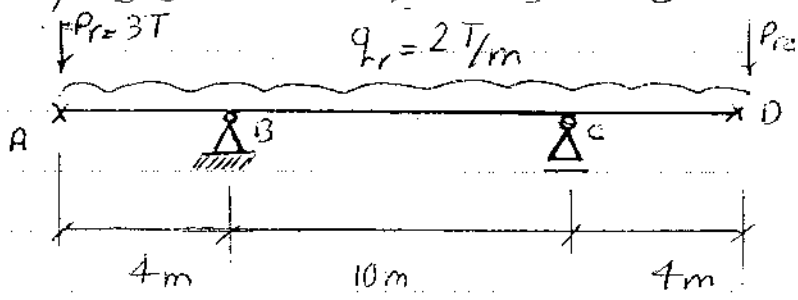
Use: IPE 270 | $W_{ey} = 62.2$ OK ✓

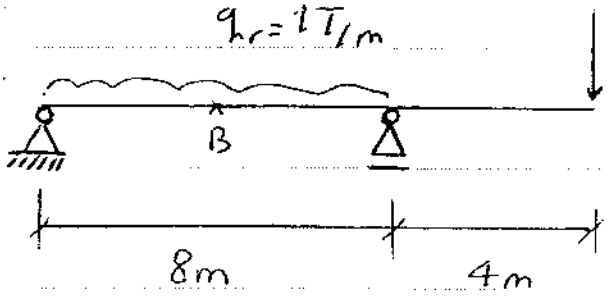
SANYAZ

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: تمامی تیرهای زیر را از IPE طراحی نمایید. (تنش و تکیه‌گاه‌ها را)



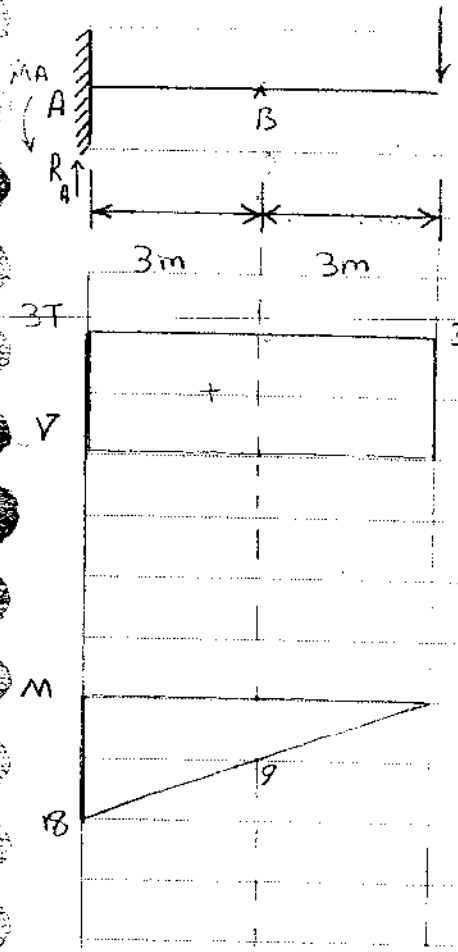




www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: تیر زیر را با مقطع IPE طراحی کنید.



$\circlearrowleft +\Sigma M_A=0 : M_A=18T$

$R_A=3T$

$M_r \leqslant \phi M_n \rightarrow M_n=M_p$

$M_r \leqslant \phi . W_p . F_y \Rightarrow M_r \leqslant \phi . (1.12 \times W_e) \times F_y$

$W_e \geqslant \frac{M_r}{\phi \times 1.12 \times F_y} \Rightarrow W_e \geqslant \frac{18 \times 10^5}{0.9 \times 1.12 \times 2400} = 744$

Use: IPE 360

$W_e = 904$

$W_p = 904 \times 1.12 = 1012$

$b_f = 17$

$t_f = 1.27$

$t_w = 0.8$

$r_y = 3.79$

① کنترل فشردگی

$\frac{b_f}{2t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11 \Rightarrow \frac{17}{(2 \times 1.27)} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11$ ✓ بال فشرده

$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108 \Rightarrow \frac{36-(2 \times 1.27)}{0.8} = 42 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$ ✓ جان فشرده

✓ مقطع فشرده

② کنترل شرایط تکیه‌گاهی جانبی

$L_b = 300$

$L_p = 1.76 \times r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.79 \times \sqrt{\frac{2 \cdot 10^6}{2400}} \Rightarrow L_p = 193$

$r_{ts} = 1.2 r_y \Rightarrow r_{ts} = 1.2 \times 3.79 = 4.55$

$L_e = \pi . r_{ts} \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} = \pi \times (1.2 \times 3.79) \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} \Rightarrow L_e = 413$

SANYAZ

Subject:
Year: Month: Date:

$L_b = 300$ $\quad L_p < L_b < L_e$

$L_p = 193$ $\quad \Downarrow$

$L_e = 413$ $\quad (b)$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7 M_e)\left(\frac{L_b - L_p}{L_e - L_p} \right) \right]$$

حسبان $C_b = 1.65$ $\quad M_p = W_p \times F_y = 1012 \times 2400 = 2428800$

$$M_e = W_e \times F_y = 904 \times 2400 = 2169600$$

$$M_n = 1.65 \left[2428800 - (2428800 - 1518720)\left(\frac{300 - 193}{431 - 193} \right) \right] = 3332417 \leqslant M_p = 2428800$$

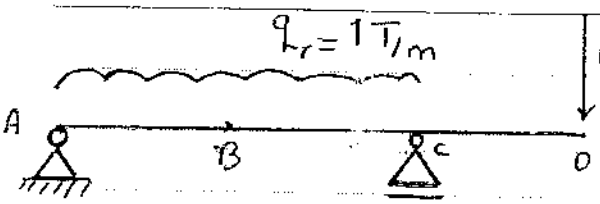
$M_n = M_p = 2428800 \Rightarrow M_r \leqslant \phi M_n \Rightarrow 18 \times 10^5 \leqslant 0.9 \times 2428800$

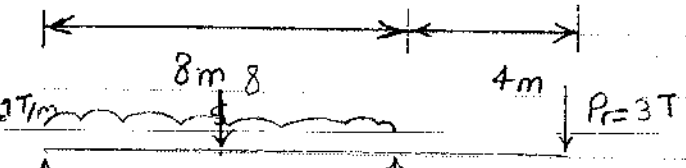
$1800000 \leqslant 2185920$ ✓ ok

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

مثال: تیر زیر را با IPE طراحی کنید.

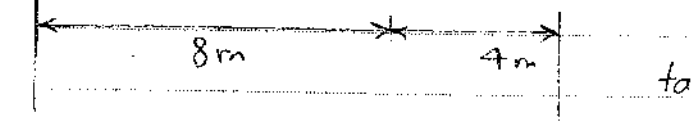




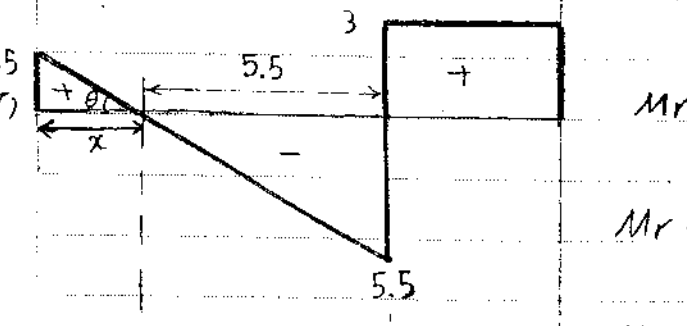
$+\circlearrowleft \sum M_A = 0 : \quad -8\times4 + 8R_B - 3\times12 = 0$

$R_B = 8.5$

$R_A = 2.5$



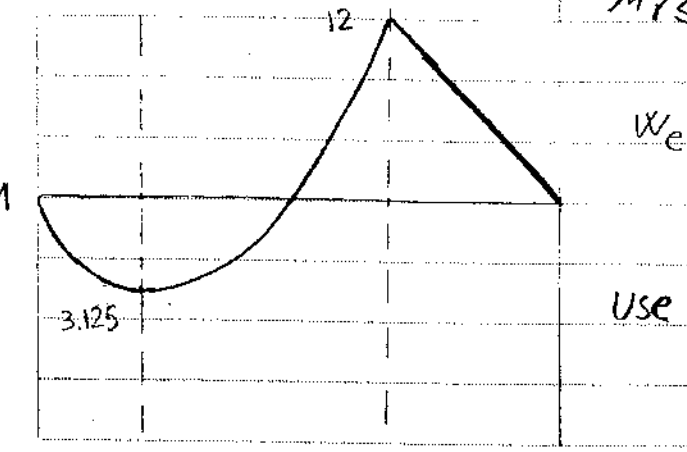
$\tan\theta = \frac{2.5}{x} = 1 \Rightarrow x = 2.5$



$M_r \leq \phi M_n \rightarrow \boxed{M_n = M_p}$ نیز

$M_r \leq \phi \cdot W_p \cdot F_y$

$M_r \leq \phi \times (1.12 \times W_e) \times F_y$



$W_e \geq \frac{M_r}{\phi \times 1.12 \times F_y} = \frac{12\times10^5}{0.9\times1.12\times2400} = 496$

Use : IPE 300

$W_e = 557$

$W_p = 557 \times 1.12 = 624$

$b_f = 15$

$t_f = 1.07$

$t_w = 0.71$

$r_y = 3.35$

$\frac{b_f}{2t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11 \Rightarrow \frac{15}{2\times1.07} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11$ ✓ بال فشرده

① کنترل فشردگی

$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108 \Rightarrow \frac{30-(2\times1.07)}{0.71} = 39 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$ ✓ جان فشرده

✓ مقطع فشرده

SANYAZ

Subject:
Year: Month: Date:

$L_b = 400$ cm

$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.35 \times \sqrt{\frac{2\times10^6}{2400}} \Rightarrow L_p = 170$ cm

$L_e = \pi \times r_{ts} \times \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} = \pi \times 1.2 \times 3.35 \times \sqrt{\frac{2\times10^6}{0.7\times2400}} \Rightarrow L_e = 436$ cm

$L_p < L_b < L_e$

⇓

(b) $M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7M_e)\left(\frac{L_b - L_p}{L_e - L_p}\right) \right]$

$C_b = 1$

$M_p = w_p \times F_y = 624 \times 2400 = 1497600$

$M_e = w_e \times F_y = 557 \times 2400 = 1336806$

$M_n = \left[1497600 - (1497600 - 0.7\times1336806)\left(\frac{400-170}{436-170}\right) \right] = 1011802 \leq M_p = 1497600$ ✓

561835.8

$M_r \leq \Phi M_n \Rightarrow 12\times10^5 \leq 0.9 \times 1011802$

$1200000 \not\leq 910621$ جواب نمی دهد

use : IPE 330

$w_e = 713$
$w_p = 713 \times 1.12 = 799$
$b_f = 16$
$t_f = 1.15$
$t_w = 0.75$
$r_y = 3.55$

① کنترل فشردگی

بال فشرده

$\frac{b_f}{2\times t_f} = \frac{16}{2\times1.15} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11$ ✓

جان فشرده

$\frac{h}{t_w} = \frac{33 - (2\times1.15)}{0.75} = 41 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$ ✓

✓ مقطع فشرده

① کنترل شرایط کمانه‌ای

$r_{ts} = 1.2\, r_y$

$r_{ts} = 1.2 \times 3.35$

SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

$L_b = 400$ cm

$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.55 \times \sqrt{\frac{2\times10^6}{2400}} \Rightarrow L_p = 180$ cm

$r_{ts} = 1.2 r_y = 1.2 \times 3.55$

$L_e = \pi \times r_{ts} \times \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} = \pi \times (1.2\times3.55) \times \sqrt{\frac{2\times10^6}{0.7\times2400}} \Rightarrow L_e = 462$ cm

$L_p < L_b < L_e$

(b) $M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0.7M_e)\left(\frac{L_b - L_p}{L_e - L_p}\right)\right]$

$C_b = 1$

$M_p = W_p \times F_y = 799 \times 2400 = 1917600$

$M_e = W_e \times F_y = 713 \times 2400 = 1711200$

$M_n = \left[1917600 - (1917600 - 1197840)\left(\frac{400-180}{462-180}\right)\right] = 1356085 \leqslant M_p = 1917600$

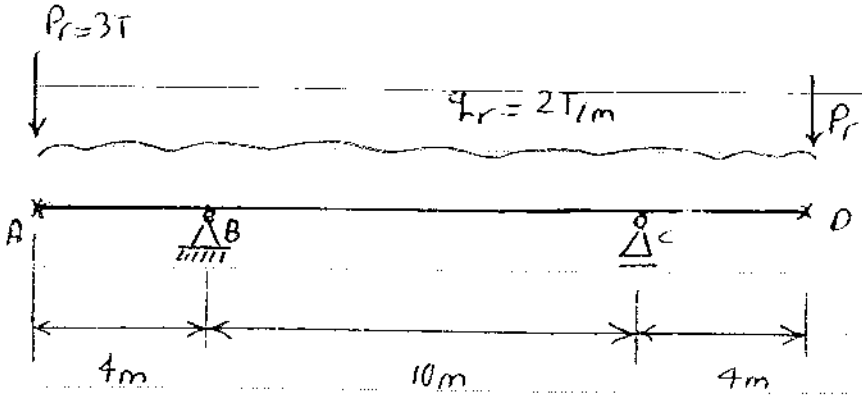
$1197840 = 719760$

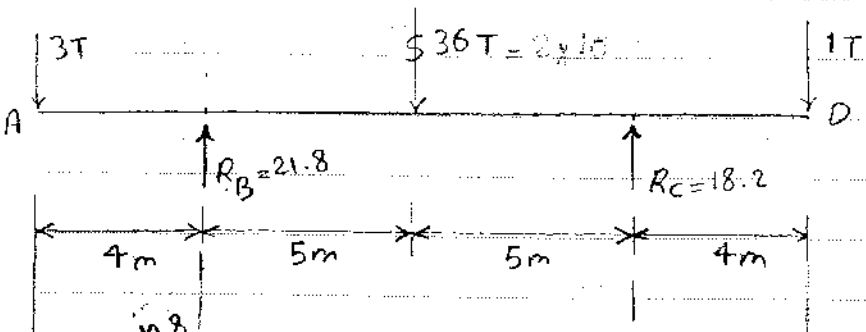
$M_r \leqslant \phi M_n \Rightarrow 12\times10^5 \leqslant 0.9 \times 1356085$

$1200000 \leqslant 1220476$ ✓ ok

Subject:
Year: Month: Date:

تمرین:

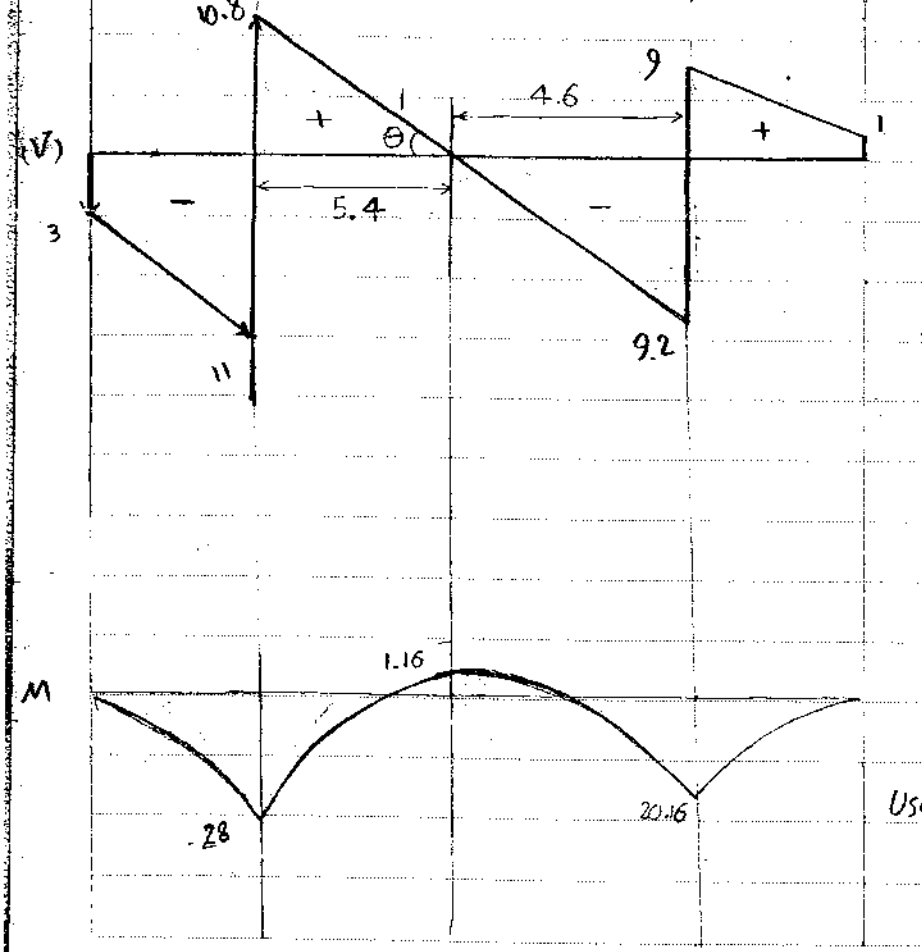




$+\circlearrowleft \Sigma M_B=0: \quad 12-36\times 5+10R_C-14=0$

$R_C=18.2$

$R_B=21.8$



$\tan\theta=\frac{10.8}{x}=2 \Rightarrow x=5.4$

$M_r \leq \phi M_n \longrightarrow \boxed{M_n=M_p}$ (ویا)

$M_r \leq \phi . W_p . F_y$

$M_r \leq \phi \times (1.12 \times W_e) \times F_y$

$W_e \geq \frac{M_r}{\phi \times 1.12 \times 2400} = \frac{28\times 10^5}{0.9\times 1.12\times 2400} = 1157$

Use: IPE 400 $\begin{cases} W_e = 1160 \\ W_{pz} = 1160\times 1.12 = 1299 \\ b_{pz} = 18 \\ t_{pz} = 1.35 \\ t_w = 0.86 \\ r_y = 3.95 \end{cases}$

SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

① کنترل فشردگی ✓ بال فشرده $\frac{b_f}{2t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11 \Rightarrow \frac{18}{2\times 1.35} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11$

✓ جان فشرده $\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108 \Rightarrow \frac{40-(2\times 1.35)}{0.86} = 43 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108$

✓ مقطع فشرده

② کنترل شرایط تکیه گاهی:

$L_b = 400\ cm$

دهانه AB:

$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.95 \times \sqrt{\frac{2\times 10^6}{2400}} \Rightarrow L_p = 201\ cm$

$r_{ts} = 1.2\, r_y = 1.2 \times 3.95$

$L_e = \pi \times r_{ts} \times \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}} = \pi \times 1.2 \times 3.95 \times \sqrt{\frac{2\times 10^6}{0.7\times 2400}} \Rightarrow L_e = 514$

$L_p < L_b < L_e$

(b) $M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0.7M_e)\left(\frac{L_b - L_p}{L_e - L_p}\right)\right]$

$C_b = 1$

$M_p = W_p \times F_y = 1299 \times 2400 = 3117600$

$M_e = W_e \times F_y = 1160 \times 2400 = 2784000$

$M_n = \left[3117600 - (3117600 - 1948800)\left(\frac{400-201}{514-201}\right)\right] = 2374497 < M_p = 3117600$ ✓

(1168800)

$M_r \le \phi M_n \Rightarrow 28\times 10^5 \le 0.9 \times 2374497$

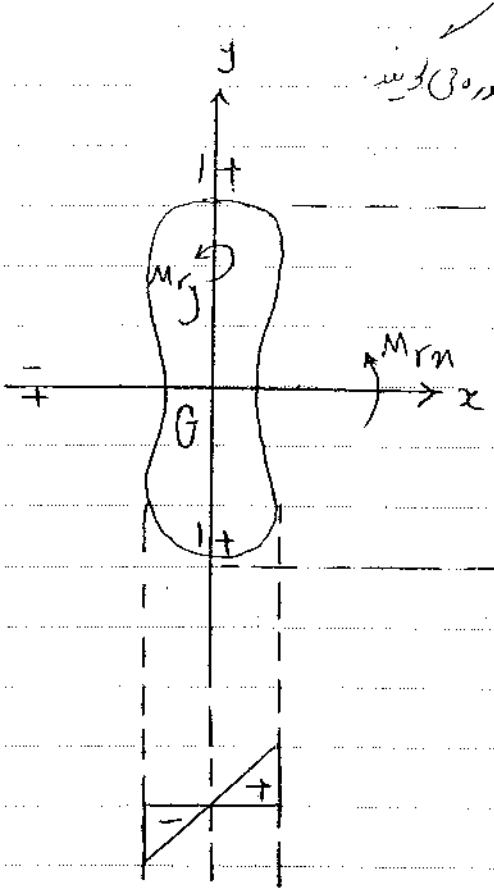
$2800000 \not\le 2137047$ برآورده نمی‌شود

SANYAZ

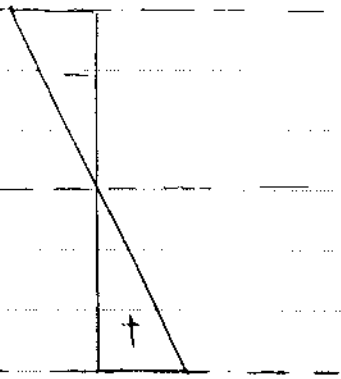
Subject:
Year: Month: Date:

خمش دو محوره:

گاهی از مقطع تنها در حول هر دو محور اصلی است که به آن خمش دو محوره می گویند.



* از نظر حالت الاستیک



$$\sigma'_{max} = \frac{M_{rx}}{W_{ex}}$$

اگر تنش در سمت بالای مقطع (-)

و سمت پایین مقطع (+)

$$\sigma^2_{max} = \frac{M_{ry}}{W_{ey}}$$

$$|\sigma_{max}| = \sigma'_{max} + \sigma^2_{max}$$

* از نظر حالت غیر الاستیک یا طراحی

$M_{ry} = 0$

$\longrightarrow M_{rx} \leq \phi M_{nx}$

a)
b)
c)
.
.
.

تنش در مقطع طول محور x

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

$M_{rx}=0 \rightarrow M_{ry} \leq \phi M_{ny}$ { a) b)

کنترل نقطه ول محور y

اگر دو کنترل در راستای اتفاق بیفتد باید دو رابطه را با هم جمع کنیم ولی امکان جمع جبری آنها وجود ندارد.

$$\begin{cases} \dfrac{M_{rx}}{\phi M_{nx}} \leq 1.0 \\ + \\ \dfrac{M_{ry}}{\phi M_{ny}} \leq 1.0 \end{cases}$$

* نسبت بزرگتر $\dfrac{M_{rx}}{\phi M_{nx}}$ یا $\dfrac{M_{ry}}{\phi M_{ny}}$

یک اسکالر است (عدد) با این حال توان آن را باهم جمع کرد.

$$\frac{M_{rx}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi M_{ny}} \leq 1.0$$

- رابطه‌ی دوم را رابطه جمع نسبت شدت می‌گویند یا اصطلاحاً اندرکنش کشش‌های خمشی گویند.

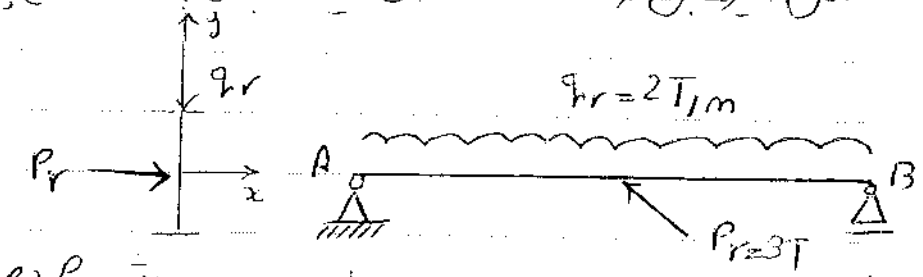
* مجموع سهم کشش‌های حول محور x و y حتماً باید کوچکتر یا مساوی 1.0 باشند.

در موقع مجموع دو رابطه کوچکتر از یک شد، نشان می‌دهد که مقطع می‌تواند هر دو کشش را تحمل بلند و خواهد داد.

وقتی شود که مقطع انتخابی، آخرین مقطعی باشد که مجموع نسبت‌ها از یک کوچکتر است.

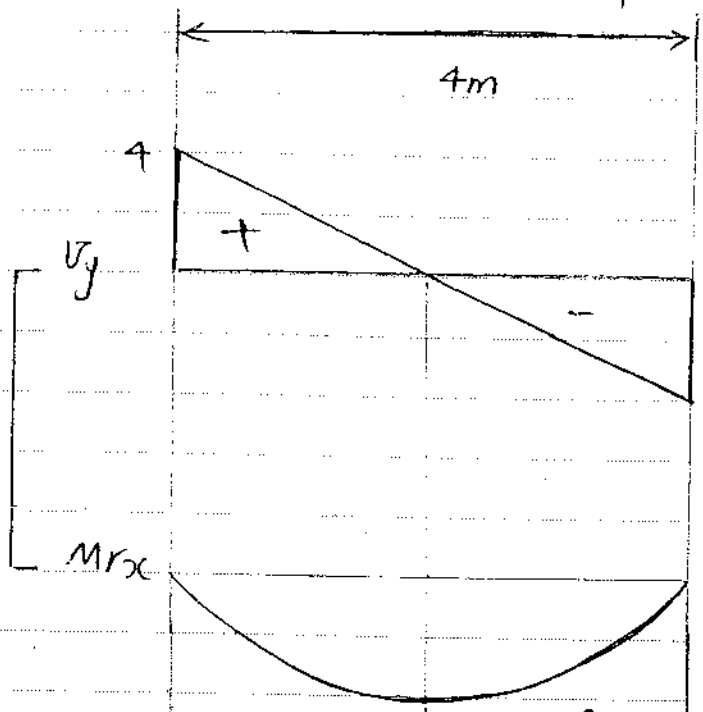
SANYAZ

مثال: تیرمقابل در مقاطع A و B دارای تکیه‌گاه جانبی است. مقطع پروفیل را از پروفیل IPE طراحی کنید.



برش P_r در جهت x و خمش در جهت y

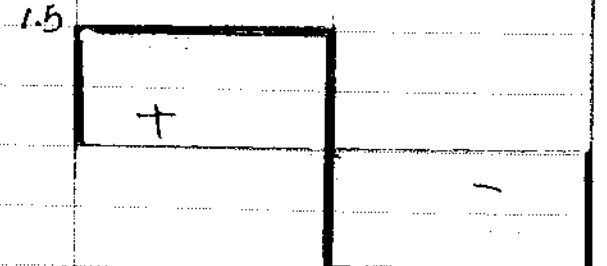
برش q_r در جهت y و خمش در جهت x



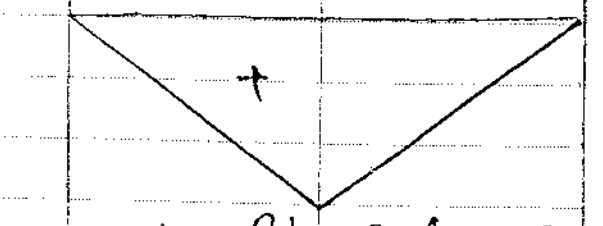
V_y ناشی از q_r

* نمودار این تیر هم تحت عمل هر دو بار هم دو محوره است.

$$M_{rx} = \frac{q_r \cdot L^2}{8} = \frac{2 \times 4^2}{8} = 4\,Tm$$



V_x ناشی از P_r



$$M_{ry} = \frac{P_r L}{4} = \frac{3 \times 4}{4} = 3\,Tm$$

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

$$\frac{M_{rx}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{ry}}{\phi M_{ny}} \leq 1.0$$

$$\text{مقاومت} = M_{nx} = M_{px} = 1.12 W_{ex} \cdot F_y$$

$M_{ny} = M_{py} = 1.5 W_{ey} \cdot F_y$ تعلقای طاهم

چون مقطع از نوع مقطع فشرده است

$$\frac{M_{rx}}{\phi \times 1.12 W_{ex} \cdot F_y} + \frac{M_{ry}}{\phi \times 1.5 W_{ey} \cdot F_y} \leq 1.0$$

ضرایب

$n = \frac{W_{ex}}{W_{ey}}$ ماشینی از جدول زیر می‌توانیم

- IPE, INP: $n = 6 \sim 8$
- HEA
- HEB: $n = 3$
- HEM

$$\frac{M_{rx}}{\phi \times 1.12 \times W_{ex} \times F_y} + \frac{n \cdot M_{ry}}{\phi \times 1.5 \times W_{ex} \times F_y} \leq 1.0$$

$$W_{ex} \geq \frac{1}{\phi_x F_y}\left(\frac{M_{rx}}{1.12} + \frac{n \cdot M_{ry}}{1.5}\right)$$ رابطه تقریبی

$$W_{ex} \geq \frac{1}{0.9 \times 2400}\left(\frac{4 \times 10^5}{1.12} + \frac{8 \times 3 \times 10^5}{1.5}\right) \Rightarrow W_{ex} \geq 906$$

SANYAZ

Subject:
Year: Month: Date:

$W_{ex} \geq 906$ Use : IPE 360 $\begin{cases} W_{ex} = 904 & W_{px} = 1.12 \times 904 = 1012 \\ W_{ey} = 123 & W_{py} = 1.5 \times 123 = 185 \\ b_f = 17 \\ t_f = 1.27 \\ t_w = 0.8 \\ r_y = 3.79 \end{cases}$

① کنترل فشردگی

بال فشرده

$$\frac{b_f}{2 \times t_f} < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11 \Rightarrow \frac{17}{2 \times 1.27} = 7 < 0.38\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 11 \checkmark$$

جان فشرده

$$\frac{h}{t_w} < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108 \Rightarrow \frac{36 - (2 \times 1.27)}{0.8} = 42 < 3.76\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108 \checkmark$$

مقطع فشرده ✓

$M_{ny} = M_{py} = 1.5 \times W_{ey} \times 2400 = 442800$

② کنترل شرایط تکیه‌گاهی جانبی

$L_b = 400$ cm

$$L_p = 1.76 \times r_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 3.79 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{2400}} \Rightarrow L_p = 192 \text{ cm}$$

$$L_e = \pi r_{ts} \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}} = \pi \times (1.2 \times 3.79) \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{0.7 \times 2400}} \Rightarrow L_e = 493 \text{ cm}$$

$L_e < L_b < L_p$

$\Downarrow$

$$(b) \Rightarrow M_n = C_b \left[M_n - (M_n - 0.7 M_e)\left(\frac{L_b - L_p}{L_e - L_p}\right) \right]$$

$C_b = 1.15$

$M_p = W_{px} F_y = 1012 \times 2400 = 2428800$

$M_e = W_{ex} \times F_y = 904 \times 2400 = 2109600$

SANYAZ

www.icivil.ir پرتال جامع دانشجویان و مهندسین عمران

Subject:
Year: Month: Date:

$$M_n = 1.15\left[2428800 - (2428800 - 0.7\times 2169600)\left(\frac{400-192}{493-192}\right)\right] \leqslant M_p$$

$$M_n = 2069893 \leqslant M_p = 2428800 \quad \checkmark$$

$$\frac{4\times10^5}{0.9\times 2069893} + \frac{3\times10^5}{0.9\times 442800} = 0.97 \leqslant 1.0 \qquad \text{ok} \checkmark$$

چون از یک کوچکتر است و نزدیک به یک است

عمل قبول می باشد.

اگر جواب 1.02 شد باز هم عمل قبول می باشد.