



## طراحی سازه های فولادی ویژه آزمون محاسبات

مسعود حسین زاده اصل

ویرایش پاییز ۱۳۹۶

۱- مقدمه	۱
۲- ترکیبات بار و کلیات طراحی	۲
۳- کشش	۳
۳-۱- مراحل کنترل عضو کششی	۴
۳-۱-۱- کنترل تسلیم در مقطع کل	۵
۳-۱-۲- کنترل گسیختگی کششی در محل سوراخ	۵
۳-۱-۳- سطح مقطع خالص	۶
۳-۱-۴- تاخیر برشی و سطح مقطع موثر	۸
۳-۱-۵- مقاومت برشی عضو در مجاورت ناحیه اتصال	۱۶
۳-۱-۶- مقاومت برشی قالبی	۱۷
۳-۱-۷- کنترل لاغری (سرویس دهی)	۲۱
۴- کمانش موضعی	۲۲
۴-۱- فشردگی اعضای تحت فشار محوری	۲۴
۴-۲- فشردگی اعضای تحت خمش	۲۶
۴-۳- الزامات لرزه ای	۲۸
۴-۴- مقاطع مختلط	۳۰
۵- ستونها	۳۶
۵-۱- ضریب K	۳۷
۵-۲- طول کمانش ستونها در قابها	۳۹
۵-۳- مقاومت فشاری ستونها	۴۳
۵-۳-۱- ستونهای با مقطع I شکل ( $Kz \leq K$ ) و باکس	۴۳
۵-۳-۲- ستونهای با مقطع I شکل متقارن و $Kz > K$	۴۷
۵-۳-۳- ستونهای با مقطع I شکل با یک محور تقارن	۴۹
۵-۴- ستونهای بست دار	۵۱
۶- خمش	۵۷
۶-۱- تعریف تیر	۵۷
۶-۲- لنگر تسلیم و لنگر پلاستیک	۵۸
۶-۳- مقاومت خمشی مقاطع غیر فشرده	۶۷
۶-۴- مقاومت خمشی مقاطع بدون مهار جانی	۷۱
۶-۴-۱- ضریب Cb	۷۳
۶-۵- مقطع I شکل و ناودانی با بال و جان فشرده (Mx)	۸۰
۶-۶- مقطع I شکل با بال غیر فشرده و جان فشرده (Mx)	۸۵

- ۶-۷- مقطوع I شکل و ناودانی حول محور ضعیف (My) ..... ۸۶
- ۶-۸- مقطوع باکس (My, Mx) ..... ۸۷
- ۶-۹- سپری (Mx) ..... ۸۸
- ۶-۱۰- مقطوع توپر- دایره- مستطیل ..... ۹۰
- ۶-۱۱- تاثیر سوراخ کاری در بال تیر ..... ۹۲
- ۷- برش ..... ۹۳
- ۷-۱- مقاومت برشی (بدون میدان کششی) ..... ۹۴
- ۷-۲- مقاومت برشی (با میدان کششی) ..... ۹۶
- ۷-۳- مقاومت برشی در راستای عمود بر محور ضعیف ..... ۱۰۲
- ۸- پیچش ..... ۱۰۳
- ۹- اعضای مختلط ..... ۱۰۵
- ۹-۱- مقاومت خمشی مقاطع مختلط با برشگیر ..... ۱۰۶
- ۹-۱-۱- تعداد برش گیرها در تیرها ..... ۱۱۰
- ۹-۲- ضوابط برشگیرها در تیرها ..... ۱۱۲
- ۹-۳- ضوابط برشگیرها در ستونها ..... ۱۱۵
- ۱۰- الزامات تامین پایداری ..... ۱۱۶
- ۱۰-۱-۱- اثرات  $P-\Delta$  و  $P-\delta$  ..... ۱۱۶
- ۱۰-۲-۱- روش تحلیل مرتبه دوم ..... ۱۱۷
- ۱۰-۳-۱- قاب مهار شده و مهار نشده ..... ۱۱۸
- ۱۰-۴-۱- ملاحظات نواقص هندسی اولیه ..... ۱۱۹
- ۱۰-۵-۱- تنظیمات سختی اعضا ..... ۱۲۰
- ۱۰-۶-۱- روش تحلیل و طراحی ..... ۱۲۲
- ۱۰-۷-۱- تحلیل مرتبه مرتبه اول ..... ۱۲۵
- ۱۱- تیر ستونها ..... ۱۲۷
- ۱۱-۱- ترکیب فشار و خمش ..... ۱۲۷
- ۱۱-۲- ترکیب کشش و خمش ..... ۱۲۸
- ۱۲- جوش ..... ۱۲۹
- ۱۲-۱- ابعاد جوش گوشه ..... ۱۳۰
- ۱۲-۲- مقاومت جوش ..... ۱۳۱
- ۱۲-۳- الکتروود سازگار با فلز ..... ۱۳۵
- ۱۳- پیچ ..... ۱۳۶
- ۱۳-۱- محدودیت فواصل سوراخها ..... ۱۳۸
- ۱۳-۲- مقاومت اتصالات پیچی اتکایی ..... ۱۳۹
- ۱۳-۲-۱- مقاومت اتکایی در جدار سوراخ ..... ۱۴۰

۱۴۱	..... ۱۳-۲-۲- مراحل کنترل اتصال اتکایی
۱۴۴	..... ۱۳-۲-۳- اثر مشترک برش و کشش
۱۴۸	..... ۱۳-۳- کنترل اتصال اصطکاکی
۱۵۴	..... ۱۳-۴- پیچش در اتصال پیچی
۱۵۷	..... ۱۳-۵- انواع اتصال
۱۶۲	..... ۱۴- وصله
۱۶۲	..... ۱۴-۱- الزامات عمومی
۱۶۳	..... ۱۴-۲- ستون
۱۶۴	..... ۱۴-۳- تیر
۱۶۷	..... ۱۵- ورق پای ستون
۱۷۱	..... ۱۶- ناحیه اتصال
۱۷۳	..... ۱۷- اثر بارهای متمرکز
۱۸۲	..... ۱۸- ضوابط ویژه لرزه ای
۱۸۲	..... ۱۸-۱- کلیات
۱۸۳	..... ۱۸-۲- ترکیب بار لرزه ای برای ستونها
۱۸۵	..... ۱۸-۳- مهار جانبی تیرهای لرزه ای
۱۸۶	..... ۱۸-۴- قاب خمشی معمولی
۱۸۹	..... ۱۸-۵- قاب خمشی متوسط
۱۹۳	..... ۱۸-۶- قاب خمشی ویژه
۱۹۴	..... ۱۸-۷- تیر ضعیف- ستون قوی
۱۹۶	..... ۱۸-۸- ورق پیوستگی در قاب متوسط و ویژه
۱۹۸	..... ۱۸-۹- اتصالات از پیش تایید شده گیردار
۲۰۸	..... ۱۸-۱۰- بادبند همگرای معمولی
۲۰۹	..... ۱۸-۱۱- باد بند همگرای ویژه
۲۱۳	..... ۱۸-۱۲- مهاربند واگرا
۲۱۸	..... ۱۹- شرایط بهره برداری
۲۱۸	..... ۱۹-۱- کنترل خیز و ارتعاش در تیرها
۲۲۱	..... ۲۰- خلاصه روابط
۲۲۴	..... مقاطع I شکل با بال و جان فشرده (Mx)

داوطلب گرامی ضمن آرزوی پیروزی برای شما قبل از استفاده از جزوه مطالب زیر را مطالعه بفرمایید:

- ✓ این کتاب کار ویژه تدریس سر کلاس و افزایش سرعت تدریس تهیه شده و کامل نیست. کتاب به مرور زمان ویرایش و تکمیل خواهد شد (تاریخ ویرایش در قسمت فوقانی صفحات درج شده است).
- ✓ برای اطلاع از برنامه های آموزشی و زمانبندی دوره ها به [www.hoseinzadeh.net](http://www.hoseinzadeh.net) مراجعه کنید.
- ✓ استفاده از متن و یا تصاویر این کتاب با ذکر منبع آن ([www.hoseinzadeh.net](http://www.hoseinzadeh.net)) بلامانع است.
- ✓ کانال تلگرام: جهت آگاهی از کلاسهای نظام مهندسی اینجانب و نیز مشاهده پرسش و پاسخهای انجام شده در زمینه آزمون محاسبات می توانید در کانال تلگرام زیر عضو شوید:

<https://telegram.me/hoseinzadehasl>

لینک عضویت در کانال عمومی:

<https://telegram.me/mhoseinzadehasl>

ارسال سوال از طریق کانال عمومی:

[https://telegram.me/nezam\\_hoseinzadehasl](https://telegram.me/nezam_hoseinzadehasl)

لینک عضویت در کانال اختصاصی آزمون محاسبات:

[https://telegram.me/nezam\\_mhoseinzadehasl](https://telegram.me/nezam_mhoseinzadehasl)

ارسال سوال از طریق کانال اختصاصی آزمون محاسبات:

- ✓ مسلماً جزوه خالی از اشتباه نیست. در صورتی که به اشتباهی برخوردید، ممنون می شوم که از طریق کانال تلگرام اطلاع دهید تا در ویرایش بعدی اصلاح شود.
- ✓ علاوه بر این جزوه، مطالب مفید دیگر را می توانید از سایت اینجانب ([www.hoseinzadeh.net](http://www.hoseinzadeh.net)) دانلود نمایید.

مسعود حسین زاده اصل

ویرایش اول: ۱۳۹۳/۴

ویرایش فعلی: ۱۳۹۶/۸

## ۲- ترکیبات بار و کلیات طراحی

۱- روش (LRFD (Load and Resistance Factor Design):

$$\gamma \times Q \leq \phi \times R$$

ضریب افزایش بار      بار      ضریب کاهش مقاومت      مقاومت

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

## ساختمان‌های فولادی

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

- ۱)  $1.4D$
- ۲)  $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
- ۳)  $1.2D + 1.6(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } 0.5(1.4W)]$
- ۴)  $1.2D + 1.0(1.4W) + L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
- ۵)  $1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
- ۶)  $0.9D + 1.0(1.4W)$
- ۷)  $0.9D + 1.0E$
- ۸)  $1.2D + 0.5L + 0.5(L_r \text{ یا } S) + 1.2T$
- ۹)  $1.2D + 1.6L + 1.6(L_r \text{ یا } S) + 1.0T$

مثال:

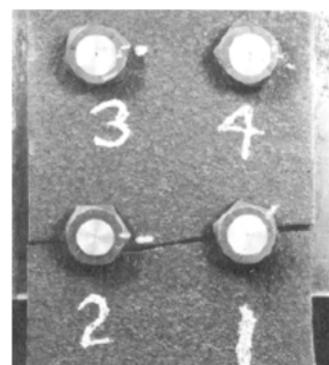
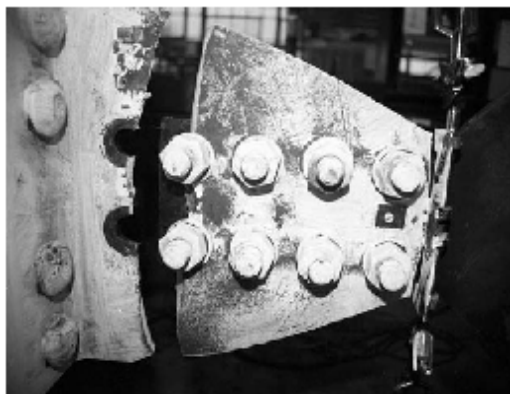
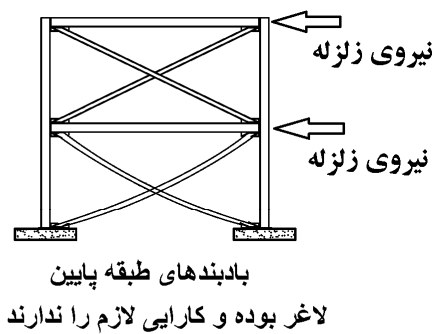
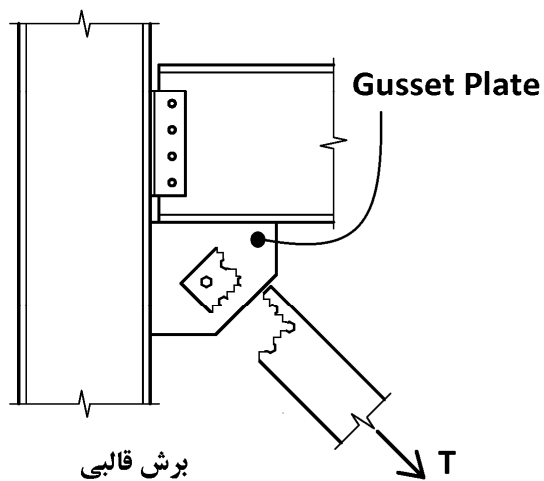
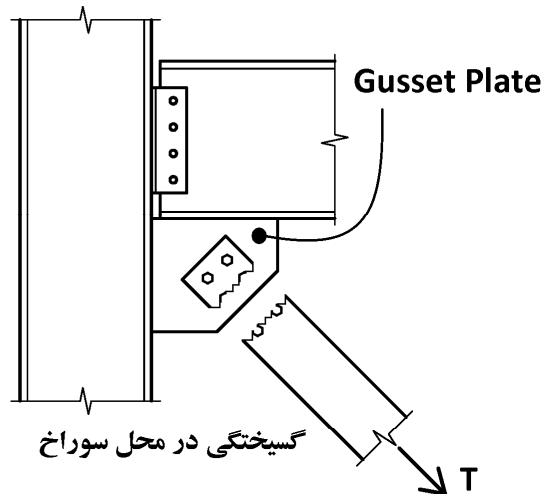
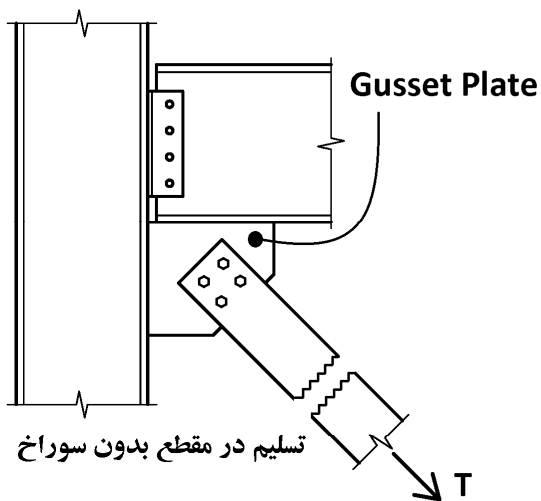
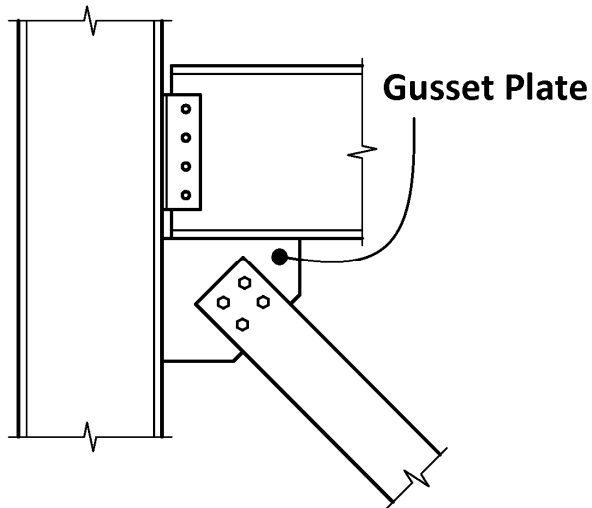
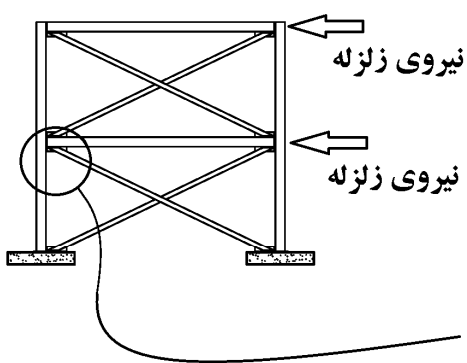
یک عضو فولادی تحت اثر بار زنده کششی 20 ton، بار مرده 40ton قرار گرفته است. نیروی محوری ناشی از نیروی زلزله برابر 10ton می‌باشد. مساحت مقطع عضو چقدر باید باشد تا از نظر آیین نامه قابل قبول باشد؟

$$\gamma Q \leq \phi R$$

$$\left. \begin{array}{l} 1.4 \times 40 = 56 \text{ ton} \\ 1.2 \times 40 + 1.6 \times 20 = 80 \text{ ton} \\ 1.2 \times 40 + 1 \times 20 + 1 \times 10 = 78 \text{ ton} \end{array} \right\} \gamma Q = 80 \text{ ton}$$

$$\phi R = 0.9F_y \times A = 2160 \times A$$

$$\rightarrow 80000 \leq 2160A \rightarrow 37 \text{ cm}^2 \leq A$$



## ۳-۱- مراحل کنترل عضو کششی

در اعضای کششی ۵ مورد زیر باید کنترل شود. تمامی این موارد باید تامین شوند. ولی مورد های ۱ و ۲ بیشتر مورد سوال هستند.

۱- در مقطع کل تسلیم رخ ندهد

۲- در محل سوراخ گسیختگی رخ ندهد

۳- در محل سوراخ برش قالبی رخ ندهد.

۴- عضو کششی لاغر نباشد

۵- بولت ها (و یا جوش) گسیخته نشود

## ۱۰-۲-۳-۴ مقاومت کششی

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

الف) برای تسلیم کششی در مقطع کلی عضو:

$$\phi_t = 0.9 \quad \text{و} \quad P_n = F_y A_g \quad (4-3-2-10)$$

ب) برای گسیختگی کششی در مقطع خالص عضو:

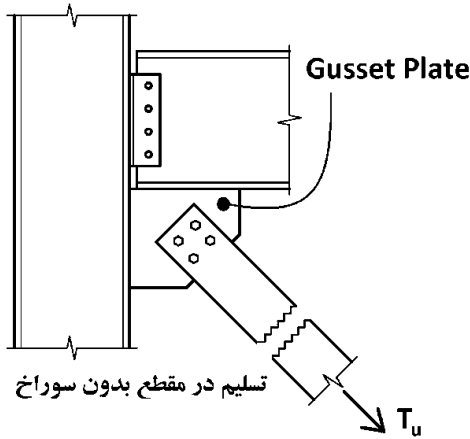
$$\phi_t = 0.75 \quad \text{و} \quad P_n = F_u A_n \quad (5-3-2-10)$$

پ) برای گسیختگی کششی در مقطع خالص موثر عضو در محل اتصال:

$$\phi_t = 0.75 \quad \text{و} \quad P_n = F_u A_e \quad (6-3-2-10)$$

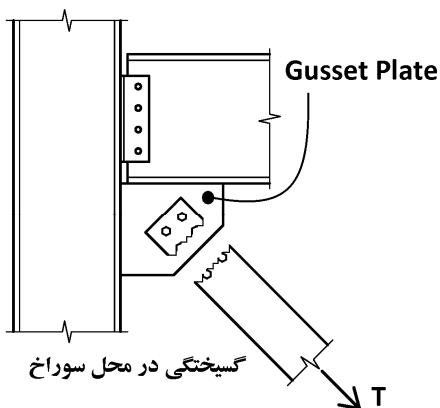


## ۳-۱-۱- کنترل تسلیم در مقطع کل



$$T_u < 0.9F_y \times A_g$$

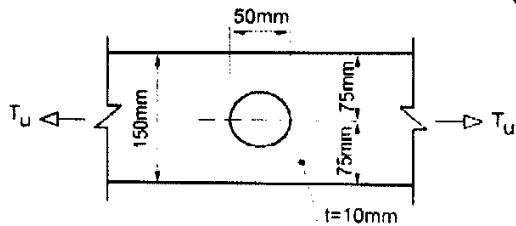
## ۳-۱-۲- کنترل گسیختگی کششی در محل سوراخ



$$T_u < 0.75F_u A_e$$

محاسبات ۹۴

۵- حداکثر نیروی کششی نهایی قابل تحمل  $T_u$ ، توسط تسمه کششی سوراخ‌دار نشان داده شده در شکل زیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید طول تسمه نسبتاً زیاد بوده و فولاد مصرفی با  $F_y=240 \text{ MPa}$  و  $F_u=370 \text{ MPa}$  می‌باشد.)



360 kN (۱)

320 kN (۲)

270 kN (۳)

220 kN (۴)

گزینه ۳

$$A_n = (150 - 52) \times 10 = 980 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi A_n F_u = 0.75 \times 980 \times 370 = 271.9 \text{ kN}$$

$$A_g = 150 \times 10 = 1500 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi A_g F_y = 0.9 \times 1500 \times 240 = 324 \text{ kN}$$

تمرین: محاسبات اسفند ۸۹

۲۳- طراحی اعضای کششی براساس روش حالات حدی، با استفاده از کدامیک از عبارتهای زیر صورت می‌گیرد؟

(۱)  $\min(F_y A_g \text{ و } F_u A_e)$

(۲)  $\min(F_y A_g \text{ و } 0.9 F_u A_e)$

(۳)  $\max(0.9 F_y A_g \text{ و } 0.75 F_u A_e)$

(۴)  $\min(0.9 F_y A_g \text{ و } 0.75 F_u A_e)$

گزینه ۴

۳-۱-۳- سطح مقطع خالص

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

الف) سطح مقطع کلی عضو ( $A_g$ ) برابر با مجموع سطح مقطع اجزای تشکیل دهنده آن و سطح مقطع هر جزء برابر با حاصل ضرب پهنای کلی در ضخامت آن می‌باشد. برای نیمرخ نبشی پهنای کلی عبارت است از مجموع پهنای دو بال منهای ضخامت بال.

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

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

$A_e = UA_n$

الف) برای اتصالات و وصله‌های از نوع پیچی

$A_e = UA_g$

ب) برای اتصالات و وصله‌های از نوع جوشی



تبصره: در ورق‌های وصله‌های پیچی در اعضای کششی:

$A_e = A_n \leq 0.85A_g$

(۳-۳-۲-۱۰)

در روابط فوق:

$A_g$  = سطح مقطع کلی عضو

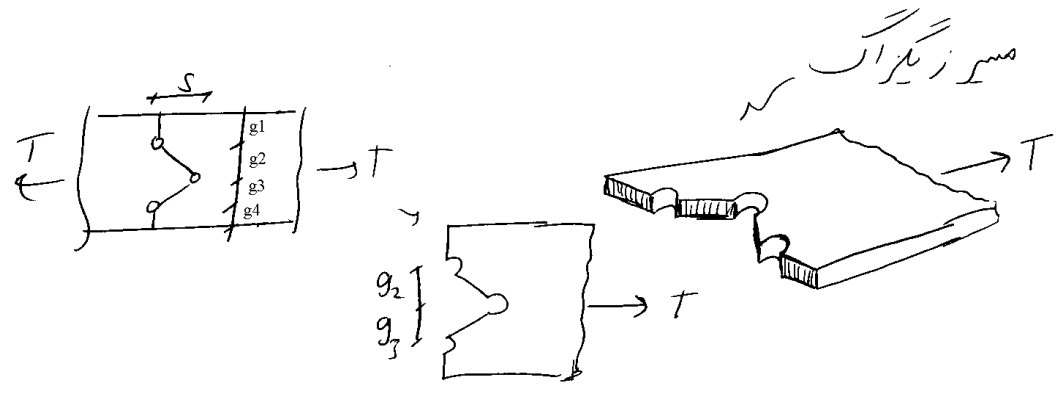
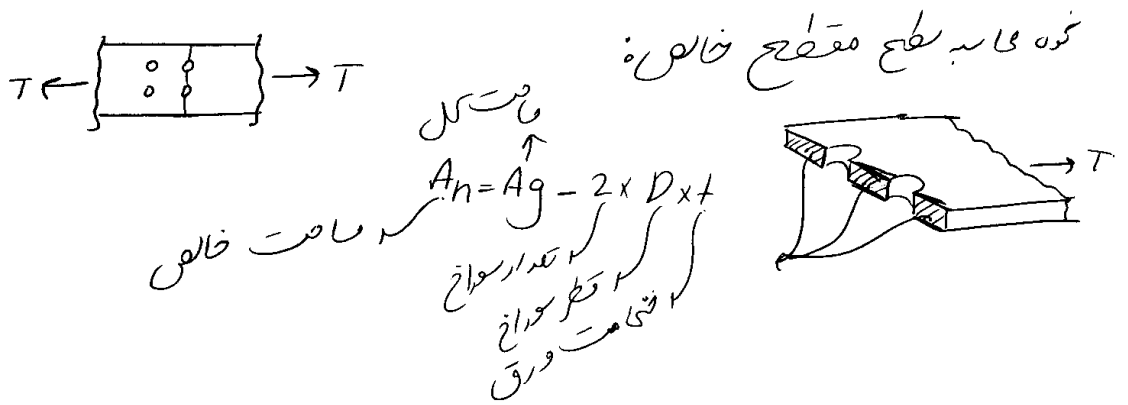
$A_n$  = سطح مقطع خالص عضو

$A_e$  = سطح مقطع خالص موثر عضو

$U$  = ضریب تأخیر برش مطابق جدول ۱۰-۳-۲-۱۰. در هر حال این ضریب در مقاطع باز (نظیر

مقاطع I، L، U و ...) لازم نیست از نسبت سطح مقطع قسمت‌های اتصال یافته به سطح

مقطع کل کمتر در نظر گرفته شود.



$A_n = A_g - 3Dt + \frac{s^2}{4g_2} + \frac{s^2}{4g_3}$

تعداد سوراخ

با اِزار هر چه عدد بزرگتر  $\frac{s^2}{4g}$  مقدار  $A_n$  افزوده می‌شود

ابعاد اسمی پیچ با ابعاد اسمی سوراخ چه فرقی دارد؟

جدول ۱۰-۲-۹-۸ ابعاد اسمی سوراخ پیچ بر حسب میلی‌متر

ابعاد اسمی سوراخ (mm)				قطر پیچ (mm)
سوراخ لوبیایی بلند (طول×عرض)	سوراخ لوبیایی کوتاه (طول×عرض)	سوراخ بزرگ‌شده	سوراخ استاندارد	
۱۸×۴۰	۱۸×۲۲	۲۰	۱۸	M۱۶
۲۲×۵۰	۲۲×۲۶	۲۴	۲۲	M۲۰
۲۴×۵۵	۲۴×۳۰	۲۸	۲۴	M۲۲
۲۷×۶۰	۲۷×۳۲	۳۰	۲۷	M۲۴
۳۰×۶۷	۳۰×۳۷	۳۵	۳۰	M۲۷
۳۳×۷۵	۳۳×۴۰	۳۸	۳۳	M۳۰
$(d+۳) \times ۲/۵ d$	$(d+۳) \times (d+۱۰)$	$d+۸$	$d+۳$	$\geq M۳۶$

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

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

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

۱- عرض سوراخ پیچ باید به مقدار دو میلی‌متر بزرگتر از ابعاد اسمی سوراخ منظور شود. ابعاد اسمی سوراخ در بخش ۱۰-۲-۹ تعریف شده است.

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

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

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

۳- در مقطع نبشی گام عرضی برای سوراخ‌های واقع در روی دو بال متعامد، عبارت خواهد بود از جمع فواصل سوراخ‌ها تا پشت نبشی منهای ضخامت آن.

## ۳-۱-۴- تاخیر برشی و سطح مقطع موثر

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

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

$$A_e = UA_n$$

الف) برای اتصالات و وصله‌های از نوع پیچی

$$A_e = UA_g$$

ب) برای اتصالات و وصله‌های از نوع جوشی

تبصره: در ورق‌های وصله‌های پیچی در اعضای کششی:

$$A_e = A_n \leq 0.85A_g$$

(۳-۳-۲-۱۰)

در روابط فوق:

$A_g$  = سطح مقطع کلی عضو

$A_n$  = سطح مقطع خالص عضو

$A_e$  = سطح مقطع خالص موثر عضو

$U$  = ضریب تأخیر برش مطابق جدول ۳-۲-۱۰.۱ در هر حال این ضریب در مقاطع باز (نظیر

مقاطع I، L، U، T و ...) لازم نیست از نسبت سطح مقطع قسمت‌های اتصال‌یافته به سطح

مقطع کل کمتر در نظر گرفته شود.

اگر در محل اتصال یک عضو کششی تمام اجزای مقطع در اتصال شرکت نکنند، به جای کل مقطع تنها قسمتی از آن در تحمل کشش موثر است. به قسمتی از مقطع که در انتقال نیرو مشارکت دارد سطح مقطع موثر می‌گویند و با  $A_e$  نشان می‌دهند. به پدیده انتقال نیروها از قسمت فوقانی بال به بال پایینی در شکل زیر پدیده تاخیر برشی (shear lag) گفته می‌شود.

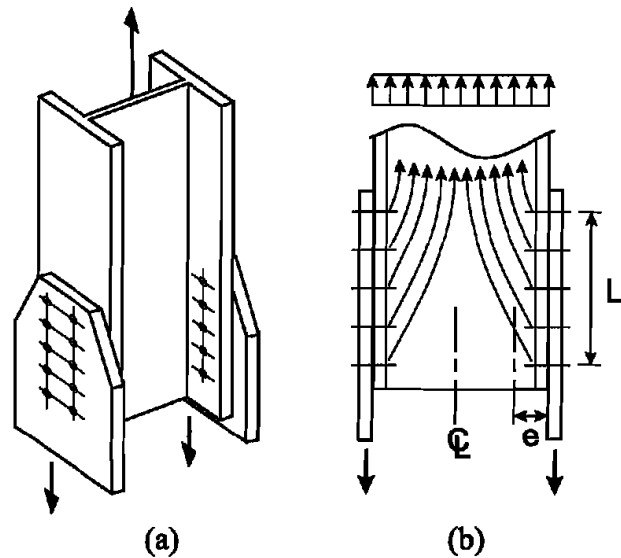
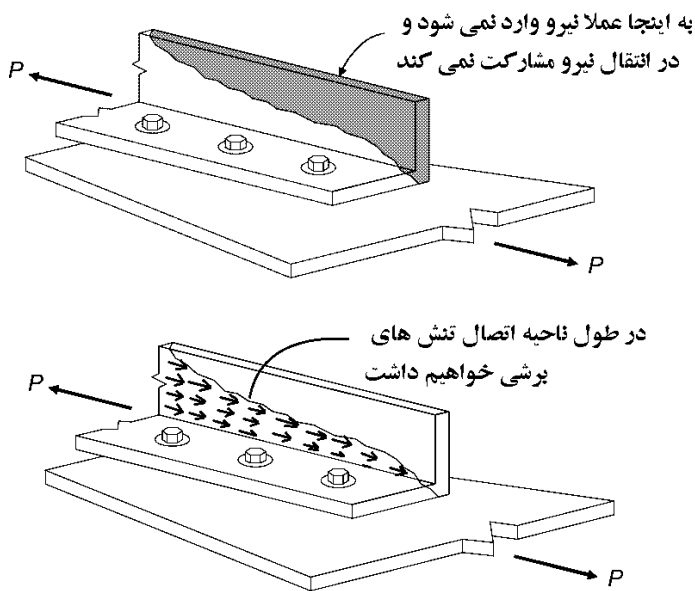
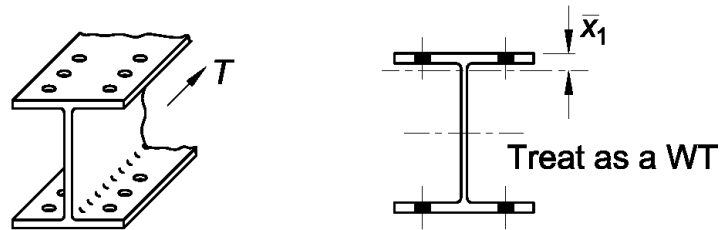


Figure 7-17. Misc. Connection: Truss Column C2 / Truss B7

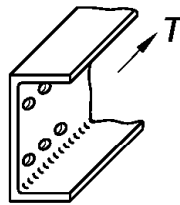


Figure 7-18. Misc. Connection: Truss Column C2 / Truss B7

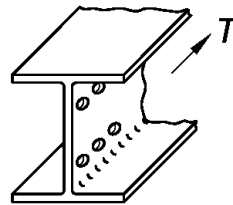
در شکل (a) تنها بال مقطع متصل است و جان در انتقال نیرو مشارکت کمتری دارد.  
 در شکل (b) تنها جان ناودانی متصل است و بالها در انتقال نیرو مشارکت کمتری دارد.  
 در شکل (c) تنها جان مقطع متصل است و بالها در انتقال نیرو مشارکت کمتری دارد.



(a)



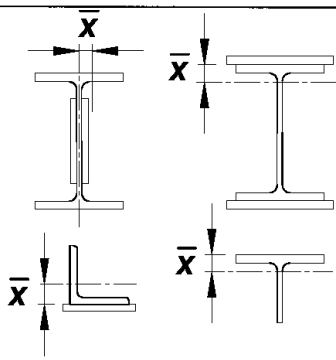
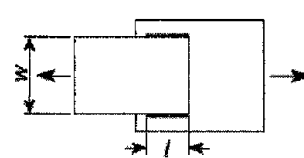
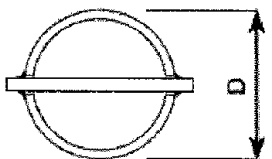
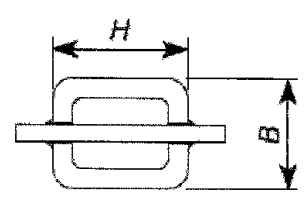
(b)

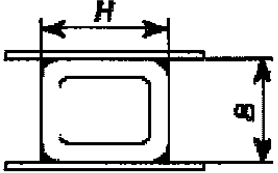


(c)

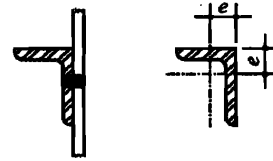
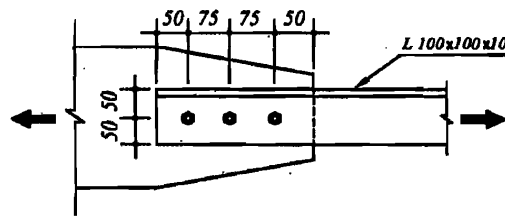
**Fig. C-D3.1. Determination of  $\bar{x}$  for U.**

جدول ۱۰-۲-۳-۱ ضریب تأخیر برش (U) برای اتصالات اعضای کششی

حالت	شرح	ضریب تأخیر برش، U	مثال
۱	کلیه اعضای کششی که در آنها بار به وسیله پیچ، یا جوش مستقیماً به کلیه اجزای مقطع منتقل گردد (به غیر از حالت‌های ۳، ۴، ۵ و ۶)	$U = 1$	
۲	کلیه اعضای کششی (به غیر از تسمه‌ها و مقاطع قوطی و لوله‌ای) که در آنها بار به وسیله پیچ یا جوش طولی و یا ترکیبی از جوش طولی و عرضی توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$	
۳	کلیه اعضای کششی که در آنها بار فقط به وسیله جوش عرضی و توسط قسمتی از اجزای مقطع (و نه تمام آن) منتقل گردد.	$U = 1$ = $A_n$ / سطح مقطع قسمت (با قسمتهای) اتصال یافته	
۴	تسمه‌های کششی که با جوش‌های طولی در دو لبه موازی (در انتهای قطعه) متصل‌اند. در این حالت طول جوش‌ها نباید از فاصله عمودی بین آنها (پهنای تسمه) کمتر باشد.	$w \leq l < 1/5w \dots U = 0.75$ $1/5w \leq l < 2w \dots U = 0.87$ $l \geq 2w \dots U = 1.0$	
۵	در مقاطع لوله‌ای با یک ورق اتصال هم‌محور، که در آن طول جوش‌ها نباید از قطر لوله کمتر باشد.	$D \leq l < 1/2D \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $l \geq 1/2D \dots U = 1.0$ $\bar{x} = \frac{D}{\pi}$	
۶	چنانچه اتصال تنها به کمک یک ورق هم‌محور صورت گیرد که در آن طول جوش‌ها نباید از H کمتر باشد.	$l \geq H \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	

	$l \geq H \dots U = 1 - \frac{x}{l}$ $\bar{x} = \frac{B^2}{2(B+H)}$	<p>چنانچه اتصال به کمک دو ورق اتصال و در دو وجه صورت گیرد که در آن طول جوشها نباید از H کمتر باشد.</p>		
	$b_f \geq \frac{2}{3}d \Rightarrow U = 0.9$ $b_f < \frac{2}{3}d \Rightarrow U = 0.85$	<p>در اتصالات پیچی در صورتی که اتصال از طریق بالها برقرار شده و حداقل سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.</p>	<p>در نیمرخ‌های I نورد شده و سپری T بریده شده از آن‌ها و همچنین نیمرخ‌های دیگری نظیر بال پهن، استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد.</p>	۷
	$U = 0.7$	<p>در اتصالات پیچی در صورتی که اتصال از طریق جان برقرار شده و حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.</p>		
	$U = 0.8$	<p>چنانچه حداقل چهار وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.</p>	<p>در نیمرخ‌های تک‌نبشی در صورتی که توسط یک بال متصل شده باشند استفاده از مقادیر بزرگتر از حالت ۲ جدول مجاز می‌باشد.</p>	۸
	$U = 0.6$	<p>چنانچه دو یا سه وسیله اتصال در هر ردیف در امتداد تأثیر نیرو موجود باشد.</p>		
<p>در این جدول:  <math>l</math> = طول اتصال مساوی فاصله اولین و آخرین پیچ در اتصال پیچی و طول جوش در اتصال جوشی  <math>w</math> = پهنای ورق  <math>\bar{x}</math> = خروج از مرکزیت اتصال (فاصله عمودی مرکز اتصال تا مرکز هندسی بخشی از عضو که نیروی آن توسط این اتصال منتقل می‌گردد)  <math>B</math> = پهنای کلی مقاطع قوطی شکل (عمود بر صفحه اتصال)  <math>H</math> = ارتفاع کلی مقاطع قوطی شکل (در صفحه اتصال)</p>				

۱۰- در محل اتصال نبشی  $L100 \times 100 \times 10$  سه سوراخ با قطر اسمی  $18 \text{ mm}$  در یک بال و در راستای نیرو با جزییات شکل زیر اجرا شده است. مقدار سطح مقطع خالص مؤثر عضو در محل اتصال پیچی برحسب میلی مترمربع به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (ابعاد به میلی متر است).  
 $e=28.2 \text{ mm}$  ,  $A_g=1920 \text{ mm}^2$



(۱) 1030

(۲) 1150

(۳) 1395

(۴) 1640

گزینه ۳

$$A_n = A_g - (18 + 2) \times 10 = 1920 - 200 = 1720 \text{ mm}^2$$

در صورت استفاده از ردیف ۲ جدول:

$$U = 1 - \frac{28.2}{75 + 75} = 0.812$$

در صورت استفاده از ردیف ۸ جدول:

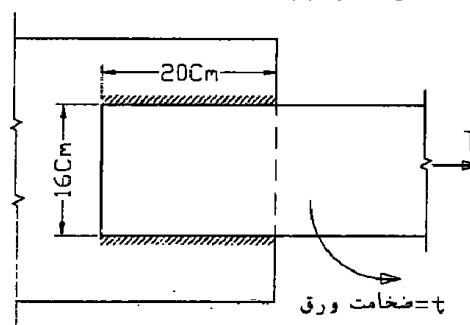
$$U = 0.6$$

مقدار دقیق مساحت مؤثر برابر است با:

$$A_e = UA_n = 0.812 \times 1720 = 1396 \text{ mm}^2$$

## محاسبات خرداد ۸۹

۲۰- در اتصال جوشی شکل مقابل، در طراحی به روش تنش مجاز، ضخامت ورق ( $t$ ) بر اساس کنترل کدام دسته از روابط زیر محاسبه می شود؟

 $F_u$  = تنش کششی نهایی ورق ( $\text{kg/cm}^2$ ) $F_y$  = تنش تسلیم ورق ( $\text{kg/cm}^2$ )

$$t \geq \frac{T}{7.5F_u} \quad , \quad t \geq \frac{T}{8F_y} \quad (۱)$$

$$t \geq \frac{T}{6F_u} \quad , \quad t \geq \frac{T}{9.6F_y} \quad (۲)$$

$$t \geq \frac{T}{8F_u} \quad , \quad t \geq \frac{T}{9.6F_y} \quad (۳)$$

$$t \geq \frac{T}{0.5F_u} \quad , \quad t \geq \frac{T}{0.6F_y} \quad (۴)$$

حل به روش LRFD:

کنترل تسلیم:

$$T_u \leq 0.9F_y \times A_g \quad \rightarrow \quad T_u \leq 0.9F_y \times 16t \quad \rightarrow \quad t \geq \frac{T_u}{14.4F_y}$$

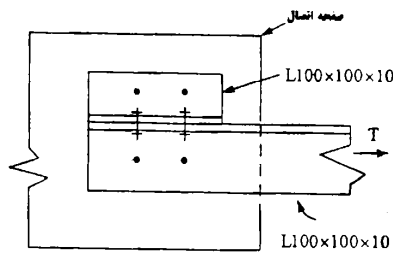
کنترل گسیختگی:

$$T_u \leq 0.75F_u \times A_e \quad \rightarrow \quad T_u \leq 0.75F_u \times 0.75 \times 16t \quad \rightarrow \quad t \geq \frac{T_u}{9F_u}$$



## تمرین: محاسبات - ۱ - آذر ۸۴

۲۸- انتقال نیروی T از نبشی دو طرف مساوی  $L100 \times 10$  به صفحه اتصال با شش عدد پیچ به قطر  $20 \text{ mm}$  با سوراخ‌های استاندارد طبق شکل انجام می‌گیرد. سطح مقطع خالص مؤثر این نبشی چقدر است؟ سوراخ‌ها با مته اجرا شده‌اند.



- (۱) ۱۱٫۱ سانتیمتر مربع
- (۲) ۱۲٫۶ سانتیمتر مربع
- (۳) ۱۴٫۸ سانتیمتر مربع
- (۴) ۱۹٫۲ سانتیمتر مربع

- در آیین نامه قدیم وقتی سوراخ کاری با مته انجام می‌شد، نیازی به افزایش ۲ میلیمتری در قطر سوراخ نبود ولی در آیین نامه جدید در همه حالات قطر محاسباتی سوراخ باید ۲ میلیمتر بزرگتر از قطر اسمی سوراخ منظور شود.

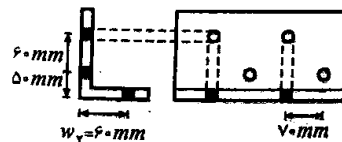
$$A_e = A_n = A_g - 2Dt = 19.2 - 2 \times (2.4 \times 1) = 14.4 \text{ cm}^2$$

## تمرین:

۱۹- سطح مقطع خالص نبشی زیر را بدست آورید. (ضخامت نبشی ۱ cm، قطر سوراخ ۲ cm و سطح مقطع

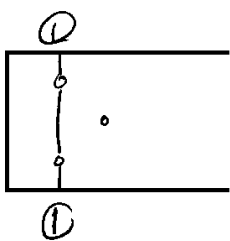
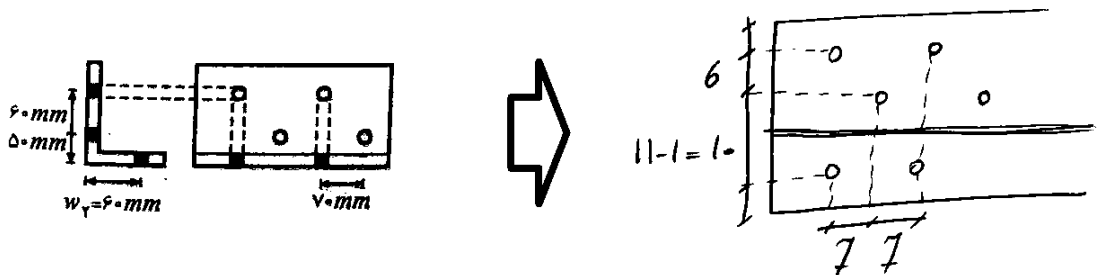
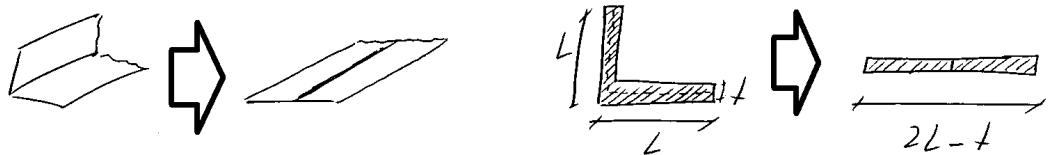
(نظام مهندسی)

نبشی  $30 \text{ cm}^2$  می‌باشد.)

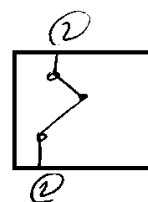


- (۱)  $22 \text{ cm}^2$
- (۲)  $25 \text{ cm}^2$
- (۳)  $27 \text{ cm}^2$
- (۴)  $26 \text{ cm}^2$

- توجه شود که تاخیر برشی زمانی مطرح است که اتصال داشته باشیم. در حل این مساله فرض شده است که قطر اسمی سوراخ ۱.۸ cm بوده و قطر محاسباتی سوراخ برابر ۲ cm می‌باشد. ابتدا بهتر است نبشی را به صورت یک ورق در نظر بگیریم:



$$A_{n1} = 30 - 2 \times 2 \times 1 = 26 \text{ cm}^2$$



$$A_{n2} = 30 - 3 \times 2 \times 1 + \frac{7^2}{4 \times 6} \times 1 + \frac{7^2}{4 \times 10} \times 1 = 27.27 \text{ cm}^2$$

$$A_n = \text{Min}\{26, 27.27\} = 26 \text{ cm}^2$$

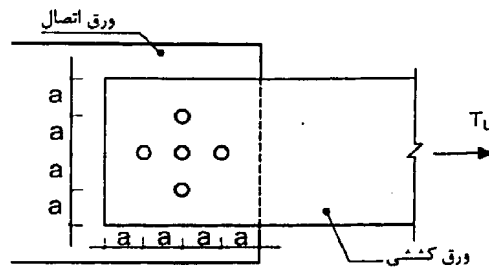
۲۰- در اتصال شکل زیر، چنانچه قطر محاسباتی سوراخ‌ها برابر  $a/5$  فرض شود، مقدار تنش کششی نهایی در مقطع گسیختگی محتمل در ورق کششی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟

$$\frac{T_u}{4.0at} \quad (۱)$$

$$\frac{T_u}{3.9at} \quad (۲)$$

$$\frac{T_u}{3.4at} \quad (۳)$$

$$\frac{T_u}{3.8at} \quad (۴)$$



گزینه ۴

$$A_{n1} = 4at - \frac{at}{5} = 3.8at$$

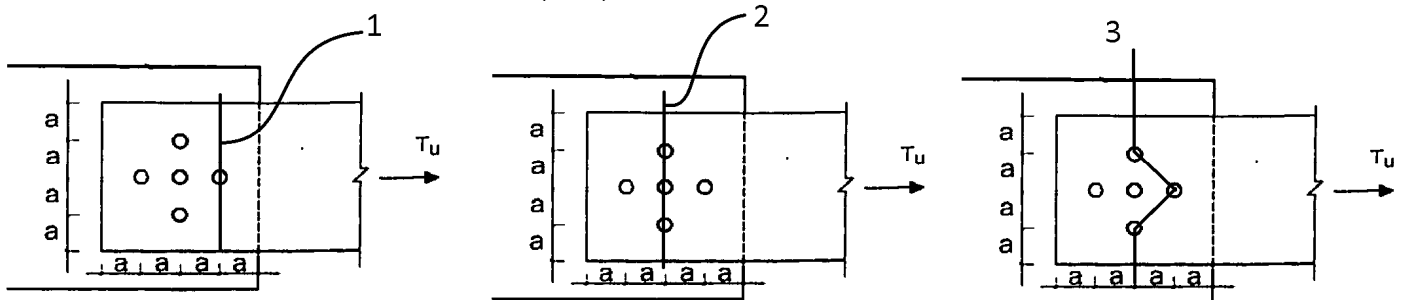
$$\rightarrow \sigma = \frac{T_u}{A_{n1}} = \frac{T_u}{3.8at}$$

$$A_{n2} = 4at - 3\frac{at}{5} = 3.4at$$

$$\rightarrow \sigma = \frac{\frac{4}{5}T_u}{A_{n2}} = \frac{\frac{4}{5}T_u}{3.4at} = \frac{T_u}{4.25at}$$

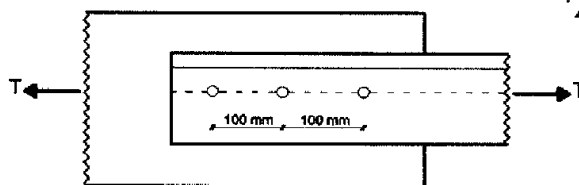
$$A_{n3} = 4at - 3\frac{at}{5} + 2\left(\frac{a^2}{4a}t\right) = 3.9at$$

$$\rightarrow \sigma = \frac{T_u}{A_{n3}} = \frac{T_u}{3.9at}$$



۳۴- در اتصال نبشی دو طرف مساوی  $L120 \times 120 \times 12$  mm به صفحه اتصال، از سه عدد سوراخ به قطر 25 میلیمتر استفاده شده است. چنانچه سوراخ‌ها با مته صورت گرفته باشد، بدون توجه به مشخصات صفحه اتصال، حداکثر نیروی کششی قابل تحمل توسط نبشی در طراحی به روش تنش مجاز برحسب کیلونیوتن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟

$$A = 27.5 \text{ cm}^2 \text{ و } F_u = 400 \text{ MPa} , F_y = 240 \text{ MPa}$$



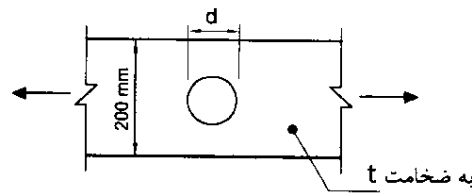
$$490 \quad (۱)$$

$$396 \quad (۲)$$

$$416 \quad (۳)$$

$$330 \quad (۴)$$

۵۹- در تسمه کششی شکل زیر حداکثر قطر اسمی سوراخ، که برای عبور تأسیسات تعبیه شده است، برای آنکه در تعیین مقاومت کششی طراحی تسمه بتوان از وجود سوراخ در تسمه چشم‌پوشی کرد، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ ( $F_y=240 \text{ MPa}$  ,  $F_u = 370 \text{ MPa}$ )



$$d = 42 \text{ mm} \quad (۱)$$

$$d = 27 \text{ mm} \quad (۲)$$

$$d = 30 \text{ mm} \quad (۳)$$

$$d = 60 \text{ mm} \quad (۴)$$

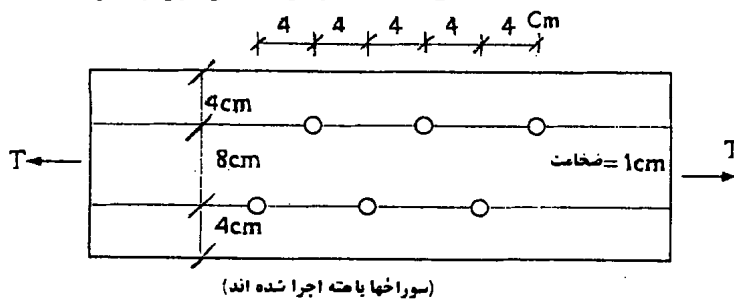
گزینه ۱

$$0.9A_gF_y < 0.75A_nF_u \quad \rightarrow \quad 0.9 \times (200t) \times 240 < 0.75 \left( 200 - d_{\text{محاسبه}} \right) t \times 370$$

$$\rightarrow 44.3 > d_{\text{محاسبه}} \quad \rightarrow \quad d_{\text{محاسبه}} = d_{\text{اسمی}} + 2^{\text{mm}} \quad \rightarrow \quad d_{\text{اسمی}} = 42.3 \text{ mm}$$

### تمرین محاسبات - ۳- آذر ۸۴

۲۶- ورقی با تنش تسلیم  $F_y = 24000 \text{ kg/cm}^2$  و مقاومت کششی  $F_u = 40000 \text{ kg/cm}^2$  تحت اثر نیروی کششی  $T$  قرار می‌گیرد. شش سوراخ ورق به قطر اسمی ۲۰ میلی‌متر هستند. مقدار مجاز نیروی کششی قابل تحمل توسط این ورق چقدر است؟



$$(۱) \sim ۲۸ \text{ تن}$$

$$(۲) \sim ۲۵ \text{ تن}$$

$$(۳) \sim ۲۳ \text{ تن}$$

$$(۴) \sim ۲۰ \text{ تن}$$

کنترل تسلیم:

$$T_u \leq 0.9F_y \times A_g \quad \rightarrow \quad T_u \leq 0.9(240)(1600) \quad \rightarrow \quad T_u < 345.6 \text{ kN}$$

کنترل گسیختگی:

$$T_u \leq 0.75F_u \times A_e \rightarrow T_u \leq 0.75(400) \times \text{Min} \left( \frac{1600 - 22 \times 10}{1600 - 2 \times 22 \times 10 + \frac{40^2}{40 \times 80} \times 10} \right) \rightarrow T_u < 363 \text{ kN}$$

### ۳-۱-۵- مقاومت برشی عضو در مجاورت ناحیه اتصال

#### ۱۰-۲-۹-۴ نواحی تأثیرپذیر اجزای اتصال دهنده و وسایل اتصال

الزامات این بند مربوط می‌شود به کنترل نواحی تأثیرپذیر اجزای اتصال دهنده و وسایل اتصال نظیر انتهای تیرهایی که قسمتی از بال فوقانی آن برداشته شده (زبانه شده) است یا در حالت‌های نظیر که ممکن است به علت برش در سطحی که از وسیله اتصال می‌گذرد و یا به علت اثر ترکیبی برش در سطح مار بر وسیله اتصال و کشش در سطح عمود بر آن خرابی اتفاق افتد.

#### ۱۰-۲-۹-۱ مقاومت کششی اعضا در مجاورت ناحیه اتصال

مقاومت کششی این اعضا باید مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۳ با در نظر گرفتن اثرات اتصال تعیین شود.

#### ۱۰-۲-۹-۲ مقاومت برشی اعضا در مجاورت ناحیه اتصال

مقاومت برشی طراحی اعضا در مجاورت ناحیه اتصال،  $\phi R_n$ ، باید به شرح زیر برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی تسلیم برشی روی مقطع کلی و گسیختگی برشی روی مقطع خالص تعیین شود.

الف) بر اساس تسلیم برشی روی مقطع کلی:

$$\phi = 1 \quad (10-2-9-14)$$

$$R_n = 0.6F_y A_{gv}$$

ب) بر اساس گسیختگی برشی روی مقطع خالص:

$$\phi = 0.75 \quad (10-2-9-15)$$

$$R_n = 0.6F_u A_{nv}$$

## ۳-۱-۲- مقاومت برشی قالبی

۳-۴-۹-۲-۱۰ مقاومت برش قالبی

در اتصال انتهای تیرهایی که قسمتی از بال فوقانی تیر زبانه شده است، یا در اتصال اعضای کششی یا در ورق‌های اتصال انتهایی خرپاها و مهاربندهای یا در حالت‌های نظیر که ممکن است به علت برش در سطحی که از وسیله اتصال می‌گذرد و یا به علت اثر ترکیبی برش در مقطع مار بر وسیله اتصال و کشش در مقطع عمود بر آن خرابی اتفاق افتد، (شکل‌های ۱۰-۹-۲-۱۰ و ۱۰-۹-۲-۱۱) مقاومت طراحی برش قالبی،  $\phi R_n$ ، از مجموع مقاومت برشی در روی سطح مار بر وسیله اتصال و مقاومت کششی در سطح عمود بر آن به شرح زیر تعیین می‌گردد.

$$\phi = 0.75$$

(۱۶-۹-۲-۱۰)

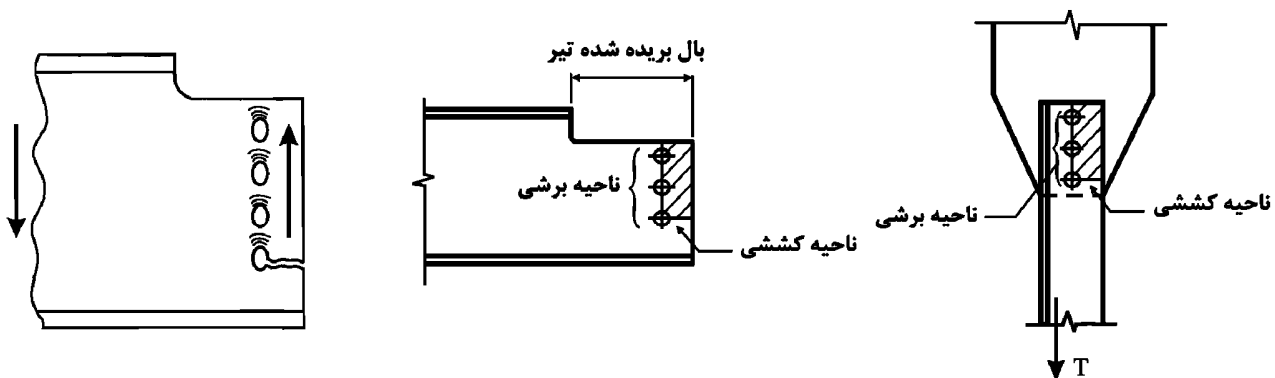
$$R_n = 0.6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \leq 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}$$

$A_{gv}$  = سطح مقطع کلی تحت برش

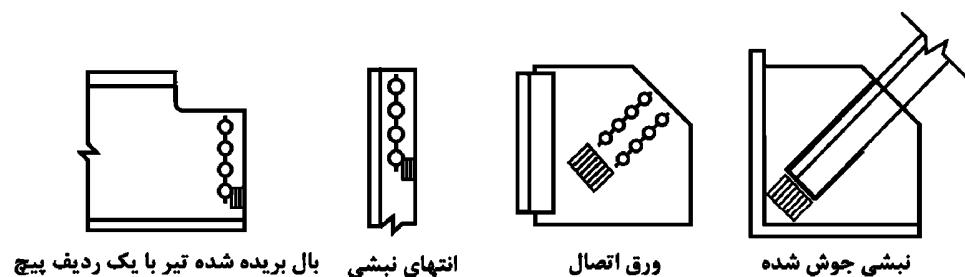
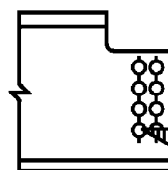
$A_{nt}$  = سطح مقطع خالص تحت کشش

$A_{nv}$  = سطح مقطع خالص تحت برش

$U_{bs}$  = ضریب توزیع تنش که برای توزیع یکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی یک و برای توزیع غیریکنواخت تنش کششی در انتهای عضو مقدار آن مساوی ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱۰-۹-۲-۱۰-ب).



شکل ۱۰-۹-۲-۱۰-الف سطوح گسیختگی در برش قالبی

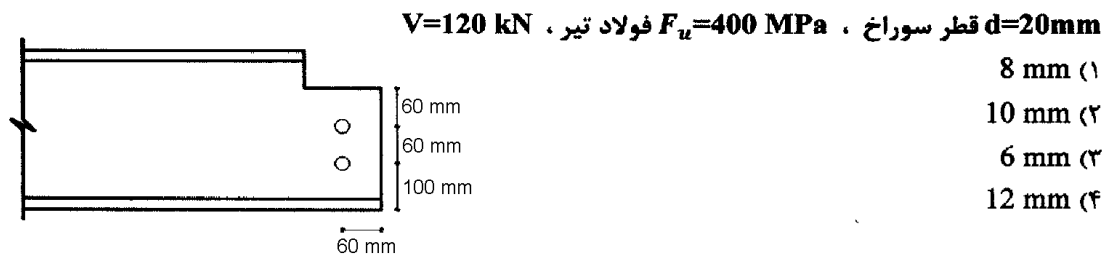
(a) حالت‌هایی که در آنها  $U_{bs}=1/0$  در نظر گرفته می‌شود

بال بریده شده تیر با دو ردیف پیچ

(b) حالتی که در آن  $U_{bs}=0.5$  در نظر گرفته می‌شود

شکل ۱۰-۹-۲-۱۰-ب توزیع تنش کششی در برش قالبی

۳۰- برای اتصال تیرچه فولادی به تیر فولادی نشان داده شده در شکل زیر، بر اساس کنترل گسیختگی قالبی ناشی از نیروی برشی (V) در طراحی به روش تنش مجاز حداقل ضخامت جان تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟



قطر محاسباتی سوراخ برابر ۲۲ mm خواهد بود.

$$\left. \begin{aligned} A_{nt} &= (60 - 0.5 \times 22)t = 49t \\ A_{nv} &= (120 - 1.5 \times 22)t = 87t \\ A_{gv} &= 120t \end{aligned} \right\}$$

$$\phi R_n = 0.75 \times \text{Min} \left( \begin{aligned} [0.6 \times 400 \times 87t + 1 \times 400 \times 49t] &= 40480t \\ [0.6 \times 240 \times 120t + 1 \times 400 \times 49t] &= 36880t \end{aligned} \right) = 27660t \text{ N}$$

در روش تنش مجاز بارها ( $V=120 \text{ kN}$ ) بدون ضریب هستند. فرض کنید بار ضریب دار در مساله برابر  $V_u = 180 \text{ kN}$  باشد:

$$V_u < \phi R_n \quad \rightarrow \quad 180000 \leq 27660t \text{ kN} \quad \rightarrow \quad t \geq 6.5 \text{ mm}$$

#### ۱۰-۲-۹-۳ مقاومت برش قالبی

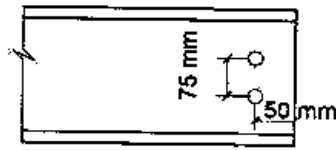
در اتصال انتهای تیرهایی که قسمتی از بال فوقانی تیر زبانه شده است، یا در اتصال اعضای کششی یا در ورق‌های اتصال انتهای خرپاها و مهاربندهای یا در حالت‌های نظیر که ممکن است به علت برش در سطحی که از وسیله اتصال می‌گذرد و یا به علت اثر ترکیبی برش در مقطع مار بر وسیله اتصال و کشش در مقطع عمود بر آن خرابی اتفاق افتد، (شکل‌های ۱۰-۹-۲-۱۰ و ۱۱-۹-۲-۱۰) مقاومت طراحی برش قالبی،  $\phi R_n$ ، از مجموع مقاومت برشی در روی سطح مار بر وسیله اتصال و مقاومت کششی در سطح عمود بر آن به شرح زیر تعیین می‌گردد.

$$\phi = 0.75 \quad (16-9-2-10)$$

$$R_n = 0.6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \leq 0.6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}$$

## محاسبات خرداد ۹۳

۳۵- مقاومت برشی طراحی تیر آهن IPE200 در ناحیه انتها (مجاورت ناحیه اتصال) بر حسب کیلونیوتن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فولاد از نوع ST37 و  $(F_u = 370 \text{ MPa}, F_y = 240 \text{ MPa})$  و قطر سوراخ 20 mm می باشد. واحدها در شکل به میلی متر است.



200 (۱)

160 (۲)

150 (۳)

120 (۴)

گزینه ۳

کنترل تسلیم:

$$\phi R_n = 1 \times 0.6 \times 240 \times 5.6 \times 200 = 161.2 \text{ kN}$$

کنترل گسیختگی:

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.6 \times 370 \times 5.6 \times (200 - 2 \times 22) = 145.5 \text{ kN}$$

۲-۴-۹-۲-۱۰ مقاومت برشی اعضا در مجاورت ناحیه اتصال

مقاومت برشی طراحی اعضا در مجاورت ناحیه اتصال،  $\phi R_n$ ، باید به شرح زیر برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی تسلیم برشی روی مقطع کلی و گسیختگی برشی روی مقطع خالص تعیین شود.

الف) بر اساس تسلیم برشی روی مقطع کلی:

$$\phi = 1$$

(۱۴-۹-۲-۱۰)

$$R_n = 0.6 F_y A_{gv}$$

ب) بر اساس گسیختگی برشی روی مقطع خالص:

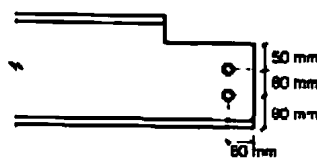
$$\phi = 0.75$$

(۱۵-۹-۲-۱۰)

$$R_n = 0.6 F_u A_{nv}$$

## تمرین محاسبات آذر ۹۲

۴۶- مقاومت طراحی برش قالبی تیر نشان داده شده در شکل زیر در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟



20 mm - قطر سوراخ

10 mm - ضخامت جان تیر

St37 - نوع فولاد

 $F_y = 240 \text{ MPa}$  $F_u = 370 \text{ MPa}$ 

395 kN (۲)

335 kN (۱)

295 kN (۴)

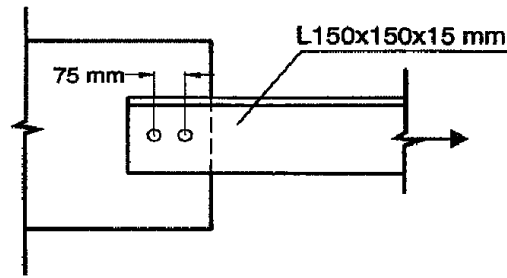
525 kN (۳)

گزینه ۱

$$V = \text{Min} \left( \begin{array}{l} 0.75 \times [0.6 \times 370 \times (130 - 1.5 \times 22)(10) + 1 \times 370 \times (80 - 0.5 \times 22)(10)] = 352980 \\ 0.75 \times [0.6 \times 240 \times (130)(10) + 1 \times 370 \times (80 - 0.5 \times 22)(10)] = 331875 \end{array} \right)$$

## تمرین: محاسبات اسفند ۸۹

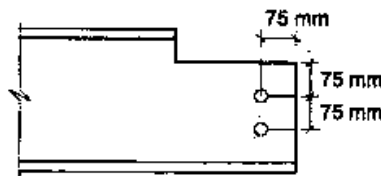
۱۸- در شکل مقابل بدون بررسی مقاومت صفحه اتصال و مقاومت پیچ‌های اتصال، نیروی کششی مجاز نبشی برحسب kN به کدام یک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌ها از یکدیگر 75 mm و قطر محاسباتی سوراخ برابر 24 mm می‌باشد. سطح مقطع نبشی 150×150×15 برابر 43 cm<sup>2</sup> می‌باشد.



- (۱) 729  
(۲) 619  
(۳) 547  
(۴) 473

## تمرین محاسبات خرداد ۹۳

۳۸- مقاومت برشی قالبی طراحی برحسب کیلونیوتن در محل اتصال تیر مقابل به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ فولاد از نوع ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ )، قطر سوراخ 20 mm و ضخامت جان مقطع تیر نوردشده 7.5 mm است. واحدها در شکل به میلی‌متر است.



- (۱) 380  
(۲) 340  
(۳) 285  
(۴) 250

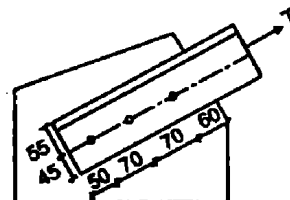
گزینه ۴

$$\varphi R_{n1} = 0.75(0.6 \times 370 \times (150 - 1.5 \times 22) \times 7.5 + 1 \times 370 \times (75 - 0.5 \times 22) \times 7.5) = 279 \text{ kN}$$

$$\varphi R_{n2} = 0.75(0.6 \times 240 \times 150 \times 7.5 + 1 \times 370 \times (75 - 0.5 \times 22) \times 7.5) = 255 \text{ kN}$$

## تمرین محاسبات ۹۳

۵۱- در اتصال یک عضو کششی به ورق اتصال از سه پیچ M22 استفاده شده است. عضو کششی از نبشی 100×100×10 و سوراخ‌ها استاندارد هستند. ضخامت ورق اتصال 15 میلی‌متر است. مقاومت طراحی برش قالبی بر حسب کیلونیوتن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ واحدهای روی شکل بر حسب میلی‌متر و فولاد مصرفی از نوع ST37 با  $F_u=370 \text{ MPa}$  و  $F_y=240 \text{ MPa}$  است.



- (۱) 295  
(۲) 400  
(۳) 392  
(۴) 310

گزینه ۱

$$\varphi R_{n1} = 0.75 \left( 0.6 \times 370 \times (190 - 2.5 \times 26) \times 10 + 1 \times 370 \times \left( 45 - \frac{26}{2} \right) \times 10 \right) = 297 \text{ kN}$$

$$\varphi R_{n2} = 0.75 \left( 0.6 \times 240 \times 190 \times 10 + 1 \times 370 \times \left( 45 - \frac{26}{2} \right) \times 10 \right) = 294 \text{ kN}$$



## ۳-۱-۷- کنترل لاغری (سرویس دهی)

## ۱۰-۲-۳- محدودیت لاغری در اعضای کششی

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

$$\frac{L}{r} < 300$$

شعاع ژیراسیون مقطع  $r = \sqrt{\frac{I}{Ag}}$

## محاسبات آذر ۹۲

۵۲- تسمه‌ای به طول آزاد ۱ متر تحت اثر نیروی کششی ۷۰ kN قرار دارد. اگر پهنای تسمه ۵۰ mm و تنش تسلیم فولاد ۲۴۰ MPa باشد، در طراحی به روش تنش مجاز، حداقل ضخامت لازم برای تسمه به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟

- ۱) ۱۵ mm  
۲) ۱۲ mm  
۳) ۱۰ mm  
۴) ۸ mm
- گزینه ۲

در روش تنش مجاز بارها ( $T=70 \text{ kN}$ ) بدون ضریب هستند. فرض کنید بار "ضریب دار" برابر  $T_u = 105 \text{ kN}$  باشد:

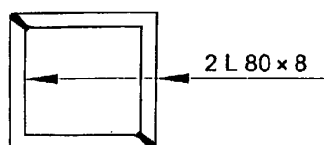
$$105000 < 0.9F_y \times 50 \times t \rightarrow t > 9.7 \text{ mm}$$

کنترل لاغری:

$$\frac{L}{r} < 300 \rightarrow \frac{1000}{\sqrt{\frac{1}{12}t}} < 300 \rightarrow t > 11.55 \text{ mm}$$

## محاسبات ۹۵

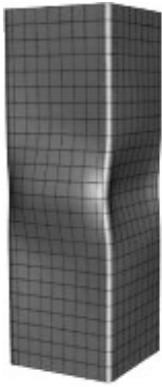
۱۵- حداکثر طول آزاد قابل قبول عضو کششی با مقطع شکل مقابل برحسب متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (این دو نبشی در سرتاسر طول با جوش به هم متصل شده‌اند.)



- ۱) ۵.۹۵  
۲) ۷.۲۵  
۳) ۸.۹۵  
۴) ۴.۸۵

گزینه ۳

$$\frac{L}{r} < 300 \rightarrow \frac{L}{\sqrt{\frac{I}{A}}} < 300 \rightarrow L < 300 \sqrt{\frac{\left(\frac{80^4}{12} - \frac{64^4}{12}\right)}{80^2 - 64^2}} = 300 \sqrt{\frac{2015232}{2304}} = 8872 \text{ mm}$$



۱۰-۲-۲-۲ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی

۱۰-۲-۲-۱ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای فشار محوری

برای فشار محوری، مقاطع فولادی به دو گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

- مقاطع با اجزای غیرلاغر
- مقاطع با اجزای لاغر

مقاطع با اجزای غیرلاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از  $\lambda$  مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۱ و ۱۰-۲-۲-۲ تجاوز ننماید. چنانچه نسبت پهنا به ضخامت هر یک از اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از  $\lambda$  مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۱ و ۱۰-۲-۲-۲ تجاوز نماید، در این صورت مقطع با اجزای لاغر محسوب می‌گردد.

تبصره: مطابق مقررات این مبحث، استفاده از مقاطع فولادی با اجزای لاغر در اعضایی که تحت اثر فشار محوری قرار دارند، مجاز نمی‌باشد.

۱۰-۲-۲-۲ طبقه بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای خمش

برای خمش، مقاطع فولادی به سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

- مقاطع فشرده
- مقاطع غیر فشرده
- مقاطع با اجزای لاغر

الف) مقاطع فشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها اولاً بال‌ها به طور سرتاسری و پیوسته به جان یا جان‌ها متصل باشند، ثانیاً نسبت پهنا به ضخامت اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از  $\lambda$  مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ تجاوز ننماید.

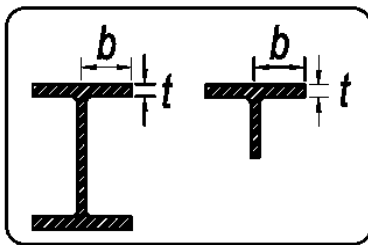
ب) مقاطع غیر فشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت یک یا چند جزء فشاری از مقطع عضو از  $\lambda$  مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ تجاوز نموده ولی از  $\lambda$  مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ کوچکتر باشد.

پ) مقاطع با اجزای لاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت حداقل یکی از اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از  $\lambda$  مشخص شده در جداول ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴ بزرگتر باشد.

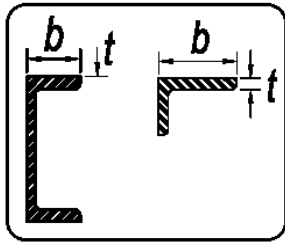
تبصره: مطابق مقررات این مبحث، از به کار بردن مقاطع فولادی با اجزای فشاری لاغر در اعضایی که تحت تأثیر تنش فشاری ناشی از خمش قرار دارند، باید خودداری شود، مگر برای جان تیروورق‌ها که در این صورت الزامات بخش‌های ۱۰-۲-۵ و ۱۰-۲-۶ باید تأمین گردد.

## ۱-۲-۳-۱۰ پهنای آزاد اجزای تقویت نشده

مطابق الزامات این بخش، اجزای تقویت نشده به اجزایی گفته می‌شوند که فقط در یک لبه در امتدادی به موازات نیروی فشاری نگهداری شده‌اند. پهنای آزاد چنین اجزایی باید به شرح زیر تعیین گردد.

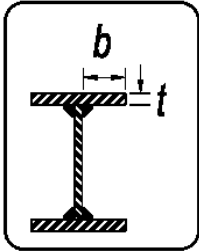


الف) برای بال‌های نیمرخ‌های I و نیمرخ‌های سپری (T)، پهنای آزاد (b) برابر نصف پهنای کل بال (b<sub>f</sub>) است.



ب) برای ساق‌های نیمرخ‌های نبشی (L) و بال‌های نیمرخ‌های ناودانی (U) و نیمرخ‌های Z شکل پهنای آزاد (b) معادل کل بُعد اسمی بال است.

پ) برای مقطع ساخته شده از ورق، پهنای آزاد (b) برابر فاصله بین لبه آزاد تا اولین ردیف وسایل اتصال یا خط جوش است.



ت) برای تیغه (جان) نیمرخ‌های سپری (T) پهنای آزاد (d) برابر ارتفاع کلی مقطع سپری است.

## ۱۰-۲-۴ پهنای آزاد اجزای تقویت شده

مطابق الزامات این بخش، اجزای تقویت شده به اجزایی گفته می‌شوند که در هر دو لبه در امتدادی موازی با نیروی فشاری نگهداری شده‌اند. پهنای آزاد چنین اجزایی باید به شرح زیر تعیین گردد.

الف) برای جان مقاطع نوردشده یا شکل داده شده،  $h$  عبارت است از فاصله بین نقاط شروع گردی ریشه اتصال جان به بال.

ب) برای جان مقاطع ساخته شده از ورق،  $h$  عبارت است از فاصله بین نزدیکترین دو خط وسایل اتصال و چنانچه از جوش استفاده شده باشد،  $h$  برابر فاصله خالص بین دو بال است. برای مقاطع

با بال‌های نامساوی،  $h_c$  عبارت است از دو برابر فاصله تار خنثای الاستیک تا نزدیکترین ردیف وسایل اتصال در سمت بال فشاری و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، عبارت است از دو

برابر فاصله تار خنثای الاستیک تا رویه داخلی بال فشاری. همچنین برای مقاطعی با بال‌های نامساوی  $h_p$  عبارت است از دو برابر فاصله تار خنثای پلاستیک تا نزدیکترین ردیف وسایل

اتصال در سمت بال فشاری و چنانچه از جوش استفاده شده باشد، عبارت است از دو برابر فاصله تار خنثای پلاستیک تا رویه داخلی بال فشاری.

پ) برای مقاطع جعبه‌ای ساخته شده از ورق، پهنای  $b$  و  $h$  عبارت از فاصله بین دو خط وسایل اتصال یا دو خط جوش است.

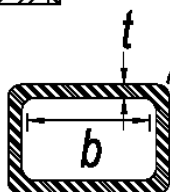
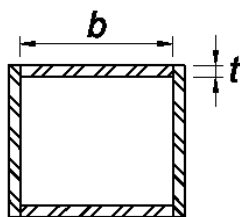
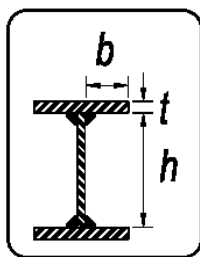
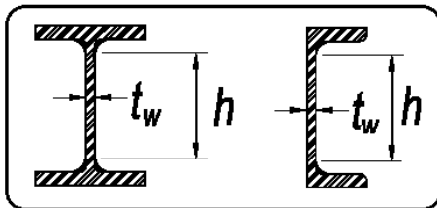
ت) برای ورق‌های پوششی (تقویتی) در بال تیرها و ورق‌های دیافراگم در مقاطع ساخته شده از ورق، پهنای  $b$  عبارت است از فاصله بین دو خط وسایل اتصال یا دو خط جوش است.

ث) برای بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)، پهنای  $b$  عبارت است از فاصله آزاد بین جان‌ها منهای شعاع گوشه داخلی در هر طرف. برای جان‌های مقاطع توخالی مستطیل شکل

(HSS)،  $h$  عبارت است از فاصله آزاد بین بال‌ها منهای شعاع گوشه داخلی در هر طرف. چنانچه شعاع گوشه‌ها معلوم نباشد، مقادیر  $b$  و  $h$  را می‌توان معادل بعد متناظر خارجی منهای سه برابر

ضخامت در نظر گرفت.

ج) برای مقاطع توخالی دایره‌ای شکل،  $D$  عبارت است از قطر خارجی مقطع دایره‌ای



## ۴-۱- فشرده‌گی اعضای تحت فشار محوری

۲-۲-۲-۱۰ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی

۱-۲-۲-۲-۱۰ طبقه‌بندی مقاطع فولادی از منظر کمانش موضعی برای فشار محوری

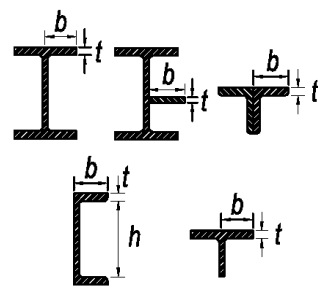
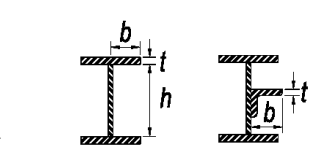
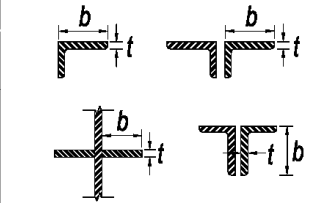
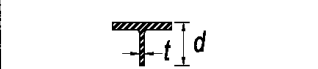
برای فشار محوری، مقاطع فولادی به دو گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

- مقاطع با اجزای غیرلاغر
- مقاطع با اجزای لاغر

مقاطع با اجزای غیرلاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از  $\lambda_p$  مشخص شده در جداول ۱-۲-۲-۱۰ و ۲-۲-۲-۱۰ تجاوز ننماید. چنانچه نسبت پهنا به ضخامت هر یک از اجزای فشاری تشکیل دهنده مقطع عضو از  $\lambda_p$  مشخص شده در جداول ۱-۲-۲-۱۰ و ۲-۲-۲-۱۰ تجاوز نماید، در این صورت مقطع با اجزای لاغر محسوب می‌گردد.

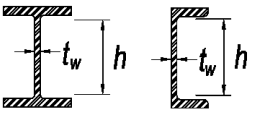
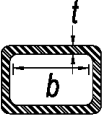
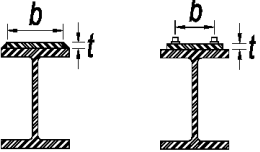
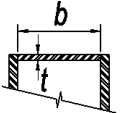
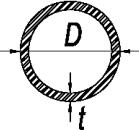
تبصره: مطابق مقررات این مبحث، استفاده از مقاطع فولادی با اجزای لاغر در اعضایی که تحت اثر فشار محوری قرار دارند، مجاز نمی‌باشد.

جدول ۱-۲-۲-۱۰ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت نشده در اعضای تحت اثر فشار محوری

مثال‌های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت، $\lambda_p$ (لاغر/غیرلاغر)	نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	حالت
	[a] $0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	بال‌های مقاطع I شکل نورد شده، ورق‌های بیرون‌زده از مقاطع I شکل نورد شده، ساق‌های برجسته جفت نبشی با اتصال پیوسته، بال‌های مقاطع ناودانی و بال‌های مقاطع سپری	۱
	[b] $0.64 \sqrt{\frac{K_c E}{F_y}}$	b/t	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق و ورق‌ها یا ساق‌های نبشی بیرون زده از مقاطع I شکل ساخته شده از ورق	۲
	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	ساق‌های نبشی‌های تکه، ساق‌های نبشی‌های دایره‌دار، جداکننده (لقمه) و سایر اجزای تقویت نشده	۳
	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	d/t	تیغه (جان) مقاطع سپری	۴

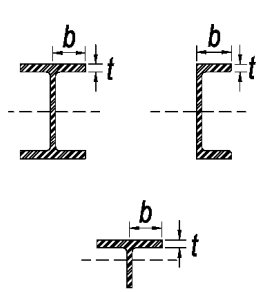
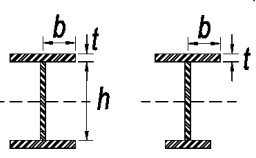
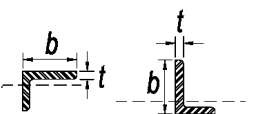
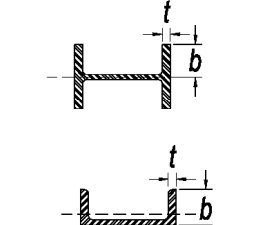

[b] مقدار  $K_c$  از رابطه زیر تعیین می‌گردد.  $0.35 \leq K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \leq 0.76$

جدول ۱۰-۲-۲-۲ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت شده در اعضای تحت اثر فشار محوری

مثال‌های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت، $\lambda_c$	نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	حالت
	(لاغر/غیرلاغر)			
	$1/49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$h/t_w$	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقطع ناودانی	۵
	$1/4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$b/t$	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	۶
	$1/4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$b/t$	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیافراگم در حد فاصل خطوط جوش یا پیچ	۷
	$1/49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$b/t$	سایر اجزای فشاری تقویت شده	۸
	$0/11 \frac{E}{F_y}$	$D/t$	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	۹

## ۴-۲- فشرده‌گی اعضای تحت خمش

جدول ۱۰-۲-۲-۳. نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت نشده در اعضای تحت اثر خمش

مثال‌های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	حالت
	(لاغر/ غیرفشرده) $\lambda_p$	(غیرفشرده/ فشرده) $\lambda_p$			
	$1/\sqrt{E/F_y}$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	b/t	بال‌های مقاطع I شکل نورد شده، ناودانی‌ها و سپری‌ها	۱۰
	$0.95\sqrt{K_c E/F_L}$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	b/t	بال‌های مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با یک یا دو محور تقارن	۱۱
	$0.91\sqrt{E/F_y}$	$0.54\sqrt{E/F_y}$	b/t	ساق‌های نبشی‌های تک	۱۲
	$1/\sqrt{E/F_y}$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	b/t	بال‌های کلیه مقاطع I شکل و ناودانی تحت اثر خمش حول محور ضعیف	۱۳
	$1/0.3\sqrt{E/F_y}$	$0.84\sqrt{E/F_y}$	d/t	تیغه (جان) مقاطع سپری	۱۴

[b] مقدار  $K_c$  از رابطه زیر تعیین می‌گردد.  $0.35 \leq K_c = \frac{\epsilon}{\sqrt{\frac{h}{tw}}} \leq 0.76$

[c] برای خمش حول محور قوی در مقاطع I شکل ساخته شده از ورق با جان فشرده و غیرفشرده مقدار  $F_L$  از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$F_L = 0.7F_y \quad - \quad \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.7$$

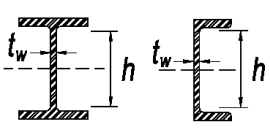
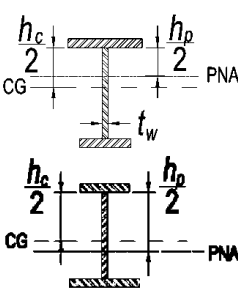
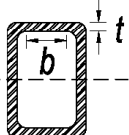
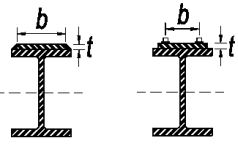
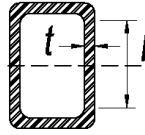
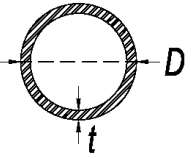
$$F_L = \frac{S_{xt}}{S_{xc}} F_y \geq 0.5F_y \quad - \quad \frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7$$

که در آن:

$$S_{xt} = \text{اساس مقطع الاستیک نسبت به بال کششی}$$

$$S_{xc} = \text{اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری}$$

جدول ۱۰-۲-۲-۴ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت شده در اعضای تحت اثر خم

مثال‌های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	حالت
	لاغر / غیر فشرده ( $\lambda_r$ )	غیر فشرده / فشرده ( $\lambda_p$ )			
	$5/70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3/76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$h/t_w$	جان مقاطع I شکل با دو محور تقارن و جان مقاطع ناودانی	۱۵
	$5/70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{h_c \sqrt{\frac{E}{F_y}}}{h_p \sqrt{\frac{E}{F_y}}} \leq \lambda_r$ $(0.05 \frac{M_p}{M_y} - 0.09)^2$	$h_o/t_w$	جان مقاطع I شکل با یک محور تقارن	۱۶
	$1/40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1/12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$b/t$	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	۱۷
	$1/40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1/12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$b/t$	ورق‌های پوششی و ورق‌های دیافراگم در حد فاصل خطوط جوش یا پیچ	۱۸
	$5/70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$2/42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$h/t$	جان‌های مقاطع توخالی مستطیل شکل (HSS) و جعبه‌ای	۱۹
	$0.31 \frac{E}{F_y}$	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$D/t$	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	۲۰

## ۳-۴- الزامات لرزه ای

## ۳-۱۰ الزامات طراحی لرزه ای

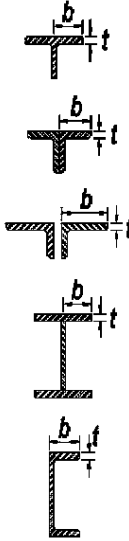
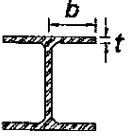
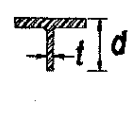
## ۲-۳-۱۰ تعاریف

## ۴-۳-۱۰ الزامات لرزه ای کمانش موضعی

در سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد و متوسط که از آنها انتظار تحمل تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی قابل ملاحظه می‌رود، برای مقاطع اعضا ضوابط سخت‌گیرانه‌تری در رابطه با کمانش موضعی بال‌ها و جان اعمال می‌شود. در نتیجه برای نسبت پهنا یا ارتفاع به ضخامت اجزا در اعضای تحت فشار، یا فشار و خمش رعایت اعداد کوچکتری مقرر می‌گردد. در اینگونه سیستم‌های سازه‌ای تعریف جدیدی از مقطع فشرده، موضوع بخش ۲-۲-۱۰ در فصل دوم، جانشین تعریف قبلی می‌گردد و با نام مقطع فشرده لرزه‌ای معرفی می‌شود.

مقطع فشرده لرزه‌ای همان تعریف مقطع فشرده بخش ۲-۲-۱۰ را دارد، با این تفاوت که در آن نسبت پهنا یا ارتفاع به ضخامت اجزای مقطع برای سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد و متوسط به اعدادی که در جدول ۱-۴-۳-۱۰ عنوان شده، محدود می‌گردد.

جدول ۱-۴-۳-۱۰ محدودیت نسبت پهنا به ضخامت در اجزای فشاری اعضای با شکل‌پذیری متوسط و زیاد

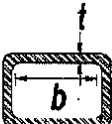
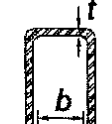
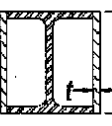
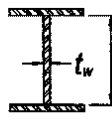
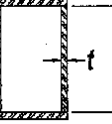
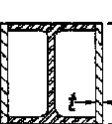
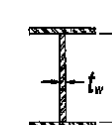
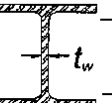
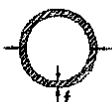
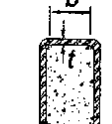
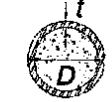
مثال‌های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	λ
	λ <sub>hd</sub> اعضای با شکل‌پذیری زیاد	λ <sub>md</sub> اعضای با شکل‌پذیری متوسط			
	$0.13 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.138 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	بال‌های مقطع I شکل نورد شده و ساخته شده از ورق، ناودانی‌ها، سپری‌ها، ساق نبشی‌های تک و نبشی‌های دویل با فاصله و ساق برجسته نبشی‌های دویل به هم چسبیده	۱
	$0.145 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	کاربرد ندارد.	b/t	بال‌های مقطع شمع‌های H شکل	۲
	$0.13 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [۱]	$0.138 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{d}{t}$	تیغه (جان) مقطع سپری	۳

یادداشت:

[۱] برای مقاطع سپری محدودیت نسبت پهنا به ضخامت برای اعضای با شکل‌پذیری زیاد می‌تواند تا  $0.138 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  افزایش یابد مشروط بر اینکه، کمانش عضو فشاری حول صفحه جان‌سپری باشد و در اتصال انتهایی عضو، انتقال بار محوری فقط از طریق وجه بیرونی بال سپری صورت گرفته باشد.



0.55

  	$0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ <sup>[۲]</sup>	$0.64 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ <sup>[۳]</sup>	$b/t$          $\frac{h}{t}$	بال‌های متقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)  بال‌های مقاطع قوطی شکل ساخته‌شده از ورق  ورق‌های کناری مقاطع I شکل قوطی‌شده وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌رود.	۴	اجزای با دو لبه منگی
	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$h/t_w$	جان مقاطع I شکل نوردشده و ساخته‌شده از ورق وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌روند.	۵	
  	برای $C_a \leq 0.125$ $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0.93 C_a)$  برای $C_a > 0.125$ $0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - C_a)$ $\geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  که در آن: $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$	برای $C_a \leq 0.125$ $3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2.75 C_a)$  برای $C_a > 0.125$ $1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.33 - C_a)$ $\geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  که در آن: $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$	$h/t_w$          $h/t$          $h/t$	جان مقطع I شکل نورد شده و ساخته شده از ورق وقتی به عنوان تیر یا ستون به کار می‌روند.  ورق‌های کناری مقاطع I شکل قوطی‌شده وقتی به عنوان تیر یا ستون مورد استفاده قرار می‌گیرند.  جان مقاطع I شکل قوطی‌شکل ساخته شده از ورق هرگاه به عنوان تیر یا ستون مورد استفاده قرار می‌گیرند.	۶	
	$0.94 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	کاربرد ندارد.	$h/t_w$	جان مقاطع شمع‌های H شکل	۷	
	$0.038 \frac{E}{F_y}$	$0.044 \frac{E}{F_y}$ <sup>[۴]</sup>	$D/t$	جان مقاطع لوله‌ای	۸	
	$1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$b/t$	بال‌ها و جان‌های مقاطع قوطی‌شکل پرشده با بتن	۹	
	$0.076 \frac{E}{F_y}$	$0.15 \frac{E}{F_y}$	$D/t$	جداره‌های مقاطع توخالی دایره‌ای شکل پرشده با بتن	۱۰	

## یادداشت:

[۲] در مقاطع I شکل قوطی‌شده و مقاطع قوطی‌شکل ساخته‌شده از ورق اگر به عنوان ستون مورد استفاده قرار

گیرند، محدودیت نسبت پهنا به ضخامت در اعضای با شکل‌پذیری زیاد می‌تواند به  $\sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot 0.6$  محدود شود.

[۳] نسبت پهنا به ضخامت در بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و بال‌های مقاطع قوطی‌شکل

ساخته شده از ورق در صورتی که به عنوان تیر یا ستون مورد استفاده قرار گیرند، می‌تواند به

$1/12 \sqrt{E/F_y}$  محدود شود.

[۴] در صورتی که مقاطع توخالی دایره‌ای شکل به عنوان تیر یا ستون مورد استفاده قرار گیرند، نسبت قطر

به ضخامت در اعضای با شکل‌پذیری متوسط می‌تواند به  $0.7 E/F_y$  محدود شود.

## ۴-۴-مقاطع مختلط

۱-۲-۸-۱-۳ طبقه‌بندی مقاطع مختلط پرشده با بتن از منظر کمانش موضعی برای فشار محوری و خمشی **مقاطع مختلط پرشده با بتن** به سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

• مقاطع فشرده

• مقاطع غیرفشرده

• مقاطع با اجزای لاغر

برای **فشار محوری**، مقاطع فشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت اجزای تشکیل‌دهنده مقطع فولادی از  $\lambda_p$  مشخص شده در جدول ۱-۲-۱۰-۱ تجاوز ننماید. مقاطع غیرفشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت یک یا چند جز از مقطع فولادی از  $\lambda_p$  مشخص شده در جدول ۱-۲-۱۰-۱ تجاوز نموده ولی از  $\lambda_p$  مشخص شده در جدول ۱-۲-۱۰-۱ کوچکتر باشد و مقاطع با اجزای لاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت یکی از اجزای تشکیل‌دهنده مقطع فولادی از  $\lambda_p$  مشخص شده در جدول ۱-۲-۱۰-۱ بزرگتر باشد. مقدار حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برای فشار محوری در جدول ۱-۲-۱۰ ارائه شده است.

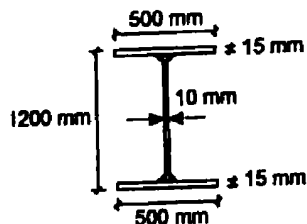
برای **خمشی** مقاطع فشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت اجزای تشکیل‌دهنده مقطع فولادی از  $\lambda_p$  مشخص شده در جدول ۲-۲-۱۰-۱ تجاوز ننماید. مقاطع غیرفشرده به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت یک یا چند جز از مقطع فولادی از  $\lambda_p$  مشخص شده در جدول ۲-۲-۱۰-۱ تجاوز نموده و لی از  $\lambda_p$  مشخص شده در جدول ۲-۲-۱۰-۱ کوچکتر باشد. مقاطع با اجزای لاغر به مقاطعی گفته می‌شوند که در آنها نسبت پهنا به ضخامت یکی از اجزای تشکیل‌دهنده مقطع فولادی از  $\lambda_p$  مشخص شده در جدول ۲-۲-۱۰-۱ بزرگتر باشد. مقدار حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برای خمشی در جدول ۲-۲-۱۰ ارائه شده است. جدول ۱-۲-۱۰ نسبت پهنا به ضخامت اجزای مقطع مختلط پر شده با بتن در اعضای تحت اثر فشار محوری

ردیف	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		مقاطع فولادی نمونه
			$\lambda_p$ (غیرفشرده/لاغر)	$\lambda_r$ (لاغر/غیرفشرده)	
۱	بالها و جان‌های مقاطع توخالی مستطیلی نورد شده و جبهه‌ای با ضخامت یکنواخت	$b/t$ و $h/t$	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲	مقاطع تو خالی دایره‌ای شکل	$D/t$	$\frac{0.15E}{F_y}$	$\frac{0.19E}{F_y}$	

جدول ۲-۲-۱۰-۱ نسبت های پهنا به ضخامت اجزای مقطع مختلط پر شده با بتن در اعضای تحت اثر خمشی

ردیف	شرح اجزا	نسبت پهنا به ضخامت	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		مقاطع فولادی نمونه
			$\lambda_p$ (غیرفشرده/لاغر)	$\lambda_r$ (لاغر/غیرفشرده)	
۱	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی نورد شده و مقاطع جبهه‌ای با ضخامت یکنواخت	$b/t$	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۲	جان‌های مقاطع تو خالی مستطیلی نورد شده و مقاطع جبهه‌ای با ضخامت یکنواخت	$h/t$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
۳	مقاطع توخالی دایره‌ای شکل	$D/t$	$\frac{0.09E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$	

۴۶- تیر ورق شکل زیر تحت خمش حول محور قوی قرار دارد. بال‌های این تیر ورق بطور سرتاسری و پیوسته توسط جوش گوشه با بعد 10 mm به جان متصل می‌باشند. در خصوص طبقه‌بندی مقطع تیر از منظر کمانش موضعی، کدام گزینه صحیح است؟  $F_y = 240 \text{ MPa}$  و واحدها در شکل به میلی‌متر می‌باشد.



- (۱) مقطع با بال فشرده و جان لاغر
- (۲) غیرفشرده (مقطع با بال و جان غیرفشرده)
- (۳) فشرده (مقطع با بال و جان فشرده)
- (۴) مقطع با اجزای لاغر (مقطع با بال غیرفشرده و جان لاغر)

گزینه ۲ صحیح است:

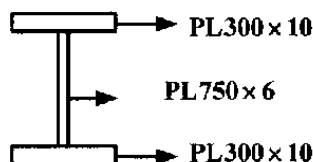
$$F_L = 0.7F_y \rightarrow K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{1170}{10}}} = 0.36$$

$$\left( 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 10.96 \right) < \frac{b}{t} = \frac{245}{15} = 16.3 < \left( 0.95 \sqrt{\frac{K_c E}{F_L}} = 19.93 \right)$$

$$\left( 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 108 \right) < \frac{h}{t} = \frac{1200 - 30}{10} = 117 < \left( 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 163.72 \right)$$

بال و جان تیر غیر فشرده می‌باشد.

۵۲- تیر ورق روبه‌رو، در کدام گروه از مقاطع فولادی می‌باشد؟

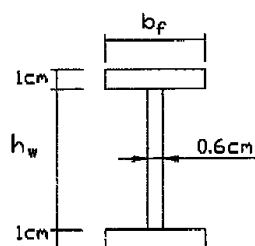


$$E = 2 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$F_y = 24000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- (۱) لاغر
- (۲) فشرده
- (۳) غیرفشرده
- (۴) فشرده‌ی لرزهای

۲۵- در ساخت یک تیر ورق، برای اتصال بالها به جان از جوش سرتاسری استفاده شده و تیر ورق تحت خمش حول محوری قوی قرار گرفته است. برای آنکه مقطع فوق فشرده محسوب شود، حداکثر مقادیر  $h_w, b_f$  به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است.

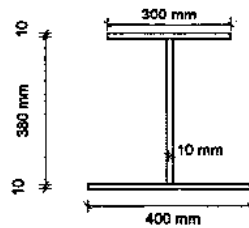


$$F_y = 240 \text{ MPa} \text{ و } E = 2.05 \times 10^5 \text{ MPa}$$

- (۱)  $h_w = 110 \text{ cm}$  ,  $b_f = 10 \text{ cm}$
- (۲)  $h_w = 110 \text{ cm}$  ,  $b_f = 20 \text{ cm}$
- (۳)  $h_w = 65 \text{ cm}$  ,  $b_f = 10 \text{ cm}$
- (۴)  $h_w = 65 \text{ cm}$  ,  $b_f = 20 \text{ cm}$

گزینه ۴

۳۱- تیر ورقی با مقطع مقابل از فولاد با ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) با اتصال جوش جان به بال ساخته شده است و تحت لنگر خمشی مثبت قرار دارد. بال فشاری این مقطع از نظر کمانش موضعی چگونه طبقه‌بندی می‌شود؟



- (۱) لاغر  
(۲) فشرده  
(۳) غیر فشرده  
(۴) با اطلاعات داده شده قابل بررسی نمی‌باشد.

گزینه ۳:

$$Y = \frac{300 \times 10 \times 395 + 380 \times 10 \times 200 + 400 \times 10 \times 5}{300 \times 10 + 380 \times 10 + 400 \times 10} = 182 \text{ mm}$$

$$\frac{S_{xt}}{S_{xc}} = \frac{400 - 182}{182} = 1.197 \rightarrow F_L = 0.7F_y = 186 \text{ MPa}$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{380}{10}}} = 0.65$$

$$\lambda_r = 0.95 \sqrt{\frac{0.65E}{F_L}} = 0.95 \sqrt{\frac{0.65 \times 200000}{186}} = 25.11$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10.96$$

$$\lambda = \frac{145}{10} = 14.5$$

۲۸- در یک تیر نورد شده فولادی I شکل با  $E=2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  و  $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$  مقادیر  $\frac{h}{t_w}$  و  $\frac{b_f}{t_f}$  به ترتیب برابر با ۲۰ و ۷۰ می‌باشد. مقطع این تیر ..... می‌باشد. ( $b_f$  عرض بال،  $t_f$  ضخامت بال،  $h$  ارتفاع جان و  $t_w$  ضخامت جان می‌باشد).

- (۱) فشرده لرزهای  
(۲) فشرده  
(۳) غیر فشرده  
(۴) لاغر

۱۴- یک عضو فشاری فولادی با مقطع توخالی دایره‌ای با قطر بیرونی ۴۷۵ mm موجود است. اگر داخل این عضو را با بتن پر کنیم حداقل ضخامت لازم جدار مقطع فولادی برحسب میلی‌متر برای اینکه مقطع این عضو در برابر نیروی محوری فشاری لاغر نباشد، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟

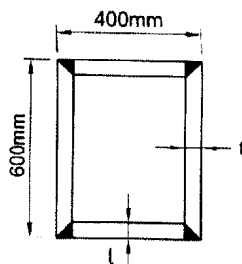
- (۱) ۶ (۲) ۵ (۳) ۴ (۴) ۳

گزینه ۴

$$\frac{D}{t} < \frac{0.19E}{F_y} = 158.33 \rightarrow \frac{475}{t} < 158.433 \rightarrow t > 2.998 \text{ mm}$$

۶- مقطع زیر برای یکی از ستون‌های یک ساختمان با سیستم باربر جانبی در هر دو امتداد از نوع قاب خمشی فولادی با شکل‌پذیری زیاد (ویژه) پیشنهاد شده است. براساس کنترل کمانش موضعی حداقل ضخامت قابل قبول برای ورق‌های تشکیل‌دهنده ستون کدامیک از مقادیر زیر است؟

$$E = 2 \times 10^5 \text{ MPa} \quad \text{و} \quad F_y = 240 \text{ MPa}$$



۴۰ mm (۱)

۳۵ mm (۲)

۲۵ mm (۳)

۲۰ mm (۴)

گزینه ۲

نکته: اگر خمش تک محوره داشته باشیم، اضلاع ۴۰۰mm بال مقطع محسوب شده و اضلاع ۶۰۰mm جان مقطع خواهد بود. در این صورت ضلع ۶۰۰ باید ضوابط فشردگی جان و ضلع ۴۰۰ باید ضوابط فشردگی بال را رعایت کند.

از آنجا که در هر دو جهت قاب خمشی داریم، ستون تحت خمش دو محوره قرار دارد و چهار ضلع آن باید ضوابط "بال" ستونها را (که سخت گیرانه تر از ضوابط جان است) ارضا کند.

$$\frac{b}{t} < 0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 15.87 \quad \rightarrow \quad \frac{600 - 2t}{15.87} < t$$

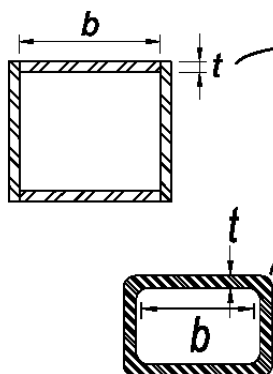
حداقل ضخامتی که در رابطه فوق صدق می کند،  $t = 33.56 \text{ mm}$  می باشد.

			بال‌های متقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)		
	$0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [۲]	$0.64 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [۳]	بال‌های مقطع قوطی شکل ساخته شده از ورق		
			ورق‌های کناری مقطع I شکل قوطی شده وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌رود.	۴	

پ) برای مقاطع جعبه‌ای ساخته شده از ورق، پهنای  $b$  و  $h$  عبارت از فاصله بین دو خط وسایل اتصال یا دو خط جوش است.

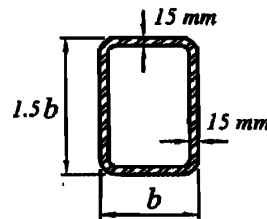
ت) برای ورق‌های پوششی (تقویتی) در بال تیرها و ورق‌های دیافراگم در مقاطع ساخته شده از ورق، پهنای  $b$  عبارت است از فاصله بین دو خط وسایل اتصال یا دو خط جوش است.

ث) برای بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)، پهنای  $b$  عبارت است از فاصله آزاد بین جان‌ها منهای شعاع گوشه داخلی در هر طرف. برای جان‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)،  $h$  عبارت است از فاصله آزاد بین بال‌ها منهای شعاع گوشه داخلی در هر طرف. چنانچه شعاع گوشه‌ها معلوم نباشد، مقادیر  $b$  و  $h$  را می‌توان معادل بعد متناظر خارجی منهای سه برابر ضخامت در نظر گرفت.



۵- مقطع نشان داده شده در شکل زیر تحت اثر نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی دو محوره نسبت به محورهای اصلی مقطع قرار دارد. حداکثر مقدار  $b$  حدوداً چقدر می‌تواند باشد تا اجزاء مقطع از منظر کمانش موضعی در برابر نیروی محوری فشاری غیرلاغر و در برابر لنگرهای خمشی فشرده باشد؟

$$F_y = 240 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



- (۱) ۶۵۰ میلی‌متر  
(۲) ۵۳۰ میلی‌متر  
(۳) ۴۳۰ میلی‌متر  
(۴) ۳۵۰ میلی‌متر

گزینه ۴

با توجه به اینکه خمش دو محوره است، هر چهار وجه مقطع به عنوان بال باید کنترل شوند و وجه بلندتر (که تعیین کننده است) باید کنترل شود:

$$\frac{(1.5b - 3 \times 15)}{t} < 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 32.33 \rightarrow b < 353 \text{ mm}$$

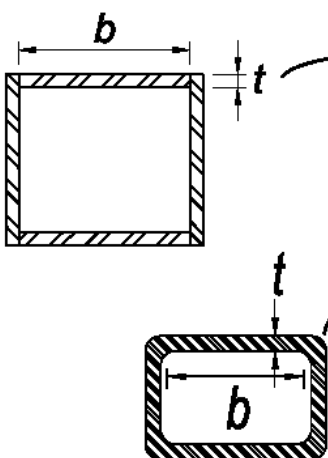
جدول ۱-۲-۲-۴ نسبت‌های پهنا به ضخامت اجزای فشاری تقویت شده در اعضای تحت اثر **خمش**

مثال‌های نمونه	حداکثر نسبت پهنا به ضخامت		نسبت پهنا به ضخامت	شرح اجزا	حالت
	لاغر / غیر فشرده ( $\lambda_p$ )	غیر فشرده / فشرده ( $\lambda_p$ )			
	$1/40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1/12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$b/t$	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS) و جعبه‌ای با ضخامت یکنواخت	۱۷

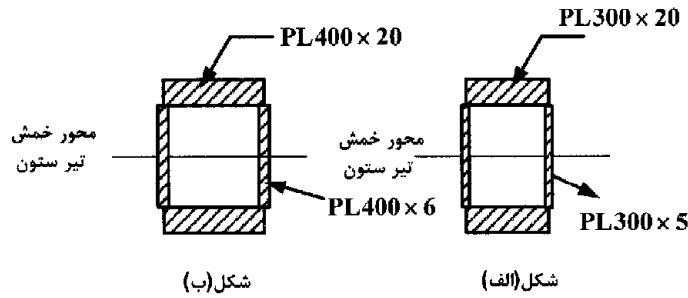
پ) برای مقاطع جعبه‌ای ساخته شده از ورق، پهنای  $b$  و  $h$  عبارت از فاصله بین دو خط وسایل اتصال یا دو خط جوش است.

ت) برای ورق‌های پوششی (تقویتی) در بال تیرها و ورق‌های دیافراگم در مقاطع ساخته شده از ورق، پهنای  $b$  عبارت است از فاصله بین دو خط وسایل اتصال یا دو خط جوش است.

ث) برای بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)، پهنای  $b$  عبارت است از فاصله آزاد بین جان‌ها منهای شعاع گوشه داخلی در هر طرف. برای جان‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)،  $h$  عبارت است از فاصله آزاد بین بال‌ها منهای شعاع گوشه داخلی در هر طرف. چنانچه شعاع گوشه‌ها معلوم نباشد، مقادیر  $b$  و  $h$  را می‌توان معادل بعد متناظر خارجی منهای سه برابر ضخامت در نظر گرفت.



۵۴- برای یک قاب خمشی ویژه، مقطع تیر ستون در شکل‌های (الف) و (ب) نشان داده شده است. در صورتی که در روش تنش مجاز  $C_a = 0.7$  فرض شود، گزینه‌ی صحیح کدام است؟



- (۱) مقاطع (الف) و (ب)، از نوع فشرده‌ی لرزه‌ای نمی‌باشند.  
 (۲) مقاطع (الف) و (ب)، از نوع فشرده‌ی لرزه‌ای می‌باشند.  
 (۳) مقطع (الف) از نوع فشرده‌ی لرزه‌ای نمی‌باشد، ولی مقطع (ب) از نوع فشرده‌ی لرزه‌ای است.  
 (۴) مقطع (الف) از نوع فشرده‌ی لرزه‌ای است، ولی مقطع (ب) از نوع فشرده‌ی لرزه‌ای نمی‌باشد.

گزینه ۴

این سوال بر اساس مبحث دهم ویرایش قدیم است. فرض کنید منظور از فشرده لرزه‌ای، "فشرده لرزه‌ای ویژه" می‌باشد:

$$\left(\frac{b}{t} = \frac{300}{20} = 15\right) \leq 0.64 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 18.47 \quad OK \quad \text{بررسی بالهای شکل الف:}$$

$$\left(\frac{h}{t_w} = \frac{300}{5} = 60\right) \leq 2.45 \sqrt{\frac{200000}{240}} (1 - 0.93 \times 0.1) = 64.14 \quad OK \quad \text{بررسی جان شکل الف:}$$

$$\left(\frac{b}{t} = \frac{400}{20} = 20\right) \leq 0.64 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 18.47 \quad N.G \quad \text{بررسی بالهای شکل ب:}$$

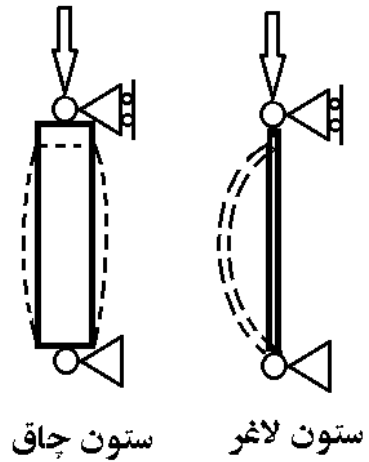
$$\left(\frac{h}{t_w} = \frac{400}{6} = 67\right) \leq 2.45 \sqrt{\frac{200000}{240}} (1 - 0.93 \times 0.1) = 64.14 \quad N.G \quad \text{بررسی جان شکل ب:}$$

			b/t	بال‌های مقاطع توخالی مستطیلی شکل (HSS)	۴
	$0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.64 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	b/t	بال‌های مقاطع قوطی شکل ساخته شده از ورق	
			$\frac{h}{t}$	ورق‌های کناری مقاطع I شکل قوطی شده وقتی به عنوان مهاربند به کار می‌روند.	
	برای $C_a \leq 0.125$ $2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 0.93 C_a)$ برای $C_a > 0.125$ $0.77 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.93 - C_a)$ $\geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	برای $C_a \leq 0.125$ $3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2.75 C_a)$ برای $C_a > 0.125$ $1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (2.33 - C_a)$ $\geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\frac{h}{t_w}$	جان مقاطع I شکل نورد شده و ساخته شده از ورق وقتی به عنوان تیر یا ستون به کار می‌روند.	۶
	که در آن: $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$	که در آن: $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$	$\frac{h}{t}$	ورق‌های کناری مقاطع I شکل قوطی شده وقتی به عنوان تیر یا ستون مسورد استفاده قرار می‌گیرند.	
				جان مقاطع I شکل قوطی شکل ساخته شده از ورق هرگاه به عنوان تیر یا ستون مسورد استفاده قرار می‌گیرند.	

$$P = A \times F_y$$

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

کدامیک از این دو رابطه تعیین کننده مقاومت ستون است؟



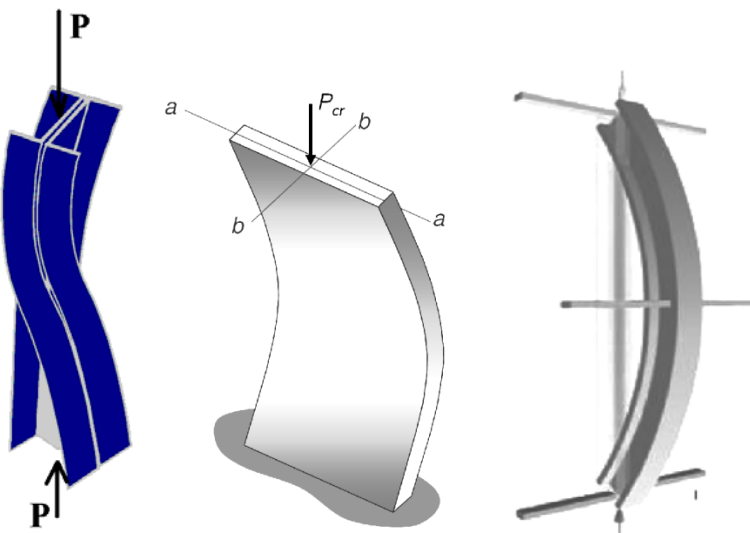
ستون چاق

ستون لاغر

مقاومت فشاری ستون چاق از رابطه  $P = A \times F_y$  بدست می آید. یعنی تا جایی نیرو تحمل می کند که "له" شود. مقاومت فشاری ستون لاغر از رابطه  $P = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$  بدست می آید. یعنی تا جایی نیرو تحمل می کند که کمانش کند.

چه پارامترهایی در مقاومت کمانشی تاثیر گذار است؟

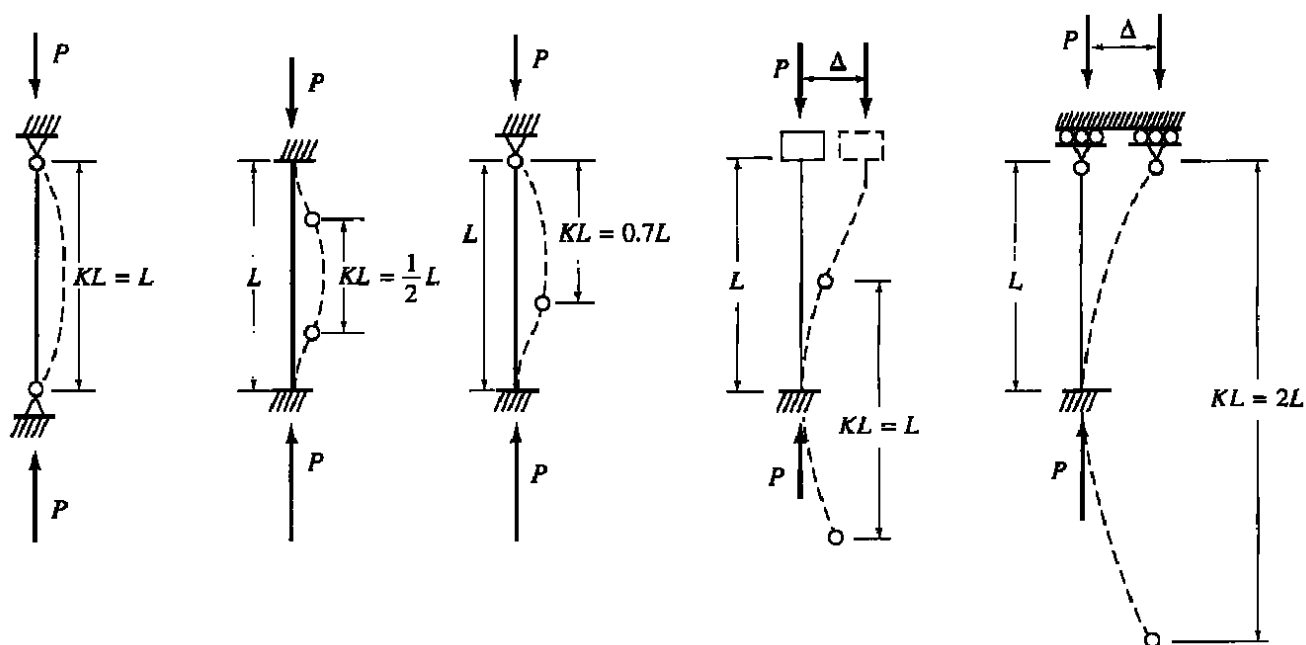
در ستونهای زیر محور کمانش کدام است؟





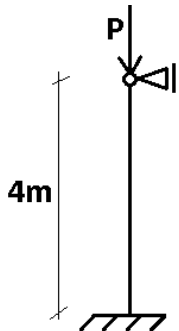
۱-۵- ضریب K

مفهوم ضریب طول موثر ستون:



	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
تئوریک	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
طراحی	0.65	0.80	1.0	1.2	2.10	2.0

مثال: مقاومت تسلیم و مقاومت کماتش خمشی ستون با مقطع مستطیل با ابعاد  $300\text{mm} \times 40\text{mm}$  و  $F_y=2400\text{ MPa}$

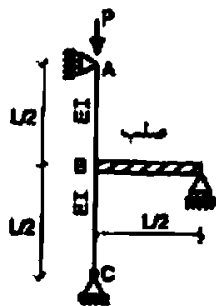


$$P_y = AF_y = 300 \times 40 \times 240 = 2880\text{ kN}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(0.7 \times L)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^5 \times \frac{300 \times 40^3}{12}}{(0.7 \times 4000)^2} = 402\text{ kN}$$

محاسبات آذر ۹۲

۵۲- در سازه نشان داده شده در شکل، ضریب طول موثر ستون AB به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟



است؟

۴ (۱)

۱ (۲)

۲ (۳)

۰.۵ (۴)

گزینه ۳

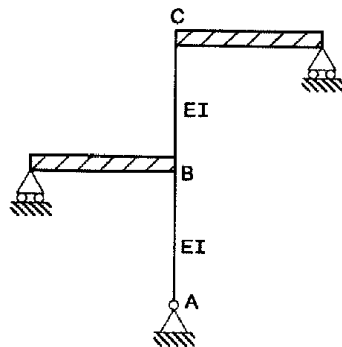
ستون AB یک ستون یک سر گیردار - یک سر مفصل می باشد و بدون مهار جانبی می باشد و ضریب طول موثر  $K=2$  می باشد.

$$L_e = K \left(\frac{L}{2}\right) = 2 \left(\frac{L}{2}\right) = L$$

در کلید اولیه سازمان به اشتباه گزینه ۲ به عنوان پاسخ انتخاب شده بود ولی در اصلاحیه کلید نهایی گزینه ۳ به عنوان گزینه صحیح انتخاب شده است.

محاسبات - ۹۱

۲۶- در سازه شکل زیر، ضریب طول موثر ستونهای AB و BC چقدر است؟ (تیرها صلب فرض شوند).



$$K_{AB} = 2, K_{BC} = 2 \quad (۱)$$

$$K_{AB} = 2, K_{BC} = 1 \quad (۲)$$

$$K_{AB} = 1, K_{BC} = 2 \quad (۳)$$

$$K_{AB} = 1, K_{BC} = 1 \quad (۴)$$

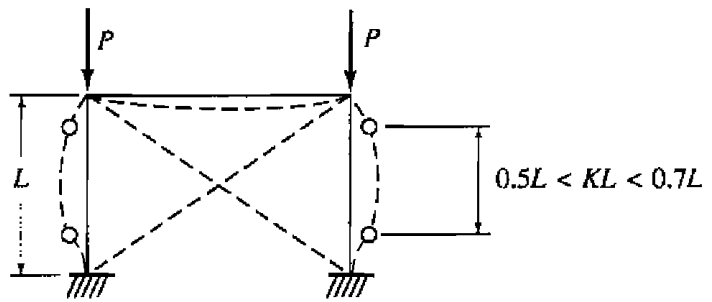
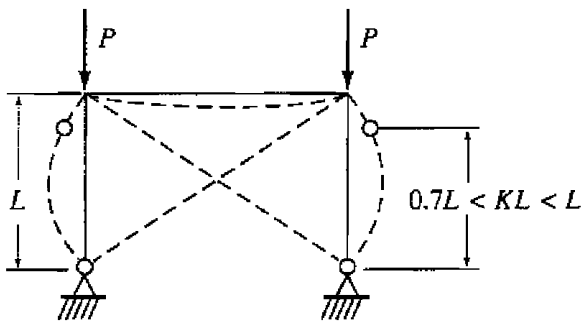
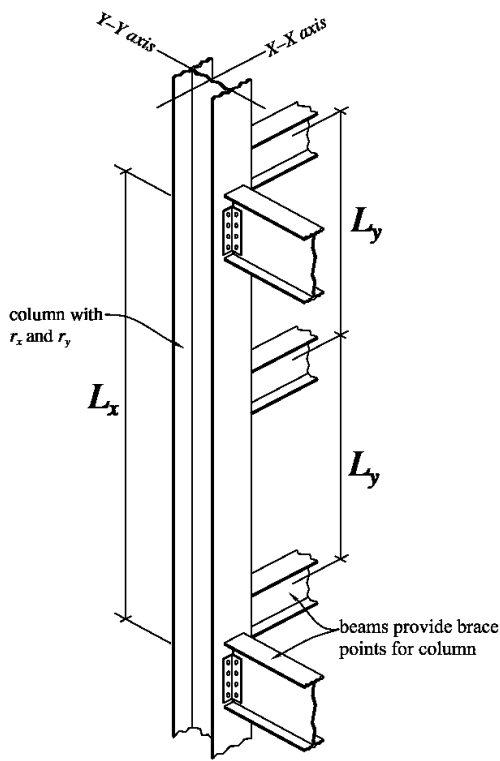
گزینه ۲

هر دو ستون مهار نشده محسوب می شوند.

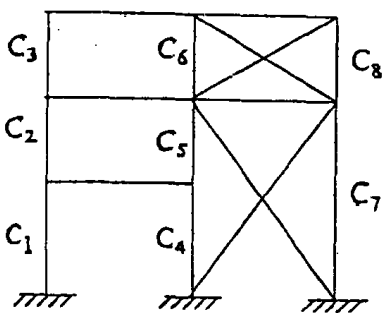
ضریب طول موثر ستون "یکسر مفصل - یکسر گیردار" مهار نشده برابر ۲ می باشد. بنابراین  $K_{AB} = 2$

ضریب طول موثر ستون "دوسر گیردار" مهار نشده برابر ۱ می باشد. بنابراین  $K_{BC} = 1$

۲-۵- طول کمانش ستونها در قابها



محاسبات - ۳- آذر ۸۴



۲۱- در قاب مقابل کدام عبارت در خصوص طول مؤثر ستونها صحیح می باشد؟

(۱)  $K_{c1} \geq 1$

(۲)  $K_{c3} \geq 1$

(۳)  $K_{c7} \geq 1$

(۴) ضریب طول مؤثر کلیه ستونها برابر یک می باشد.  $K_c = 1$

## ۱۰-۲-۱-۳ دسته‌بندی سیستم‌های قاب‌بندی شده و طول موثر کمانشی اعضا

در این بخش سیستم‌های قاب‌بندی شده به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند.

- قاب‌های مهارشده
- قاب‌های مهارنشده
- قاب‌های ثقیلی

## ۱۰-۲-۱-۳-۱ قاب‌های مهار شده و طول موثر کمانشی اعضا

قاب‌های مهار شده به قاب‌هایی گفته می‌شوند که در آنها پایداری جانبی و مقاومت در برابر بارهای جانبی به سختی خمشی ستونها وابسته نبوده و در آنها حرکت جانبی قاب با تکیه‌کردن بر مهاربندی‌های مورب، دیوارهای برشی و یا به شیوه‌های مشابه مقید می‌شود. در این گونه قاب‌ها، ضریب طول موثر (K) برای اعضای فشاری باید برابر ۱/۰ در نظر گرفته شود مگر آن‌که تحلیل دقیق مقدار کمتری را تعیین نماید. در این مبحث تعیین طول موثر کمانش اعضا فشاری قاب‌های مهار شده بر اساس روش ارائه شده در پیوست ۱ این مبحث مجاز است.

## ۱۰-۲-۱-۳-۲ قاب‌های مهارنشده و طول موثر کمانشی اعضا

قاب‌های مهارنشده به قاب‌هایی گفته می‌شوند که سختی خمشی ستونها در پایداری جانبی و مقاومت قاب‌ها در برابر بارهای جانبی سهمیم می‌باشد. ضریب طول موثر (K) در این نوع قاب‌ها باید با استفاده از تحلیل کمانشی به دست آید و هیچ‌گاه نباید کوچکتر از ۱/۰ در نظر گرفته شود. در این مبحث می‌توان ضریب طول موثر اعضای فشاری قاب‌های مهار نشده را از رابطه ۱-۱-۲-۱۰ و یا بر اساس روش ارائه شده در پیوست ۱ این مبحث، تعیین نمود.

$$K = \sqrt{\frac{1/6 G_A G_B + 4(G_A + G_B) + 7/5}{G_A + G_B + 7/5}} \geq 1.0 \quad (1-1-2-10)$$

$$G_A = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L}\right) A \text{ ستون‌های متصل به گره A}}{\sum \left(\frac{EI}{L}\right) A \text{ تیرهای متصل به گره A}}$$

$$G_B = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L}\right) B \text{ ستون‌های متصل به گره B}}{\sum \left(\frac{EI}{L}\right) B \text{ تیرهای متصل به گره B}}$$

(۱) برای انتهای مربوط به تکیه‌گاه گیردار ستون که ضریب  $G$  به صورت نظری صفر است، مقدار  $G$  برابر یک فرض شود.

(۲) برای انتهای مربوط به تکیه‌گاه مفصلی ستون که ضریب  $G$  به صورت نظری بی‌نهایت است، مقدار  $G$  برابر ۱۰ فرض شود.

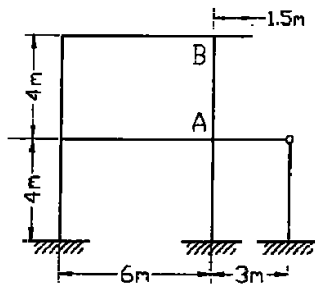
(۳) هرگاه تیر متصل به عضو فشاری طرفی باشد، آن تیر مساوی صفر در نظر گرفته شود.

(۴) هرگاه انتهای نزدیک تیر متصل به عضو فشاری مفصلی باشد، آن تیر مساوی صفر در نظر گرفته شود.

(۵) هرگاه انتهای دور تیر متصل به عضو فشاری مفصلی باشد، آن تیر باید در ضریب ۰/۵ ضرب شود.

(۶) هرگاه انتهای دور تیر متصل به عضو فشاری به تکیه‌گاه با دوران مقید لیکن انتقال جانبی آزاد متصل باشد، آن تیر باید در ضریب ۲/۳ ضرب شود.

۱۹- در قاب شکل زیر، ضریب طول مؤثر (K) ستون AB به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید EI کلیه تیرها و ستونها یکسان می‌باشد.)



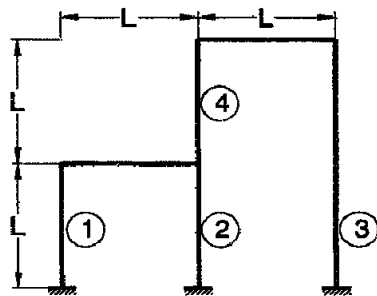
$$K = 1/65 \quad (1)$$

$$K = 1/84 \quad (2)$$

$$K = 1/37 \quad (3)$$

$$K = 1/48 \quad (4)$$

۱۵- اگر در سازه فولادی نشان داده شده، ضرایب طول مؤثر ستونهای شماره 1 تا 3 را به ترتیب با  $K_1$  و  $K_2$  و  $K_3$  نشان دهیم، کدام یک از عبارت‌های زیر صحیح خواهد بود؟  $A, I, E$  (مدول الاستیسیته، ممان اینرسی و مساحت مقطع) برای تمامی اعضای سازه یکسان فرض شود. تمام اتصالات تیرها به ستونها گیردار می‌باشند.



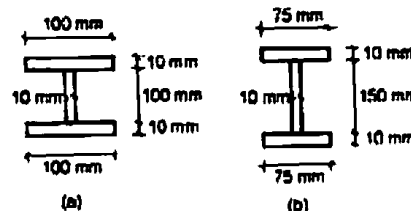
$$K_1 < K_2 < K_3 \quad (1)$$

$$K_3 < K_1 < K_2 \quad (2)$$

$$K_3 < K_2 < K_1 \quad (3)$$

$$K_2 < K_1 < K_3 \quad (4)$$

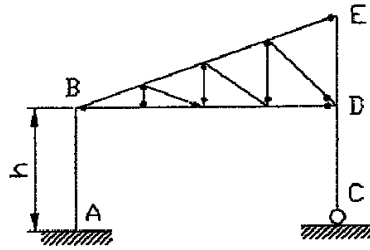
۵۶- برای یک ستون دو سر ساده به طول L و بدون تکیه‌گاه جانبی در طول که فقط تحت اثر بار محوری فشاری قرار دارد، مقاطع (a) و (b) پیشنهاد شده است. در خصوص این ستون کدامیک از گزینه‌های زیر صحیح است؟



- (۱) با اطلاعات مسئله نمی‌توان میزان ظرفیت محوری فشاری ستونهای با مقاطع (a) و (b) را با هم مقایسه نمود
- (۲) ظرفیت محوری فشاری ستون با مقطع (a) کمتر از ظرفیت محوری فشاری ستون با مقطع (b) است.
- (۳) ظرفیت محوری فشاری هر دو مقطع یکسان است.
- (۴) ظرفیت محوری فشاری ستون با مقطع (a) بیش از ظرفیت محوری فشاری ستون با مقطع (b) است

گزینه ۴

۱۶- کدام مورد درخصوص طول موثر کمانش ستون AB در داخل صفحه، در سازه خرابایی شکل زیر صحیح است؟

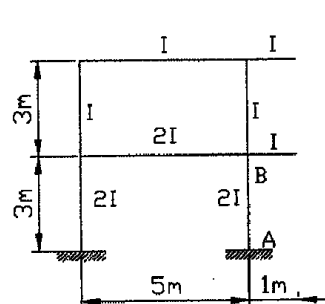


- (۱) طول موثر کمانشی ستون AB حدوداً برابر  $2h$  می باشد.
- (۲) طول موثر کمانشی ستون AB حدوداً برابر  $0.5h$  می باشد.
- (۳) طول موثر کمانشی ستون AB حدوداً برابر ارتفاع  $h$  می باشد.
- (۴) طول موثر کمانشی ستون AB حدوداً برابر  $0.7h$  می باشد.

۱۷- در یک ستون با مقطع H شکل چنانچه  $K_x = 2K_y$  باشد، به ازای چه نسبتی از  $\frac{I_x}{I_y}$  مقاومت ستون حول هر دو محور یکسان خواهد بود؟ (K و I به ترتیب ضریب طول موثر ستون و ممان اینرسی مقطع ستون می باشند).

- |          |         |
|----------|---------|
| (۲) 4    | (۱) 2   |
| (۴) 0.25 | (۳) 0.5 |

۱۸- ضریب طول موثر ستون AB به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟

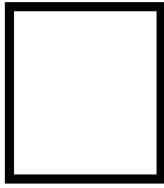
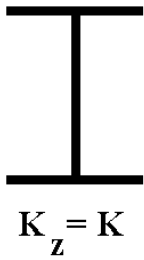


- (۱) 1.4
- (۲) 1.3
- (۳) 1.5
- (۴) 1.2

$$G = \frac{\frac{2}{3} + \frac{1}{3}}{\frac{2}{5}} = \frac{5}{2} = 2.5$$

$$K = \sqrt{\frac{1.6 \times 1 \times 2.5 + 4(1 + 2.5) + 7.5}{1 + 2.5 + 7.5}} = 1.52$$

## ۳-۵- مقاومت فشاری ستونها

۳-۵-۱- ستونهای با مقطع I شکل ( $K_z \leq K$ ) و باکس

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

۱- محاسبه  $r$ 

۲- محاسبه لاغری

$$\lambda = \text{Max}\left(\frac{K_x L}{r_x}, \frac{K_y L}{r_y}\right) < 200$$

۳- محاسبه تنش کمانش خمشی

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

۴- محاسبه تنش فشاری مربوط به کمانش خمشی

$$\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135.97 \quad \rightarrow \quad F_{cr} = 0.877 F_e$$

$$\frac{KL}{r} < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135.97 \quad \rightarrow \quad F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y$$

۵- محاسبه مقاومت فشاری اسمی مقطع

$$P_n = F_{cr} A_g \quad , \quad \phi_c = 0.9$$

## محاسبات خرداد ۹۳

۳۶- ضریب لاغری یک عضو فشاری با مقطع IPE220 از فولاد نوع ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}, F_y = 240 \text{ MPa}$ ) برابر 100 فرض می‌شود. اگر ضریب لاغری این عضو نصف شود، نسبت افزایش مقاومت فشاری طراحی آن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر می‌شود؟ (فرض کنید طول آزاد مهارنشده در برابر پیچش در هر دو حالت کمتر از طول مهارنشده در برابر خمش است)

۴) 4

۱.45) ۱

۳) 2

۱.35) ۲

گزینه ۱

$$F_{e1} = \frac{\pi^2 E}{100^2} = 197.19, \quad F_{e2} = \frac{\pi^2 E}{50^2} = 788.77$$

$$\frac{P_{n2}}{P_{n1}} = \frac{0.658 \left(\frac{240}{788.77}\right)}{0.658 \left(\frac{240}{197.19}\right)} = 1.46$$

۱۲- ستون قوطی نوردشده با ابعاد  $100 \times 100 \times 5$  میلی متر به صورت دو سر ساده مفروض است. اگر تنش فشاری اسمی ناشی از کمانش خمشی این ستون برابر ۳۵ درصد تنش تسلیم باشد، طول ستون بر حسب متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟  
مشخصات قوطی به صورت زیر است:

$$A_g = 18.7 \times 10^2 \text{ mm}^2, \quad r_x = r_y = 38.6 \text{ mm}, \quad F_y = 240 \text{ MPa}, \quad E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$

5.5 (۴)

5.0 (۳)

4.5 (۲)

6.0 (۱)

گزینه ۴

مراحل باید به صورت برعکس تکرار شود تا طول ستون بدست آید:

$$F_{cr} = 0.35F_y$$

با توجه به اینکه تنش کمانشی پایین است، احتمالاً رابطه اول حاکم بوده است. با سعی و خطا کنترل می شود:

$$0.35F_y = 0.877F_e \rightarrow F_e = 95.78 \text{ MPa}$$

$$F_e = 95.78 = \frac{\pi^2 \times 200000}{\lambda^2} \rightarrow \lambda = 143.6 \rightarrow \frac{KL}{r} = 143.6 \rightarrow L = 5541 \text{ mm}$$

۳۹- حداکثر بار محوری نهایی قابل تحمل توسط یک ستون با مقطع IPE220 تک و دارای طول ۴ متر و واقع در یک ساختمانی که در هر دو راستای اصلی آن از مهاربند استفاده شده است، فقط از منظر کمانش خمشی، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ )  
100 kN (۴)      150 kN (۳)      200 kN (۲)      250 kN (۱)

گزینه ۲

۱- محاسبه  $r$  (جدول اشتایل)

$$r_x = 91.1 \quad r_y = 24.8$$

۲- محاسبه لاغری

$$\lambda = \text{Max} \left( \frac{K_x L}{r_x}, \frac{K_y L}{r_y} \right) = \text{Max} \left( \frac{4000}{91.1}, \frac{4000}{24.8} \right) = 161.29 \text{ mm}$$

۳- محاسبه تنش کمانش خمشی

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = 75.8$$

۴- محاسبه تنش فشاری مربوط به کمانش خمشی

$$\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135.97 \rightarrow F_{cr} = 0.877F_e = 0.877 \times 75.8 = 66.47 \text{ MPa}$$

۵- محاسبه مقاومت فشاری اسمی مقطع

$$P_n = F_{cr} A_g, \quad \phi_c = 0.9$$

$$\phi P_n = 0.9 \times 66.47.33 \times 3340 = 199.83 \text{ kN}$$



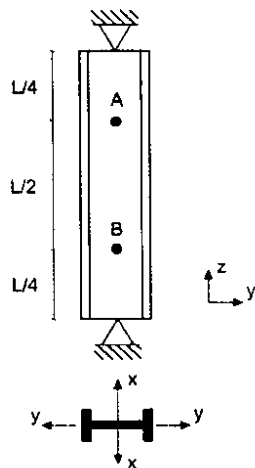
۱۸- کدامیک از عبارتهای زیر در سازههای فولادی صحیح است؟

- (۱) تنش فشاری بحرانی ستونهای با فولادهای پرمقاومت همواره کوچکتر از تنش فشاری بحرانی ستونهای با فولادهای کممقاومت است.
- (۲) مقاومت خمشی طراحی اعضای خمشی برای تمامی مقاطع I شکل، همواره متناسب با تنش تسلیم نوع فولاد می باشد.
- (۳) تنش فشاری بحرانی ستونهای با فولادهای پرمقاومت همواره بزرگتر از تنش فشاری بحرانی ستونهای با فولادهای کممقاومت است.
- (۴) مقاومت خمشی طراحی اعضای خمشی برای برخی مقاطع I شکل، ممکن است متناسب با تنش تسلیم نوع فولاد نباشد.

گزینه ۴

در مقطعی که طول مهارنشده آنها زیاد است، ممکن است مقاومت مقطع مستقل از  $F_y$  باشد به طوریکه افزایش  $F_y$  تاثیری در مقاومت نداشته باشد.

۹- ستون دو سر مفصل نمایش داده شده در شکل زیر دو تکیه‌گاه جانبی عمود بر جان در نقاط A و B دارد. حداقل مقدار  $I_x$  برای آنکه کمانش حول محور x تعیین کننده نباشد، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید کمانش پیچشی ستون در طراحی کنترل کننده نبوده و استفاده از نتایج تحلیل دقیق مدنظر نیست).



$$4I_y \quad (۱)$$

$$\frac{1}{2} I_y \quad (۲)$$

$$I_y \quad (۳)$$

$$2I_y \quad (۴)$$

گزینه ۱

معیار اینکه ستون حول کدام محور کمانش می کند بر اساس لاغری آن حول دو محور تعیین می شود بنابراین باید لاغری را حول محورهای x و y بدست آوریم. لاغری حول محور x باید کمتر باشد تا حاکم نشود:

$$\lambda_x = \frac{k_x L}{r_x} \leq \lambda_y = \frac{k_y L}{r_y}$$

طول موثر کمانشی حول محور برابر کل طول ستون است (L) ولی حول محور y طول موثر برابر طول قسمت AB یعنی برابر 0.5L می باشد:

$$\lambda_x = \frac{L}{r_x} \leq \lambda_y = \frac{0.5L}{r_y} \rightarrow r_y \leq 0.5r_x \rightarrow \sqrt{\frac{I_y}{A}} \leq 0.5 \sqrt{\frac{I_x}{A}} \rightarrow I_y \leq \frac{I_x}{4} \rightarrow 4I_y \leq I_x$$

۱۹- در یک ستون فولادی نسبت مقاومت فشاری اسمی نظیر حالت حدی کمانش خمشی ستونی با  $(\frac{KL}{r})_{max} = 180$  به ستونی با  $(\frac{KL}{r})_{max} = 90$  به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟  
( $F_y = 300 \text{ MPa}$ )

0.67 (۴)                      0.75 (۳)                      0.50 (۲)                      0.30 (۱)

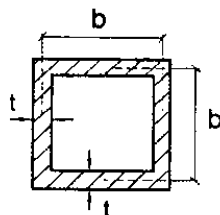
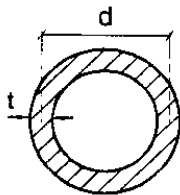
گزینه ۱

$$\lambda = 180 > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr-180} = 0.877F_e = 0.877 \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = 0.877 \frac{3.14^2 \times 2 \times 10^5}{180^2} = 53.37 \text{ MPa}$$

$$\lambda = 90 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr-90} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y = 179.1 \text{ MPa}$$

$$\frac{F_{cr-180}}{F_{cr-90}} = \frac{53.37}{179.1} = 0.298$$

۶۰- فرض کنید در یک ستون دو سر مفصی فولادی به طول L حالت حدی کمانش خمشی الاستیک تعیین کننده مقاومت محوری فشاری عراحی آن است ( $F_e < 0.44 F_y$ ). به ازای کدامیک از مقادیر زیر مقاومت محوری فشاری طراحی عضو مذکور برای هر دو مقطع جدار نازک نشان داده شده در شکل زیر حدوداً یکسان است؟ (فرض کنید هر دو مقطع دارای اجزای غیرلاغر بوده و  $F_y = 240 \text{ MPa}$  است).



$$d \approx 1.44b \quad (۱)$$

$$d \approx 1.20b \quad (۲)$$

$$d \approx 1.27b \quad (۳)$$

$$d \approx 1.33b \quad (۴)$$

گزینه ۲

$$(F_{cr} A_g)_{\text{لوله}} = (F_{cr} A_g)_{\text{باکس}} \rightarrow (0.877 F_e A_g)_{\text{لوله}} = (0.877 F_e A_g)_{\text{باکس}}$$

$$\rightarrow \left( \left( \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \right) A_g \right)_{\text{لوله}} = \left( \left( \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \right) A_g \right)_{\text{باکس}}$$

$$\left( \frac{A_g}{\lambda^2} \right)_{\text{لوله}} = \left( \frac{A_g}{\lambda^2} \right)_{\text{باکس}} \rightarrow \left( \frac{A_g}{\left( \frac{KL}{r} \right)^2} \right)_{\text{لوله}} = \left( \frac{A_g}{\left( \frac{KL}{r} \right)^2} \right)_{\text{باکس}} \rightarrow (r^2 A_g)_{\text{لوله}} = (r^2 A_g)_{\text{باکس}}$$

$$\rightarrow \left( \left( \frac{I}{A_g} \right) A_g \right)_{\text{لوله}} = \left( \left( \frac{I}{A_g} \right) A_g \right)_{\text{باکس}} \rightarrow (I)_{\text{لوله}} = (I)_{\text{باکس}}$$

ممان اینرسی مقطع جدار نازک برابر مشتق ممان اینرسی مقطع توپر است:

$$\rightarrow \left( \frac{\pi r^4}{4} \right)' = \left( \frac{b^4}{12} \right)' \rightarrow \pi r^3 r' = \frac{b^3 b'}{3} \rightarrow \pi r^3 t = \frac{b^3 (2t)}{3}$$

$$\rightarrow r^3 = \frac{2b^3}{3\pi} \rightarrow r = 0.596b \rightarrow rd = 1.193b$$

۵-۳-۲- ستونهای با مقطع I شکل متقارن و  $K_z > K$ ۱- محاسبه  $r$ 

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

۲- محاسبه لاغری

$$\lambda = \text{Max} \left( \frac{K_x L}{r_x}, \frac{K_y L}{r_y} \right) < 200$$

۳- محاسبه تنش کماتش خمشی

$$F_{e-M} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

۴- محاسبه تنش کماتش پیچشی

۴-۱- محاسبه ثابت تاییدگی:

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} = \frac{b_f^3 t_f h_0^2}{24}$$

یادداشت: برای مقاطع I شکل با تقارن دو محوره،  $C_w$  را می‌توان مساوی  $I_y h_0^2 / 4$  در نظر گرفت که در آن  $h_0$  فاصله مرکز به مرکز بال‌ها می‌باشد.

۴-۲- محاسبه ثابت پیچشی:

$$J = \frac{1}{3} \sum L t^3$$

۴-۳- محاسبه تنش کماتشی پیچشی:

$$F_{e-T} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{I_x + I_y} \right)$$

۵- محاسبه تنش کماتشی

$$F_e = \text{Min}(F_{e-T}, F_{e-M})$$

۶- محاسبه تنش فشاری مربوط به کماتش خمشی

الف) اگر  $\frac{KL}{r} \leq 4/71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  یا  $\frac{F_y}{F_e} \leq 2/25$  باشد:

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (2-4-2-10)$$

ب) اگر  $\frac{KL}{r} > 4/71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  یا  $\frac{F_y}{F_e} > 2/25$  باشد:

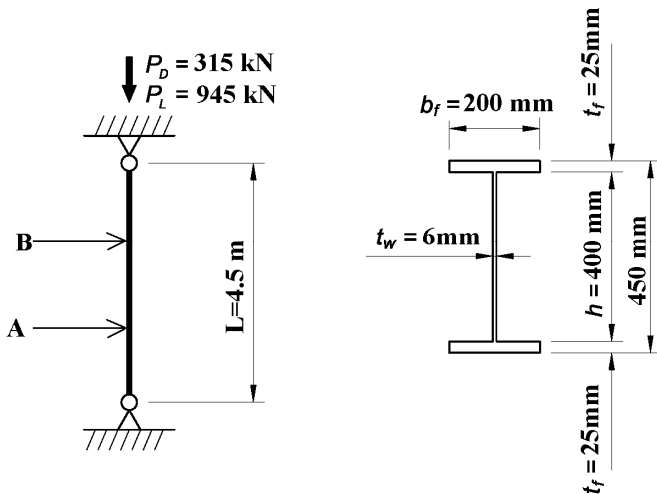
$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (3-4-2-10)$$

۷- محاسبه مقاومت فشاری اسمی مقطع

$$P_n = F_{cr} A_g, \quad \phi_c = 0.9$$

آیا ستون تحت بارهای وارد شده قابل قبول است؟ ستون در نقاط A و B دارای مهار جانبی می باشد. مهارهای جانبی در این نقاط قادر به جلوگیری از کمانش پیچشی نمی باشند.

$$A = 12400 \text{ mm}^2, \quad I_x = 484.08 \times 10^6 \text{ mm}^4, \quad I_y = 33.34 \times 10^6 \text{ mm}^4$$



محاسبه مقاومت محوری اسمی بر اساس کمانش خمشی

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 51.85 \text{ mm} \quad \lambda_y = \frac{\frac{1}{3}4500}{51.85} = 28.93 \quad F_{e-M} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = 2358 \text{ MPa}$$

محاسبه مقاومت محوری اسمی بر اساس کمانش پیچشی

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} = \frac{33.34 \times 10^6 \times (400 + 25)^2}{4} = 1.5055 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$J = \frac{1}{3} \sum L t^3 = \frac{1}{3} (2 \times 200 \times 25^3 + 400 \times 6^3) = 2.11 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$F_{e-T} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{I_x + I_y} \right)$$

$$= \left[ \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^5 \times 1.5055 \times 10^{12}}{(4500)^2} + \frac{2 \times 10^5}{2.6} \times 2.11 \times 10^6 \right] \left( \frac{1}{484.08 \times 10^6 + 33.34 \times 10^6} \right)$$

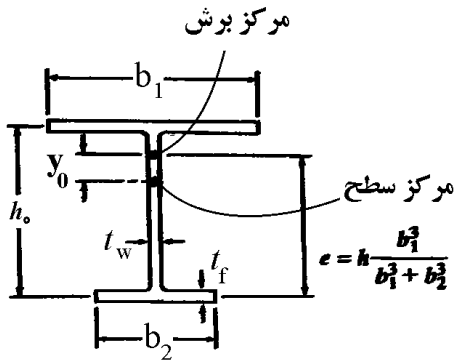
$$= 597.8 \text{ kN}$$

$$F_e = \text{Min}(F_{e-T}, F_{e-M}) = \text{Min}(597.8, 2285) = 597.8 \text{ MPa}$$

کمانش پیچشی حاکم است:

$$\frac{F_y}{F_e} < 2.25 \quad \rightarrow \quad F_{Cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[ 0.658 \frac{240}{597.8} \right] F_y = 202 \text{ MPa}$$

## ۵-۳-۳- ستونهای با مقطع I شکل با یک محور تقارن



۱- محاسبه لاغری

$$\lambda = \text{Max} \left( \frac{K_x L}{r_x}, \frac{K_y L}{r_y} \right) < 200$$

۲- محاسبه تنش کمانش خمشی حول محور X و Y

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_y L}{r_y} \right)^2} \quad F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_x L}{r_x} \right)^2}$$

۳- تنش کمانش خمشی حداقل

$$F_{e-M} = \text{Min}(F_{ex}, F_{ey})$$

۴- محاسبه تنش کمانش خمشی - پیچشی

۱-۴- محاسبه ثابت تابیدگی:

$$C_w = \frac{h_0^2 t_f}{12} \left( \frac{b_1^3 b_2^3}{b_1^3 + b_2^3} \right)$$

۲-۴- محاسبه ثابت پیچشی:

$$J = \frac{1}{3} \sum L t^3$$

۳-۴- محاسبه شعاع ژیراسیون قطبی نسبت به مرکز برش و ثابت H:

$$y_0 = h_0 \frac{b_1^3}{b_1^3 + b_2^3}$$

$$\bar{r}_0^2 = y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$$H = 1 - \frac{y_0^2}{\bar{r}_0^2}$$

۴-۴- محاسبه تنش کمانش پیچشی:

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{A_g \bar{r}_0^2} \right)$$

۵-۴- محاسبه تنش کمانش خمشی - پیچشی:

$$F_{e-MT} = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right]$$

۵- محاسبه تنش کمانشی

$$F_e = \text{Min}(F_{e-MT}, F_{e-M})$$

۶- محاسبه تنش فشاری مربوط به کمانش خمشی

$$\lambda > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135.97 \quad \rightarrow$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

$$\lambda < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135.97 \quad \rightarrow$$

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

۷- محاسبه مقاومت فشاری اسمی مقطع

$$P_n = F_{cr} A_g, \quad \phi_c = 0.9$$

۲۸- در صورتی که ضریب لاغری مؤثر ستونی از یک عدد IPB۲۰۰ برابر  $\frac{KL}{r} = 150$  باشد، نسبت نیروی مجاز فشاری آن ستون ساخته شده از فولاد St۵۲ ( $F_y = 360 \text{ kg/cm}^2$  و  $F_u = 520 \text{ kg/cm}^2$ ) به نیروی مجاز فشاری همان ستون ساخته شده از فولاد St۳۷ ( $F_y = 240 \text{ kg/cm}^2$  و  $F_u = 370 \text{ kg/cm}^2$ ) چقدر است؟

- ۱/۴۰ (۱)  
۱/۵۰ (۲)  
۱/۳۰ (۴)

گزینه ۳

فولاد ST37:

$$\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 136 \quad \rightarrow \quad F_{cr} = 0.877 F_e$$

فولاد ST52:

$$\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 111 \quad \rightarrow \quad F_{cr} = 0.877 F_e$$

با توجه به اینکه  $F_e$  مستقل از  $F_y$  می باشد، تنش مقاوم هر دو ستون یکسان است.

۲۸- یک ستون فولادی با مقطع مربع مستطیل توخالی (قوطی شکل) و با ضخامت بال و جان یکسان برابر ۱۵ میلیمتر تحت اثر نیروی فشاری ضریب دار برابر ۱۸۰۰ kN قرار دارد. چنانچه ضریب لاغری حداکثر ستون برابر ۱۰۰ فرض شود، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت (روش حالات حدی)، حداقل ابعاد بیرونی مقطع قوطی شکل به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟

$$F_y = 240 \text{ MPa} \quad , \quad E = 200000 \text{ MPa}$$

- ۱) ۳۵ × ۳۵ cm  
۲) ۳۰ × ۳۰ cm  
۳) ۲۵ × ۲۵ cm  
۴) ۲۰ × ۲۰ cm

گزینه ۳:

نیروی ضریب دار (۱۸۰۰ kN) باید کمتر از مقاومت کاهش یافته باشد.

$$(\lambda = 100) \leq \left( 4.71 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{240}} = 136 \right) \rightarrow F_{cr} = \left[ 0.658^{\left(\frac{240}{197}\right)} \right] \times 240 = 144 \quad \rightarrow \quad \phi P_n = 0.9 \times F_{cr} \times A_g$$

$$\phi P_n = 0.9 \times 144 \times A_g \geq 1800 \times 10^3 \quad \rightarrow \quad A_g \geq 13900 \text{ mm}^2$$

$$13900 = 4(15 \times b) \rightarrow b = 231 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{USE } b = 250 \text{ mm}$$

## ۵-۴- ستونهای بست دار

## ۱۰-۲-۴-۷ اعضای ساخته شده

مقاطع ساخته شده به مقاطعی گفته می‌شوند که تماماً از ورق یا از دو یا چند نیمرخ با قطعات لقمه بین آنها یا از دو یا چند نیمرخ به همراه ورق سراسری یا بست و یا از دو نیمرخ به هم متصل شده ساخته می‌شوند. مقاومت فشاری اسمی و محدودیت‌های ابعادی اینگونه مقاطع مطابق با الزامات بندهای ۱۰-۲-۴-۷ و ۱۰-۲-۴-۷-۲ می‌باشد.

## ۱۰-۲-۴-۱ مقاومت فشاری اسمی

مقاومت فشاری اسمی مقاطع ساخته شده باید بر اساس الزامات بندهای ۱۰-۲-۴-۱ و ۱۰-۲-۴-۵ و با اصلاحات لاغری ارائه شده در حالت‌های الف و ب این بند تعیین شود.

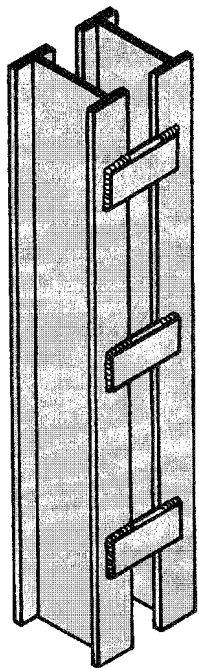
الف) در اعضای فشاری ساخته شده که در آنها اتصال قطعات متصل کننده میانی به اجزای مختلف مقطع به صورت پیچی و با عملکرد اتکائی می‌باشد، ضریب لاغری نسبت به محور عمود بر صفحه بست (محور بدون مصالح مقطع ساخته شده) باید از رابطه زیر تعیین شود.

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2} \quad (10-4-19)$$

ب) در اعضای فشاری ساخته شده که در آنها اتصال قطعات میانی متصل کننده به اجزای مختلف مقطع به صورت جوشی و یا پیچی با عملکرد اصطکاکی می‌باشد، ضریب لاغری نسبت به محور بدون مصالح مقطع ساخته شده (محور عمود بر صفحه بست در اعضای فشاری ساخته شده با بست)، باید از رابطه زیر تعیین شود.

$$\frac{a}{r_i} \leq 40 \rightarrow \left(\frac{KL}{r}\right)_m = \left(\frac{KL}{r}\right)_o \quad (10-4-20)$$

$$\frac{a}{r_i} > 40 \rightarrow \left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{K_i a}{r_i}\right)^2} \quad (10-4-21)$$



در روابط فوق:

$\left(\frac{KL}{r}\right)_m$  = ضریب لاغری اصلاح شده عضو فشاری ساخته شده نسبت به محور بدون مصالح مقطع ساخته شده

$\left(\frac{KL}{r}\right)_o$  = ضریب لاغری مقطع ساخته شده نسبت به محور بدون مصالح مقطع ساخته شده

$K_i = 0.5$  برای مقطع نبشی پشت به پشت

$= 0.75$  برای مقطع ناودانی پشت به پشت

$= 0.86$  برای سایر مقاطع

$a$  = فاصله بین متصل کننده‌ها

$r_i$  = شعاع ژیراسیون حداقل هر یک از اجزا

## ۱-۲-۴-۷-۲ محدودیت‌های ابعادی

محدودیت‌های ابعادی اجزای اعضای فشاری ساخته‌شده به شرح زیر می‌باشند.

(الف) هر یک از اجزای اعضای فشاری ساخته‌شده باید در فاصله  $a$  به یکدیگر متصل باشند، به نحوی که ضریب لاغری موثر هر یک از اجزا در فاصله  $a$   $Ka/r_1$ ، از  $\frac{3}{4}$  ضریب لاغری تعیین‌کننده کل عضو ساخته‌شده تجاوز نکند؛ که در آن  $r_1$  شعاع ژیراسیون حداقل هر جزء می‌باشد.

(ت) چنانچه عضو فشاری ساخته‌شده، از نیمرخ‌ها و ورق‌های سراسری تشکیل شده باشد در ناحیه میانی، فواصل طولی محور به محور بین پیچ‌ها یا فاصله آزاد بین نوارهای جوش منقطع باید به نحوی اختیار شود که مقاومت لازم تأمین گردد. حداکثر فاصله طولی بین پیچ‌ها در ناحیه میانی، برای حالتی که قطعات رنگ‌شده و در مقابل خوردگی حفاظت شده باشند نباید از ۲۴ برابر ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده و همچنین از ۳۰۰ میلی‌متر بیشتر شود. اگر اتصال دو ورق یا ورق و نیمرخ به وسیله جوش صورت گرفته باشد و اعضا در مقابل خوردگی حفاظت شده باشند، حداکثر فاصله خالص بین جوش‌های منقطع نباید از مقادیر زیر تجاوز کند.

(۱)  $0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  برابر ضخامت ورق خارجی و حداکثر ۳۰۰ میلی‌متر برای حالتی که اتصالات در خطوط اتصال مجاور در حالت پس و پیش نباشند (روبروی هم باشند).

(۲)  $1/12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  برابر ضخامت ورق خارجی و حداکثر ۴۵۰ میلی‌متر برای حالتی که اتصالات در خطوط اتصال مجاور به حالت پس و پیش قرار گیرند.

(ج) چنانچه عضو فشاری از نیمرخ‌ها و بست‌های مورب تشکیل شده باشند، ضوابط زیر باید رعایت شوند:

ضخامت ورق‌های انتهایی و ورق‌های اتصال به تیر باید طوری اختیار شوند که مقاومت کافی در برابر نیروهای منتقل شده از طرف عضو فشاری به کفستون و از طرف تیر و مهاربندی به ستون را دارا باشند. در هر حال ضخامت ورق‌های انتهایی و ورق‌های اتصال به تیر نباید از  $b/50$  کمتر باشد؛ که در آن  $b$  برابر پهنای ورق انتهایی و ورق اتصال در اتصالات جوشی و برابر فاصله عرضی وسایل اتصال در اتصالات پیچی می‌باشد.

(۳) مشخصات هندسی بست‌های مورب شامل طول، مقطع و وسایل اتصال دو انتهای آنها به عضو فشاری، باید به گونه‌ای انتخاب شوند که منجر به تأمین مقاومت برشی عمود بر محور طولی عضو فشاری معادل ۲ درصد مقاومت فشاری موجود عضو فشاری و نیروی برشی ستون به موازات صفحه بست‌ها به علت نیروهای خارجی شوند.

(۴) طول کمانش برای محاسبه ضریب لاغری بست‌های مورب، در بست‌های تکی برابر فاصله بین مرکز هندسی اتصالات (پیچ یا جوش) دو انتهای آنها به عضو فشاری و در بست‌های مورب ضریب ۷۰ درصد این فاصله به حساب می‌آید.

(۵) ضریب لاغری بست‌های مورب تک نباید از ۱۴۰ و ضریب لاغری بست‌های مورب ضریب‌داری نباید از ۲۰۰ تجاوز نماید.

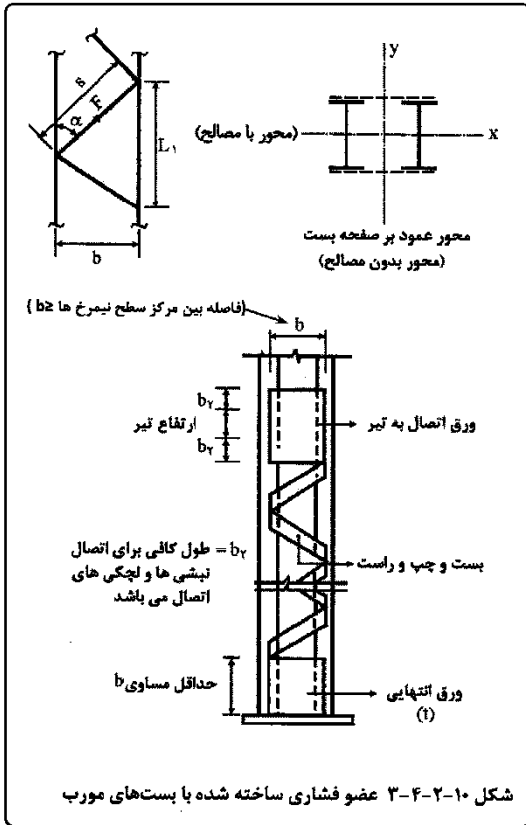
(۶) زاویه محور طولی بست‌ها نسبت به محور طولی عضو فشاری ( $\alpha$ )، نباید کمتر از ۴۵ درجه برای بست‌های مورب ضریب‌داری و ۶۰ درجه برای بست‌های مورب تکی باشد.

(چ) چنانچه عضو فشاری ساخته شده از نیمرخ‌ها و بست‌های موازی تشکیل شده باشند، ضوابط زیر باید رعایت شوند.

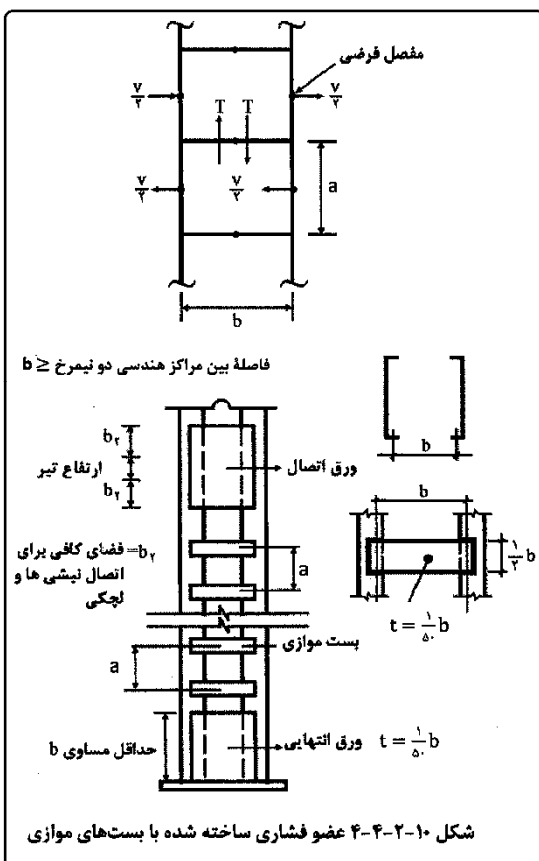
(۱) همانند اجزای کلیه اعضای فشاری، فاصله بست‌ها از یکدیگر باید به اندازه‌ای باشند که ضریب لاغری موثر هر یک از اجزای عضو فشاری ساخته‌شده در فاصله بین مرکز به مرکز دو بست متوالی الزامات بند (الف) از محدودیت‌های ابعادی اعضای فشاری ساخته‌شده را تأمین نماید.

(۳) مشخصات هندسی بست‌های موازی شامل طول، مقطع و وسایل اتصال دو انتهای آنها به عضو فشاری، باید به گونه‌ای اختیار شود که منجر به تأمین مقاومت برشی عمود بر محور طولی عضو فشاری و به موازات صفحه بست‌ها معادل ۲ درصد مقاومت فشاری موجود عضو فشاری و نیروی برشی ستون به موازات صفحه بست‌ها به علت نیروهای خارجی شوند.

(۵) طول بست‌های میانی نباید از  $\frac{b}{3}$  کمتر باشد.



شکل ۱۰-۲-۳ عضو فشاری ساخته شده با بست‌های مورب



شکل ۱۰-۲-۴ عضو فشاری ساخته شده با بست‌های موازی



**۱۰-۳-۷ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی معمولی**

قاب‌های خمشی معمولی به قاب‌هایی اطلاق می‌شوند که از آنها انتظار تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی در برابر نیروی جانبی زلزله نمی‌رود و به این علت برای طراحی اعضا و اتصالات آنها مقررات تکمیلی محدودی در نظر گرفته شده است. در طراحی و اتصالات این نوع قاب‌ها علاوه بر الزامات متعارف

**۱۰-۳-۷-۱ محدودیت تیرها و ستونها**

تیرها و ستونها در قاب‌های خمشی معمولی باید دارای شرایط زیر باشند.

(الف) مقاطع تیرها و ستونها باید فشرده باشند.

(ب) استفاده از ستونها با مقطع متشکل از چند نیمرخ بست‌دار مجاز است.

(پ) استفاده از تیرهای با جان سوراخ‌دار متوالی (لانه زنبوری) به عنوان اعضای باربر جانبی مجاز نیست. در صورت لزوم ایجاد سوراخ دسترسی در جان تیر، این سوراخ باید خارج از ناحیه حفاظت‌شده دو انتهای تیر و در نیمه میانی طولی دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به طور کامل فراهم گردد.

(ت) در ناحیه حفاظت‌شده دو انتهای تیر، ایجاد هر گونه تغییر ناگهانی در پهنای بال یا ضخامت بال مجاز نمی‌باشد. تغییر تدریجی در پهنای یا ضخامت از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به ۲/۵ صورت گیرد.

**۱۰-۳-۸ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط****۱۰-۳-۸-۱ محدودیت تیرها و ستونها**

تیرها و ستونها در قاب‌های خمشی متوسط باید دارای شرایط زیر باشند.

(الف) مقاطع تیرها و ستونها باید از نوع فشرده لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنای به ضخامت برابر  $\lambda_{md}$  مطابق مقادیر جدول ۱۰-۴-۳-۱۰ باشند.

(ب) استفاده از ستونها با مقطع متشکل از چند نیمرخ بست‌دار مجاز است، مشروط بر آنکه خمش در ستون حول محور با مصالح باشد.

(پ) استفاده از تیرهای با جان سوراخ‌دار متوالی (لانه زنبوری) به عنوان اعضای باربر جانبی مجاز نیست. در صورت لزوم ایجاد سوراخ دسترسی در جان تیر، این سوراخ باید خارج از ناحیه حفاظت‌شده دو انتهای تیر و در نیمه میانی طولی دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به طور کامل فراهم گردد.

(ت) در ناحیه حفاظت‌شده دو انتهای تیر، ایجاد هر گونه تغییر ناگهانی در پهنای بال یا ضخامت بال مجاز نمی‌باشد. تغییر تدریجی در پهنای یا ضخامت از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به ۲/۵ صورت گیرد.

**۱۰-۳-۹ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه****۱۰-۳-۹-۱ محدودیت تیرها و ستونها**

تیرها و ستونها در قاب‌های خمشی ویژه باید دارای شرایط زیر باشند.

(الف) مقاطع تیرها و ستونها باید از نوع فشرده لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنای به ضخامت برابر  $\lambda_{hd}$  مطابق مقادیر جدول ۱۰-۴-۳-۱۰ باشند.

(ب) در ستونها استفاده از مقطع متشکل از چند نیمرخ بست‌دار مجاز نیست. اجزای مقطع ستون باید در تمامی طول آن به صورت پیوسته به یکدیگر متصل شوند.

(پ) استفاده از تیرهای با جان سوراخ‌دار متوالی (لانه زنبوری) به عنوان اعضای باربر جانبی مجاز نیست. در صورت لزوم ایجاد سوراخ دسترسی در جان تیر، این سوراخ باید خارج از ناحیه حفاظت‌شده دو انتهای تیر و در نیمه میانی طولی دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به طور کامل فراهم گردد.

(ت) در ناحیه حفاظت‌شده دو انتهای تیر، ایجاد هر گونه تغییر ناگهانی در پهنای بال یا ضخامت بال مجاز نمی‌باشد. تغییر تدریجی در پهنای یا ضخامت از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به ۲/۵ انجام پذیرد.

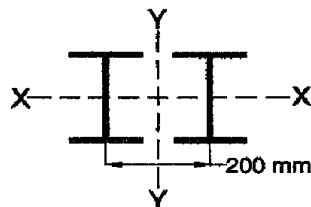
## محاسبات اسفند ۸۹

۱۷- در طراحی ستونهای یک ساختمان چهار طبقه، مقطع ستونها متشکل از دو نیمرخ I شکل با بستهای موازی بوده و خمش حول محور عمود بر صفحه بستها (محور بدون مصالح) می‌باشد. برای ستون با مقطع مذکور، کدامیک از عبارات زیر صحیح‌تر است.

- ۱) استفاده از مقطع فوق فقط برای قابهای خمشی با شکل پذیری معمولی مجاز است.
- ۲) استفاده از مقطع فوق در هر سه نوع از سطح شکل پذیری (معمولی - متوسط - زیاد) مجاز است.
- ۳) استفاده از مقطع فوق فقط برای قابهای خمشی با شکل پذیری متوسط و معمولی مجاز است.
- ۴) استفاده از مقطع فوق برای هیچکدام از قابهای خمشی با شکل پذیری معمولی، متوسط و زیاد مجاز نیست.

## محاسبات اسفند ۸۹

۱۹- مقطع ستونی بطول ۴ متر متشکل از 2IPE180 مطابق شکل می‌باشد. در صورت استفاده از بستهای موازی، حداکثر فاصله محور تا محور این بستها چه مقدار است؟ (سطح مقطع پروفیل IPE180 به صورت تک برابر  $23.9 \text{ cm}^2$ ، ممان اینرسی آن حول محورهای قوی و ضعیف به ترتیب برابر  $1320 \text{ cm}^4$  و  $101 \text{ cm}^4$  می‌باشد. همچنین ضرایب طول موثر ستون نسبت به محورهای X, Y برابر یک می‌باشد).



60 cm (۲)

50 cm (۱)

80 cm (۳)

70 cm (۴)

## محاسبات اسفند ۸۹

۲۲- ستون مرکب فولادی از جفت تیر آهن IPE 300 به فاصله محور تا محور 25 cm از یکدیگر و با بستهای موازی تشکیل شده است. نیروی محوری ستون 1200 کیلونیوتن، نیروی برشی در راستای محور عمود بر صفحه بست (محور بدون مصالح) برابر 50 کیلونیوتن و در راستای محور با مصالح برابر 25 کیلونیوتن است. فاصله مرکز به مرکز ورق بستهای موازی برابر 50 cm و فاصله مراکز جوش دو طرف ورق بست 25 cm است. چنانچه ضخامت ورق های بست برابر 12 میلیمتر باشد، حداقل پهنای ورقهای بست در امتداد محور طولی عضو برحسب میلیمتر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ )

150 (۲)

100 (۱)

200 (۴)

180 (۳)

## محاسبات-۹۱

۴۸- نسبت تنش مجاز فشاری ستون با ارتفاع ۴ متر به ستونی با ارتفاع ۸ متر؛ که در قاب مهاربندی شده قرار دارند و شعاع ژیراسیون حداقل مقطع هر دو ستون در امتداد مورد نظر یکسان می‌باشد، کدام است؟ ( $\lambda > C_e$ )

۱ (۱)                      ۲ (۲)                      ۳ (۳)                      ۴ (۴)

گزینه ۳

## محاسبات ۸۷

۲۰- در یک ستون مرکب فولادی با ورق سرتاسری و با مقطع  $2IPE160 + 2PL150 \times 10$ ، ورق سرتاسری با جوش منقطع و به صورت روبرو به بال پروفیلها متصل شده است. حداکثر فاصله خالص بین جوشها به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟

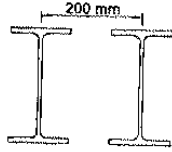
- ۱ (۱)  $45\text{ cm}$                       ۲ (۲)  $30\text{ cm}$   
 ۳ (۳)  $32\text{ cm}$                       ۴ (۴)  $22\text{ cm}$

## محاسبات ۸۷

۲۵- مقطع یک ستون فولادی از جفت تیر آهن  $IPE160$  به فاصله  $15\text{ cm}$  از یکدیگر، تشکیل شده است، نیروی محوری ستون  $10300\text{ Kg}$  و نیروی برشی ستون  $244\text{ Kg}$  است. در صورتیکه فاصله مرکز به مرکز ورق بست های موازی  $40\text{ cm}$  و فاصله مراکز جوش دوطرف ورق بست  $15\text{ cm}$  باشد، نیروی برشی وارد بر هر بست برای طراحی ورق بست چه مقدار است؟

- ۱ (۱)  $275\text{ Kg}$                       ۲ (۲)  $244\text{ Kg}$   
 ۳ (۳)  $450\text{ Kg}$                       ۴ (۴)  $600\text{ Kg}$

۴۷- یک ستون فولادی با مقطع دابل تیر آهن IPE200 به فاصله ۲۰۰ میلی‌متر از یکدیگر مفروض است. نیروی محوری نهایی ستون ۸۰۰ kN و نیروی برشی نهایی ستون در امتداد محور با مصالح برابر ۳۲۰ kN می‌باشد. در صورتی که فاصله مرکز به مرکز ورق بست‌های موازی ۴۰۰ mm و فاصله مراکز جوش دو طرف ورق بست ۲۰۰ mm باشد، نیروی برشی نهایی وارد بر هر بست برای طراحی ورق بر حسب kN به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (مقاومت فشاری موجود ستون و نیروی محوری نهایی ستون یکسان بوده و برابر ۸۰۰ kN فرض شود)



۱۶ (۱)

۳۲ (۲)

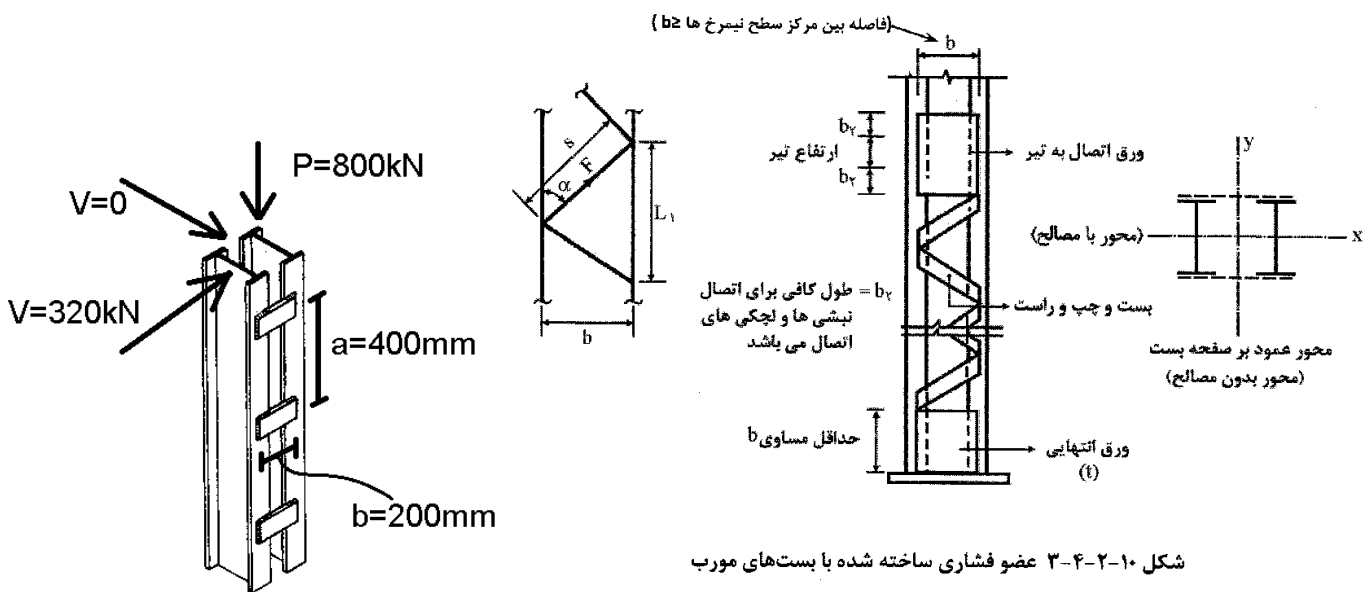
۴۸ (۳)

۹۶ (۴)

گزینه ؟

$$V = 0.02P + 320 = 0.02 \times 800 + 320 = 336 \text{ kN}$$

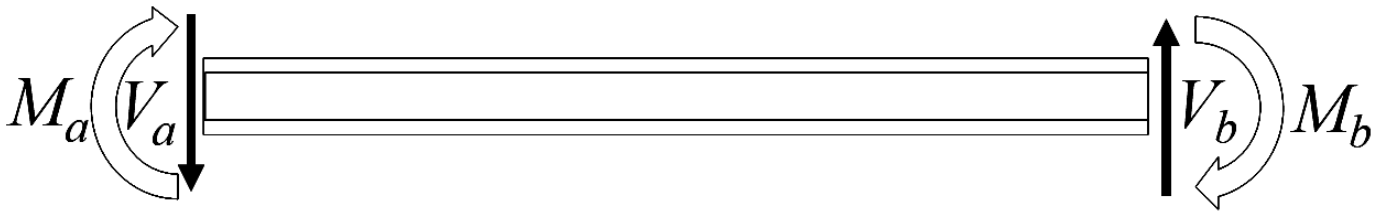
$$V_{\text{بست}} = \frac{Va}{2b} = \frac{336 \times 400}{2 \times 200} = 336 \text{ kN}$$



شکل ۱۰-۲-۳ عضو فشاری ساخته شده با بست‌های مورب

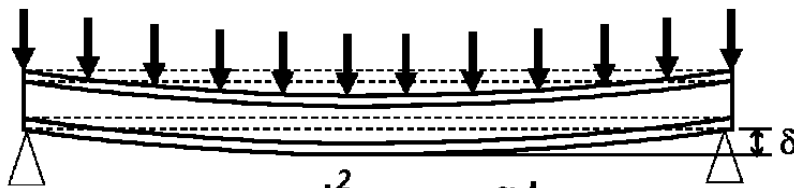
## ۶-خمش

## ۶-۱-تعریف تیر



چه مواردی باید در مورد تیرها کنترل گردد؟

- ۱- برش تیر
- ۲- خمش تیر
- ۳- خیز تیر



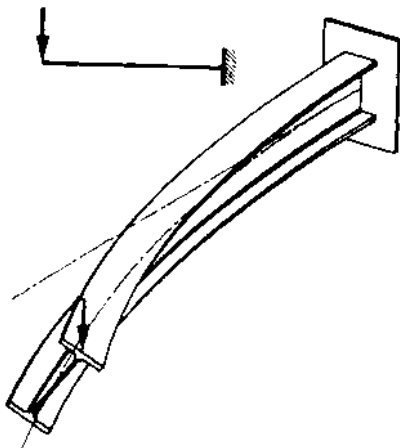
$$M = \frac{qL^2}{8} \quad v = \frac{qL}{2}$$

$$M_{\text{مقاوم}} = ? \quad v_{\text{مقاوم}} = ?$$

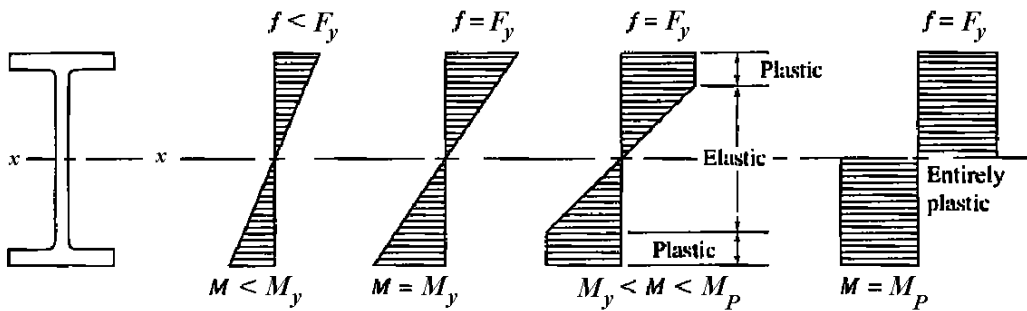
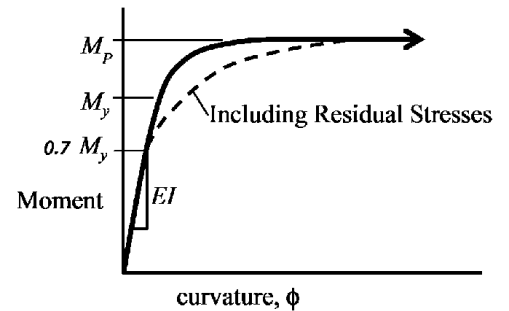
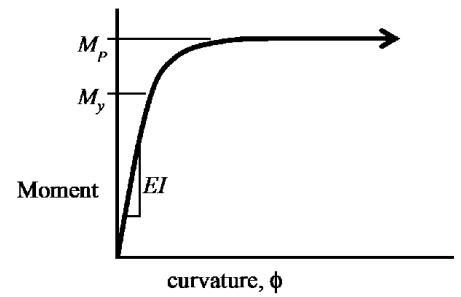
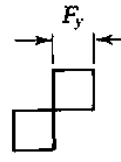
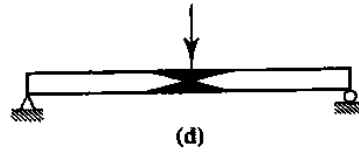
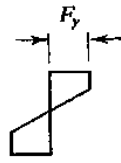
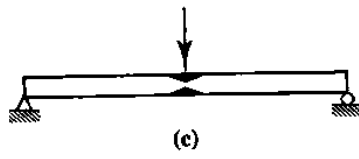
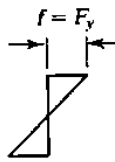
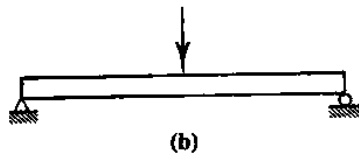
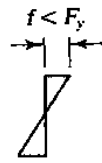
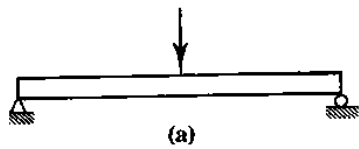
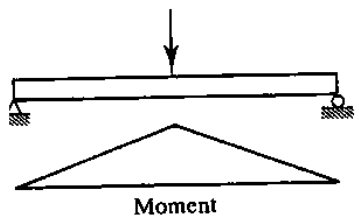
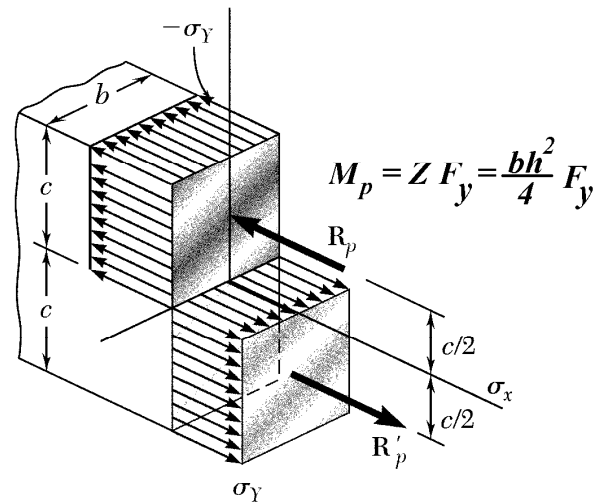
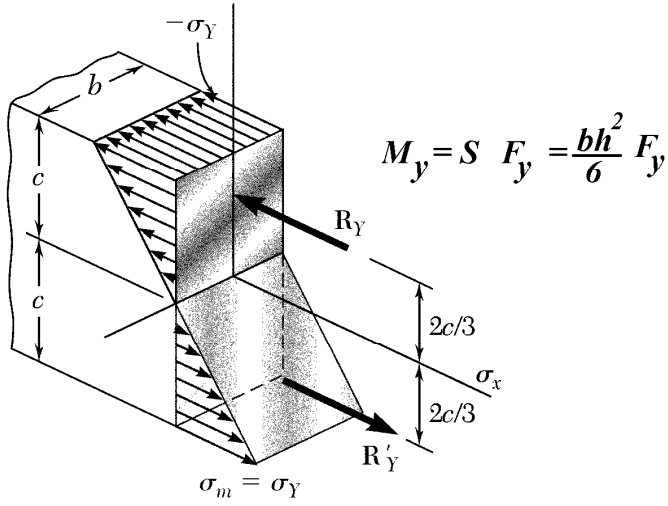
دو عامل مهم موثر در مقاومت خمشی تیر I شکل؟

۲- کماتش پیچشی جانبی

۱- کماتش موضعی



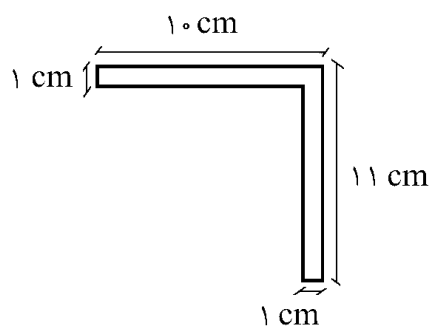
۶-۲- لنگر تسلیم و لنگر پلاستیک



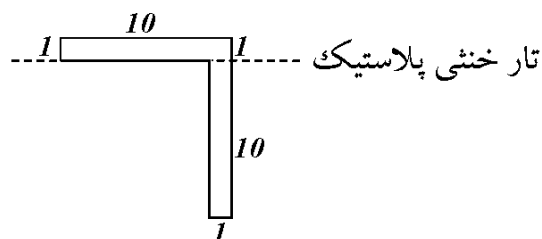
اساس الاستیک مقطع (S): منظور از ممان تسلیم ( $M_y$ ) لنگری است که اگر به مقطع وارد شود، اولین تار بالایی و یا پایینی به تسلیم برسد. برای بدست آوردن مقدار ( $M_y$ ) می توان از روابط مقاومت مصالح استفاده نمود یعنی  $M_y = \frac{I}{c} F_y = S F_y$  که در آن c فاصله دورترین تار از تار خنثی و I ممان اینرسی مقطع می باشد. به S اساس الاستیک مقطع می گویند.

اساس پلاستیک مقطع (Z): منظور از ممان پلاستیک ( $M_p$ ) لنگری است که اگر به مقطع وارد شود، کل مقطع به تسلیم برسد. برای بدست آوردن مقدار ( $M_p$ ) نمی توان از رابطه  $M_p = \frac{F_y I}{c}$  استفاده نمود و به جای آن باید از رابطه  $M_p = Z F_y$  استفاده نمود که به Z اساس پلاستیک مقطع می گویند.

مثال: لنگر پلاستیک مقطع نبشی نشان داده شده چقدر است؟ ( $F_y = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ )



جهت محاسبه Z ابتدا تار خنثی را می یابیم، محل آن طوری تعیین می شود که مساحت مقطع در دو طرف تار خنثی برابر باشد:

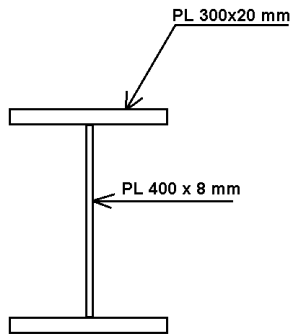


$$Z = (10 \times 1) \times 0.5 + (10 \times 1) \times 5 = 55 \text{ cm}^2$$

$$M_p = Z F_y = 55 \times 2000 = 110000 \text{ kg.m} = 1.1 \text{ t.m}$$

نکته: دیاگرام کرنش ها تحت خمش در همه حالات خطی فرض می شود:

مثال: مقادیر  $S_x$ ،  $S_y$ ،  $Z_x$ ،  $Z_y$  را برای مقطع مقابل محاسبه کنید:



$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{\left(\frac{300 \times 440^3}{12} - \frac{292 \times 400^3}{12}\right)}{220} = \frac{572266667}{220} = 2601212 \text{ mm}^3 = 2601 \text{ cm}^3$$

$$Z_x = 2 \times [(300 \times 20) \times 210 + (200 \times 8) \times 100] = 2840000 \text{ mm}^3 = 2840 \text{ cm}^3$$

$$\left. \begin{array}{l} S_x \\ Z_x \end{array} \right\} \frac{Z_x}{S_x} = 1.09$$

$$S_y = \frac{I_y}{c} = \frac{\left(2 \times \frac{20 \times 300^3}{12} + \frac{400 \times 8^3}{12}\right)}{150} = \frac{90017067}{150} = 600114 \text{ mm}^3 = 600 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = 2 \times [2 \times (150 \times 20) \times 75 + (4 \times 400) \times 2] = 906400 \text{ mm}^3 = 906 \text{ cm}^3$$

$$\left. \begin{array}{l} S_y \\ Z_y \end{array} \right\} \frac{Z_y}{S_y} = 1.51$$

مقاومت خمشی تسلیم  $M_y$  حول محور قوی برای تیر فوق؟

$$M_y = F_y S_x = 2400 \times 2601 \text{ kg.cm} = 62.4 \text{ ton.m}$$

مقاومت خمشی پلاستیک  $M_p$  حول محور قوی برای تیر فوق؟

$$M_p = F_y Z_x = 2400 \times 2840 \text{ kg.cm} = 68.16 \text{ ton.m}$$

مقاومت خمشی تسلیم  $M_y$  حول محور ضعیف برای تیر فوق؟

$$M_y = F_y S_y = 2400 \times 600 \text{ kg.cm} = 14.4 \text{ ton.m}$$

مقاومت خمشی پلاستیک  $M_p$  حول محور ضعیف برای تیر فوق؟

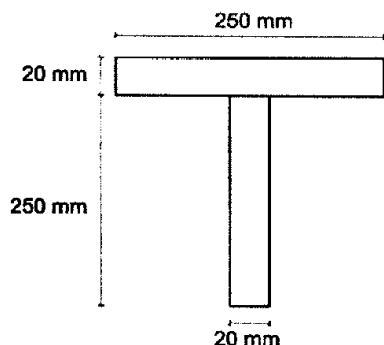
$$M_p = F_y Z_y = 2400 \times 906 \text{ kg.cm} = 21.74 \text{ ton.m}$$



محاسبات-۹۱

۴۰- لنگر پلاستیک مقطع نشان داده شده در شکل نسبت به محور قوی مقطع به کدامیک از مقادیر زیر

نزدیکتر است؟ (بر حسب  $kN.m$ )



$$F_y = 350 \text{ MPa}$$

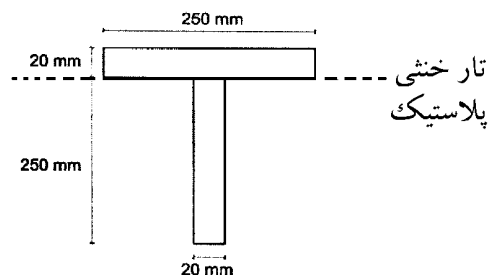
(۱) 350

(۲) 240

(۳) 1420

(۴) 1040

گزینه ۲:

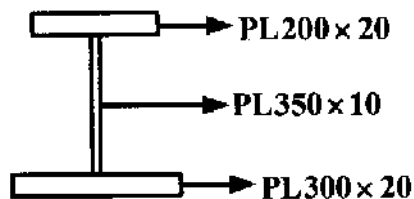


$$Z = 20 \times 250 \times 10 + 250 \times 20 \times 125 = 675000 \text{ mm}^3$$

$$M_p = ZF_y = 675000 \times 350 = 236.25 \times 10^6 \text{ N.mm} = 236.25 \text{ kN.m}$$

محاسبات-۹۱

۴۶- فاصله‌ی تار خنثی الاستیک و پلاستیک در مقطع زیر، چند  $mm$  است؟



(۱) ۷۶/۲

(۲) ۷۲/۶

(۳) ۶۷/۲

(۴) ۶۲/۷

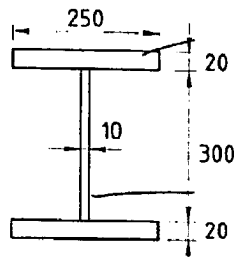
گزینه ۲

$$300 \times 20 + (y_p - 20) \times 10 = 200 \times 20 + (370 - y_p) \times 10 \rightarrow y_p = 95 \text{ mm}$$

$$y_e = \frac{200 \times 20 \times 380 + 350 \times 10 \times 195 + 300 \times 20 \times 10}{200 \times 20 + 350 \times 10 + 300 \times 20} = 167.6$$

$$y_e - y_p = 167.6 - 95 = 72.6 \text{ mm}$$

۹- چنانچه فولاد بال‌های تیر I شکل زیر با  $F_y=240 \text{ MPa}$  و فولاد جان آن با  $F_y=360 \text{ MPa}$  باشد، لنگر پلاستیک مقطع تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (ابعاد به میلی‌متر است).



465 kN.m (۱)

630 kN.m (۲)

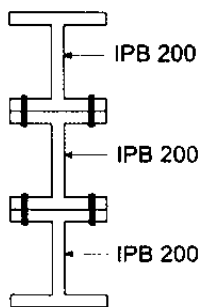
438 kN.m (۳)

657 kN.m (۴)

گزینه ۱

$$M_p = Z_{\text{بال}} \times 240 + Z_{\text{جان}} \times 360 = (250 \times 20 \times 320) \times 240 + \left( \frac{10 \times 300^2}{4} \right) \times 360 = 465 \text{ kN.m}$$

۲- مطابق شکل زیر مقطع یک عضو خمشی از سه نیمرخ IPB200 که به یکدیگر پیچ شده‌اند، تشکیل شده است. چنانچه  $F_y=240 \text{ MPa}$  باشد، لنگر پلاستیک مقطع مرکب نسبت به محور قوی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (فرض کنید اجزای مقطع مرکب دارای عملکرد مشترک هستند).



460 kN.m (۱)

900 kN.m (۲)

600 kN.m (۳)

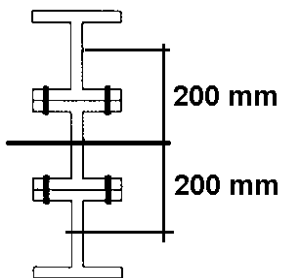
529 kN.m (۴)

گزینه ۲

برای یافتن لنگر پلاستیک ابتدا باید اساس پلاستیک مقطع ( $Z$ ) را بیابیم و می‌دانیم  $Z$  همان لنگر سطوح (لنگر اول سطح) مقطع می‌باشد:

$$Z = Z_{IPB200} + 2(A_{IPB200} \times 200) = 643000 + 2(7810 \times 200) = 3767000 \text{ mm}^3$$

$$M_p = ZF_y = 3767000 \times 240 = 904 \text{ kN.m}$$



۵۰- اساس مقطع پلاستیک مقطع قوطی مربع شکل فولادی با بعد خارجی یک متر و ضخامت 40mm حول قطر مقطع برحسب مترمکعب به کدام مقدار نزدیک تر است؟

۰.۰۲۶ (۲)

۰.۰۱۸ (۱)

۰.۰۲۱ (۴)

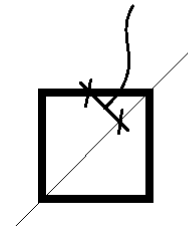
۰.۰۵۲ (۳)

گزینه ۳

البته روی سوال باید به شرح بدین صورت اصلاح شود: "اساس پلاستیک مقطع قوطی..."

محاسبه تقریبی:

فاصله مرکز هر ضلع از تار خنثی برابر است با  $\frac{\sqrt{2}}{4}$



$$Z = 4 \left( \text{فاصله} \times \text{مساحت هر ضلع} \right) = 4 \left( 0.04 \times \frac{\sqrt{2}}{4} \right) = 0.56 m^3$$

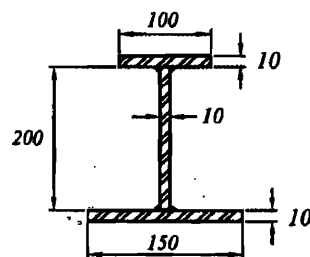
محاسبه دقیق:

اساس پلاستیک مربع توپر برابر است با:

$$Z_{\text{مربع حول قطر}} = a^3 \frac{\sqrt{2}}{6}$$

$$Z_{\text{باکس حول قطر}} = 1^3 \frac{\sqrt{2}}{6} - 0.92^3 \frac{\sqrt{2}}{6} = 0.052164 m^3$$

۱۶- در مقطع نشان داده شده در شکل زیر، فاصله بین محورهای خنثی الاستیک و پلاستیک نسبت به محور قوی برحسب میلی‌متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (ابعاد به میلی‌متر است).



۲۶.۷ (۱)

۱۶.۰ (۲)

۱۳.۳ (۳)

۶.۷ (۴)

گزینه ۳

محل تار خنثی پلاستیک:

مساحت بالای تار باید با مساحت پایین تار برابر باشد:

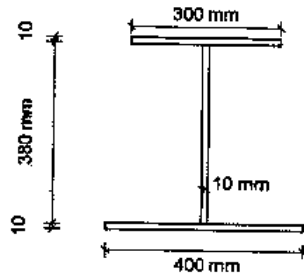
$$150 \times 10 + (Y_p - 10) \times 10 = 100 \times 10 + (210 - Y_p) \times 10 \rightarrow Y_p = 85 \text{ mm}$$

محل تار خنثی الاستیک:

$$Y_e = \frac{1000 \times 215 + 2000 \times 110 + 1500 \times 5}{1000 + 2000 + 1500} = 98.33$$

$$Y_e - Y_p = 98.33 - 85 = 13.33 \text{ mm}$$

۳۳- تیر ورقی با مقطع مقابل از فولاد ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) با اتصال جوش جان به بال ساخته شده و تحت خمش مثبت قرار دارد. نسبت  $\frac{M_p}{M_y}$  به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟



است؟

۱) 1.15

۲) 1.21

۳) 1.30

۴) 1.08

گزینه ۲

یافتن محل تار خنثی الاستیک:

$$Y_e = \frac{300 \times 10 \times 395 + 380 \times 10 \times 200 + 400 \times 10 \times 5}{300 \times 10 + 380 \times 10 + 400 \times 10} = 182 \text{ mm}$$

یافتن تار خنثی پلاستیک:

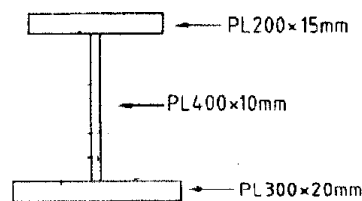
$$300 \times 10 + (390 - Y_p) \times 10 = 400 \times 10 + (Y_p - 10) \times 10 \rightarrow Y_p = 150 \text{ mm}$$

$$S = \frac{I}{Y_e} = \frac{300 \times 10 \times (218 - 5)^2 + \frac{10 \times 380^3}{12} + 10 \times 380 \times 18^2 + 400 \times 10 \times (182 - 5)^2}{218} = 1414591 \text{ mm}^3$$

$$Z = 300 \times 10 \times (250 - 5) + 240 \times 10 \times 120 + 140 \times 10 \times 70 + 400 \times 10 \times 145 = 1701000 \text{ mm}^3$$

$$\frac{M_p}{M_y} = \frac{ZF_y}{SF_y} = \frac{Z}{S} = \frac{1701000}{1414591} = 1.2$$

۱۶- یک تیر ورق به شکل زیر مفروض است. مقدار لنگر پلاستیک این مقطع نسبت به محور قوی بر حسب kN.m به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟  $F_y = 240 \text{ MPa}$  و  $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$



۱) 179

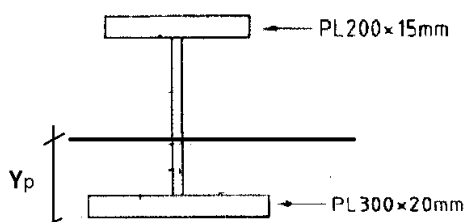
۲) 404

۳) 494

۴) 809

گزینه ۳

ابتدا باید محل تار خنثی پلاستیک بدست آید. محل تار خنثی پلاستیک با برابر قرار دادن مساحت های دو سمت تار خنثی بدست میآید:



$$300 \times 20 + (Y_p - 20) \times 10 = 200 \times 15 + (420 - Y_p) \times 10 \rightarrow Y_p = 70 \text{ mm}$$

پس از یافتن  $Y_p$  باید اساس پلاستیک مقطع محاسبه شود:

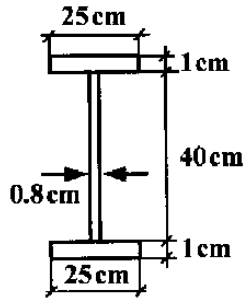
$$Z = 300 \times 20 \times 60 + 50 \times 10 \times 25 + 200 \times 15 \times 357.5 + 350 \times 10 \times 175 = 2057500 \text{ mm}^3$$

$$M_p = ZF_y = (2057500)240 = 493.8 \text{ kN.m}$$

## تمرین: محاسبات-۹۱

۴۴- مقاومت خمشی اسمی  $M_{II}$  تیر ورق روبه‌رو، حول محور  $x$  براساس حالت حدی تسلیم کدام است؟ (لزومی به در نظر گرفتن

کمانش بیچشی - جانبی نمی‌باشد.)  $f_y = 240 \text{ MPa}$



(۱)  $322/8$

(۲)  $321/2$

(۳)  $308/2$

(۴)  $288/7$

گزینه ۱

حالت "حدی" تسلیم خواسته شده:

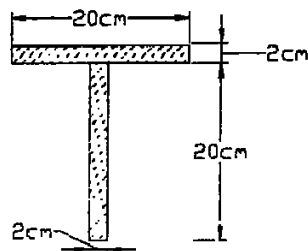
$$M = ZF_y = 2 \times (1 \times 25 \times 20.5 + 20 \times 0.8 \times 10) \times 240 = 1345 \times 240 = 3228000 \text{ kg.cm} \\ = 322.8 \text{ kN.m}$$

## تمرین: محاسبات خرداد ۸۹

۱۶- فاصله بین تار خنثی الاستیک و پلاستیک و همچنین لنگر پلاستیک ( $M_p$ ) مقطع نشان داده شده در شکل

$$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

کدامیک از مقادیر زیر است؟



(۱)  $4/5 \text{ cm}$  و  $10/56 \text{ ton.m}$

(۲)  $4/5 \text{ cm}$  و  $11/52 \text{ ton.m}$

(۳)  $5 \text{ cm}$  و  $9/66 \text{ ton.m}$

(۴)  $5 \text{ cm}$  و  $11/52 \text{ ton.m}$

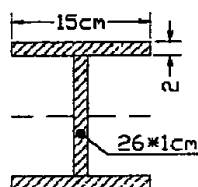
گزینه ۱

تار خنثی الاستیک:

$$Y_e = \frac{40 \times 21 + 40 \times 10}{40 + 40} = 15.5 \text{ cm} \left. \begin{array}{l} Y_p - Y_e = 4.5 \text{ cm} \\ Y_p = 20 \text{ cm} \end{array} \right\} \\ M_p = ZF_y = (40 \times 1 + 40 \times 10)(2400) = 1056000 \text{ kg.cm}$$

## تمرین: محاسبات خرداد ۸۹

۲۳- در مقطع نشان داده شده، لنگر خمشی نظیر شروع تسلیم تقریباً چقدر است؟



$$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

(۲)  $M \approx 24 \text{ ton.m}$

(۴)  $M \approx 18 \text{ ton.m}$

(۱)  $M \approx 21 \text{ ton.m}$

(۳)  $M \approx 14 \text{ ton.m}$

گزینه ۱

$$M_y = SF_y = \left(\frac{I}{c}\right) F_y = \frac{\left(\frac{15 \times 30^3}{12} - \frac{14 \times 26^3}{12}\right)}{15} F_y = 21.19 \text{ t.m}$$

۱۰-۳-۲-۳ ضریب  $R_y$  تولیدات فولاد

طبق تعریف، ضریب  $R_y$  عبارت است از نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده، که به منظور در نظر گرفتن افزایش مقاومت مورد نیاز باید در محاسبات مدنظر قرار گیرد. کاربرد ضریب  $R_y$  در محاسبات لرزه‌ای سازه‌های با شکل پذیری مختلف در بخش‌های مربوطه ارائه شده است. مقدار ضریب  $R_y$  از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$R_y = \frac{F_{ye}}{F_y} \quad (1-2-3-10)$$

که در آن:

$F_y$  = تنش تسلیم تعیین شده فولاد

$F_{ye}$  = تنش تسلیم مورد انتظار فولاد

ضریب  $R_y$  اساساً برای انواع تولیدات فولاد متفاوت بوده و به عوامل متعددی نظیر شکل مقطع، افزودنی‌های به کار رفته در طی روند تولید فولاد در کارخانجات بستگی دارد. مطابق مقررات این مبحث ضریب  $R_y$  باید به شرح جدول ۱۰-۳-۲-۱۰ در نظر گرفته شود.

جدول ۱۰-۳-۲-۱۰ مقادیر  $R_y$  برای انواع تولیدات فولاد

$R_y$	نوع محصول
۱/۲۵	مقاطع لوله‌ای و قوطی شکل نورد شده
۱/۲۰	سایر مقاطع نورد شده شامل مقاطع I شکل، H شکل، ناودانی، نبشی و سپری
۱/۱۵	مقاطع ساخته شده از ورق، ورق‌ها و تسمه‌ها

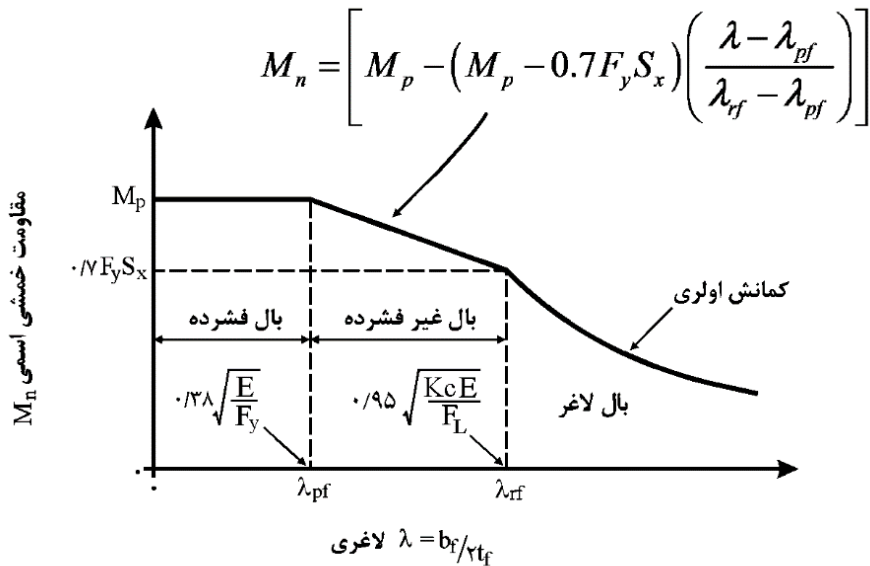
محاسبات-۹۱

۳۳- در یک تیر ورق با مقطع I متقارن، از ورقهای  $PL300 \times 20$  mm برای بال‌ها و از ورق  $PL400 \times 10$  mm برای جان استفاده شده است. در صورتی که نوع فولاد  $St37$  ( $F_y=240$  MPa) باشد، مقدار لنگر پلاستیک مورد انتظار این مقطع بر حسب  $kN.m$  حدوداً برابر است با:

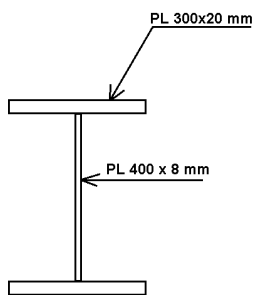
۸۰۰ (۱)  
۷۰۰ (۲)  
۶۰۰ (۳)  
۹۰۰ (۴)

گزینه ۱:

$$M = ZF_{ye} = \left( 2 \times 300 \times 20 \times 210 + \frac{10 \times 400^2}{4} \right) (1.15 \times 240) = 805.92 \times 10^6 \text{ N.mm} = 806 \text{ kN.m}$$



**مثال:** مقاومت خمشی اسمی  $M_n$  را حول محور قوی برای مقطع مقابل محاسبه کنید. فرض کنید تیر دارای مهار جانبی است.



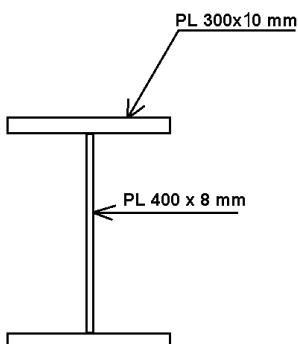
$$M_p = M_n = F_y Z_x = (240) \times \left[ 2 \times \left( 6000 \times 210 + \frac{8 \times 400^2}{4} \right) \right] = 681.6 \text{ kN.m}$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10.97$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{400}{8}}} = 0.56 \quad F_L = 0.7F_y \quad \lambda_r = 0.95 \sqrt{\frac{K_c \times 200000}{0.7 \times 240}} = 24.5$$

$$\lambda = \frac{150}{20} = 7.5$$

**مثال:** مقاومت خمشی اسمی  $M_n$  را حول محور قوی برای مقطع مقابل محاسبه کنید. فرض کنید تیر دارای مهار جانبی است.



$$M_p = F_y Z_x = (240) \times \left[ 2 \times \left( 3000 \times 205 + \frac{8 \times 400^2}{4} \right) \right] = 372 \text{ kN.m}$$

$$M_r = 0.7F_y S_x = (168) \times \left[ \frac{\left( \frac{300 \times 420^3}{12} - \frac{292 \times 400^3}{12} \right)}{210} \right] = 235.9 \text{ kN.m}$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10.97$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{400}{8}}} = 0.56 \quad F_L = 0.7F_y \quad \lambda_r = 0.95 \sqrt{\frac{K_c \times 200000}{0.7 \times 240}} = 24.5$$

$$\lambda = \frac{150}{10} = 15$$

۴۲- بر روی یک تیر دو سر ساده با شیب بسیار کم (فرض کنید افقی) به دهانه ۱.۲ m، مربوط به یک بام با پوشش سبک، بار مرده ۱.۸ kN/m، بار زنده ۳ kN/m، بار برف ۳ kN/m و بار باد ۷.۸۶ kN/m (مکش) محاسبه شده است. اگر این تیر شرایط فشرده‌گی مقطع را داشته باشد و دارای مهار جانبی کافی برای ممانعت از کماتش پیچشی - جانبی باشد، حداقل اساس مقطع پلاستیک لازم حول محور قوی به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ مقطع تیر I شکل با تئارن دو محوره و خمش حول محور قوی است. فولاد از نوع ST37 ( $F_y=240\text{MPa}$ ) فرض شود. سایر بارگذاری‌ها و ترکیب مربوط به آنها حاکم بر طرح نیست. بارها بدون ضریب می‌باشند. (براساس حالت حدی مقاومت حل شود)

$$830 \times 10^3 \text{mm}^3 \quad (۲)$$

$$785 \times 10^3 \text{mm}^3 \quad (۱)$$

$$980 \times 10^3 \text{mm}^3 \quad (۴)$$

$$670 \times 10^3 \text{mm}^3 \quad (۳)$$

گزینه ۱

با توجه به مکشی بودن بار باد از ترکیب بار ۶ برای بار باد استفاده می‌شود.

$$q_u = 1.4 q_D = 1.4 \times 1.8 = 2.52 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_u = 1.2 q_D + 1.6 q_L + 0.5 \text{Max}(q_{Lr}, q_s) = 1.2 \times 1.8 + 1.6 \times 0 + 0.5 \times 3 = 3.66 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_u = 1.2 q_D + 1.6 \text{Max}(q_{Lr}, q_s) + \text{Max}(q_L, 0.7 q_w)$$

$$= 1.2 \times 1.8 + 1.6 \times (3,3) + \text{Max}(0, 0.7 \times -7.86) = 2.16 + 4.8 + 0 = 6.96 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_u = 0.9 q_D + 1.4 q_w = -9.384 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} = 168.9 \text{kN.m}$$

$$\phi M_n = 0.9 Z F_y = 0.9 Z \times 240$$

$$168.9 \times 10^6 < 0.9 Z \times 240 \rightarrow 782 \times 10^3 < Z$$



۱۲- براساس تحلیل سازه لنگرهای خمشی منفی هر دو انتهای تیری از قاب خمشی مهارشده برای ترکیب بارهای مرده و زنده ضریب‌دار (با ضرایب مربوط به ترکیب بار مرده به اضافه بار زنده) در حدود  $225 \text{ kN.m}$  به دست آمده است. طول آزاد تیر برابر ۸ متر و بار گسترده یکنواخت مرده و زنده طراحی آن به ترتیب برابر  $30 \text{ kN/m}$  و  $15 \text{ kN/m}$  می‌باشد. با فرض وجود مهار جانبی کافی برای تیر، برای ترکیب بار مرده و زنده و فقط براساس کنترل مقاومت خمشی تیر کدام مقطع دارای ایمنی کافی و در عین حال اقتصادی‌تر است؟ (فولاد مصرفی دارای تنش تسلیم  $F_y=240 \text{ MPa}$  است).

IPE400 (۲)

IPB240 (۱)

IPB260 (۴)

IPE360 (۳)

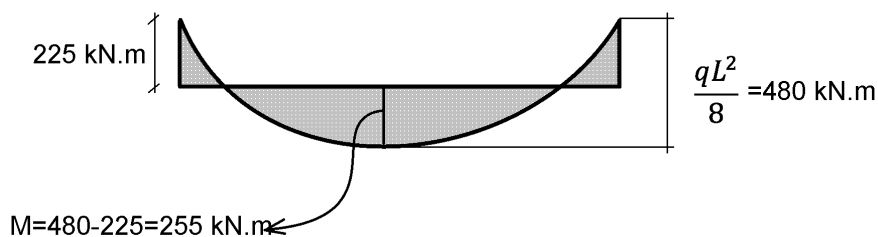
گزینه ۲

تحت ترکیب بار  $1.2D+1.6L$  مقدار کل لنگر وارد بر تیر (مجموع لنگر مثبت و منفی) برابر خواهد بود با:

$$M^+ + M^- = \frac{q_u L^2}{8} = \frac{(1.2 \times 30 + 1.6 \times 15) \times 8^2}{8} = 480 \text{ kN.m}$$

در نتیجه با توجه به شکل زیر حداکثر لنگر وارد بر تیر برابر است با:

$$M^+ = 480 - 225 = 255 \text{ kN.m}$$



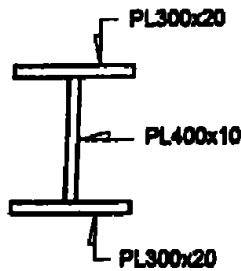
تعیین مقطع لازم برای تیر:

$$M_u = 255 \times 10^6 \leq (\phi Z F_y = 0.9 Z \times 240) \rightarrow Z_{\text{لازم}} = 1.18 \times 10^6 \text{ mm}^3 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \rightarrow \text{Use IPE400}$$

$$Z_{IPE360} = 1.019 \times 10^6$$

$$Z_{IPE400} = 1.3 \times 10^6$$

۳۷- در کنترل کننده ترین مقطع، (مطابق شکل) از یک تیر فولادی، براساس تحلیل سازه، لنگرهای حاصل از بارهای مرده، زنده و زلزله به ترتیب 150 kN.m، 100 kN.m و 250 kN.m است. این بارها بدون ضریب بار بوده و محاسبات زلزله براساس ویرایش سوم استاندارد 2800 انجام گرفته است. حداکثر نسبت مقاومت خمشی مورد نیاز به مقاومت خمشی طراحی این مقطع به کدامیک از گزینه های زیر نزدیکتر است؟ (فولاد مصرفی از ST37 با  $F_y=240\text{MPa}$  بوده و مقطع با دو محور تقارن، تمام شرایط فشرده را دارد و حالت حد کمالتش پدپوشی - جانبی حاکم نمی باشد).



0.80 (۱)

1.15 (۲)

1 (۳)

0.85 (۴)

گزینه ۳

مقاومت خمشی طراحی عضو برابر است با:

$$\phi M_n = 0.9ZF_y = 0.9 \left( 2 \times 300 \times 20 \times 210 + \frac{10 \times 400^2}{4} \right) \times 240 = 630.72 \text{ kN.m}$$

مقاومت خمشی مورد نیاز (لنگر خمشی ضریب دار) برابر است با:

$$M_u = 1.2D + L + 1(1.4E) = 1.2 \times 150 + 100 + 1.4 \times 250 = 630 \text{ kN.m}$$

$$\frac{630}{630.72} = 1$$

دقت شود که ترکیب بار شماره ۵ در شکل زیر بیشترین نیرو را ایجاد می کند. از طرفی نیروی زلزله در صورتی که با استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم محاسبه شود باید با ضریب ۱.۴ افزایش یابد و سپس در ترکیب بار استفاده شود.

۳-۳-۲-۶ ترکیب بارهای حالت های حدی مقاومت در طراحی سایر ساختمان ها از جمله

## ساختمان های فولادی

در طراحی ساختمان های فولادی، به روش ضرایب بار و مقاومت، موضوع مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، و یا دیگر مصالح به جز بتن آرمه، از ترکیب بارهای این بند استفاده می شود. سازه ها و اعضای آن ها باید به گونه ای طراحی شوند که مقاومت طراحی آن ها، بزرگتر و یا برابر با اثرات ناشی از ترکیب بارهای ضریب دار زیر باشند:

- ۱)  $1.4D$
- ۲)  $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
- ۳)  $1.2D + 1.6(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R) + [L \text{ یا } 0.5(1.4W)]$
- ۴)  $1.2D + 1.0(1.4W) + L + 0.5(L_r \text{ یا } S \text{ یا } R)$
- ۵)  $1.2D + 1.0E + L + 0.5S$
- ۶)  $0.8D + 1.0(1.4W)$
- ۷)  $0.8D + 1.0E$
- ۸)  $1.2D + 0.5L + 0.5(L_r \text{ یا } S) + 1.2T$
- ۹)  $1.2D + 1.6L + 1.6(L_r \text{ یا } S) + 1.0T$

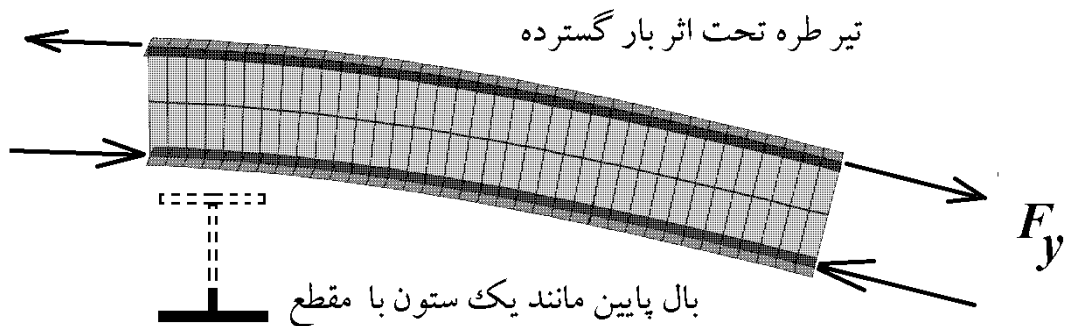
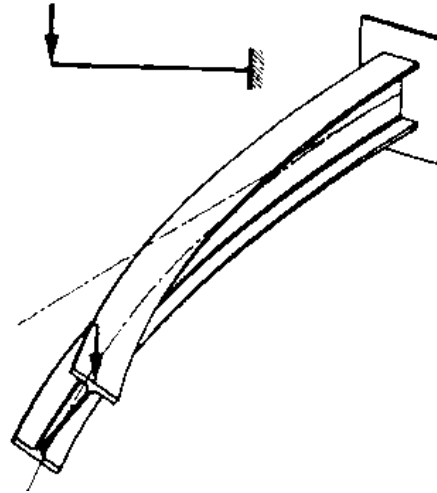
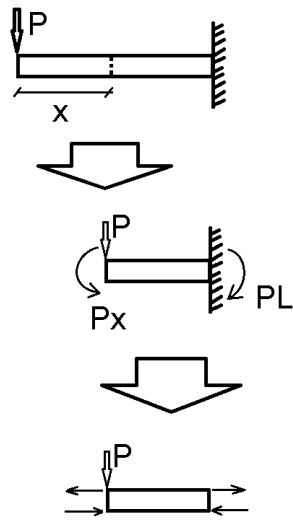
۶-۱۱-۱۰ ترکیب بارهای شامل اثرهای زلزله طرح

اثرات زلزله طرح در ترکیب بارهای فصل دوم استفاده می شود. این اثرات باید بر اساس تراز نهایی، با استفاده از ضریب رفتار نهایی ساختمان، محاسبه شوند. در صورت استفاده از ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰، لازم است نیروهای ناشی از زلزله در ضریب ۱.۴ ضرب شده و سپس در ترکیب بارهای فصل دوم این مبحث استفاده شوند.

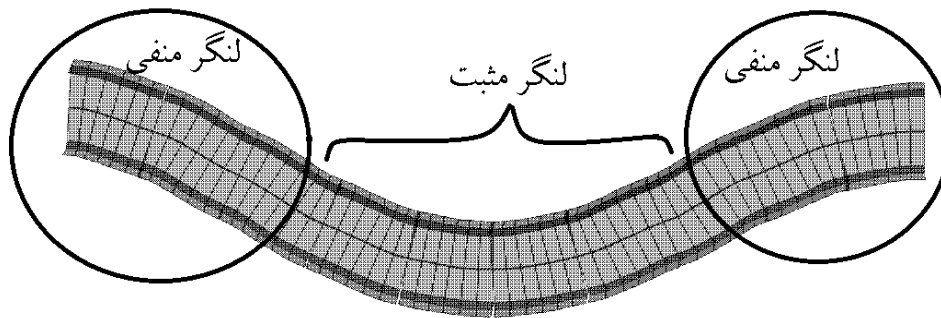
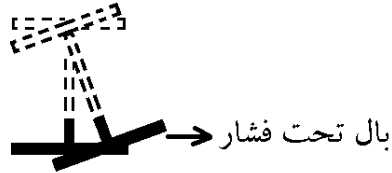
موارد زیر در ترکیب بارهای این بند باید در نظر گرفته شود:

- ضرایب بار مربوط به  $L$  در ترکیب بارهای ۳، ۴ و ۵ را برای کاربری هایی که بار  $L$  آنها کمتر از ۵ کیلونیوتن بر مترمربع است، به استثناء کف پارکینگ ها یا محل های اجتماع عمومی را می توان برابر با ۰.۵ منظور نمود.

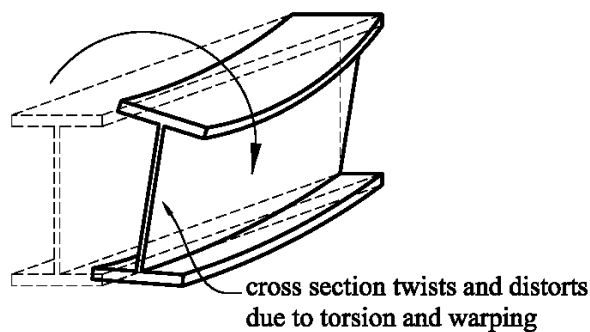
۶-۴- مقاومت خمشی مقاطع بدون مهار جانبی



تحت اثر نیروی فشاری قرار دارد



تیر دوسرگیردار تحت بار گسترده

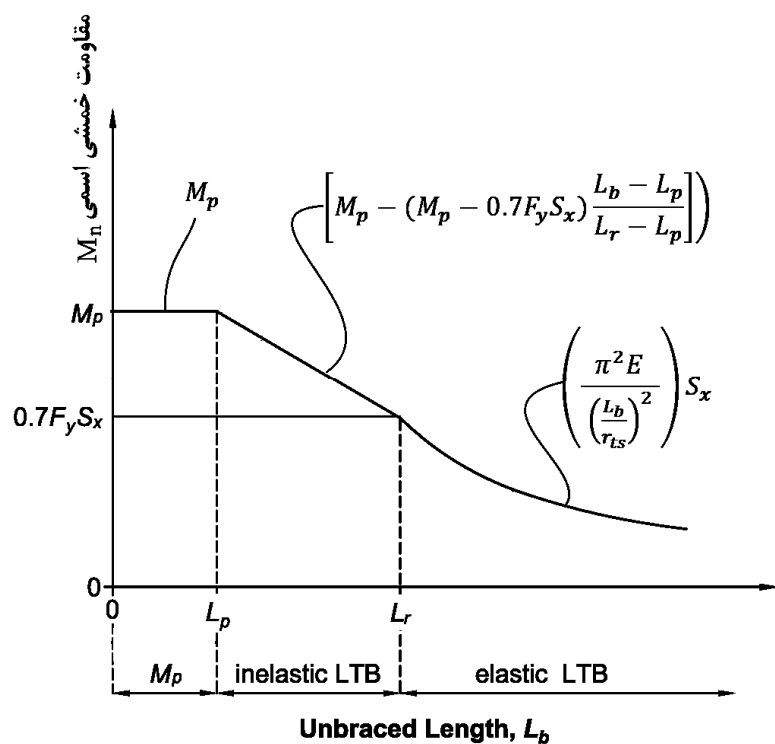


در مقاطع I شکل با فرض:

۱- فشرده بودن مقطع

۲-  $C_b=1$

مقاومت خمشی اسمی مقطع بر اساس نمودار زیر تعیین می شود:



۶-۴-۱- ضریب  $C_b$ 

۱۰-۲-۱- الزامات عمومی

$C_b$	نمودار M
1	
1.136	
1.25	
1.316	
1.667	
2.273	

۱۰-۲-۱-۳ برای اعضا با مقطع دارای یک محور تقارن و با انحنای ساده و خمش حول محور قوی و برای کلیه اعضا با مقطع دارای دو محور تقارن، ضریب اصلاح کمانش پیچشی- جانبی ( $C_b$ ) در نمودار لنگر خمشی غیر یکنواخت در حد فاصل دو مقطع مهارشده از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$C_b = \frac{12/5 M_{max}}{2/5 M_{max} + 2M_A + 4M_B + 2M_C} \quad (1-5-2-10)$$

که در آن:

$M_{max}$  = قدر مطلق لنگر خمشی حداکثر در حد فاصل دو مقطع مهارشده

$M_A$  = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه  $\frac{1}{4}$  طول مهارنشده

$M_B$  = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه  $\frac{1}{2}$  طول مهارنشده

$M_C$  = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه  $\frac{3}{4}$  طول مهارنشده

**تبصره ۱:** برای تیرهای طره‌ای که انتهای آزاد آنها مهار نشده است،  $C_b$  مساوی واحد می‌باشد.

**تبصره ۲:** برای اعضا با مقطع دارای یک محور تقارن و با انحنای مضاعف ضریب اصلاح کمانش

پیچشی- جانبی ( $C_b$ ) باید به شرح زیر با ضریب  $R_m$  تشدید شود. در هر صورت  $C_b$

اصلاح شده نباید از ۳ بزرگتر در نظر گرفته شود

$$R_m = 0.5 + 2 \left( \frac{I_{y, TOP}}{I_y} \right)^2 \quad (2-5-2-10)$$

که در آن:

$I_y$  = ممان اینرسی حول محور اصلی  $y$

$I_{y, TOP}$  = ممان اینرسی بال فوقانی مقطع حول محور اصلی  $y$

**تبصره ۳:** برای اعضای خمشی با مقطع نامتقارن،  $C_b$  را می‌توان به طور محافظه کارانه مساوی واحد

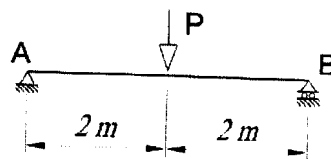
در نظر گرفت.

۱۰-۲-۱-۴ مطابق مقررات این مبحث، از به کار بردن مقاطع فولادی با اجزای لاغر در اعضای

که تحت اثر تنش فشاری ناشی از خمش قرار دارند، باید خودداری شود. مگر برای جان مقاطع

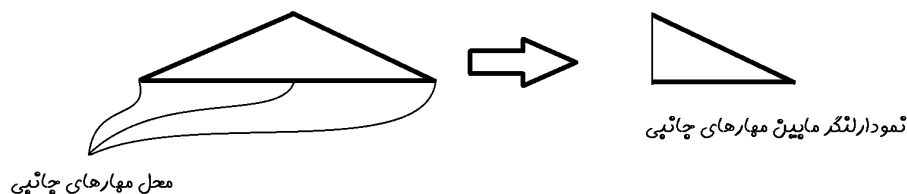
اعضای خمشی که در این صورت الزامات این بخش تعیین کننده خواهد بود.

۱۱- چنانچه تیر دوسر ساده AB (شکل زیر) در تکیه‌گاهها و وسط دهانه دارای مهار جانبی باشد، ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی ( $C_b$ ) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (از اثر وزن تیر صرف‌نظر شود).



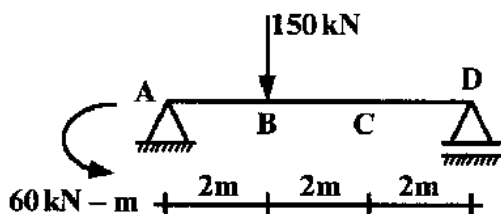
- ۱.۰ (۱)  
۱.۳۲ (۲)  
۱.۶۷ (۳)  
۲.۳۳ (۴)

دیگرام لنگر تحت بار فوق به صورت زیر خواهد بود:



$C_b$	نمودار M
1	
1.136	
1.25	
1.316	
1.667	
2.273	

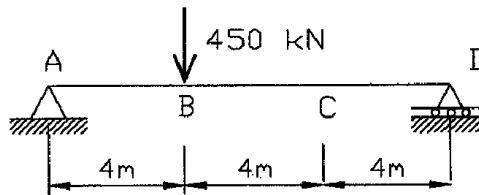
۵۰- در تیر روبه‌رو، کدام رابطه، مقایسه‌ی ضریب یکنواختی نمودار لنگر ( $C_b$ ) را در قسمت‌های AB و BC و CD مشخص می‌نماید؟ (تیر ABCD بدون تکیه‌گاه جانبی می‌باشد)



- (۱)  $(C_b)_{AB} = (C_b)_{BC} = (C_b)_{CD}$   
 (۲)  $(C_b)_{AB} > (C_b)_{CD} > (C_b)_{BC}$   
 (۳)  $(C_b)_{BC} > (C_b)_{CD} > (C_b)_{AB}$   
 (۴)  $(C_b)_{CD} > (C_b)_{AB} = (C_b)_{BC}$

محاسبات - ۹۰

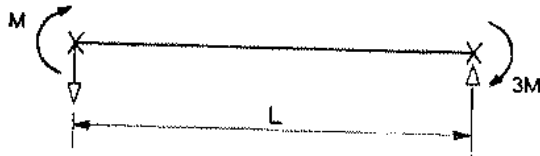
۲۲- چنانچه در تیر شکل زیر در نقاط A, B, C, D از حرکت جانبی بال فشاری جلوگیری شده باشد، ضریب یکنواختی نمودار لنگر خمشی در قسمت BC تیر در طراحی به روش تنش مجاز حدوداً چقدر است؟



- (۱) 2.0  
(۲) 2.3  
(۳) 1.0  
(۴) 1.3

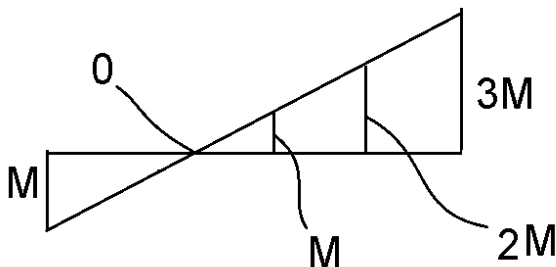
محاسبات ۹۵

۳۸- در عضو خمشی نشان داده شده در شکل زیر، که در دو انتهای خود دارای مهار جانبی بوده و در طول خود فاقد بار خارجی است، مقدار ضریب اصلاح گمانش پیچشی - جانبی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (مقطع عضو دارای دو محور تقارن است.)



- (۱) 2.14  
(۲) 1.60  
(۳) 1.36  
(۴) 1.0

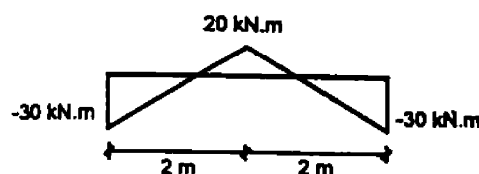
گزینه ۱



$$\left. \begin{array}{l} M_A = 0 \\ M_B = M \\ M_C = 2M \end{array} \right\} C_b = \frac{12.5 \times 3M}{2.5 \times 3M + 3 \times 0 + 4 \times M + 3 \times 2M} = 2.14$$

محاسبات ۹۳

۴۳- نمودار لنگر خمشی یک تیر فولادی IPE300 بطول 4 m به صورت زیر می باشد. در صورتیکه تیر در تکیه گاهها و در وسط دهانه دارای مهار جانبی باشد، ضریب اصلاح گمانش پیچشی - جانبی (C<sub>b</sub>) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟

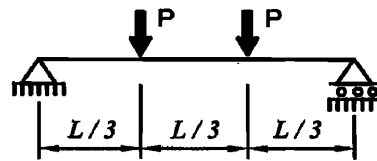


- (۱) 3.0  
(۲) 1.2  
(۳) 2.0  
(۴) 2.2

گزینه ۴

$$C_b = \frac{12.5 \times 30}{2.5 \times 30 + 3 \times 17.5 + 4 \times 5 + 3 \times 7.5} = 2.206$$

۶- چنانچه مقطع تیر فولادی نشان داده شده در شکل زیر دارای دو محور تقارن بوده و تیر در تکیه‌گاه‌ها و در وسط دهانه دارای مهار جانبی باشد، مقدار ضریب  $C_b$  به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟



1.00 (۱)

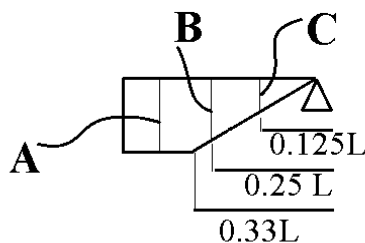
1.14 (۲)

1.30 (۳)

1.67 (۴)

گزینه ۳

$$\left. \begin{aligned} M_A &= M \\ M_B &= \frac{0.25}{0.333} M = 0.75M \\ M_C &= \frac{0.125}{0.333} M = 0.375M \end{aligned} \right\} C_b = \frac{12.5 \times M}{2.5M + 3M + 4 \times 0.75M + 3 \times 0.375M} = 1.299$$



$$C_b = \frac{12/5 M_{max}}{2/5 M_{max} + 2M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (1-5-2-10)$$

که در آن:

 $M_{max}$  = قدر مطلق لنگر خمشی حداکثر در حد فاصل دو مقطع مهارشده $M_A$  = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه  $\frac{1}{4}$  طول مهارنشده $M_B$  = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه  $\frac{1}{4}$  طول مهارنشده $M_C$  = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه  $\frac{3}{4}$  طول مهارنشده

۳۴- مقدار  $C_b$  (ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی) محاسبه شده برای یک تیر دوسر ساده با بار متمرکز در وسط دهانه که در تکیه‌گاه‌ها و وسط دهانه مهار شده است، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (خمش حول محور قوی و مقطع تیر دارای دو محور تقارن فرض شود.)

1.7 (۴)

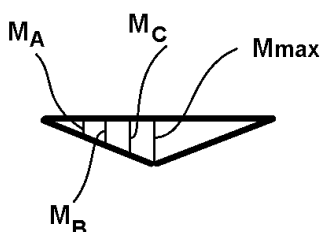
2 (۳)

1.5 (۲)

1.9 (۱)

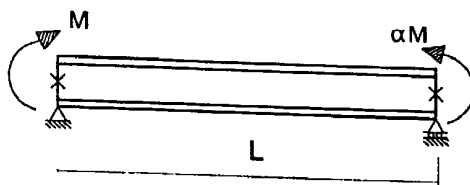
گزینه ۴

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3\left(\frac{M_{max}}{4}\right) + 4\left(\frac{M_{max}}{2}\right) + 3\left(\frac{3M_{max}}{4}\right)} = 1.67$$





۸- در تیر فولادی دوسر ساده شکل زیر، در حالت کلی به ازای چه مقداری از  $\alpha$ ، مقاومت خمشی اسمی ناشی از کمانش پیچشی - جانبی دارای کمترین مقدار خواهد بود؟ (فرض کنید مهارهای جانبی فقط در ابتدا و انتهای تیر قرار دارد و تیر در طول خود فاقد بار است.)



$$\alpha = 2.0 \quad (1)$$

$$\alpha = 1.0 \quad (2)$$

$$\alpha = 0.5 \quad (3)$$

$$\alpha = 0.0 \quad (4)$$

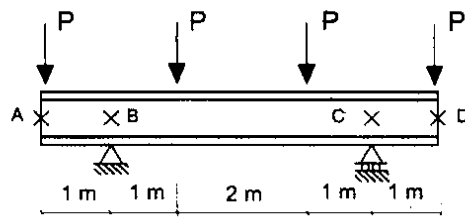
گزینه ۲

با توجه به شکل زیر کمترین مقاومت زمانی حاصل می شود که در سراسر تیر مقدار لنگر ثابت باشد ( $C_b=1$ )

بنابراین اگر ضریب  $\alpha$  برابر یک باشد، احتمال کمانش پیچشی جانبی افزایش یافته و تیر کمترین مقاومت ممکن را خواهد داشت.

$C_b$	نمودار M
1	
1.136	
1.25	
1.316	
1.667	
2.273	

۱- در تیر با مقطع IPE180 شکل زیر، فرض کنید در نقاطی که با علامت  $\times$  مشخص شده است، مهارهای جانبی وجود دارد. مقدار ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی ( $C_b$ ) در ناحیه BC به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (از وزن واحد طول تیر صرف نظر شود).



(۱) 5

(۲) 1.0

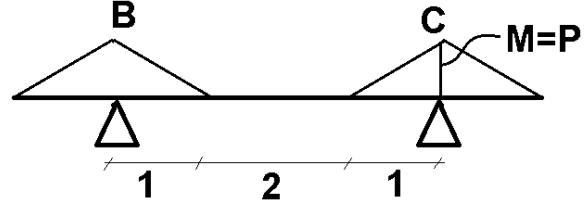
(۳) 1.67

(۴) 3

گزینه ۱

با توجه به شکل زیر در فاصله نقاط B تا C مقدار قدر مطلق لنگر در یک چهارم ابتدایی، یک دوم میانی و سه چهارم طول تیر برابر با صفر است و بنابراین داریم:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M + 4M + 3M} = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max}} = 5$$



- در اصلاحیه مبحث دهم (به شکل زیر توجه کنید) برای  $C_b$  محدودیت ۳ قرار داده شده است. منتهی این محدودیت تنها برای مواردی عنوان شده که ضریب  $C_b$  بر اساس تبصره ۲ (با اعمال ضریب  $R_m$ ) اصلاح شود. در این سوال "طبق مبحث دهم" محدودیت ۳ برای  $C_b$  حاکم نیست و بنابراین مقدار  $C_b=5$  خواهد بود.

۱۰-۲-۵-۱-۳ برای اعضا با مقطع دارای یک محور تقارن و با انحنای ساده و خمش حول محور قوی و برای کلیه اعضا با مقطع دارای دو محور تقارن، ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی ( $C_b$ ) در نمودار لنگر خمشی غیر یکنواخت در حد فاصل دو مقطع مهارشده از رابطه زیر تعیین می شود.

$$C_b = \frac{12/\Delta M_{max}}{2/\Delta M_{max} + 2M_A + 2M_B + 2M_C} \quad (1-5-2-10)$$

$M_{max}$  = قدر مطلق لنگر خمشی حداکثر در حد فاصل دو مقطع مهارشده

$M_A$  = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه  $\frac{1}{4}$  طول مهارنشده

$M_B$  = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه  $\frac{1}{2}$  طول مهارنشده

$M_C$  = قدر مطلق لنگر خمشی در نقطه  $\frac{3}{4}$  طول مهارنشده

تبصره ۱: برای تیرهای طرفی که انتهای آزاد آنها مهار نشده است،  $C_b$  مساوی واحد می باشد.


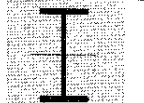


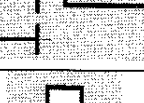
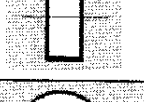



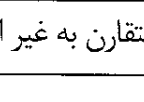
تبصره ۲: برای اعضا با مقطع دارای یک محور تقارن و با انحنای مضاعف ضریب اصلاح کمانش

پیچشی - جانبی ( $C_b$ ) باید به شرح زیر با ضریب  $R_m$  تشدید شود.

$$R_m = 1.0 + \frac{I_{y, Top}}{I_y} \quad (2-5-2-10)$$

ردیف	شرح	غلط	صحیح
۲۳	صفحه ۶۲ سطر دوم از انتهای صفحه، تبصره ۲	با ضریب $R_m$ تشدید شود	با ضریب $R_m$ اصلاح شود. در هر صورت $C_b$ اصلاح شده نباید از ۳ بزرگتر در نظر گرفته شود

## جدول ۱۰-۲-۵-۱ انتخاب بند مربوط به تعیین مقاومت خمشی اسمی

حالت حدی	لاغری جان	لاغری بال	مقطع	بند مربوطه
Y, LTB	C	C		۲-۵-۲-۱۰
LTB, FLB	C	NC		۳-۵-۲-۱۰
Y, LTB, FLB, TFY	C, NC	C, NC		۴-۵-۲-۱۰
Y, LTB, FLB, TFY	S	C, NC		۵-۵-۲-۱۰
Y, FLB	N/A	C, NC		۶-۵-۲-۱۰
Y, FLB, WLB	C, NC	C, NC		۷-۵-۲-۱۰
Y, LB	N/A	N/A		۸-۵-۲-۱۰
Y, LTB, FLB	N/A	C, NC		۹-۵-۲-۱۰
Y, LTB, LLB	N/A	N/A		۱۰-۵-۲-۱۰
Y, LTB	N/A	N/A		۱۱-۵-۲-۱۰
کلیه حالت‌های حدی	N/A	N/A	مقاطع نامتقارن به غیر از نبش تک	۱۲-۵-۲-۱۰

Y = تسلیم

LTB = کمانش پیچشی - جانبی

FLB = کمانش موضعی بال

WLB = کمانش موضعی جان

TFY = تسلیم کششی بال

LLB = کمانش موضعی ساق

LB = کمانش موضعی

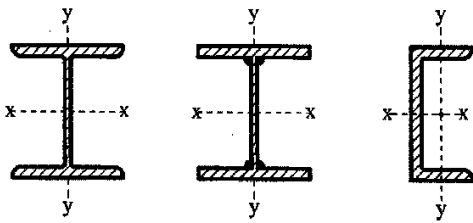
C = فشرده

NC = غیر فشرده

S = لاغری

N/A = کاربرد ندارد.

## ۶-۵-۲-۱۰-مقطع I شکل و ناودانی با بال و جان فشرده (Mx)



(بال‌ها و جان فشرده) (بال‌ها و جان فشرده) (بال‌ها و جان فشرده)

۲-۵-۲-۱۰ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل فشرده با دو محور تقارن و اعضای با مقطع ناودانی فشرده تحت خمش حول محور قوی

مقاومت خمشی اسمی،  $M_n$ ، این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی تسلیم و کمانش پیچشی-جانبی در نظر گرفته شود.

(الف) حالت حدی تسلیم

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (۳-۵-۲-۱۰)$$

(ب) حالت حدی کمانش پیچشی-جانبی

ب-۱) اگر  $L_b \leq L_p$  باشد لزومی به در نظر گرفتن کمانش پیچشی-جانبی نمی‌باشد.

ب-۲) برای  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b [ M_p - (M_p - \phi F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) ] \leq M_p \quad (۴-۵-۲-۱۰)$$

ب-۳) برای  $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (۵-۵-۲-۱۰)$$

در رابطه فوق:

$L_b$  = فاصله بین دو مقطع از طول عضو که در آن مقاطع از تغییرمکان جانبی بال فشاری یا از پیچش کل مقطع جلوگیری شده است که در این بخش برای اختصار و سادگی به عنوان فاصله تکیه‌گاه‌های جانبی نامگذاری می‌شود.

$L_p$  = طول مهارنشده عضو مطابق رابطه زیر، که مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش پیچشی-جانبی غیرارتجاعی را مشخص می‌کند.

$$L_p = \phi / \phi \Gamma_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (۶-۵-۲-۱۰)$$

$L_r$  = طول مهارنشده عضو مطابق رابطه زیر، که مرز بین حالت حدی کمانش پیچشی-جانبی غیرارتجاعی و ارتجاعی را مشخص می‌کند.

$$L_r = \phi / \phi \Gamma_{TS} \frac{E}{\phi F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left( \frac{Jc}{S_x h_o} \right)^2 + \phi / \phi \left( \frac{\phi F_y}{E} \right)^2}} \quad (۷-۵-۲-۱۰)$$

$F_{cr}$  = تنش کمانش الاستیک پیچشی-جانبی مطابق رابطه زیر:

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + \phi / \phi \gamma \lambda \frac{Jc}{S_x h_o} \left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad (۸-۵-۲-۱۰)$$

تبصره: در رابطه ۸-۵-۲-۱۰ عبارت زیر رادیکال را می‌توان به طور محافظه‌کارانه مساوی واحد در نظر گرفت.

$C =$  ضریبی است طبق روابط زیر:

$C = 1$  برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن

برای مقاطع ناودانی  $C = \frac{h_o}{\phi} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

$C_w =$  ثابت پیچش تابیدگی

یادداشت: برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن،  $C_w = \frac{I_y h_o^3}{\phi}$  بوده و لذا رابطه ۹-۵-۲-۱۰ برای

مقاطع I شکل به صورت زیر ساده می‌شود.

$$\Gamma_{TS}^2 = \frac{I_y h_o}{\phi S_x} \quad (۱۰-۵-۲-۱۰)$$

همچنین  $\Gamma_{TS}$  را می‌توان به طور محافظه‌کارانه شعاع ژیراسیون مقطعی شامل بال فشاری و یک ششم جان نسبت به محور مار بر جان در نظر گرفت.

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{h t_w}{\phi b_f t_f} \right)}} \quad (۱۱-۵-۲-۱۰)$$

و  $b_f$  به ترتیب ضخامت و پهنای بال فشاری مقطع

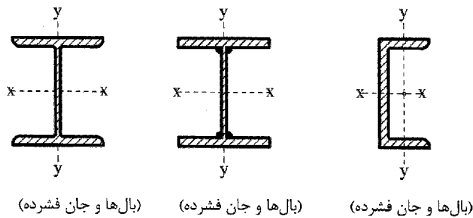
$$J = \text{ثابت پیچشی (مساوی } \sum (bt^3) \text{)}$$

$S_x =$  اساس مقطع الاستیک نسبت به محور x

$h_o =$  فاصله مرکز تا مرکز بال‌ها

$\Gamma_{TS} =$  شعاع ژیراسیون موثر طبق رابطه زیر:

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (۹-۵-۲-۱۰)$$

۱- محاسبه  $L_p$  و کنترل لزوم در نظر گیری کمانش پیشی جانبی

$$L_p = 1.76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 50.8 \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

۲- محاسبه  $C_w$ 

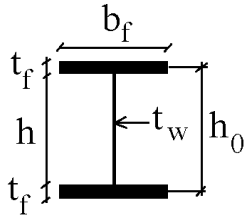
$C_w =$  ثابت پیش تابیدگی

یادداشت: برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن،  $C_w = \frac{I_y h_o^2}{4}$  بوده

در مبحث دهم تنها  $C_w$  مربوط به مقطع I شکل ارائه شده است. برای مقطع ناودانی رابطه ای ارائه نشده و باید از روابط موجود در کتب فولاد استفاده کرد.

۳- محاسبه  $c$ 

$c =$  ضریبی است طبق روابط زیر:



$c = 1$  برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن  
 $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$  برای مقاطع ناودانی

۴- محاسبه  $r_{ts}$ 

$r_{ts} =$  شعاع ژیراسیون موثر طبق رابطه زیر:

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (9-5-2-10)$$

یادداشت: برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن،  $C_w = \frac{I_y h_o^2}{4}$  بوده و لذا رابطه ۹-۵-۲-۱۰ برای مقاطع I شکل به صورت زیر ساده می شود.

$$r_{ts}^2 = \frac{I_y h_o}{2 S_x} \quad (10-5-2-10)$$

همچنین  $r_{ts}$  را می توان به طور محافظه کارانه شعاع ژیراسیون مقطعی شامل بال فشاری و یک ششم جان نسبت به محور مار بر جان در نظر گرفت.

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{h t_w}{6 b_f t_f} \right)}} \quad (11-5-2-10)$$

۵- محاسبه  $L_r$ 

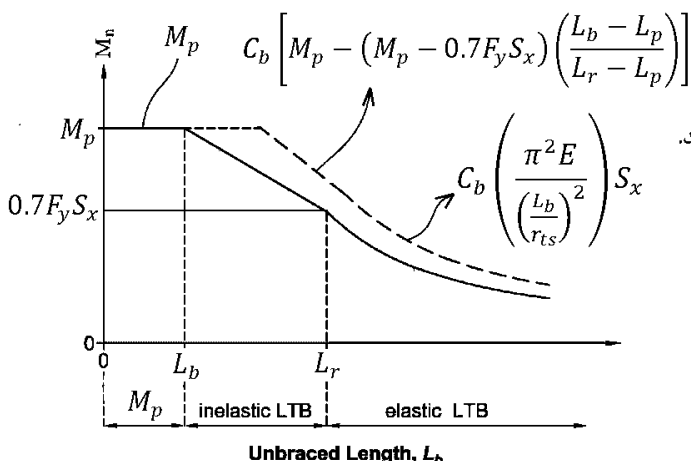
$$L_r = 1/95 r_{ts} \frac{E}{F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left( \frac{Jc}{S_x h_o} \right)^2 + 6/76 \left( \frac{F_y}{E} \right)^2}} \quad (7-5-2-10)$$

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

۶- محاسبه  $C_b$ ۷- محاسبه  $F_{cr}$ 

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.7 \lambda \frac{Jc}{S_x h_o} \left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \quad (8-5-2-10)$$

تبصره: در رابطه ۸-۵-۲-۱۰ عبارت زیر رادیکال را می توان به طور محافظه کارانه مساوی واحد در نظر گرفت.

۸- محاسبه  $M_n$ 

ب-۱) اگر  $L_b \leq L_p$  باشد لزومی به در نظر گرفتن کمانش پیشی-جانبی نمی باشد.

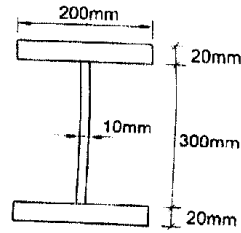
ب-۲) برای  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \quad (4-5-2-10)$$

ب-۳) برای  $L_b > L_r$ :

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (5-5-2-10)$$

۱۰- چنانچه مقطع یک تیر مطابق شکل زیر باشد، طول مهارنشده آن که مرز بین حالت حدی تسلیم و حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی غیرارتجاعی را مشخص می‌کند، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟  $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$  و  $F_y = 240 \text{ MPa}$

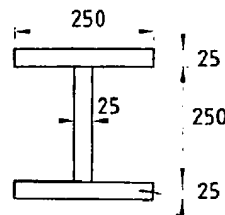


- (۱) 3.0 m  
(۲) 2.5 m  
(۳) 2.0 m  
(۴) 1.5 m  
گزینه ۲

با توجه به خلاصه روابط انتهای جزوه داریم:

$$L_p = 1.76 \sqrt{\frac{I_x}{A}} \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \sqrt{\frac{2 \times \frac{20 \times 200^3}{12} + \frac{300 \times 10^3}{12}}{2 \times 20 \times 200 + 10 \times 300}} \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \sqrt{\frac{26691667}{11000}} \sqrt{\frac{200000}{240}} = 2502 \text{ mm}$$

۱۱- ثابت پیچش تابیدگی مقطع نشان‌داده شده در شکل زیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (ابعاد مقطع بر حسب میلی‌متر است)



- (۱)  $1230000 \times 10^6 \text{ mm}^6$   
(۲)  $1850000 \times 10^6 \text{ mm}^6$   
(۳)  $650000 \times 10^6 \text{ mm}^6$   
(۴)  $2420000 \times 10^6 \text{ mm}^6$

گزینه ۱

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} = \frac{\left(2 \times \frac{25 \times 250^3}{12} + \frac{250 \times 25^3}{12}\right) \times 275^2}{4} = 1.237 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

$C_w =$  ثابت پیچش تابیدگی

یادداشت: برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن،  $C_w = \frac{I_y h_0^2}{4}$  بوده

۲۰  
۲۷- بال فشاری تیر AB با مقطع IPE ۲۴ فقط در نقاط A و B دارای اتکاء جانبی است و بار متمرکز P، بر حسب تن، در وسط تیر از بال تحتانی آویزان است. اگر از اثر وزن تیر در محاسبات صرف نظر شود، مقدار مجاز بار P برابر است با:

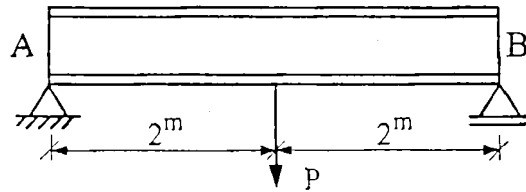
~~$$\text{IPE}24(d = 24 \text{ cm}, t_f = 0.748 \text{ cm}, b_f = 12 \text{ cm}, W_x = 324 \text{ cm}^3) \quad F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$$~~

$$P = 5/1^t \quad (1)$$

$$P = 4/7^t \quad (2)$$

$$P = 3/3^t \quad (3)$$

$$P = 1/7^t \quad (4)$$



علامت اختصاری	اندازه بر حسب میلیمتر						A <sub>Steg</sub> cm <sup>2</sup>	A cm <sup>2</sup>	G kg/m	محورهای خمش						S <sub>y</sub> cm	سوراج های لبه طبق DIN 997 چاپ اکتبر 1970 (*)	
	h	b	t <sub>s</sub>	t <sub>g</sub>	r	h-2c				y-y			z-z				d <sub>1</sub> mm	w <sub>1</sub> mm
										I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>z</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> cm			
			s	t			F		J <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	S <sub>x</sub>			
IPE	تیر آ باریک با لبه های موازی. ردیف IPE (گرم نورد شده) طبق DIN 1025 قسمت پنجم. چاپ مارچ 1994 و استاندارد اروپا 19-57 مقادیر مجاز و تیرانس طبق DIN EN 10034. چاپ مارچ 1994																	
80	80	46	3.8	5.2	5	59	2.84	7.64	6.00	80.1	20.0	3.24	8.49	3.69	1.05	6.9	6.4	26
100	100	55	4.1	5.7	7	74	3.87	10.3	8.10	171	34.2	4.07	15.9	5.79	1.24	8.6	8.4	30
120	120	64	4.4	6.3	7	93	5.00	13.2	10.4	318	53.0	4.90	27.7	8.65	1.45	10.5	8.4	36
140	140	73	4.7	6.9	7	112	6.26	16.4	12.9	541	77.3	5.74	44.9	12.3	1.65	12.3	11	40
160	160	82	5.0	7.4	9	127	7.63	20.1	15.8	869	109	6.58	68.3	16.7	1.84	14.0	13 (**)	44
180	180	91	5.3	8.0	9	146	9.12	23.9	18.8	1320	146	7.42	101	22.2	2.05	15.8	13	50
200	200	100	5.6	8.5	12	159	10.7	28.5	22.4	1940	194	8.26	142	28.5	2.24	17.6	13	56

با توجه به جدول انتهای جزوه برای IPE200 داریم:

$$L_p = 1133 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad L_p < (L_b = 4000 \text{ mm}) < L_r$$

$$L_r = 4223 \text{ mm}$$

$$C_b = 1.316$$

$$M_p = ZF_y = 221000 \times 240 = 53.04$$

$$S_x F_y = 194300 \times 240 = 46.6$$

$$\varphi M_n = 0.9 C_b M_n = 0.9 C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7 S_x F_y) \frac{4000 - 1133}{4223 - 1133} \right]$$

$$= 0.9 \times 1.316 \left[ 53.04 - (53.04 - 0.7 \times 46.6) \frac{4000 - 1133}{4223 - 1133} \right] = 40.19 \text{ kN.m}$$

با فرض اینکه بار از نوع مرده باشد:

$$\frac{(1.4P)L}{4} < 40.19 \text{ kN.m} \quad \Rightarrow \quad P < 28.7 \text{ kN} = 2.87 \text{ ton}$$

۲۵- یک تیر خمشی با مقطع IPE270 تحت خمش یکنواخت حول محور قوی قرار دارد. در صورتیکه دهانه تیر 6 متر و فواصل تکیه‌گاه‌های جانبی بال فشاری 3 متر باشد. مقاومت خمشی اسمی این عضو به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟  $M_p$  لنگر پلاستیک بوده و  $Z_x = 1.12S_x$  فرض شود.

0.75  $M_p$  (۱) $M_p$  (۲)0.9  $M_p$  (۳)0.85  $M_p$  (۴)

گزینه ۴

طراح فراموش کرده است که تنش تسلیم را ارائه کند. البته با توجه به اینکه تمام مقاطع IPE موجود در ایران از نوع S240 می باشند، تنش تسلیم برابر 240MPa فرض می شود.

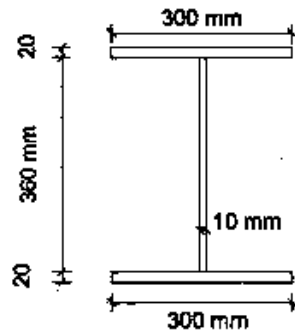
$$L_b = 3000 \text{ mm} \quad L_p = 1534 \text{ mm} \quad r_{ts} = 35.7 \text{ mm} \quad L_r = 5260 \text{ mm}$$

برای مقادیر فوق برای IPE270 می توان از جدول انتهایی جزوه استفاده نمود.

با توجه به اینکه خمش یکنواخت داریم،  $C_b$  برابر یک خواهد بود.

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7S_x F_y) \frac{3000 - 1534}{5260 - 1534} \right] = 1 \times \left[ M_p - (M_p - 0.625M_p) \frac{3000 - 1534}{5260 - 1534} \right] = 0.85M_p$$

۳۰- مقطع مقابل تحت خمش حول محور قوی است. مقدار شعاع زیراسیون مؤثر (3) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فولاد از نوع ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) می باشد.



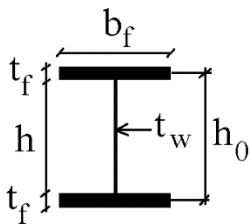
25 mm (۱)

50 mm (۲)

85 mm (۳)

100 mm (۴)

گزینه ۳



$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{ht_w}{6b_f t_f} \right)}}$$

$$r_{ts} = \frac{300}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{1}{6} \times \frac{360 \times 10}{300 \times 20} \right)}} = 82.5$$



## ۶-۶-۱-۰ مقطع I شکل با بال غیر فشرده و جان فشرده (Mx)

مقاومت خمشی اسمی،  $M_n$ ، این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی کمانش پیچشی- جانبی و کمانش موضعی بال فشاری در نظر گرفته شود.

الف) حالت حدی کمانش پیچشی- جانبی

الزامات این حالت حدی عیناً مشابه الزامات بند ۲-۵-۲-۱۰ ب می‌باشد.

ب) حالت حدی کمانش موضعی بال فشاری غیرفشرده

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (۱۲-۵-۲-۱۰)$$

که در آن:

$$\lambda = \frac{b_f}{r_{tf}}$$

$\lambda = \lambda_{pf} = \lambda_{p}$  حد لاغری برای بال فشرده - مطابق جداول ۳-۲-۲-۱۰ و ۴-۲-۲-۱۰

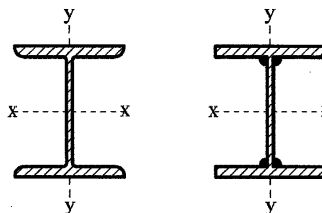
$\lambda = \lambda_{rf} = \lambda_{r}$  حد لاغری برای بال غیرفشرده - مطابق جداول ۳-۲-۲-۱۰ و ۴-۲-۲-۱۰

$b_f$  و  $r_{tf}$  به ترتیب ضخامت و پهنای بال فشاری مقطع

۳-۵-۲-۱۰ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل با دو محور تقارن با بال‌های

غیرفشرده و جان فشرده حول محور قوی

الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل با دو محور تقارن با بال‌های غیرفشرده و جان فشرده که تحت اثر خمش حول محور قوی قرار دارند.



(بال‌ها غیرفشرده، جان فشرده) (بال‌ها غیرفشرده، جان فشرده)

۱- محاسبه  $L_p$  و کنترل لزوم در نظر گیری کمانش پیچشی جانبی

۲- محاسبه  $r_{ts}$

۳- محاسبه  $L_r$

۴- محاسبه  $C_b$

۵- محاسبه  $F_{cr}$

۶- محاسبه  $M_n$  بر اساس معیار کمانشی پیچشی جانبی

ب-۱) اگر  $L_b \leq L_p$  باشد لزومی به در نظر گرفتن کمانش پیچشی- جانبی نمی‌باشد.

ب-۲) برای  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (۴-۵-۲-۱۰)$$

ب-۳) برای  $L_b > L_r$ :

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (۵-۵-۲-۱۰)$$

۷- محاسبه  $M_n$  بر اساس معیار کمانشی کمانش موضعی

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (۱۲-۵-۲-۱۰)$$

که در آن:

$$\lambda = \frac{b_f}{r_{tf}}$$

$\lambda = \lambda_{pf} = \lambda_{p}$  حد لاغری برای بال فشرده - مطابق جداول ۳-۲-۲-۱۰ و ۴-۲-۲-۱۰

$\lambda = \lambda_{rf} = \lambda_{r}$  حد لاغری برای بال غیرفشرده - مطابق جداول ۳-۲-۲-۱۰ و ۴-۲-۲-۱۰

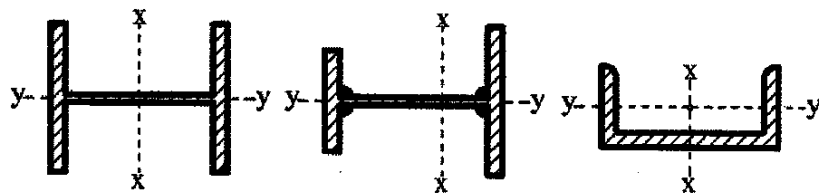
$b_f$  و  $r_{tf}$  به ترتیب ضخامت و پهنای بال فشاری مقطع

۸- محاسبه  $M_n$  بر اساس حداقل موارد فوق

$$M_n = \min \left\{ M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right), \begin{array}{l} L_p < L_b \leq L_r \rightarrow C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \\ L_r < L_b \rightarrow F_{cr} S_x \leq M_p \end{array} \right\}$$

## ۶-۷- مقطع I شکل و ناودانی حول محور ضعیف (My)

۱-۲-۵-۶ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل و ناودانی حول محور ضعیف الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع I شکل و ناودانی که تحت اثر خمش حول محور ضعیف قرار دارند.



(بالها فشرده یا غیرفشرده، جان فشرده یا غیرفشرده و یا لاغر)

مقاومت خمشی اسمی،  $M_n$ ، این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت حدی تسلیم و کمانش موضعی بال در نظر گرفته شود.

الف) تسلیم

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1/6 F_y S_y \quad (۴۱-۵-۲-۱۰)$$

که در آن:

$F_y$  = تنش تسلیم فولاد

$S_y$  = اساس مقطع الاستیک نسبت به محور ضعیف (محور Y)

$Z_y$  = اساس مقطع پلاستیک نسبت به محور ضعیف (محور Y)

ب) کمانش موضعی بال

ب-۱) برای مقاطع با بالهای فشرده لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی بال نمی‌باشد.

ب-۲) برای مقاطع با بالهای غیرفشرده:

$$M_n = [M_p - (M_p - 0.7F_y S_y) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)] \quad (۴۲-۵-۲-۱۰)$$

که در آن:

$S_y$  = اساس مقطع الاستیک نسبت به محور ضعیف (محور Y)

$\lambda$ ،  $\lambda_{pf}$  و  $\lambda_{rf}$  عبارتند از:

$$\lambda = \frac{b}{t_f} \quad \leftarrow \quad \lambda = \frac{b}{2t_f}$$

$\lambda_p = \lambda_{pf}$  = حد لاغری برای بال فشرده مطابق جداول ۳-۲-۲-۱۰ و ۴-۲-۲-۱۰

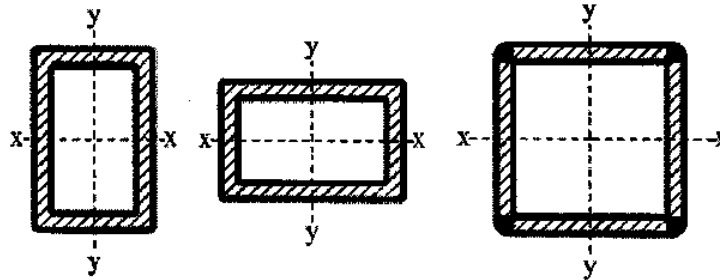
$\lambda_r = \lambda_{rf}$  = حد لاغری برای بال غیرفشرده مطابق جداول ۳-۲-۲-۱۰ و ۴-۲-۲-۱۰

$b$  = پهنای کلی بال برای مقاطع ناودانی و نصف پهنای کلی بال برای مقاطع I شکل

$t_f$  = ضخامت بال

## ۶-۸- مقطع باکس (My, Mx)

۱۰-۲-۵-۷ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع قوطی شکل حول محورهای قوی و ضعیف الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع قوطی شکل با بال‌ها و جان‌های فشرده یا غیرفشرده که تحت اثر خمش حول محورهای قوی یا ضعیف قرار دارند.



(بال‌ها فشرده یا غیرفشرده، جان‌ها فشرده یا غیرفشرده)

مقاومت خمشی اسمی،  $M_n$  این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی تسلیم، کمانش موضعی بال و کمانش موضعی جان در نظر گرفته شود.

الف) تسلیم

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (۴۳-۵-۲-۱۰)$$

ب) کمانش موضعی بال

ب-۱) برای مقاطع با بال‌های فشرده لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی بال نمی‌باشد.

ب-۲) برای مقاطع با بال‌های غیرفشرده:

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left[ \frac{2}{5} \gamma \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4 \right] \leq M_p \quad (۴۴-۵-۲-۱۰)$$

$S$  = اساس مقطع الاستیک نسبت به محور خمش

$b$  = پهنای بال طبق تعریف به کار رفته در بخش ۱۰-۲-۲

$t_f$  = ضخامت بال

پ) کمانش موضعی جان

پ-۱) برای مقاطع با جان‌های فشرده لزومی به در نظر گرفتن کمانش موضعی جان نمی‌باشد.

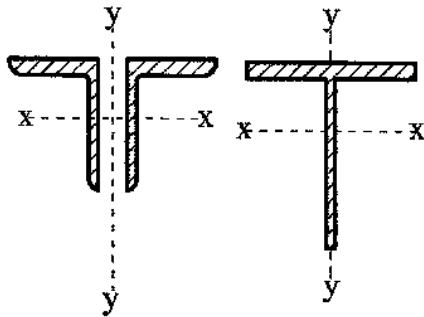
پ-۲) برای مقاطع با جان‌های غیرفشرده

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left[ 0.73 \cdot \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738 \right] \leq M_p \quad (۴۵-۵-۲-۱۰)$$

$h$  = فاصله بین شروع گردی ریشه جان به بال برای نیمرخ‌های نوردشده و فاصله آزاد بین دو بال برای مقاطع ساخته شده از ورق

$t_w$  = ضخامت جان

$S$  = اساس مقطع الاستیک نسبت به محور خمش



(بال یا بال‌ها فشرده یا غیرفشرده،  
جان یا جان‌ها فشرده یا غیرفشرده)

۱-۵-۲-۱۰ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع سپری و نبشی جفت با بارگذاری در صفحه تقارن الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع سپری و نبشی جفت که در صفحه تقارن بارگذاری شده‌اند (خمش حول محور X). استفاده از این نوع مقاطع با اجزای لاغر مجاز نمی‌باشد.

مقاومت خمشی اسمی،  $M_n$ ، این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی تسلیم، کمانش پیچشی-جانبی، کمانش موضعی بال و کمانش موضعی جان در نظر گرفته شود.

#### پ) کمانش موضعی بال سپری‌ها

پ-۱) برای مقاطع با بال کششی و برای مقاطع با بال فشاری فشرده لزومی به در نظر گرفتن حالت حدی کمانش موضعی بال نمی‌باشد.

پ-۲) برای مقاطع با بال فشاری غیر فشرده:

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y S_{xc}) \frac{\lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \leq 1/6 M_y$$

$S_{xc}$  = اساس مقطع الاستیک نسبت به بال فشاری

$\lambda$ ،  $\lambda_{pf}$  و  $\lambda_{rf}$  عبارتند از:

$$\lambda = \frac{b_f}{r_{tf}}$$

$\lambda_{pf} = \lambda_p$  = حد لاغری بال فشرده مطابق جداول ۱۰-۲-۲-۱ و ۱۰-۲-۲-۳

$\lambda_{rf} = \lambda_r$  = حد لاغری بال غیرفشرده - مطابق جداول ۱۰-۲-۲-۳ و ۱۰-۲-۲-۴

#### ت) کمانش موضعی جان سپری‌ها

حالت حدی کمانش موضعی جان سپری‌ها برای سپری‌هایی که بال آنها تحت کشش است، مورد استفاده قرار می‌گیرد و از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$M_n = F_{cr} S_x$$

که در آن:

$$\bullet \text{ برای } \frac{d}{t_w} \leq 0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} : F_{cr} = F_y$$

$$\bullet \text{ برای } 0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t_w} < 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}} :$$

$$F_{cr} = \left[ 2/55 - 1/84 \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right] F_y$$

$$\bullet \text{ برای } \frac{d}{t_w} > 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}} : F_{cr} = \frac{0.69E}{\left(\frac{d}{t_w}\right)^2}$$

#### الف) تسلیم

الف-۱) در صورتی که جان مقطع تحت کشش باشد. (بال تحت فشار):

$$M_n = M_p = F_y Z_x \leq 1/6 M_y$$

الف-۲) در صورتی که جان تحت فشار باشد. (بال تحت کشش):

$$M_n = M_p = F_y Z_x \leq M_y$$

#### ب) کمانش پیچشی-جانبی

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{EI_y GJ}}{L_b} (B + \sqrt{1 + B^2})$$

که در آن:

$$B = \pm 2/3 \left( \frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}}$$

در رابطه فوق علامت مثبت برای حالتی است که بال یا بال‌ها تحت فشار و علامت منفی برای حالتی است که بال یا بال‌ها تحت کشش هستند.

$I_y$  = ممان اینرسی حول محور تقارن Y

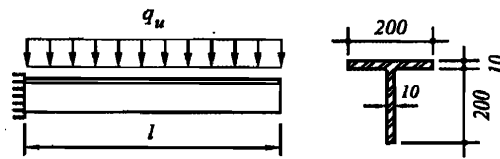
$J$  = ثابت پیچشی

$d$  = ارتفاع کلی مقطع

$L_b$  = فاصله مهارهای جانبی

۷- چنانچه تیر طره‌ای با مقطع سپری شکل زیر از تکیه‌گاه جانبی کافی برخوردار باشد، براساس حالت حدی تسلیم، مقاومت خمشی اسمی تیر برحسب کیلونیوتن‌متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (ابعاد به میلی‌متر است).

$$F_y = 240 \text{ MPa}, E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



(۱) 27.9

(۲) 44.6

(۳) 50.4

(۴) 73.9

گزینه ۱



$$y_p = 200 \text{ mm}$$

$$y_e = \frac{200 \times 10 \times 100 + 200 \times 10 \times 205}{4000} = 152.5$$

$$I = \frac{10 \times 200^3}{12} + 10 \times 200 \times (152.5 - 100)^2 + \frac{10 \times 200^3}{12} + 10 \times 200 \times (205 - 152.5)^2 = 17708333 \text{ mm}^3$$

در شکل فوق جان تحت فشار خواهد بود و بنابراین باید از قسمت الف-۲ محاسبه شود:

$$M_n = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} ZF_y = (200 \times 10 \times 5 + 200 \times 10 \times 100) \times 240 = 50400000 \text{ N.mm} = 50.4 \text{ kN.m} \\ M_y = SF_y = \frac{I}{y} F_y = \frac{17708333}{152.5} \times 240 = 27868852 \text{ N.mm} = 27.869 \text{ kN.m} \end{array} \right\} = 27.9 \text{ kN.m}$$

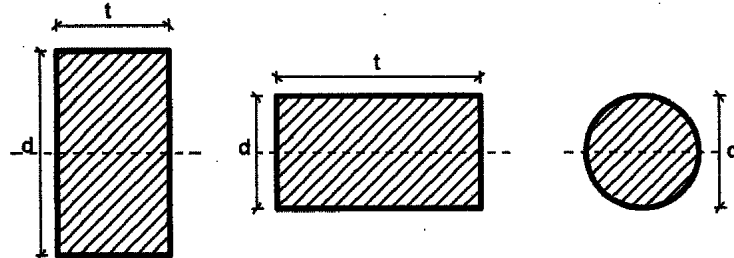
## ۶-۱۰- مقطع توپر - دایره - مستطیل

## ۱۰-۲-۵-۱۱ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع توپر دایره‌ای و چهارگوش

الزامات این بند مربوط به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع توپر چهارگوش که تحت خمش حول یکی از محورهای اصلی قرار دارند و نیز اعضای با مقطع توپر دایره‌ای می‌باشد.

مقاومت خمشی اسمی،  $M_n$ ، این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس

حدی تسلیم و کمانش پیچشی - جانبی در نظر گرفته شود.



الف) تسلیم

$S_x$  = اساس مقطع الاستیک حول محور خمشی

$M_y$  = لنگر تسلیم مقطع

$L_b$  = فاصله مهارهای جانبی

$d$  = بُعد عمود بر محور خمش در مقاطع چهارگوش

$t$  = بُعد موازی با محور خمش در مقاطع چهارگوش

$C_b$  = ضریب اصلاح کمانش پیچشی - جانبی مطابق

رابطه ۱۰-۲-۵-۱ که نباید از ۱/۵ بزرگتر در نظر گرفته شود.

برای مقاطع چهارگوش و خمش حول محور قوی و با شرایط  $\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.8E}{F_y}$  و مقاطع چهارگوش و خمش حول محور ضعیف و نیز مقاطع توپر دایره‌ای،

مقاومت خمشی اسمی،  $M_n$ ، از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$M_n = M_p = F_y Z \leq 1/6 M_y$$

ب) کمانش پیچشی - جانبی

ب-۱) برای مقاطع توپر چهارگوش و خمش حول محور ضعیف،

مقاطع توپر چهارگوش و خمش حول محور قوی و دارای شرایط  $\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.8E}{F_y}$  و مقاطع توپر دایره‌ای

لزومی به در نظر گرفتن حالت حدی کمانش پیچشی - جانبی نمی‌باشد.

ب-۲) برای مقاطع چهارگوش و خمش حول محور قوی و دارای شرایط  $\frac{0.8E}{F_y} < \frac{L_b d}{t^2} \leq 1/9 \frac{E}{F_y}$

$$M_n = C_b \left[ 1/52 - 0.274 \left( \frac{L_b d}{t^2} \right) \frac{F_y}{E} \right] M_y \leq M_p$$

ب-۳) برای مقاطع چهارگوش و خمش حول محور قوی و دارای شرایط  $\frac{L_b d}{t^2} > 1/9 \frac{E}{F_y}$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p$$

$$F_{cr} = \frac{1/9 E C_b}{\left( \frac{L_b d}{t^2} \right)} \text{ که در آن}$$

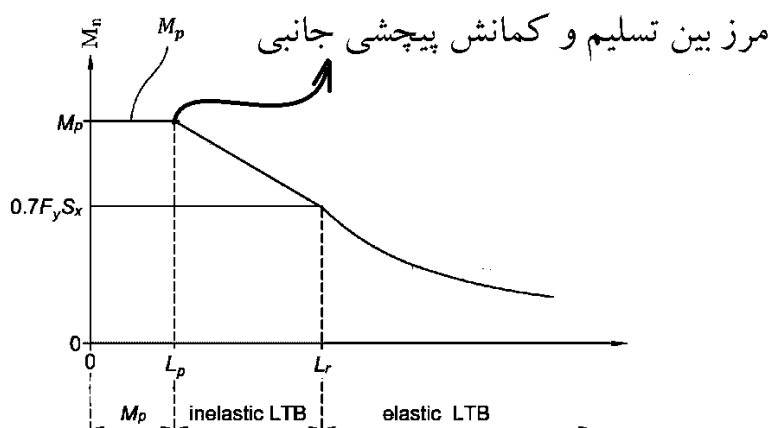
۱۲- برای تیر با مقطع مستطیلی فولادی توپر و خمش حول محور قوی مقدار مقاومت خمشی طراحی در مرز حالت حدی تسلیم و کمانش پیچشی - جانبی غیرالاستیک به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (مقدار  $C_b$  برابر واحد فرض شود و  $M_y$  لنگر تسلیم مقطع است.)

- (۱)  $0.90M_y$   
 (۲)  $1.50M_y$   
 (۳)  $1.60M_y$   
 (۴)  $1.35M_y$

گزینه ۴

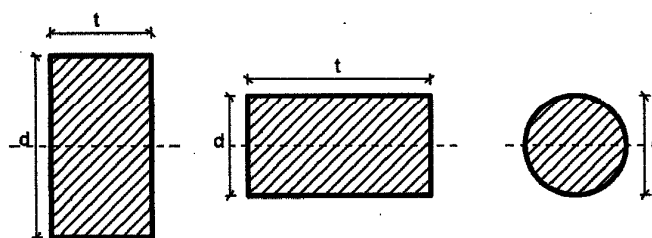
$$\left. \begin{aligned} M_p &= ZF_y = \frac{bh^2}{4} F_y \\ M_y &= \frac{bh^2}{6} F_y \end{aligned} \right\} \varphi M_p = 0.9 \times 1.5M_y = 1.35M_y$$

دقت شود که در حالت مرز مقاومت تسلیم و مقاومت پیچشی- جانبی غیرالاستیک باهم برابر می شوند:



#### ۱۰-۲-۵-۱۱ مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع توپر دایره‌ای و چهارگوش

الزامات این بند مربوط به تعیین مقاومت خمشی اسمی اعضای با مقطع توپر چهارگوش که تحت خمش حول یکی از محورهای اصلی قرار دارند و نیز اعضای با مقطع توپر دایره‌ای می‌باشد. مقاومت خمشی اسمی  $M_n$  این نوع اعضا باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حدی تسلیم و کمانش پیچشی- جانبی در نظر گرفته شود.



الف) تسلیم

برای مقاطع چهارگوش و خمش حول محور قوی و با شرایط  $\frac{L_b d}{t^2} \leq \frac{0.7AE}{F_y}$  و مقاطع چهارگوش و خمش حول محور ضعیف و نیز مقاطع توپر دایره‌ای، مقاومت خمشی اسمی،  $M_n$ ، از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$M_n = M_p = F_y Z \leq 1/6 M_y \quad (۶۸-۵-۲-۱۰)$$

که در آن،

$M_p$  = لنگر پلاستیک مقطع

$F_y$  = تنش تسلیم فولاد

$Z$  = اساس مقطع پلاستیک

$M_y$  = لنگر تسلیم مقطع

## ۶-۱۱- تأثیر سوراخ کاری در بال تیر

۱۰-۲-۵-۱۳ تناسبات ابعادی مقطع اعضای خمشی

الف) اعضای با مقاطع دارای بال کششی سوراخ‌دار

این بند مربوط است به اعضای با مقاطع نوردشده و ساخته‌شده از ورق که مقطع آنها دارای سوراخ بوده و مقاومت خمشی اسمی آنها بر مبنای سطح مقطع کلی محاسبه شده است.

در این‌گونه اعضا در صورت وجود سوراخ در بال یا بال‌ها، در محاسبه مقاومت خمشی اسمی ( $M_n$ ) در محدوده سوراخ باید محدودیت‌های گسیختگی بال کششی در نظر گرفته شود.

در صورت برقراری رابطه زیر، هیچ‌گونه محدودیتی در محاسبه مقاومت خمشی اسمی به‌خاطر وجود سوراخ در بال کششی در نظر گرفته نمی‌شود.

$$F_u A_{fn} \geq Y_t F_y A_{fg} \quad (۱۰-۲-۵-۷۶)$$

که در آن:

 $A_{fg}$  = سطح مقطع کلی بال کششی $A_{fn}$  = سطح مقطع خالص بال کششی که بر اساس الزامات بخش (۱۰-۲-۳) محاسبه می‌شود. $F_u$  = تنش کششی نهایی فولاد $F_y$  = تنش تسلیم فولاد

$Y_t$  = ضریب تأثیر سوراخ که برای شرایط  $\frac{F_y}{F_u} \leq 0.8$  برابر یک و برای شرایط  $\frac{F_y}{F_u} > 0.8$  برابر  $1/1$  است.

در صورت عدم برقراری رابطه ۱۰-۲-۵-۷۶، در محاسبه مقاومت خمشی اسمی در محدوده سوراخ باید محدودیت زیر به‌خاطر گسیختگی بال کششی در نظر گرفته شود.

$$M_n \leq \frac{F_u A_{fn}}{A_{fg}} S_x \quad (۱۰-۲-۵-۷۷)$$

که در آن:

 $S_x$  = اساس مقطع الاستیک

## محاسبات خرداد ۹۳

۲۷- تیر IPE300 با مهار جانبی کافی، در محل اتصال خمشی با ستون در هر یک از بال‌های بالا و پائین دارای دو سوراخ (در هر طرف جان یک سوراخ) با قطر 20 mm می‌باشد. دو سوراخ بال پائین و دو سوراخ بال بالا همگی در یک مقطع عرضی از تیر قرار دارند و فواصل آنها از لبه‌ها به درستی تنظیم شده است. در صورتیکه فولاد از نوع ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) باشد مقدار مقاومت خمشی اسمی مقطع بر حسب kN.m در محدوده سوراخ به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟

۱۱۰ (۴)

۱۳۵ (۳)

۱۵۰ (۲)

۱۷۰ (۱)

گزینه ۲

$$F_u A_{fn} = 370 \times 10.7(150 - 22 - 22) = 419.6 \text{ kN}$$

$$Y_t F_y A_{fg} = 240 \times 10.7(150) = 385.2 \text{ kN}$$

بنابراین سوراخها تاثیری بر مقاومت خمشی ندارند و با توجه به فشردگی بودن مقطع و نیز وجود مهار جانبی کافی:

$$M_n = Z F_y = 628000 \times 240 = 150.7 \text{ kN.m}$$

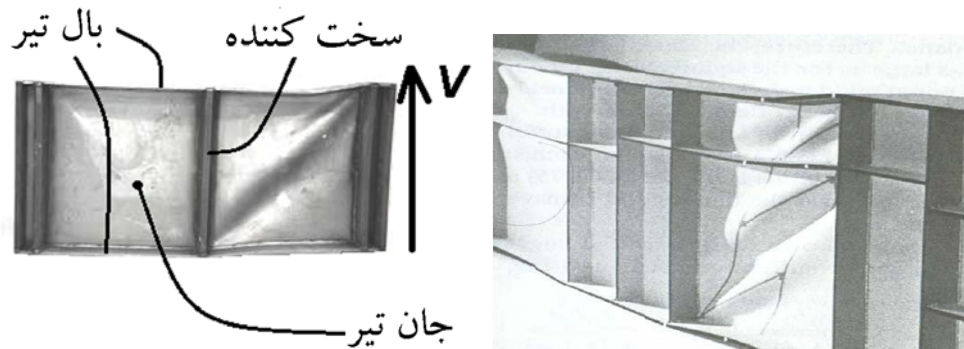


مقاومت برشی تیر مانند مقاومت محوری ستونها بستگی به لاغری جان دارد. بنابراین دو نوع مقاومت برشی داریم:

۱- مقاومت برشی بر اساس تسلیم فولاد

۲- مقاومت برشی بر اساس کمانش جان

در شکل زیر کدام نوع خرابی برشی اتفاق افتاده است؟



### ۱۰-۲-۶ الزامات طراحی اعضا برای برش

این بخش به الزامات طراحی اعضای با مقطع دارای تقارن یک محوره یا دو محوره تحت اثر برش در صفحه جان، اعضای با مقطع نبشی تک، اعضای با مقطع توخالی نظیر مقاطع لوله‌ای و قوطی شکل و اعضای با مقطع دارای تقارن یک محوره یا دو محوره تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف می‌پردازد.

مقررات این بخش تحت عناوین زیر ارائه می‌گردد.

- ۱۰-۲-۶-۱ الزامات عمومی
- ۱۰-۲-۶-۲ مقاومت برشی اعضا بدون توجه به عمل میدان کششی
- ۱۰-۲-۶-۳ مقاومت برشی اعضا با توجه به عمل میدان کششی
- ۱۰-۲-۶-۴ مقاومت برشی اعضای با مقطع نبشی تک
- ۱۰-۲-۶-۵ مقاومت برشی اعضای با مقطع قوطی شکل
- ۱۰-۲-۶-۶ مقاومت برشی اعضای با مقطع لوله‌ای
- ۱۰-۲-۶-۷ مقاومت برشی اعضای که تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف مقطع قرار دارند.
- ۱۰-۲-۶-۸ تیرها و شاه‌تیرهای دارای بازشو در جان مقطع

### ۱۰-۲-۶-۱ الزامات عمومی

مقاومت برشی طراحی مساوی  $\phi_v V_n$  می‌باشد که در آن:

$\phi_v$  = ضریب کاهش مقاومت برشی می‌باشد و برای کلیه الزامات این بخش برابر ۰/۹ بوده به جز در مورد بند ۱۰-۲-۶-۱-الف که مقدار آن باید برابر یک در نظر گرفته شود.

$V_n$  = مقاومت برشی اسمی اعضا می‌باشد که باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های تسلیم برشی و کمانش برشی مطابق الزامات بندهای ۱۰-۲-۶-۲ تا ۱۰-۲-۶-۷ در نظر گرفته شود.

## ۱-۱- مقاومت برشی (بدون میدان کششی)

## ۱-۲-۶-۲-۱۰ مقاومت برشی اعضا بدون توجه به عمل میدان کششی

الزامات این بند مربوط است به تعیین مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع نوردشده یا ساخته شده از ورق دارای تقارن یک محوره یا دو محوره که تحت اثر برش در صفحه جان قرار دارند. مقاومت برشی اسمی اعضای با مقطع ناودانی که تحت اثر برش در صفحه جان قرار دارند نیز باید بر اساس الزامات این بند محاسبه شوند.

## ۱-۲-۶-۲-۱۰ مقاومت برشی اسمی

مقاومت برشی اسمی ( $V_n$ ) اعضای با مقطع دارای جان سخت نشده (بدون سخت کننده) و سخت شده (با سخت کننده) بر اساس حالت‌های حدی تسلیم برشی و کمانش برشی از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v \quad (1-6-2-10)$$

که در آن:

$$F_y = \text{تنش تسلیم فولاد جان}$$

$A_w =$  مساحت جان مقطع که برابر است با حاصل ضرب عمق کلی مقطع ( $d$ ) در ضخامت جان ( $t_w$ )

$C_v =$  ضریب برشی جان به شرح زیر:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.08 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{الف) برای جان مقاطع I شکل نورد شده با } C_v=1 \text{ و } \phi_v=1 \quad (2-6-2-10)$$

ب) برای جان سایر مقاطع به استثنای مقاطع لوله‌ای، ضریب برشی جان به شرح زیر است:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \quad \text{ب-۱) برای } C_v=1 \quad (3-6-2-10)$$

$$\frac{h}{t_w} > 1.1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \quad \text{ب-۲) برای } C_v = \frac{1.1 \sqrt{k_v E / F_y}}{h / t_w} \quad (4-6-2-10)$$

$$C_v = \frac{1.1 \sqrt{k_v E / F_y}}{h / t_w}$$

$$\frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \quad \text{ب-۳) برای } C_v = \frac{1.51 k_v E}{(h / t_w)^2 F_y} \quad (5-6-2-10)$$

$$C_v = \frac{1.51 k_v E}{(h / t_w)^2 F_y}$$

در روابط فوق:

$t_w =$  ضخامت جان مقطع

$a =$  فاصله آزاد بین سخت کننده‌های عرضی جان

$h =$  برای تیرهای نوردشده مساوی فاصله آزاد بین دو بال منهای

شعاع‌های گردی محل اتصال جان به بال

$=$  برای مقاطع ساخته شده از ورق چنانچه اتصال جان به بال‌ها

جوشی باشد مساوی فاصله آزاد بین دو بال

$=$  برای مقاطع ساخته شده از ورق چنانچه اتصال جان به بال‌های

پیچی باشد مساوی فاصله بین خطوط پیچ

$=$  برای مقاطع سپری مساوی عمق کلی مقطع

در روابط فوق  $k_v$  ضریب کمانش برشی ورق جان بوده و به شرح زیر تعیین می‌شود.

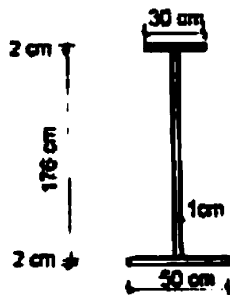
۱. برای جان‌های سخت نشده (بدون سخت کننده عرضی) با  $\frac{h}{t_w} < 2.60$  ،

$k_v = 5$  می‌باشد. به استثنای جان مقاطع سپری که برای آن  $k_v = 1/2$  است.

۲. برای جان‌های سخت شده (دارای سخت کننده عرضی):

$$\left\{ \begin{array}{ll} k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} & \frac{a}{h} \leq \left\{ 3 \text{ و } \left[ \frac{2.60}{h/t_w} \right]^2 \right\} \\ k_v = 5 & \frac{a}{h} > \left\{ 3 \text{ یا } \left[ \frac{2.60}{h/t_w} \right]^2 \right\} \end{array} \right.$$

۵۰- تیرورق مقابل در یک دهانه ساده ۸ متری استفاده شده است. در صورتیکه هیچ سخت‌کننده‌ای در جان تیرورق غیر از محل تکیه‌گاهها قرار داده نشده باشد. در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، مقاومت طراحی برشی مقطع به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟  $F_y = 240 \text{ MPa}$



2280 kN (۱)

540 kN (۲)

485 kN (۳)

740 kN (۴)

طبق ویرایش جدید:

$$K_V = 5 \left. \frac{h}{t_w} = 176 > 1.37 \sqrt{5 \times \frac{E}{F_y}} \right\} C_V = \frac{1.51 \times 200000 \times 5}{176^2 \times 240} = 0.203$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 1800 \times 10 \times 0.203 = 473558 \text{ N} = 474 \text{ kN}$$

## ۲-۲- مقاومت برشی (با میدان کششی)

## ۳-۶-۲-۱۰ مقاومت برشی اعضا با توجه به عمل میدان کششی

در مواردی که قطعات سخت‌کننده عرضی مطابق الزامات بند ۲-۲-۶-۲-۱۰ در جان تیر تعبیه شود، می‌توان برای تعیین مقاومت برشی اسمی اعضا از عمل میدان کششی استفاده نمود.

## ۱-۳-۶-۲-۱۰ محدودیت‌های استفاده از عمل میدان کششی

به طور کلی استفاده از عمل میدان کششی برای حالت‌های زیر مجاز نمی‌باشد.

الف) در چشمه‌های دو انتهای تمامی اعضای دارای سخت‌کننده‌های عرضی

ب) در اعضای که در آن  $\frac{a}{h} > 3$  یا  $[\frac{a}{h}]^2 > 260 / (h/t_w)$  می‌باشد

پ) در اعضای که  $[2A_w / (A_{fc} + A_{ft})] > 2/5$  می‌باشد

ت) در اعضای که  $(h/b_{ft}) > 6$  یا  $(h/b_{fc}) > 6$  می‌باشد

که در آن:

$a, h$  و  $t_w$  در بند ۱-۲-۶-۲-۱۰ تعریف شده‌اند.

$A_{ft}$  و  $A_{fc}$  = به ترتیب سطح مقطع بال فشاری و کششی

$b_{ft}$  و  $b_{fc}$  = به ترتیب پهنای بال فشاری و کششی

## ۲-۳-۶-۲-۱۰ مقاومت برشی اسمی با توجه به عمل میدان کششی

در صورت مجاز بودن استفاده از عمل میدان کششی، مقاومت برشی اسمی ( $V_n$ ) باید به شرح زیر بر اساس حالت حدی تسلیم میدان کششی در نظر گرفته شود.

الف) برای  $h/t_w \leq 1/1 \sqrt{k_v E / F_y}$

$$V_n = 0.6 F_y A_w$$

(۹-۶-۲-۱۰)

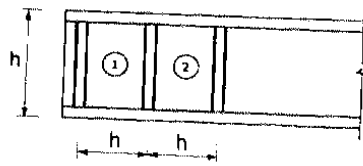
ب) برای  $h/t_w > 1/1 \sqrt{k_v E / F_y}$

$$V_n = 0.6 F_y A_w \left[ C_v + \frac{1 - C_v}{1/15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right]$$

(۱۰-۶-۲-۱۰)

که در آن  $A_w, F_y, E, C_v, k_v, t_w, h$  در بندهای قبلی تعریف شده‌اند.

۴۰- در شکل زیر دو چشمه ابتدایی یک تیر ورق با تکیه‌گاه‌های انتهایی ساده و سخت‌کننده‌های عرضی به‌کار رفته در آن نشان داده شده است. با احتساب عمل میدان کششی، کدامیک از عبارات‌های زیر صحیح است؟



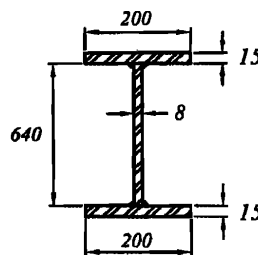
- ۱) مقاومت برشی اسمی چشمه ۲ همواره بزرگ‌تر یا مساوی مقاومت برشی اسمی چشمه ۱ است.
- ۲) مقاومت برشی اسمی چشمه ۲ همواره بزرگ‌تر از مقاومت برشی اسمی چشمه ۱ است.
- ۳) مقاومت برشی اسمی چشمه ۱ همواره بزرگ‌تر یا مساوی مقاومت برشی اسمی چشمه ۲ است.
- ۴) مقاومت برشی اسمی چشمه ۱ همواره بزرگ‌تر از مقاومت برشی اسمی چشمه ۲ است.

گزینه ۱

در دهانه انتهایی نمی‌توان از عمل میدان کششی استفاده نمود. به همین جهت مقاومت چشمه ۱ بدون استفاده از میدان کششی محاسبه می‌شود. ولی در چشمه ۲ می‌توان از عمل میدان کششی استفاده کرد. بنابراین ممکن است مقاومت برشی چشمه ۲ بیشتر از چشمه ۱ حاصل شود. از طرفی استفاده از عمل میدان کششی زمانی می‌تواند منجر به افزایش مقاومت برشی شود که جان تیر ورق نازک باشد. در تیرهای با جان فشرده، مقاومت برشی ثابت است و ربطی با استفاده یا عدم استفاده از میدان کششی ندارد.

۱۱- یک تیر با تکیه‌گاه‌های ساده و مقطع ساخته شده (شکل زیر) دارای سخت‌کننده‌های عرضی در محل تکیه‌گاه‌ها و نیز سخت‌کننده‌های عرضی میانی به فواصل آزاد ۱۶۰۰ میلی‌متر مفروض است. اتصال جان به بال‌ها جوشی می‌باشد. مقاومت برشی طراحی چشمه انتهایی تیر برحسب کیلونیوتن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (ابعاد به میلی‌متر است).

$$F_y = 240 \text{ MPa}, \quad E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



۶۶۴ (۱)

۶۹۵ (۲)

۷۳۸ (۳)

۷۷۲ (۴)

گزینه ۱

در چشمه‌های انتهایی نمی‌توان از عمل میدان کششی استفاده کرد:

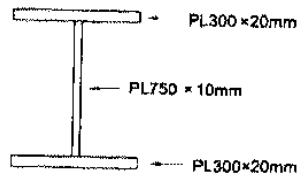
$$\frac{a}{h} = \frac{1600}{640} = 2.5 \quad \rightarrow \quad K_V = 5 + \frac{5}{(2.5)^2} = 5.8$$

$$\left( 1.1 \sqrt{\frac{K_V E}{F_y}} = 76 \right) < \left( \frac{h}{t_w} = \frac{640}{8} = 80 \right) < \left( 1.37 \sqrt{\frac{K_V E}{F_y}} = 95.24 \right)$$

$$\rightarrow C_v = \frac{1.1 \sqrt{\frac{K_V E}{F_y}}}{\frac{h}{t_w}} = 0.956$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 0.6 F_y A_w C_v = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 670 \times 8 \times 0.956 = 664042 \text{ N} = 664 \text{ kN}$$

۴۸- مقطع یک تیر به طول ۱۰ متر با تکیه‌گاه‌های ساده مطابق شکل زیر است. اگر فواصل آزاد سخت‌کننده‌ها در جان تیر ورق برابر با یک متر باشد، مقاومت برشی طراحی این تیر ورق بر حسب kN در چشمه‌های ابتدایی و انتهایی، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟



( $F_y=240 \text{ MPa}$ )

۱- ۱۰۲۰

۲- ۱۱۳۸

۳- ۶۴۵

۴- ۷۱۵

گزینه ۱

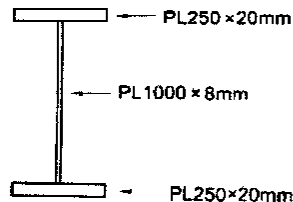
در چشمه‌های انتهایی مقاومت برشی بدون استفاده از میدان کششی محاسبه می‌شود:

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{1000}{750}\right)^2} = 7.81$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{750}{10} = 75 < 1.1 \sqrt{\frac{7.81 \times 200000}{240}} = 88.7$$

$$\rightarrow \phi 0.6 F_y A_w C_v = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 790 \times 10 \times 1 = 1023$$

۹- در یک تیر ورق با مقطع نشان داده شده در شکل زیر مقدار  $C_v$  لازم برای تأمین مقاومت برشی مورد نیاز برابر ۰.۶ به دست آمده است، حداکثر فاصله مجاز سخت‌کننده‌های عرضی در چشمه‌های ابتدایی و انتهایی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟  $F_y=240 \text{ MPa}$  و  $E=2 \times 10^5 \text{ MPa}$



۱- ۱۴۰۰ میلی‌متر

۲- ۲۸۰۰ میلی‌متر

۳- ۷۰۰ میلی‌متر

۴- ۲۱۰۰ میلی‌متر

گزینه ۱

$$\frac{h}{t_w} = \frac{1000}{8} = 125$$

مقدار  $C_v$  "لازم" داده شده است. باید بر اساس روابط آیین نامه ای مقدار  $C_v$  را محاسبه و برابر ۰.۶ قرار دهیم.

با توجه به مقدار کم  $C_v$ ، رابطه ب-۳ حاکم خواهد بود:

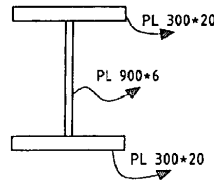
$$C_v = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} \rightarrow 0.6 = \frac{1.51 k_v \times 200000}{(125)^2 \times 240} \rightarrow k_v = 7.45$$

بنابراین برای اینکه مقدار  $C_v$  برابر ۰.۶ بدست آید، باید مقدار  $K_v$  برابر ۷.۴۵ باشد.

مقدار  $K_v$  بستگی به فواصل سخت‌کننده‌ها دارد:

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \rightarrow 7.45 = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{1000}\right)^2} \rightarrow a = 1428 \text{ mm}$$

۲۱- در یک تیر فولادی دو سر ساده با مقطع شکل زیر، چنانچه مقاومت برشی مورد نیاز آن در دو انتها برابر  $V_u = 600 \text{ kN}$  باشد، حداکثر فاصله سخت کننده عرضی در نزدیکی تکیه گاه ها برای تأمین مقاومت برشی مورد نیاز به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (ابعاد روی شکل بر حسب میلی متر است و  $F_y = 240 \text{ MPa}$ )



- (۱) ۴۵۰ میلی متر  
(۲) ۶۳۰ میلی متر  
(۳) ۹۰۰ میلی متر  
(۴) ۱۳۵۰ میلی متر

گزینه ۲

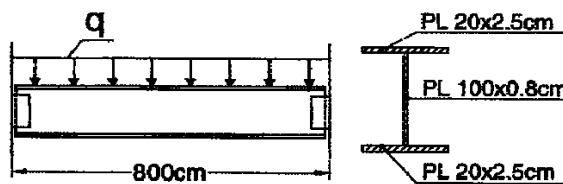
$(V_u = 600 \times 10^3) < [\phi 0.6 F_y A_w C_v = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times (940 \times 6) \times C_v] \rightarrow 0.82 < C_v$   
بنابراین برای اینکه مقاومت مورد نیاز تامین شود، باید مقدار  $C_v$  بیش از ۰.۸۲ باشد. با توجه به مقدار  $C_v$ ، رابطه ب-۲ حاکم خواهد بود:

$$C_v = \frac{1.1 \sqrt{k_v E / F_y}}{\left(\frac{h}{t_w}\right)} \quad 0.82 = \frac{1.1 \sqrt{k_v \times 2 \times 10^5 / 240}}{(150)} \rightarrow k_v = 15$$

فاصله سخت کننده ها باید طوری باشد که مقدار  $K_v$  به ۱۵ برسد:  $a = 636 \text{ mm}$   
 $15 = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \rightarrow \frac{a}{h} = 0.7 \rightarrow a = 636 \text{ mm}$

تمرین: محاسبات اسفند ۸۹

۲۵- ظرفیت مجاز برشی تیر دو سر ساده بدون سخت کننده عرضی با مقطع زیر بر حسب کیلونیوتن، به کدامیک از اعداد زیر نزدیک تر می باشد؟ ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ )



- (۱) ۷۷۰  
(۲) ۳۶۰  
(۳) ۲۸۰  
(۴) ۵۶۰

$$\left. \begin{aligned} K_v &= 5 \\ \frac{h}{t_w} &= 125 > 1.37 \sqrt{5 \times \frac{E}{F_y}} \end{aligned} \right\} C_v = \frac{1.51 \times 5 \times 200000}{125^2 \times 240} = 0.403$$

$$\phi V_n = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 1050 \times 8 \times 0.403 = 439 \text{ kN}$$

۲۴- یک تیر ورق I شکل با بالهای ۲۰۰×۱۵ میلیمتر و جان ۶۰۰×۱۰ میلیمتر مفروض است. چنانچه تیر ورق مذکور فاقد سخت کننده‌های عرضی باشد، مقاومت برشی اسمی ( $V_n$ ) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ )

۹۱۰ kN (۲)

۸۶۰ kN (۱)

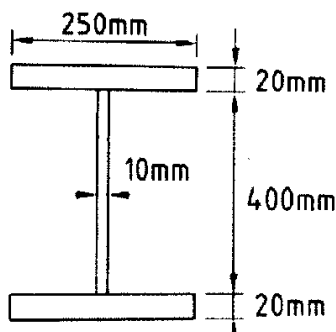
۱۴۴۰ kN (۴)

۷۷۰ kN (۳)

$$\left(\frac{h}{t_w} < \frac{600}{10} = 60\right) < 1.1 \sqrt{\frac{5E}{F_y}} \rightarrow C_v = 1$$

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times 630 \times 10 \times 1 = 907 \text{ kN}$$

۱۲- مقطع یک تیر دو سر ساده دارای تکیه‌گاه جانبی پیوسته و به طول ۵ متر، تحت بارگسترده‌ی یکنواخت در صفحه جان (خمش حول محور قوی) مطابق شکل زیر است. براساس مقاومت خمشی و برشی طراحی تیر، اتصال این تیر حداقل برای چه مقدار عکس‌العمل تکیه‌گاهی نهایی باید طراحی شود تا اتصال زودتر از تیر خراب نشود؟ (نزدیک‌ترین جواب مدنظر است)

 $F_y = 240 \text{ MPa}$  $E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ 

۴۳۵ kN (۱)

۲۳۵ kN (۲)

۳۳۵ kN (۳)

۶۳۵ kN (۴)

گزینه ۱

حداکثر بار بر اساس معیار خمش تیر:

$$Z = \frac{250 \times 440^2}{4} - \frac{240 \times 400^2}{4} = 2500000 \text{ mm}^3$$

$$\frac{q_u L^2}{8} < 0.9ZF_y \rightarrow q_u < \frac{0.9 \times 2500000 \times 240 \times 8}{5000^2} = 172.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 172.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

حداکثر بار بر اساس معیار برش تیر:

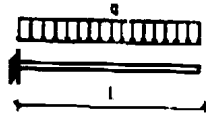
$$\frac{q_u L}{2} < 0.9A_w(0.6F_y) \rightarrow q_u < 2 \frac{0.9 \times (440 \times 10) \times 0.6 \times 240}{5000} = 228.096 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

معیار خمش حاکم می باشد و تحت بار ۱۷۲.۸ برش در اتصال انتهای تیر برابر است با:

$$\frac{q_u L}{2} = \frac{172.8 \times 5\text{m}}{2} = 432 \text{ kN}$$



۵۵- در یک تیر طره‌ای به طول دهانه  $L$  تحت اثر بار یکنواخت  $q$  با مقطع غیرفشرده ولی دارای تکیه‌گاه جانبی کافی، چنانچه مدول الاستیک مقطع برابر  $S$  و سطح مقطع جان (حاصل ضرب ارتفاع کلی مقطع در ضخامت جان) برابر  $A_w$  و  $50 < \frac{h}{t_w}$  باشد، در طراحی به روش تنش مجاز به ازای کدامیک از روابط زیر تأثیر معیارهای طراحی خمش و برش دقیقاً با هم برابر است؟



$$L = 2 \frac{S}{A_w} \quad (۱)$$

$$L = 3 \frac{S}{A_w} \quad (۲)$$

$$L = \frac{2}{3} \frac{S}{A_w} \quad (۳)$$

$$L = \frac{3}{2} \frac{S}{A_w} \quad (۴)$$

با توجه به غیر فشرده بودن، مقاومت خمشی اسمی مقطع برابر  $0.7S \times F_y$  فرض می‌شود:

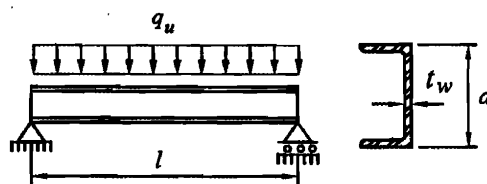
$$\frac{\left(\frac{q_u L^2}{2}\right)}{0.9(0.7S \times F_y)} < 1 \quad \text{کنترل خمش:}$$

$$\frac{q_u L}{0.9 \times 0.6 F_y A_w} < 1 \quad \text{کنترل برش:}$$

$$\frac{\left(\frac{q_u L^2}{2}\right)}{0.9(0.7S \times F_y)} = \frac{q_u L}{0.9 \times 0.6 F_y A_w} \rightarrow L = \frac{2.33S}{A_w}$$

۹- در تیر دوسر ساده مطابق شکل زیر با طول  $l$  و عمق مقطع  $d$  و ضخامت جان  $t_w$  و اساس مقطع پلاستیک نسبت به محور قوی برابر  $Z_x$ ، به ازای چه مقدار طول  $l$ ، معیارهای حالت‌های حدی تسلیم خمشی و تسلیم برشی به‌طور هم‌زمان حاکم بر طراحی تیر می‌شوند؟ فرض کنید تیر در سرتاسر طول خود دارای مهار جانبی پیش‌بینی بوده و عمق مقطع تیر کوچک‌تر از ۳۰۰ میلی‌متر و ضخامت جان آن بزرگ‌تر از ۵ میلی‌متر است. همچنین بال‌های مقطع را فشرده فرض کنید.

$$F_y = 240 \text{ MPa}, \quad E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$$



$$l = 6 \times \frac{Z_x}{d t_w} \quad (۱)$$

$$l = \frac{20}{3} \times \frac{Z_x}{d t_w} \quad (۲)$$

$$l = 3 \times \frac{Z_x}{d t_w} \quad (۳)$$

$$l = \frac{10}{3} \times \frac{Z_x}{d t_w} \quad (۴)$$

گزینه ۲

$$\left(\frac{h}{t_w} < \frac{300}{5} = 60\right) < 1.1 \sqrt{\frac{5E}{F_y}} \rightarrow C_v = 1$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\left(M_u = \frac{q_u L^2}{8}\right)}{\left(\phi M_n = 0.9 Z F_y\right)} < 1 \\ \frac{\left(V_u = \frac{q_u L}{2}\right)}{\left(\phi V_n = 0.9 \times 0.6 F_y A_w C_v\right)} < 1 \end{array} \right\} \frac{\left(\frac{q_u L^2}{8}\right)}{\left(0.9 Z F_y\right)} = \frac{\left(\frac{q_u L}{2}\right)}{\left(0.9 \times 0.6 F_y A_w C_v\right)}$$

$$\rightarrow \frac{L}{4} = \frac{Z}{0.6 A_w C_v} \rightarrow L = \frac{4Z}{0.6(d t_w) \times 1} = \frac{20}{3} \frac{Z}{d t_w}$$

### ۳-۷- مقاومت برشی در راستای عمود بر محور ضعیف

۱۰-۲-۶-۷ مقاومت برشی اعضایی که تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف مقطع قرار دارند.

در صورتی که این نوع اعضا تحت اثر پیچش قرار نداشته باشند، مقاومت برشی اسمی ( $V_n$ ) هر یک از اجزای مقاومت‌کننده در برابر برش باید از طریق رابطه ۱۰-۲-۶-۱ و بر اساس الزامات بند ۱۰-۲-۶-۲-۱-ب با  $A_w = b_f t_f$  و  $h/t_w = b/t_f$  و  $k_v = 1/2$  تعیین شود. که در آن:

$$t_f = \text{ضخامت جزء مقاوم در مقابل برش}$$

$$b_f = \text{پهنای جزء مقاوم در مقابل برش}$$

$$b = \text{نصف پهنای کلی بال برای مقاطع I شکل و پهنای کلی بال برای مقاطع ناودانی شکل}$$

محاسبات خرداد ۹۳

۳۴- مقاومت برشی اسمی مقطع IPE300 تحت اثر برش در امتداد عمود بر محور ضعیف مقطع به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر می‌باشد؟ مقطع تحت اثر پیچش قرار نداشته و فولاد از نوع ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) می‌باشد.

$$306 \text{ kN (۲)}$$

$$231 \text{ kN (۱)}$$

$$768 \text{ kN (۴)}$$

$$462 \text{ kN (۳)}$$

گزینه ۳

با توجه به فشرده بودن مقطع IPE300، نسبت  $b/t$  در بال کم بوده و طبق ب-۱) مقدار  $C_v = 1$  خواهد بود:

$$V_n = 0.6 F_y (2 \times 150 \times 10.7) \times 1 = 462 \text{ kN}$$

دقت شود که به جای  $A_w$  مساحت دو بال تیر قرار گرفته است.

## ۱۰-۲-۷-۴ اعضای تحت اثر لنگر پیچشی و ترکیب پیچش، خمش، برش یا بدون نیروی

## محوری

## ۱۰-۲-۷-۴-۱ مقاومت پیچشی مقاطع لوله‌ای و قوطی شکل

مقاومت پیچشی طراحی اعضای با مقطع لوله‌ای و قوطی شکل مساوی  $\phi_T T_n$  می‌باشد که در آن  $\phi_T$  ضریب کاهش مقاومت برای پیچش برابر  $0/9$  و  $T_n$  مقاومت پیچشی اسمی می‌باشد که بر اساس حالت‌های حدی تسلیم پیچشی و کمانش پیچشی با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$T_n = F_{cr} C \quad (۸-۷-۲-۱۰)$$

که در آن  $C$  ثابت پیچشی مقطع و  $F_{cr}$  تنش کمانشی مقطع می‌باشند و به شرح زیر تعیین می‌شوند.

## ب) مقاطع قوطی شکل

برای مقاطع قوطی شکل،  $F_{cr}$  بر حسب مورد از روابط زیر به دست می‌آید.

• برای  $\frac{h}{t} \leq 2/45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = 0/6 F_y \quad (۱۱-۷-۲-۱۰)$$

• برای  $2/45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < h/t \leq 2/0/7 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = \frac{0/6 F_y (2/45 \sqrt{E/F_y})}{(h/t)} \quad (۱۲-۷-۲-۱۰)$$

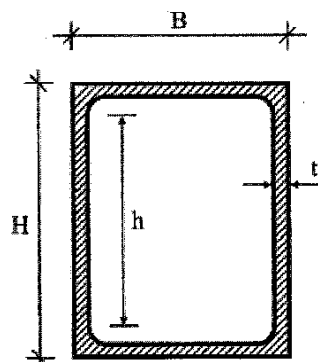
• برای  $2/0/7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < h/t \leq 260$

$$F_{cr} = \frac{0/458 \pi^2 E}{(h/t)^2} \quad (۱۱-۷-۲-۱۰)$$

$C =$  ثابت پیچشی مقطع که برای مقاطع قوطی شکل به طور محافظه کارانه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$C = 2(B-t)(H-t)t - 4/5 (4-\pi) t^3 \quad (۱۲-۷-۲-۱۰)$$

پارامترهای به کار رفته در روابط فوق مطابق شکل زیر است.



H = ضلع بزرگ

شکل ۱۰-۲-۷-۴-۱ مقطع قوطی شکل

## الف) مقاطع لوله‌ای

برای مقاطع لوله‌ای،  $F_{cr}$  باید برابر بزرگترین مقدار محاسبه شده از روابط زیر تعیین شود. ولی در هر حال نباید از  $0/6 F_y$  بزرگتر در نظر گرفته شود.

$$F_{cr} = \frac{1/22 E}{\sqrt{\frac{L(D)}{D(t)}}} \quad (۸-۷-۲-۱۰)$$

و

$$F_{cr} = \frac{0/6 E}{(D/t)^2} \quad (۹-۷-۲-۱۰)$$

$C =$  ثابت پیچشی مقطع که برای مقاطع لوله‌ای به طور محافظه کارانه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2} \Rightarrow C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2} \quad (۱۰-۷-۲-۱۰)$$

در روابط فوق:

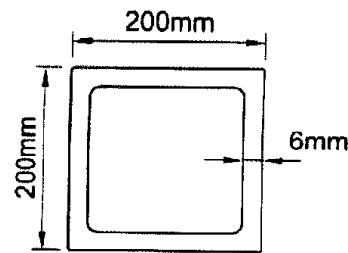
$L =$  طول عضو

$D =$  قطر خارجی مقطع

$t =$  ضخامت جدار لوله

۷- مقاومت پیچشی طراحی تیر با مقطع نشان داده شده در شکل زیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (طول تیر برابر 5 متر و ضخامت جدار مقطع یکنواخت فرض شود. فولاد مصرفی با

$$(E = 2 \times 10^5 \text{ MPa}, F_y = 240 \text{ MPa})$$



$$48 \text{ kN.m (1)}$$

$$58 \text{ kN.m (2)}$$

$$68 \text{ kN.m (3)}$$

$$78 \text{ kN.m (4)}$$

گزینه ۲

۱۰-۷-۲-۴ اعضای تحت اثر لنگر پیچشی و ترکیب پیچش، خمش، برش یا بدون نیروی

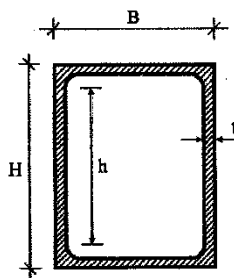
محوری

۱۰-۷-۲-۴ مقاومت پیچشی مقاطع لوله‌ای و قوطی شکل

$C =$  ثابت پیچشی مقطع که برای مقاطع قوطی شکل به طور محافظه کارانه از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$C = 2(B-t)(H-t)t - 4/5(4-\pi)t^3 \quad (12-7-2-10)$$

پارامترهای به کار رفته در روابط فوق مطابق شکل زیر است.



H - ضلع بزرگ

شکل ۱۰-۷-۲-۱۰ مقطع قوطی شکل

مقاومت پیچشی طراحی اعضای با مقطع لوله‌ای و قوطی شکل مساوی  $\phi_T T_n$  می‌باشد که در آن  $\phi_T$  ضریب کاهش مقاومت برای پیچش برابر ۰/۹ و  $T_n$  مقاومت پیچشی اسمی می‌باشد که بر اساس حالت‌های حدی تسلیم پیچشی و کمانش پیچشی با استفاده از رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$T_n = F_{cr} C \quad (8-7-2-10)$$

برای مقاطع قوطی شکل،  $F_{cr}$  بر حسب مورد از روابط زیر به دست می‌آید.

$$\bullet \text{ برای } \frac{h}{t} \leq 2/45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (11-7-2-10)$$

$$F_{cr} = 0.6 F_y$$

$$\bullet \text{ برای } 2/45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < h/t \leq 2/0.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (12-7-2-10)$$

$$F_{cr} = \frac{0.6 F_y (2/45 \sqrt{E/F_y})}{(h/t)^2}$$

$$\bullet \text{ برای } 2/0.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < h/t \leq 2/60 \quad (11-7-2-10)$$

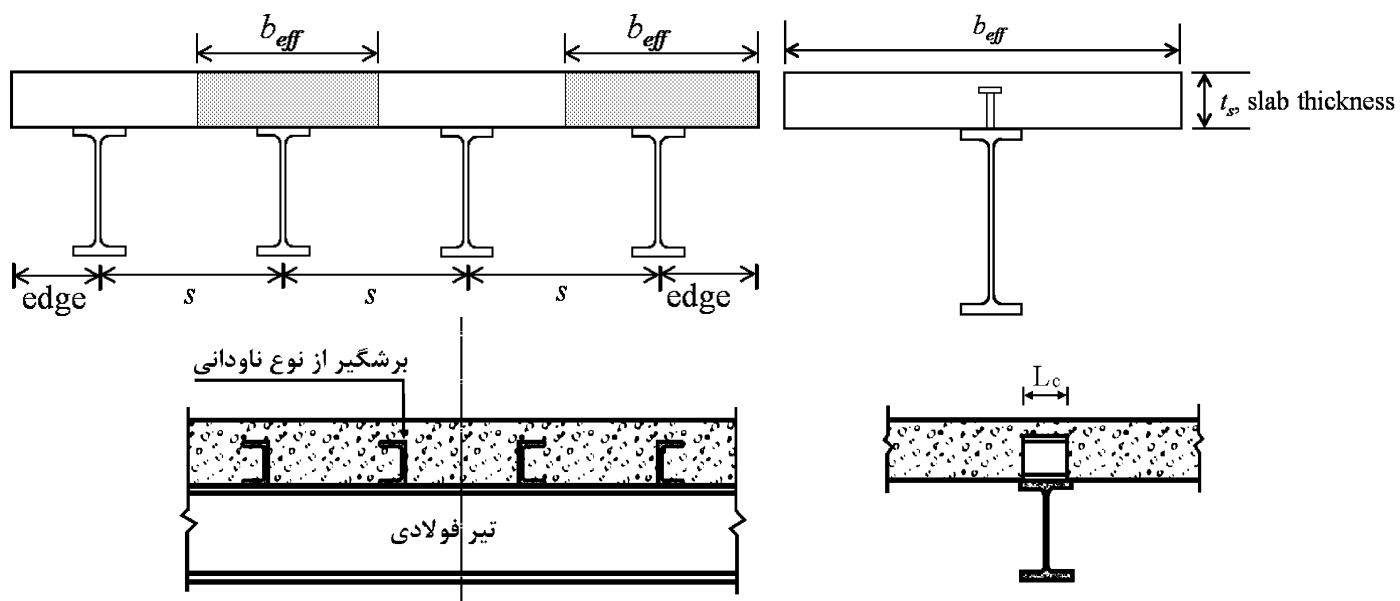
$$F_{cr} = \frac{0.758 \pi^2 E}{(h/t)^2}$$

$$\left( \frac{h}{t} = \frac{200 - 18}{6} = 30 \right) < \left( 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 70 \right)$$

$$F_{cr} = 0.6 F_y = 144$$

$$C = 2(B-t)(H-t)t - 4.5(4-\pi)t^3 = 2(200-6)(200-6)6 - 4.5(4-\pi)6^3 = 450796 \text{ mm}^3$$

$$\phi T_n = 0.9 \times F_{cr} C = 0.9 \times 144 \times 450796 = 58.42 \text{ kN.m}$$



## ۹-۱- مقاومت خمشی مقاطع مختلط با برشگیر

## ۱۰-۲-۸-۳ اعضای خمشی با مقطع مختلط

اعضای خمشی با مقطع مختلط به سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

(الف) اعضای خمشی با مقطع فولادی و دال بتنی متکی بر آن به همراه برشگیر

(ب) اعضای خمشی با مقطع مختلط محاط در بتن

(پ) اعضای خمشی با مقطع مختلط پر شده با بتن

## ۱۰-۲-۸-۳-۱ عرض موثر و حداقل ضخامت دال بتنی

عرض موثر دال بتنی که در هر طرف تیر با آن به صورت مختلط عمل می‌نماید، نباید از کوچکترین مقادیر زیر بزرگتر در نظر گرفته شود.

۱. یک هشتم دهانه تیر (مرکز تا مرکز تکیه‌گاه‌های تیر)

۲. نصف فاصله محور تیر تا محور تیر مجاور

۳. فاصله محور تیر تا لبه دال

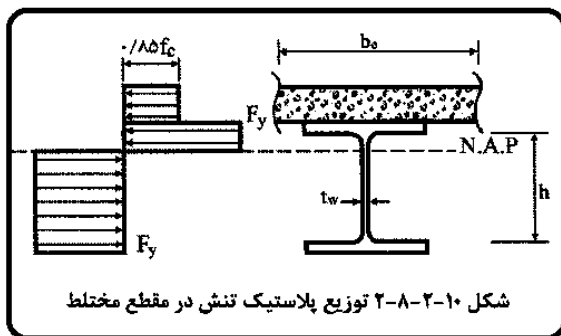
تبصره: حداقل ضخامت دال بتنی ۸۰ میلی‌متر مقرر می‌گردد.

## ۱۰-۲-۸-۳-۲ مقاومت خمشی مقاطع مختلط دارای برشگیر

(الف) مقاومت خمشی مثبت

مقاومت خمشی مثبت طراحی مساوی  $\phi_b M_n$  می‌باشد که در آن  $\phi_b$  ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۹ و  $M_n$  مقاومت خمشی مثبت اسمی می‌باشد که باید بر اساس حالت حدی تسلیم به شرح زیر تعیین شود.

۱. در صورتی که  $\frac{h}{t_w} \leq 3\sqrt{E/F_y}$  باشد،  $M_n$  باید بر اساس توزیع پلاستیک تنش بر روی مقطع مختلط تعیین شود.



۲. در صورتی که  $\frac{h}{t_w} > 3\sqrt{E/F_y}$  باشد  $M_n$  باید بر اساس روی هم گذاری تنش‌های الاستیک با فرض مقطع تبدیل‌یافته و با در نظر گرفتن اثر پایه‌های موقت برای حالت حدی تسلیم در تارهای انتهایی مقطع مختلط ( $M_y$ ) تعیین گردد. به عبارت دیگر:

$$M_n = \min(M_{n1} \text{ و } M_{n2})$$

(۱۰-۲-۸-۳)

در روابط فوق:

$M_{n1}$  = لنگر خمشی نظیر تنش  $F_y$  در دورترین تار فولادی مقطع تبدیل یافته

$M_{n2}$  = لنگر خمشی نظیر تنش  $0.7f_c$  در دورترین تار دال بتنی در مقطع تبدیل یافته

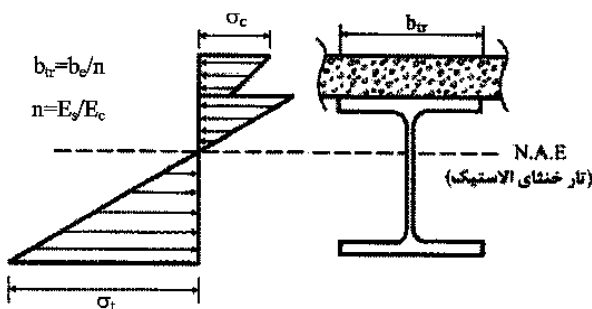
$F_y$  = تنش تسلیم فولاد

$f_c$  = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

$t_w$  = ضخامت جان تیر فولادی

$h$  = فاصله بین شروع گردی ریشه جان به بال برای نیمرخ‌های نوردشده و فاصله آزاد بین دو بال

برای مقاطع فولادی ساخته شده از ورق



شکل ۳-۸-۲-۱۰ توزیع الاستیک تنش در مقطع مختلط تبدیل یافته

۱۰-۲-۳-۳ مقاومت خمشی مقاطع مختلط دارای برشگیر

پ) مقاومت خمشی مقاطع مختلط به همراه ورق‌های فولادی شکل داده شده  
مقاومت خمشی طراحی مقاطع مختلط متشکل از دال بتنی بر روی ورق‌های فولادی شکل داده شده و متصل به مقطع فولادی مساوی  $M_{R1}$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت برابر  $0.9$  و  $M_{R1}$  مقاومت خمشی اسمی می‌باشد که باید بر اساس الزامات بند ۱۰-۲-۳-۳ و با رعایت الزامات زیر تعیین گردد.

پ-۱) ملاحظات و محدودیت‌ها

۱. ارتفاع اسمی ورق‌های فولادی شکل داده شده ( $H_f$ ) نباید از ۷۵ میلی‌متر بیشتر باشد. پهنای متوسط کنگره‌های پر شده با بتن نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر باشد، لیکن در محاسبات نباید بزرگتر از حداقل پهنای آزاد (خالص) در نزدیکی سطح فوقانی ورق فولادی شکل داده شده در نظر گرفته شود.

۲. دال بتنی باید به وسیله گل‌میخ‌های برشگیر با قطر حداکثر ۲۰ میلی‌متر به مقطع فولادی متصل شوند. گل‌میخ‌ها باید از طریق ورق فولادی شکل داده شده یا به طور مستقیم به مقطع فولادی جوش شوند. در هر حال گل‌میخ‌ها باید روی بال مقطع فولادی ذوب شوند. پس از نصب، ارتفاع گل‌میخ‌ها که از بالای ورق فولادی شکل داده شده اندازه‌گیری می‌شود، نباید از ۴۰ میلی‌متر کمتر باشد. پوشش بتن روی گل‌میخ‌ها نباید کمتر از ۱۵ میلی‌متر باشد.

۳. ضخامت دال بتنی در قسمت فوقانی ورق فولادی شکل داده شده نباید کمتر از ۵۵ میلی‌متر باشد.

۴. ورق‌های فولادی شکل داده شده باید در فواصلی حداکثر ۴۵۰ میلی‌متر به مقطع فولادی و سایر اعضای تکیه‌گاهی مهار شوند. این مهارها می‌توانند گل‌میخ‌های برشگیر، ترکیبی از گل‌میخ‌ها و جوش‌های نقطه‌ای یا هر راهکار ارائه شده توسط مهندس طراح باشد.

پ-۲) ورق‌های فولادی شکل داده شده که کنگره‌های آنها عمود بر محور تیر می‌باشد.

در تعیین مشخصات هندسی مقطع مختلط و نیز در محاسبه  $A_c$  باید از بتن موجود در زیر سطح فوقانی ورق فولادی شکل داده شده صرف نظر شود (شکل ۱۰-۲-۳-۵).

پ-۳) ورق‌های فولادی شکل داده شده که کنگره‌های آنها موازی با محور تیر می‌باشد

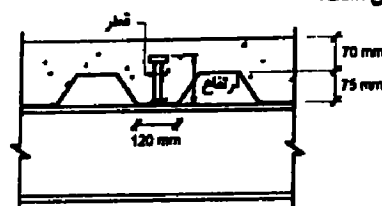
در تعیین مشخصات هندسی مقطع مختلط و نیز در محاسبه  $A_c$  می‌توان از بتن موجود در زیر سطح فوقانی ورق فولادی شکل داده شده استفاده نمود. همچنین، ورق‌های فولادی شکل داده شده را می‌توان در روی تیر فولادی تکیه‌گاهی از هم جدا کرد تا در روی بال مقطع فولادی یک ماهیچه بتنی تشکیل شود.

چنانچه ارتفاع اسمی ورق‌های فولادی شکل داده شده ( $H_f$ ) ۴۰ میلی‌متر یا بزرگتر باشد، پهنای متوسط کنگره‌های پر شده با بتن در روی تیر تکیه‌گاهی نباید کمتر از ۵۰ میلی‌متر برای حالت یک گل‌میخ در پهنای حداقل برای هر گل‌میخ اضافی، به اندازه ۴ برابر قطر گل‌میخ باید افزایش یابد.

### محاسبات ۹۳

۴۱- در شکل زیر بخشی از یک سقف مرکب با ورق‌های فولادی شکل داده شده، نشان داده شده است.

استفاده از کدام گل‌میخ در این سقف قابل قبول است؟



- ۱) قطر 16 mm و ارتفاع 75 mm  
۲) قطر 19 mm و ارتفاع 120 mm  
۳) قطر 16 mm و ارتفاع 100 mm  
۴) قطر 22 mm و ارتفاع 120 mm

گزینه ۲: ارتفاع گل‌میخ حداقل باید 115 mm باشد. قطر گل‌میخ حداکثر می‌تواند 20 mm باشد.

۱۴- در یک سقف مختلط با بتن از رده C25 و تیر آهن‌های IPE 200 (با سطح مقطع  $2850 \text{ mm}^2$ ) از فولاد با تنش تسلیم  $240 \text{ MPa}$ ، ضخامت دال  $80 \text{ mm}$  و عرض مؤثر دال بتنی هر تیر یک متر می‌باشد. مقاومت خمشی اسمی ( $M_n$ ) مثبت هر تیر مختلط حدوداً چند  $\text{kN.m}$  می‌باشد؟

84 (۴)

96 (۳)

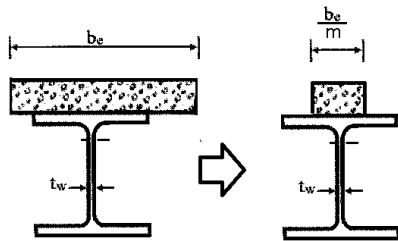
112 (۲)

132 (۱)

گزینه ۲

با توجه به اینکه IPE200 یک مقطع فشرده می‌باشد، نسبت  $h/t$  آن پایین بوده و مقاومت خمشی پلاستیک مقطع منظور خواهد شد (حالت از آیین نامه که در زیر آمده است).

ابتدا باید محل تار خنثی پلاستیک بدست آید. برای این منظور باید بتن معادل سازی شود:



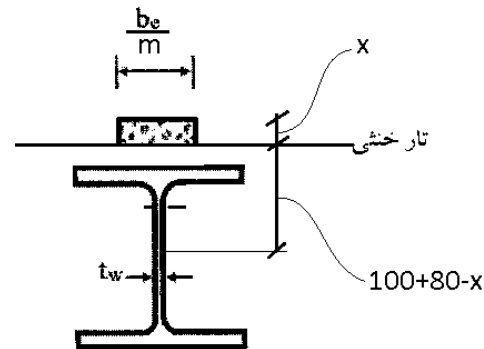
در شکل مقابل  $m$  نسبت تبدیل بتن به فولاد می‌باشد که برابر است با:

$$m = \frac{F_y}{0.85f'_c} = \frac{240}{0.85 \times 25} = 11.29$$

بنابراین مساحت بتن معادل برابر است با:

$$\frac{1000}{11.29} \times 80 = 7085 \text{ mm}^2$$

که بیشتر از مساحت فولاد می‌باشد. بنابراین تار خنثی در داخل بتن قرار می‌گیرد (تار خنثی پلاستیک چنان خواهد بود که مساحت بالا و پایین تار خنثی برابر باشد):



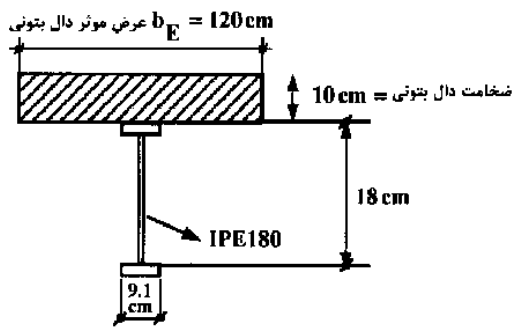
$$x \times \frac{1000}{11.29} = 2850 \rightarrow x = 32.17 \text{ mm}$$

$$M_n = AF_y \left( 100 + 80 - \frac{x}{2} \right) = 112117860 \text{ N.mm} = 112 \text{ kN.m}$$



۴۹- اساس مقطع تیر مختلط روبه‌رو (در محاسبات تنش) نسبت به تار پایینی مقطع برحسب  $\text{cm}^3$  کدام است؟

$$I_{x\text{IPE180}} = 1320 \text{ cm}^4 \text{ و } A_{\text{IPE180}} = 23.9 \text{ cm}^2 \text{ و } n = \frac{E_s}{E_c} = 8$$

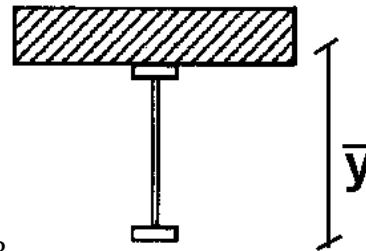


$$313/6 \quad (1)$$

$$348/1 \quad (2)$$

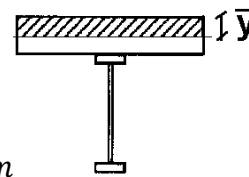
$$234/9 \quad (3)$$

$$955/3 \quad (4)$$



$$\bar{y} = \frac{\frac{120}{8} \times 10 \times (18+5) + 23.9 \times 9}{\frac{120}{8} \times 10 + 23.9} = 21.08$$

بنابراین تار خنثی در داخل بتن قرار می‌گیرد و قسمتی از بتن تحت کشش خواهد بود. بنابراین ارتفاع تار خنثی باید مجدداً با حذف بتن کششی محاسبه شود:



$$\frac{\frac{120}{8} \times \bar{y}^2}{2} = 23.9 \times (9 + 10 - \bar{y}) \rightarrow \bar{y} = 6.35 \text{ cm}$$

$$I = 1320 + 23.9 \times (9 + 10 - 6.35)^2 + \frac{\frac{120}{8} \times 6.35^3}{3} = 6424$$

$$S = \frac{I}{(18 + 10 - \bar{y})} = \frac{6424}{21.65} = 296.7$$

**پاسخ در گزینه‌ها نیست.**

ظاهراً طراح از بتن کششی صرف‌نظر نکرده است. با فرض اینکه از بتن کششی صرف‌نظر نشود:

$$I = 1320 + 23.9 \times (21.08 - 9)^2 + \frac{\frac{120}{8} \times 10^3}{12} + \frac{120}{8} \times 10 \times (23 - 21.08)^2 = 6610$$

$$S = \frac{I}{(18 + 10 - \bar{y})} = \frac{6610}{21.08} = 313.6$$

با فرض اینکه از بتن کششی صرف‌نظر نشود، گزینه ۱ صحیح است.

تمرین

در سوال بالا مرکز پلاستیک مقطع را بدست آورید.

## ۹-۱-۱- تعداد برش گیرها در تیرها

۱۰-۲-۸-۳- مقاومت خمشی مقاطع مختلط دارای برشگیر

(ت) انتقال بار بین تیر فولادی و دال بتنی

ت-۱) نواحی لنگر خمشی مثبت

۱. مقاومت برش افقی مورد نیاز

برای عملکرد مختلط کامل، برش افقی مورد نیاز باید به شرح زیر برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی خردشدگی بتن و تسلیم کششی مقطع فولادی در نظر گرفته شود.

• خردشدگی بتن

$$V_{tu} = 0.185 f_c A_c$$

(۱۹-۸-۲-۱۰)

• تسلیم کششی مقطع فولادی

$$V_{tu} = F_y A_s$$

(۲۰-۸-۲-۱۰)

در روابط فوق:

 $f_c$  = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن $A_c$  = سطح مقطع دال بتنی در محدوده عرض موثر $A_s$  = مساحت مقطع فولادی $F_y$  = تنش تسلیم فولاد مقطع فولادی

۲. مقاومت برش افقی اسمی

مقاومت برش افقی اسمی اعضای با مقطع مختلط متکی بر دال بتنی و دارای برشگیر باید مطابق رابطه زیر بر اساس مقاومت برشی برشگیرها تعیین گردد.

$$V_{hn} = \sum Q_n$$

(۲۱-۸-۲-۱۰)

که در آن:

 $\sum Q_n$  = مجموع مقاومت‌های برشی اسمی برشگیرها در حد فاصل نقاط لنگر خمشی مثبت حداکثر

و لنگر صفر مطابق مقررات بند ۱۰-۲-۸-۷.

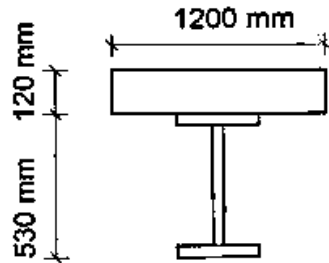
۳. تعداد، فاصله و مشخصات برشگیرها بایستی از طریق برقراری رابطه زیر و بدون احتساب ضریب

کاهش مقاومت تعیین گردد.

$$V_{hn} \geq V_{tu}$$

(۲۲-۸-۲-۱۰)

۲۸- یک تیر دوسر ساده با مقطع مختلط خمشی، تشکیل شده است از یک تیر ورق I شکل با جان PL 500 × 10 mm و بال‌های PL 200 × 15 mm. ضخامت دال 120 mm و عرض مؤثر آن در هر طرف تیر 600 mm است. میلگرد دال S340، رده بتن C25 و فولاد تیر ورق ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) فرض می‌شود. برای عملکرد مختلط کامل این تیر، مقاومت برشی افقی موردنیاز به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟



3060 kN (۱)

2640 kN (۲)

1530 kN (۳)

1320 kN (۴)

گزینه ۲

$$\left. \begin{aligned} V_{hu} &= 0.85 \times 25 \times 1200 \times 120 = 3060 \text{ kN} \\ V_{hu} &= 240 \times (500 \times 10 + 2 \times 200 \times 15) = 2640 \text{ kN} \end{aligned} \right\} V_{hu} = 2640 \text{ kN}$$

۴۹- یک تیر دوسر ساده با مقطع مختلط و با عملکرد مختلط کامل شامل دال بتنی به ضخامت 120 میلی‌متر و تیرهای فولادی IPE220 ( $A=33.4 \text{ cm}^2$ ) به فواصل 2.5 متر و طول 6 متر مفروض است. در طراحی به روش تنش مجاز، برشگیرهای واقع در حدفاصل نقطه حداکثر لنگر خمشی و تکیه‌گاه باید حدوداً برای چه نیروی برشی افقی طراحی شوند؟ فرض کنید بتن از رده C25 و فولاد از نوع St37 است.

1915 kN (۳)

3200 kN (۱)

400 kN (۴)

800 kN (۲)

$$b_{eff} = \text{Min} \left( 2 \times \frac{6000}{8}, 2 \times \frac{2500}{2} \right) = 1500 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{aligned} V_h &= 0.85 \times 25 \times (1500 \times 120) = 3825 \text{ kN} \\ V_h &= 240 \times 3340 = 801.6 \text{ kN} \end{aligned} \right\} V_h = 801.6 \text{ kN}$$

## ۹-۲- ضوابط برشگیرها در تیرها

۱۰-۲-۸-۷-۲ برشگیرهای **تیرهای** با مقطع مختلط

برشگیرها باید یا از نوع گل‌میخ‌های کلاهک‌دار که طول آنها بعد از نصب، حداقل ۴ برابر قطرشان است یا از نوع ناودانی‌های گرم نوردشده باشند، برشگیرها باید در دال‌هایی مدفون شوند که سنگدانه‌های آنها برای بتن معمولی منطبق بر الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان باشند. استفاده از سایر اجزای فولادی به عنوان برشگیر تنها در صورتی مجاز است که مقاومت برشی اسمی آنها از طریق آزمایشگاه ذیصلاح تأیید شده باشد.

**الف) مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع گل‌میخ**

مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع گل‌میخ که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و در داخل دال بتنی قرار می‌گیرند، باید از رابطه زیر تعیین شود.

$$Q_n = 0.5 A_{sa} \sqrt{f_c E_c} \leq R_g R_p A_{sa} F_u \quad (33-8-2-10)$$

که در آن:

 $A_{sa}$  = سطح مقطع گل‌میخ $E_c$  = مدول الاستیسیته بتن $f_c$  = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن $F_u$  = تنش کششی نهایی حداقل مصالح گل‌میخ $R_g$  و  $R_p$  = ضرایب اصلاحی طبق جدول ۱۰-۲-۸-۱جدول ۱۰-۲-۸-۱ مقادیر  $R_p$  و  $R_g$ 

$R_p$	$R_g$	حالت	
۰/۷۵	۱	۱. مقاطع مختلط بدون استفاده از ورق‌های فولادی شکل داده شده	
۰/۷۵	۱	$w_f/h_f \geq 1/5$	کنگره‌ها موازی با محور تیر فولادی
۰/۷۵	۰/۸۵	$w_f/h_f < 1/5$	
۰/۱۶	۱	تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی ۱	۲. مقاطع مختلط با استفاده از ورق‌های فولادی شکل داده شده کنگره‌ها عمود بر محور تیر فولادی
۰/۱۶	۰/۸۵	تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی ۲	
۰/۱۶	۰/۷	تعداد گل‌میخ در یک کنگره در محل تقاطع با تیر مساوی یا بزرگتر از ۳	

پ) جزئیات بندی

به استثنای برشگیرهای نصب شده در داخل کنگره ورق‌های فولادی شکل داده شده، برشگیرها باید حداقل ۲۵ میلی‌متر پوشش جانبی از بتن داشته باشند. حداقل فاصله گل‌میخ تا لبه بتن در امتداد برش افقی برای بتن‌های با وزن مخصوص معمولی باید ۲۰ میلی‌متر و برای بتن‌های سبک ۲۵ میلی‌متر باشد.



**حداقل فاصله مرکز تا مرکز بین برشگیرهای از نوع گل‌میخ** مساوی ۶ برابر قطر آنها در امتداد محور طولی تیر و ۴ برابر قطر آنها در امتداد عمود بر محور طولی تیر با مقطع مختلط می‌باشد، مگر در داخل کنگره‌های ورق‌های فولادی شکل داده شده که حداقل فاصله مرکز تا مرکز در هر امتداد را می‌توان ۴ برابر قطر گل‌میخ انتخاب کرد. حداکثر فاصله مرکز تا مرکز بین برشگیرها نباید از ۸ برابر ضخامت کل دال بتنی یا ۸۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

ب) مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی

مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و در داخل دال بتنی قرار می‌گیرند، باید از رابطه زیر تعیین شود.

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w) L_a \sqrt{f_c E_c} \quad (34-8-2-10)$$

که در آن:

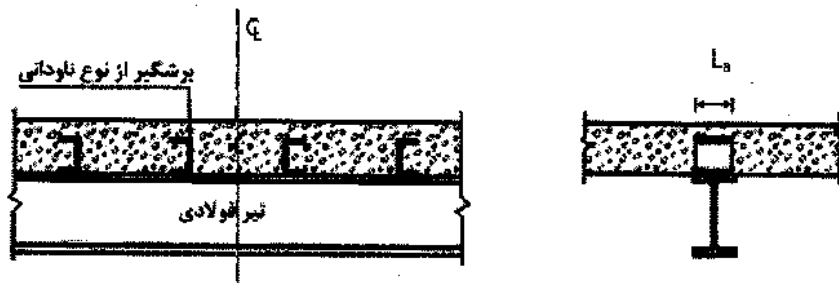
$t_f$  = ضخامت متوسط بال ناودانی

$t_w$  = ضخامت جان ناودانی

$L_a$  = طول ناودانی

$f_c$  = مقاومت فشاری مشخصه نمونه استوانه‌ای بتن

$E_c$  = مدول الاستیسیته بتن



شکل ۷-۸-۲-۱۰ برشگیرهای از نوع ناودانی

#### محاسبات ۹۴

۱۵- یک تیر دو سر ساده با مقطع و عملکرد مختلط با دهانه ۶ متر موجود است. اگر ضخامت دال بتنی ۱۰۰ mm، تیرچه فولادی IPE 200 ( $A = 2850 \text{ mm}^2$ ) به فاصله ۲ متر و عرض مؤثر دال بتنی هر تیرچه ۱.۵ m باشد و در صورتی که از ناودانی UNP 60 به طول ۶۰ میلی‌متر با فواصل مساوی از یکدیگر به عنوان برش‌گیر استفاده شود، حداکثر فاصله ناودانی‌ها (بر حسب میلی‌متر) حدوداً چقدر است؟ (رده بتن C30 با  $E_c = 30000 \text{ MPa}$ ، فولاد با  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ، ضخامت جان ناودانی برابر  $t_w = 6 \text{ mm}$  و ضخامت بال ناودانی برابر  $t_f = 6 \text{ mm}$  بوده و تیر بارگسترده یکنواخت را تحمل می‌کند).

۲۰۰ (۱)      ۸۰۰ (۲)      ۴۰۰ (۳)      ۶۰۰ (۴)

گزینه ۴

نیروی وارد بر برشگیرها (در نصف طول تیر) برابر است با:

$$\text{Min}(0.85f_c A_c, F_y A_s) = \text{Min}(0.85 \times 30 \times 100 \times 1500, 240 \times 2850) = \text{Min}(3825000, 684000) = 684 \text{ kN}$$

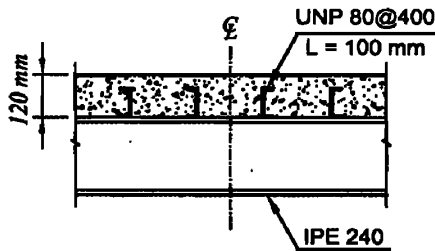
مقاومت طراحی هر برشگیر برابر است با:

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w) L_a \sqrt{f_c E_c} = 0.3(6 + 0.5 \times 6) 60 \sqrt{30 \times 30000} = 153686.7 \text{ N} = 153.6 \text{ kN}$$

بنابراین تعداد برشگیرهای لازم در نیمه تیر برابر  $\frac{684}{153.6} = 4.45$  می‌باشد و در کل تیر به اندازه ۱۰ برشگیر لازم خواهد بود که با

توجه به اینکه کل طول تیر ۶ متر می‌باشد، فواصل آنها از هم برابر  $600 \text{ mm} = \frac{6000 \text{ mm}}{10}$  خواهد بود.

۱۵- مقاومت برشی افقی اسمی ( $V_{hn}$ ) تیر با مقطع مختلط نشان داده شده که متکی بر دال بتنی می‌باشد، بر حسب کیلونیوتن به کدام مقدار زیر نزدیک‌تر است؟ تیر مختلط به صورت تیر دو سر ساده به طول ۶ متر بوده و تحت بار گسترده یکنواخت قرار دارد. همچنین تعداد کل ناودانی‌ها در طول تیر ۱۶ عدد می‌باشد. ناودانی‌ها دارای طول ۱۰۰ mm، ضخامت جان ۶ mm و ضخامت بال ۸ mm می‌باشد. بتن دال دارای  $f_c = 25 \text{ MPa}$  و  $E_c = 25000 \text{ MPa}$  است. فاصله ناودانی‌ها از یکدیگر ۴۰۰ میلی‌متر است.



(۱) 2609

(۲) 2087

(۳) 1304

(۴) 521

گزینه ۲

مقاومت هر ناودانی برابر است با:

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_n\sqrt{f_c E_c} = 0.3(8 + 0.5 \times 6) \times 100\sqrt{25 \times 25000} = 260888 \text{ N} = 261 \text{ kN}$$

تعداد ناودانی‌ها در حدفاصل لنگر حداکثر (وسط تیر) تا لنگر صفر (ابتدای تیر) برابر ۸ عدد می‌باشد:

$$V_{hn} = 8 \times 261 = 2088 \text{ kN}$$

تمرین: محاسبات-۹۰

۱۹- در یک تیر مختلط دو سر ساده به طول ۴ متر و با بار گسترده یکنواخت، برش افقی کل که باید بین نقطه حداکثر لنگر خمشی و نقطه لنگر خمشی صفر حمل گردد، برابر ۴۰۰ kN محاسبه شده است. در صورت استفاده از ناودانی نمره ۶۰ به طول ۵ سانتیمتر و با فواصل مساوی از یکدیگر به عنوان برشگیر در طراحی به روش تنش مجاز فاصله ناودانی‌ها از یکدیگر چقدر باید باشد؟ رده بتن برابر C20 فرض شود.

(۱) ۲۰ سانتیمتر

(۲) ۳۰ سانتیمتر

(۳) ۱۵ سانتیمتر

(۴) ۲۵ سانتیمتر

(ب) مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی

مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی که بر بال فوقانی تیر فولادی متصل شده و در داخل دال بتنی قرار می‌گیرند، باید از رابطه زیر تعیین شود.

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_n\sqrt{f_c E_c} \quad (۱۰-۲-۸-۳۴)$$

$$E_c = (3300\sqrt{20} + 6900) \left(\frac{24}{23}\right)^{1.5} = 23086 \text{ MPa}$$

$$\rightarrow Q_n = 0.3(6 + 3)50\sqrt{20} \times 23086 = 91732 \text{ N}$$

با فرض اینکه ۴۰۰kN بار نهایی ضریب دار باشد:

$$n = \frac{400000}{91732} = 4.36 \Rightarrow 5$$

$$n = \frac{2m}{5} = 40 \text{ cm}$$

## ۹-۳- ضوابط برشگیرها در ستونها

۱۰-۲-۸-۳ برشگیرها در ستونها (تیرستون‌ها) با مقطع مختلط

مشخصات برشگیرها در ستون‌های با مقطع مختلط باید با رعایت محدودیت‌های ذکر شده در جدول ۱۰-۲-۸ در نظر گرفته شود.

۱۰-۲-۸-۴ مقاومت برشی طراحی گل‌میخ‌ها

در مواردی که گسیختگی قالبی بتن در برش به عنوان یک حالت حدی محسوب نشود، مقاومت برشی طراحی گل‌میخ‌ها مساوی  $\phi_v Q_{nt}$  می‌باشد که در آن ضریب کاهش مقاومت برشی گل‌میخ برابر  $0/65$  و  $Q_{nt}$  مقاومت برشی اسمی گل‌میخ می‌باشد که باید از رابطه زیر تعیین گردد.

$$Q_{nt} = F_u A_{sa} \quad (34-8-2-10)$$

که در آن:

 $F_u$  = تنش کششی نهایی حداقل مصالح گل‌میخ

 $A_{sa}$  = سطح مقطع گل‌میخ

جدول ۱۰-۲-۸-۲ حداقل نسبت ارتفاع گل‌میخ به قطر آن در ستون‌ها و تیرستون‌ها

نوع بار وارد بر گل‌میخ	بتن با وزن مخصوص معمولی	بتن سبک
برش	$h/d \geq 5$	$h/d \geq 7$
کشش	$h/d \geq 8$	$h/d \geq 10$
برش و کشش به طور همزمان	$h/d \geq 8$	کاربرد ندارد

$h$  = ارتفاع گل‌میخ  
 $d$  = قطر گل‌میخ

۱۰-۲-۸-۵ مقاومت کششی طراحی گل‌میخ‌ها

در مواردی که فاصله مرکز گل‌میخ تا لبه آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گل‌میخ بزرگتر از  $1/5$  برابر ارتفاع گل‌میخ و فاصله مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها بزرگتر یا مساوی  $3$  برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، مقاومت کششی طراحی گل‌میخ‌ها مساوی  $\phi_t Q_{nt}$  می‌باشد که در آن ضریب کاهش مقاومت کششی گل‌میخ برابر  $0/75$  و  $Q_{nt}$  مقاومت کششی اسمی گل‌میخ می‌باشد، که باید از رابطه زیر تعیین گردد.

$$Q_{nt} = F_u A_{sa} \quad (35-8-2-10)$$

که در آن،  $F_u$  و  $A_{sa}$  همان تعاریف بکار رفته در بند ۱۰-۲-۸-۴ می‌باشند.

تیسره: در مواردی که فاصله مرکز گل‌میخ تا لبه آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گل‌میخ کوچکتر از  $1/5$  برابر ارتفاع گل‌میخ یا فاصله مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها کوچکتر از  $3$  برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، مقاومت کششی طراحی گل‌میخ‌ها باید براساس الزامات مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تعیین گردد.

۱۰-۲-۸-۶ اثر همزمان برش و کشش در گل‌میخ‌ها

در مواردی که گسیختگی قالبی بتن در برش به عنوان یک حالت حدی محسوب نشود و نیز فاصله مرکز گل‌میخ تا لبه آزاد بتن در امتداد عمود بر ارتفاع گل‌میخ بزرگتر از  $1/5$  برابر ارتفاع گل‌میخ و فاصله مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها بزرگتر یا مساوی  $3$  برابر ارتفاع گل‌میخ باشد، اثر توأم برش و کشش در گل‌میخ باید به شرح زیر در نظر گرفته شود:

$$\left[ \frac{Q_{ut}}{\phi_t Q_{nt}} \right]^2 + \left[ \frac{Q_{uv}}{\phi_v Q_{nv}} \right]^2 \leq 1/0 \quad (35-8-2-10)$$

که در آن:

 $Q_{ut}$  = مقاومت کششی مورد نیاز گل‌میخ

 $\phi_t$  = ضریب کاهش مقاومت کششی گل‌میخ مساوی  $0/75$ 
 $Q_{nt}$  = مقاومت کششی اسمی گل‌میخ

 $Q_{uv}$  = مقاومت برشی مورد نیاز گل‌میخ

 $\phi_v$  = ضریب کاهش مقاومت برشی گل‌میخ مساوی  $0/65$ 
 $Q_{nv}$  = مقاومت برشی اسمی گل‌میخ

۱۰-۲-۸-۷ مقاومت برشی طراحی برشگیرهای از نوع ناودانی

مقاومت برشی طراحی برشگیرهای از نوع ناودانی مساوی  $\phi_v Q_n$  می‌باشد که در آن ضریب کاهش مقاومت برشی ناودانی برابر  $0/75$  و  $Q_n$  مقاومت برشی اسمی برشگیرهای از نوع ناودانی می‌باشد که باید براساس رابطه ۱۰-۲-۸-۳۴ تعیین گردد.

۱۰-۲-۸-۸ جزئیات بندی برشگیرها در اعضای با مقطع مختلط

۱. برشگیرها باید حداقل  $25$  میلی‌متر پوشش جانبی از بتن داشته باشند.
۲. حداقل فاصله مرکز تا مرکز گل‌میخ در هر امتداد  $4$  برابر قطر گل‌میخ می‌باشد.
۳. حداکثر فاصله مرکز تا مرکز گل‌میخ‌ها  $30$  برابر قطر گل‌میخ می‌باشد.
۴. حداکثر فاصله مرکز تا مرکز برشگیرهای از نوع ناودانی  $500$  میلی‌متر می‌باشد.

## ۱۰- الزامات تامین پایداری

## ۱۰-۱-۲-۱۰ الزامات عمومی

تأمین پایداری کل سازه و تمامی اجزای آن از الزامات تحلیل و طراحی است. مطابق الزامات این بخش، پایداری کل سازه و تمامی اجزای آن در صورتی تأمین می‌شود که آثار ذکر شده در زیر به نحو مؤثری در تحلیل و طراحی آنها لحاظ شده باشد.

(۱) تغییرشکل‌های محوری، خمشی و برشی اعضای سازه و تغییرشکل‌های سایر اجزا (نظیر اتصالات) که در جابجایی سازه مؤثرند.

(۲) آثار مرتبه دوم (شامل آثار  $P-\delta$  و  $P-\Delta$ )

(۳) نواقص هندسی (شامی کجی و ناشاقولی)

(۴) کاهش سختی اعضا ناشی از رفتار غیر الاستیک عمدتاً در اثر تنش‌های پسماند

(۵) عدم اطمینان در برآورد سختی و مقاومت

۱۰-۱-۱-۱۰ اثرات  $P-\delta$  و  $P-\Delta$ ۱۰-۱-۲-۱۰ آثار مرتبه دوم  $P-\delta$  و  $P-\Delta$ 

الف) آثار مرتبه دوم  $P-\delta$ : آثار  $P-\delta$  به آثار اضافی بارها به علت وجود انحنا در عضو مربوط می‌شود. این آثار سبب ایجاد لنگرهای خمشی اضافی می‌شوند که به علت عدم انطباق مرکز سطح مقطع بر خطی که دو انتهای بخشی از طول عضو را به هم وصل می‌کند، به وجود می‌آیند.

ب) آثار مرتبه دوم  $P-\Delta$ : آثار  $P-\Delta$  به آثار اضافی بارها به علت تغییرمکان جانبی نسبی اعضا مربوط می‌شود و سبب ایجاد نیروهای اضافی داخلی می‌شوند که در مقاطع اعضا به علت برون‌محوری ناشی از تغییرمکان جانبی یک انتهای عضو نسبت به انتهای دیگر آن به وجود می‌آیند. تغییرمکان جانبی نسبی دو انتهای عضو ممکن است به علت بارهای قائم یا بارهای جانبی یا ترکیبی از آنها باشد.



## ۱-۱-۲- روش تحلیل مرتبه دوم

## پیوست ۲

تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (1-2-پ)$$

$$P_u = P_{nt} + B_2 P_{lt} \quad (2-2-پ)$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - (P_u/P_{e1})} \quad (3-2-پ)$$

$C_m$  ضریبی است که به شرح زیر در حالتی که از انتقال جانبی قاب جلوگیری شده است، تعیین میگردد.

(۱) برای تیر ستون‌های فاقد هر نوع بار جانبی در بین دو انتهای آنها در صفحه خمش:

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2} \quad (4-2-پ)$$

که در آن  $M_1$  و  $M_2$  لنگرهای خمشی مرتبه اول دو انتهای ناحیه مهار نشده عضو مورد نظر در صفحه خمش بوده و  $|M_1| \leq |M_2|$  می‌باشد. در رابطه پ-۲-۴ در صورتی که اتحنای عضو به علت لنگرهای  $M_1$  و  $M_2$  ساده باشد نسبت  $\frac{M_1}{M_2}$  منفی و در صورتی که اتحنای عضو به علت لنگرهای  $M_1$  و  $M_2$  مضاعف باشد، نسبت  $\frac{M_1}{M_2}$  مثبت است.

(۲) برای تیر ستون‌هایی که در معرض بار جانبی در بین دو انتهای آنها در صفحه خمش قرار دارند مقدار  $C_m$  را می‌توان به طور محافظه کارانه برابر یک فرض نمود مگر آن که تحلیل دقیق مقدار کمتری را تعیین نماید.

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 (EI)^*}{(K_1 L)^2} \quad (5-2-پ)$$

که در آن:

- صلبیت خمشی کاهش یافته عضو برای حالتی که برای تامین الزامات طراحی از روش تحلیل مستقیم استفاده شده باشد  $EI^* = 0.85 E_b I$  که در آن  $E_b$  در بخش ۵-۱-۲-۱۰ تعریف شده است
- صلبیت خمشی کاهش نیافته  $(EI)$  برای حالتی که برای تامین الزامات طراحی از روش طول موثر و یا روش تحلیل مرتبه اول استفاده شده باشد.

$(EI)^*$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{P_{story}}{P_e}} \geq 1.0 \quad (6-2-پ)$$

## ۱-۲-۴ روش‌های تحلیل مرتبه دوم

بجز در مواردی که در بخش ۱-۲-۵-۳ مجاز دانسته شده است، مقاومت‌های مورد نیاز باید از طریق تحلیل‌های مرتبه دوم و با رعایت الزامات بخش ۱-۲-۵-۱ محاسبه شوند. در این مبحث استفاده از روش‌های تحلیلی زیر به عنوان روش‌های تحلیل مرتبه دوم مجاز دانسته شده است.

الف- تحلیل الاستیک مرتبه دوم: تحلیل الاستیک مرتبه دوم به تحلیل‌هایی گفته می‌شود که در آنها روش تحلیل سیستم سازه‌ای الاستیک بوده لیکن در حین تحلیل آثار مرتبه دوم (شامل آثار P-Δ و P-δ) در آن لحاظ می‌گردد.

ب- تحلیل مرتبه دوم از طریق تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته: در این مبحث استفاده از روش تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته به عنوان یک روش تحلیل مرتبه دوم مجاز دانسته شده است. الزامات این نوع روش تحلیل مرتبه دوم در پیوست ۲ این مبحث ارائه شده است.

تبصره: در هر کدام از روش‌های تحلیلی مرتبه دوم ذکر شده در بند ۱-۲-۴ با ارضاء محدودیت‌های زیر می‌توان از اثر P-δ صرف‌نظر نمود مشروط بر اینکه لنگرهای خمشی بدست آمده از روش‌های تحلیلی مذکور در اعضای تحت اثر توأم نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی با ضریب  $B_1$  (مطابق پیوست ۲) تشدید شده باشند.

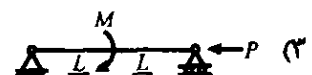
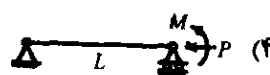
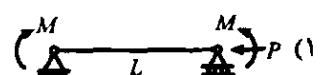
(۱) بارهای ثقیلی عمدتاً توسط ستون‌ها، دیوارها یا قاب‌های قائم تحمل شوند.

(۲) نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر تحلیل مرتبه دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر تحلیل مرتبه اول و یا به طور تقریب مقدار ضریب  $B_2$  در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته در تمام طبقات در راستای مورد نظر کوچکتر یا مساوی ۱/۷ باشد.

(۳) حداکثر یک سوم بارهای ثقیلی کل سازه توسط ستون‌های قاب‌های خمشی تحمل گردد.

ضریب تشدید لنگر در تیر ستون‌ها با عبارت  $\frac{C_m}{1 - \frac{f_a}{F_c}}$  تعریف شده است. این ضریب برای کدامیک از

گزینه‌های زیر بیشتر است؟ (جنس و نوع نیمرخ در چهار گزینه یکسان می‌باشد.) (آرد ۸۷ و ۸۸ مهندسی)



## ۱۰-۱-۳- قاب مهار شده و مهار نشده

**تبصره:** هرگاه نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر حاصل از تحلیل مرتبه دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر ناشی از تحلیل مرتبه اول و یا به طور تقریب مقدار ضریب  $B_2$  در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته، برای تمام طبقات هر نوع سیستم سازه‌ای کمتر یا مساوی ۱/۱ باشد، کلیه قاب‌های آن سیستم سازه‌ای را می‌توان به عنوان قاب‌های مهار شده تلقی نموده و در نتیجه مطابق بند ۱۰-۲-۱-۳-۱ ضریب طول موثر (K) برای اعضای فشاری کلیه قاب‌های این نوع سیستم‌های سازه‌ای را برابر یک در نظر گرفت.

## ۱-۱-۴- ملاحظات نواقص هندسی اولیه

۱-۲-۱-۵-۱-۱-۱۰ ملاحظات نواقص هندسی اولیه

در روش تحلیل مستقیم، آثار نواقص هندسی اولیه (شامل کجی و ناشاقولی اعضا) باید از طریق مدل کردن این نواقص در تحلیل مرتبه دوم سازه انجام پذیرد. در سازه‌هایی که بارهای ثقیلی عمدتاً توسط ستون‌ها، دیوارها یا قاب‌های قائم تحمل می‌شوند، به جای در نظر گرفتن نواقص هندسی اولیه در مدل‌سازی می‌توان به شرح زیر یک بار جانبی فرضی در طبقات ساختمان اعمال نمود.

$$N_i = 0.002Y_i \quad (4-1-2-10)$$

که در آن:

$N_i$  = بار جانبی فرضی در طبقه  $i$

$Y_i$  = بار ثقیلی ضربیدار در طبقه  $i$  متناسب با ضرایب بکاررفته در ترکیبات مختلف بارگذاری

**یادداشت‌ها:** در هنگام اعمال بار جانبی فرضی ( $N_i$ ) به طبقات ساختمان توجه به نکات زیر ضروری است.

(۱) توزیع بار جانبی فرضی در کف هر طبقه باید مشابه توزیع بارهای ثقیلی در کف همان طبقه در نظر گرفته شود.

(۲) بار جانبی فرضی ( $N_i$ ) باید به کلیه ترکیبات بارگذاری اضافه شود. در مواردی که نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر تحلیل مرتبه دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر تحلیل مرتبه اول (و یا بطور تقریب مقدار ضریب تشدید  $B_r$  در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته) با احتساب سختی کاهش یافته اعضا (مطابق تنظیمات بند ۱۰-۲-۱-۵-۱-۲) در کلیه طبقات کوچکتر یا مساوی  $1/7$  باشد، می‌توان بارهای جانبی فرضی ( $N_i$ ) را فقط در ترکیبات بارگذاری ثقیلی منظور نموده و از اثر آنها در ترکیبات بارگذاری شامل بارهای جانبی صرف‌نظر نمود.

(۳) بارهای جانبی فرضی باید در راستایی به سازه اعمال شود که بیشترین اثر ناپایداری را داشته باشد.

(۴) ضریب بار جانبی فرضی ( $0.002$ ) براساس حداکثر ناشاقولی مجاز ستون‌ها در هر طبقه برابر  $\frac{1}{500}$  ارتفاع طبقه محاسبه شده است. در مواردی که میزان ناشاقولی از مقدار حداکثر ( $\frac{1}{500}$  ارتفاع طبقه) کمتر باشد، ضریب بار جانبی فرضی می‌تواند متناسب با آن کاهش یابد.

**تبصره:** کاربرد ملاحظات نواقص هندسی اولیه فقط برای تعیین مقاومت‌های مورد نیاز اعضا محدود می‌گردد و برای سایر منظورات طراحی (نظیر کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات، کنترل خیز تیرها، کنترل ارتعاش اعضا و کف‌ها و محاسبه زمان تناوب اصلی ساختمان) نباید ملاحظات نواقص هندسی اولیه مورد استفاده قرار گیرد.

## ۱-۱-۵- تنظیمات سختی اعضا

۱-۲-۱-۵-۲ تنظیمات سختی اعضاء

در تحلیل و طراحی به روش تحلیل مستقیم برای تعیین مقاومت‌های مورد نیاز در تحلیل مرتبه دوم باید به شرح زیر از ضرایب کاهش سختی استفاده شود.

(۱) ضریب کاهش  $0/8$  برای کلیه سختی‌هایی که در پایداری سازه موثرند. اعمال این ضریب کاهش برای کلیه سختی‌های تمامی اعضاء (حتی اگر در پایداری سازه نقشی نداشته باشند) نیز مجاز است.

(۲) علاوه بر ضریب کاهش  $0/8$  یک ضریب اضافی  $\tau_b$  نیز به شرح زیر در سختی خمشی اعضایی که در پایداری سازه موثر هستند.

$$(EI)^* = 0/8 \tau_b EI \quad (4-1-2-10)$$

که در آن:

$$(EI)^* = \text{صلبیت خمشی کاهش یافته عضو}$$

$$E = \text{مدول الاستیسیته فولاد}$$

$$I = \text{ممان اینرسی مقطع عضو حول محور خمش}$$

$$\tau_b = \text{ضریب کاهش اضافی سختی خمشی طبق رابطه ۶-۱-۲-۱۰}$$

$$\tau_b = \begin{cases} 1/0 & \frac{P_u}{P_y} \leq 0/5 \\ 4 \frac{P_u}{P_y} \left(1 - \frac{P_u}{P_y}\right) & \frac{P_u}{P_y} > 0/5 \end{cases} \quad (6-1-2-10)$$

در رابطه ۶-۱-۲-۱۰  $P_u$  مقاومت محوری فشاری مورد نیاز و  $P_y$  مقاومت تسلیم محوری عضو می‌باشد. ( $P_y = A_g F_y$ )

(۳) به جای استفاده از  $\tau_b$  متغیر در رابطه ۶-۱-۲-۱۰ برای کاهش اضافی سختی خمشی اعضاء،

می‌توان مقدار  $\tau_b$  را برای کلیه نسبت‌های  $\frac{P_u}{P_y}$  برابر یک فرض کرد مشروط بر اینکه یک بار جانبی

اضافی برابر  $0/001 Y_1$  به کلیه طبقات اعمال شود. این بار جانبی اضافی باید در کلیه ترکیبات

بارگذاری به همراه بارهای جانبی و بارهای جانبی فرضی در اثر نواقص هندسی اولیه در نظر گرفته

شود. مورد (۲) از یادداشت بند ۱-۱-۵-۱-۲-۱۰ شامل این بار جانبی اضافی نمی‌شود.

(۴) چنانچه در یک سیستم سازه‌ای برای تأمین پایداری آن از اعضایی با مصالح دیگری به جز

فولاد استفاده شده باشد و مقررات سازه‌ای مربوط به نوع مصالح ضریب کاهش سختی

کوچکتری (کاهش سختی بیشتری) را الزام کرده باشد، برای آن نوع اعضاء باید ضریب کاهش

سختی کوچکتر مورد استفاده قرار گیرد.

**تبصره:** در روش تحلیل مستقیم کاربرد سختی کاهش یافته فقط در تحلیل مرتبه دوم و برای

تعیین مقاومت‌های مورد نیاز اعضاء محدود می‌گردد و برای سایر منظورات طراحی (نظیر

کنترل تغییرمکان جانبی نسبی طبقات، کنترل خیز تیرها، کنترل ارتعاش اعضاء و کف‌ها و

محاسبه زمان تناوب اصلی ساختمان) نباید از ضرایب کاهش سختی استفاده شود.

## تمرین

کدامیک از ترکیب بارهای زیر جزوه ترکیب بارهای ثقلی طراحی یک سازه فولادی می تواند مورد استفاده قرار گیرد؟  
 $NDX=0.002D$  بار جانبی فرضی جهت منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه می باشد که در راستای X وارد می شود.  
 $NDY=0.002D$  بار جانبی فرضی جهت منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه می باشد که در راستای Y وارد می شود.  
 $NLX=0.002L$  بار جانبی فرضی جهت منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه می باشد که در راستای X وارد می شود.  
 $NLY=0.002L$  بار جانبی فرضی جهت منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه می باشد که در راستای Y وارد می شود.  
 D و L بارهای مرده و زنده (بدون ضریب بار) می باشند.

$$1.4D+1.4NDX+1.4NDY \quad (۱)$$

$$1.4D+NDX+NDY \quad (۲)$$

$$1.2D+1.6L+1.2NDX+1.6NLX \quad (۳)$$

$$1.2D+1.6L+1.2NDX+1.6NLX+1.2NDY+1.6NDY \quad (۴)$$

## تمرین

کدامیک از موارد زیر در مورد نحوه منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه در ستونهای فولادی صحیح است؟

(۱) بارهای جانبی فرضی باید در تمامی شرایط به تمامی ترکیبات بارگذاری اضافه شود.

(۲) بارهای جانبی فرضی در تمامی شرایط تنها به ترکیبات بارگذاری ثقلی اضافه شود.

(۳) در صورتی که ضریب B2 در تمامی طبقات کمتر از 1.7 باشد می توان اثر بارهای جانبی فرضی را تنها در بارهای ثقلی منظور کرد.

(۴) بارهای جانبی فرضی در تمامی شرایط از رابطه  $N_i=0.002 Y_i$  محاسبه می شود.

## تمرین

در یک سازه یک طبقه ارتفاع طبقه برابر 3m می باشد. بار ثقلی ضریب دار طبقه برابر 300kN می باشد. برای منظور کردن آثار نواقص هندسی اولیه بارهای فرضی جانبی منظور شده است. لنگر ناشی از بارهای فرضی در پای ستونها چقدر خواهد بود. از روش طول موثر برای تحلیل استفاده شده است.

$$900 \text{ KN.m} \quad (۱)$$

$$1.8 \text{ KN.m} \quad (۲)$$

$$0.6 \text{ KN.m} \quad (۳)$$

$$3.6 \text{ KN.m} \quad (۴)$$

## تمرین

در یک قاب خمشی از روش تحلیل مستقیم برای محاسبه نیروها استفاده شده است. بار محوری وارد بر یکی از ستونها تحت اثر بار مرده برابر  $P_{dead}=600 \text{ kN}$ ، تحت اثر بار زنده برابر  $P_{live}=400 \text{ kN}$  و تحت اثر زلزله برابر  $P_E=300 \text{ kN}$  می باشد. سطح مقطع ستون برابر  $A_g=9000 \text{ mm}^2$  می باشد. صلیبیت خمشی کاهش یافته عضو برای تنظیم سختی عضو برای این ستون چقدر است؟  
 $(F_y=240 \text{ MPa})$

$0.64EI(۴)$  $0.8EI(۳)$  $0.72EI(۲)$  $0.9EI(۱)$ 

## ۱۰-۱-۶- روش تحلیل و طراحی

## ۱۰-۲-۱-۵ الزامات تحلیل و طراحی

به طور کلی برای تأمین پایداری کل سازه و تمامی اجزای آن، به کار بردن هر روش تحلیل و طراحی علمی و منطقی که آثار ذکر شده در بند ۱۰-۲-۱-۱ به نحو موثری در آن لحاظ شده باشد، مجاز است. روش‌های تحلیل و طراحی ارائه شده در زیر با محدودیت‌ها و الزامات ذکر شده به عنوان روش‌های قابل قبول تحلیل و طراحی محسوب می‌گردند.

(۱) روش تحلیل مستقیم

(۲) روش طول موثر

(۳) روش تحلیل مرتبه اول

## ۱۰-۲-۱-۵-۱ محدودیت‌ها و الزامات روش تحلیل مستقیم

برای تعیین مقاومت‌های مورد نیاز اعضاء و طراحی آنها و تحلیل و طراحی به روش تحلیل مستقیم محدودیت‌ها و الزامات زیر باید تأمین گردند.

## الف- محدودیت‌ها

در تحلیل و طراحی به روش تحلیل مستقیم هیچگونه محدودیتی وجود ندارد.

## ب- الزامات

(۱) تحلیل سازه مطابق بند ۱۰-۲-۱-۴ از نوع تحلیل مرتبه دوم باشد.

(۲) مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۱-۵-۱ آثار نواقص هندسی اولیه (شامل کجی و ناشاقولی) در تحلیل مرتبه دوم منظور گردد.

(۳) مطابق الزامات بند ۱۰-۲-۱-۵-۲ تحلیل مرتبه دوم براساس سختی کاهش یافته اعضا صورت گیرد.

(۴) مقاومت طراحی کلیه اعضاء محوری فشاری (مطابق بخش ۱۰-۲-۴) برای انواع سیستم‌های قاب‌بندی شده ذکر شده در بند ۱۰-۲-۳ با فرض عدم انتقال جانبی ( $K=1$ ) تعیین شود.

ندارد { محدودیت

تحلیل الاستیک مرتبه دوم  
روش تحلیل مرتبه دوم  
تحلیل مرتبه اول تشدید یافته

طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۱ { آثار نواقص هندسی اولیه

طبق بند ۱۰-۲-۱-۵-۲ { تنظیمات سختی اعضا

در تمامی سازه‌ها  $K=1$  { ضریب  $K$  ستونها

## تمرین

در تحلیل و طراحی یک سازه ۵ طبقه از روش تحلیل مستقیم استفاده شده است. سازه در هر دو جهت قاب خمشی بوده و بدون مهار جانبی محسوب می‌شود. ضریب طول موثر ستونها ( $K$ ) که در محاسبات استفاده می‌شود، در چه محدوده‌ای خواهند بود؟

(۱)  $K < 1$ (۲)  $K = 1$ (۳)  $1 < K$

#### ۴) مقدار K برای ستونهای مختلف مقادیر متفاوتی داشته و هر سه گزینه می تواند صحیح باشد.

۲-۵-۱-۲-۱۰ محدودیتها و الزامات روش طول موثر

برای تعیین مقاومت‌های مورد نیاز اعضا و طراحی آنها در تحلیل و طراحی به روش طول موثر تبصره: در صورتی که برای تحلیل مرتبه دوم از روش الاستیک مرتبه اول تشدید یافته استفاده گردیده و در سیستم سازه‌ای مورد مطالعه برخی از قاب‌ها بصورت ثقلی طراحی شده باشند، آثار P-Δ ناشی از بار وارده بر ستون‌های ثقلی باید به اعضای سیستم‌های مقاوم در برابر بار جانبی منتقل شده و در محاسبات مقاومت‌های طراحی اعضای فشاری سیستم‌های برابر جانبی مورد توجه قرار گیرند. در سیستم‌های سازه‌ای دارای قاب‌های مهار شده (نظیر قاب‌های مهاربندی شده و یا قاب‌های دارای دیوار برشی) این آثار قابل توجه نبوده و در طراحی اعضای فشاری قاب‌های مهار شده می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد.

الف- محدودیتها

(۱) بارهای ثقلی عمدتاً توسط ستون‌ها، دیوارها یا قاب‌های قائم تحمل شود.

(۲) نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر مرتبه دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر مرتبه اول و یا به طور تقریب مقدار ضریب تشدید B<sub>2</sub> در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته، در کلیه طبقات کوچکتر یا مساوی ۱/۵ باشد.

ب- الزامات

(۱) تحلیل سازه باید مطابق الزامات بند ۴-۱-۲-۱۰ از نوع تحلیل مرتبه دوم و بدون در نظر گرفتن هرگونه کاهش سختی باشد.

(۲) اثر نواقص هندسی اولیه (شامل کجی و ناشاقولی اعضا) مطابق ملاحظات بند ۱-۱-۵-۱-۲-۱۰ در تحلیل مرتبه دوم منظور گردد.

(۳) مقاومت طراحی کلیه اعضا محوری فشاری (P<sub>e</sub>) بر اساس ضریب طول موثر (K) تعیین شود.

ضریب طول موثر اعضا (K) متناسب با نوع سیستم قاب‌بندی شده باید بر اساس الزامات بندهای ۱-۳-۱-۲-۱۰ الی ۳-۳-۱-۲-۱۰ تعیین گردد.

$$\eta_k = \sqrt{1 + \frac{\sum P_{leaning}}{\sum P_{stability}}} \quad (Y-1-2-10)$$

که در آن:

$$\begin{aligned} \eta_k &= \text{ضریب تشدید طول موثر} \\ &= \sum P_{leaning} / \text{مجموع بارهای قائم ستون‌های غیر برابر جانبی} \\ &= \sum P_{stability} / \text{مجموع بارهای قائم ستون‌های برابر جانبی} \end{aligned}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{طول موثر} \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{محدودیت} \\ \left\{ \begin{array}{l} (2-5-1-2-10) \text{ نحوه تحمل بارهای ثقلی} \\ (2-5-1-2-10) \text{ محدودیت ضریب تشدید } B_2 \end{array} \right. \\ \left. \left\{ \begin{array}{l} \text{تحلیل الاستیک مرتبه دوم} \\ \text{روش تحلیل مرتبه دوم} \\ \text{تحلیل مرتبه اول تشدید یافته} \end{array} \right. \\ \text{طبق بند } 10-2-1-5-1-1 \left\{ \begin{array}{l} \text{آثار نواقص هندسی اولیه} \\ \text{تنظیمات سختی اعضا} \end{array} \right. \\ \text{طبق بند } 10-2-1-5-1-2 \left\{ \begin{array}{l} \text{ضریب } K \text{ ستونها} \end{array} \right. \end{array} \right\} \end{array} \right\}$$

## تمرین

در قاب خمشی شکل زیر برای تحلیل سازه از روش طول موثر استفاده شده است. ضریب طول موثر ستون AB چقدر باید منظور

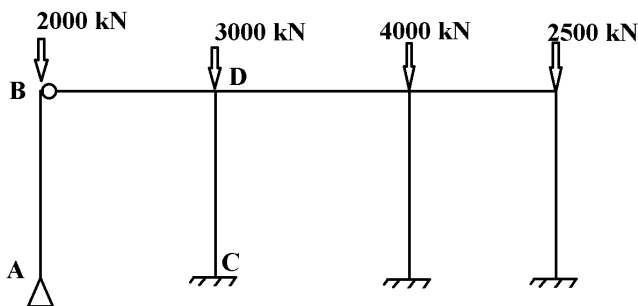
شود. بارهای وارد شده، مجموع بارهای مرده و زنده را نشان می دهد. کدام گزینه در رابطه با ستون AB صحیح است؟

(۱) ستون بدون مهار جانبی بوده و بنابراین با توجه به دوسر مفصل بودن آن ناپایدار محسوب شده و ساخت چنین سازه ای غیر مجاز است.

(۲) این ستون تنها باربر ثقلی بوده و با فرض ضریب طول موثر برابر  $K=1$  مقاومت محوری آن قابل محاسبه است و در صورتی که مقاومت کافی داشته باشد، استفاده از این سیستم مجاز خواهد بود.

(۳) گرچه ستون ناپایدار است ولی تیر BD می تواند بار محوری وارد بر نقطه B را به صورت یک تیر طره تحمل کند و اگر تیر BD و بقیه ستونها مقاومت کافی داشته باشد، استفاده از این سیستم مجاز است.

(۴) در این سازه نمی توان از روش طول موثر استفاده کرد و باید از روش تحلیل مستقیم استفاده کرد.



## تمرین

در سوال قبل برای منظور کردن اثر  $P - \Delta$  ستون BA می توان ضریب طول موثر ستونهای باربر جانبی را افزایش داد. درصد افزایش

ضریب طول موثر ستونهای باربر جانبی در این سازه چقدر است؟

(۴) ۲۵ درصد

(۳) ۲۰ درصد

(۲) ۱۵ درصد

(۱) ۱۰ درصد



## ۱-۱-۲- تحلیل مرتبه اول

۱-۲-۵- محدودیت‌ها و الزامات روش تحلیل مرتبه اول

برای تعیین مقاومت‌های مورد نیاز اعضا و طراحی آنها در تحلیل و طراحی به روش تحلیل مرتبه اول محدودیت‌ها و الزامات زیر باید تأمین گردند.

## الف- محدودیت‌ها

(۱) بارهای ثقلی عمدتاً توسط ستون‌ها، دیوارها یا قاب‌های قائم متحمل شود.

(۲) نسبت تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر مرتبه دوم به تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر مرتبه اول و یا به طور تقریب مقدار ضریب تشدید  $B_2$  در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته، در کلیه طبقات کوچکتر یا مساوی  $1/5$  باشد.

(۳) مقاومت محوری فشاری مورد نیاز ( $P_{Ni}$ ) تمامی اعضای که سختی خمشی آنها در پایداری جانبی سازه موثرند از  $0.42P_y$  تجاوز نمایند.  $P_y$  مقاومت تسلیم محوری عضو ( $P_y = A_g F_y$ ) می‌باشد.

## ب- الزامات

(۱) مقاومت مورد نیاز اعضا بر اساس تحلیل مرتبه اول تشدید نیافته تعیین می‌گردد.

(۲) به کلیه ترکیبات بارگذاری یک بار جانبی اضافی ( $N_i$ ) در تراز هر طبقه به شرح زیر اضافه شود.

$$N_i = 2/17 N Y_i \geq 0.042 Y_i \quad (A-1-2-10)$$

$$\eta_N = \text{Max} \left( \frac{\Delta_i}{L_i} \right) \quad (9-1-2-10)$$

که در آن:  
 $Y_i$  = بارهای ثقلی ضربیدار در تراز طبقه  $i$  ام متناسب با ضرائب به کار رفته در ترکیبات مختلف بارگذاری

$\Delta_i$  = تغییرمکان جانبی نسبی طبقه  $i$  ام در ترکیبات مختلف بارگذاری بر پایه تحلیل مرتبه اول. در مواردی که  $\Delta_i$  برای قاب‌های مختلف در پلان طبقه متفاوت باشد، این مقدار باید برابر متوسط وزنی تغییرمکان جانبی نسبی قاب‌های مختلف (که نسبت به بارهای قائم قاب‌های مختلف سنجیده می‌شود) و یا به طور محافظه‌کارانه برابر تغییرمکان جانبی نسبی حداکثر طبقه در نظر گرفته شود.

$$L_i = \text{ارتفاع طبقه } i \text{ ام}$$

(۳) لنگر خمشی اعضای دارای نیروی محوری فشاری با ضریب تشدید  $B_1$  در تحلیل الاستیک مرتبه اول تشدید یافته تشدید شوند.

(۴) مقاومت طراحی کلیه اعضای محوری فشاری ( $P_e$ ) برای انواع سیستم‌های قاب‌بندی شده در بند ۱-۲-۳-۱۰ با فرض عدم انتقال جانبی ( $K=1$ ) تعیین شود.

تبصره: با توجه به اینکه در روش تحلیل مرتبه اول آثار  $P-\Delta$  نیز در بار جانبی اضافی ( $N_i$ ) لحاظ شده است، لذا تغییرمکان جانبی نسبی طبقات، خیز تیرها و ارتعاش اعضا و کفها باید در حضور بار جانبی اضافی ( $N_i$ ) مورد کنترل قرار گیرند.

$$\left. \begin{array}{l} \text{تحلیل مرتبه اول} \\ \text{محدودیت} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} (10-2-1-5-3) \text{ نحوه تحمل بارهای ثقلی} \\ (10-2-1-5-3) \text{ محدودیت ضریب تشدید } B_2 \\ (10-2-1-5-3) \text{ محدودیت در } Pu \text{ ستونها} \\ \text{تحلیل مرتبه اول تشدید نیافته} \left\{ \begin{array}{l} \text{روش تحلیل} \\ \text{طبق بند } 10-2-1-5-3 \left\{ \begin{array}{l} \text{آثار نواقص هندسی اولیه} \\ \text{تشدید لنگر خمشی تیرستونها} \end{array} \right. \\ \text{طبق بند } 19-2-1-5-1-2 \left\{ \begin{array}{l} \text{تنظیمات سختی اعضا} \\ \text{در تمامی سازه ها } K=1 \left\{ \begin{array}{l} \text{ضریب } K \text{ ستونها} \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right.$$

## تمرین

در کدامیک از روشهای تحلیل زیر در سازه های فولادی، ضریب طول موثر ستونها در یک قاب خمشی (بدون مهار جانبی) برابر  $K=1$  منظور می شود؟

(۱) روش تحلیل مستقیم و نیز روش تحلیل مرتبه اول

(۲) روش تحلیل مستقیم

(۳) روش تحلیل مرتبه اول

(۴) در تمامی روشها ضریب طول موثر در سازه های بدون مهار جانبی بزرگتر از یک منظور می شود.

## تمرین

در یک سازه با قاب خمشی از روش تحلیل مستقیم برای تحلیل و طراحی استفاده شده است. مقدار  $T_B$  برای تمامی نسبت‌های  $\frac{P_U}{P_y}$  ثابت و برابر یک فرض شده است. مقدار بار فرضی جانبی کل که باید به طبقات اعمال شود برابر کدام گزینه می باشد؟ ( $Y_i$  بار ثقلی ضریب دار در طبقه می باشد).

$$0.001Y_i \quad (1)$$

$$0.002Y_i \quad (2)$$

$$0.003Y_i \quad (3)$$

(4) با توجه به استفاده از روش تحلیل مستقیم، نیازی به اعمال چنین باری نیست.

## تمرین

کدام گزینه در مورد روش تحلیل مرتبه اول صحیح است؟

(1) در این روش هیچکدام از نیروها داخلی در ستونها تشدید نمی شوند

(2) در این روش تنها نیروی محوری ستونها تشدید می شوند.

(3) در این روش تنها لنگر خمشی ستونها تشدید می شوند.

(4) در این روش هر دو نیروی محوری و خمشی باید تشدید شوند.

## تمرین

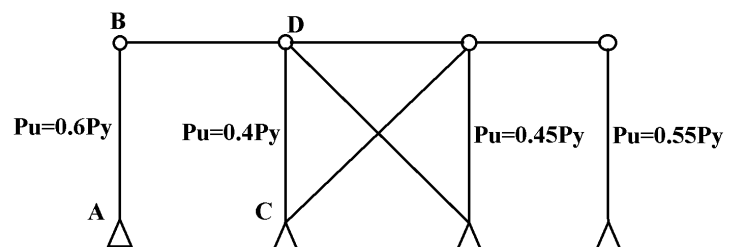
مقاومت محوری فشاری مورد نیاز ستونها در یک قاب ساده بادبندی شده به صورت زیر بدست آمده است. کدام گزینه صحیح است؟ با توجه به وجود بادبند، ضریب B2 کمتر از 1.5 فرض شود. بارهای ثقلی نیز عمدتاً توسط ستونها تحمل می شود.

(1) در تحلیل این قاب نمی توان از روش تحلیل مرتبه اول استفاده کرد.

(2) در تحلیل این قاب می توان از روش تحلیل مرتبه اول استفاده کرد.

(3) تنها در ستونهای اطراف بادبند می توان از روش تحلیل مرتبه اول استفاده کرد.

(4) بسته به سختی بادبندها هر سه گزینه می تواند صحیح باشد.



## ۱۱- تیر ستونها

## ۱-۱۱- ترکیب فشار و خمش

۱۰-۲-۷ الزامات طراحی اعضا برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی و ترکیب

لنگر پیچشی با سایر نیروها

که در آن:

$$P_u = \text{مقاومت فشاری مورد نیاز}$$

$$P_c = \phi_c P_n = \text{مقاومت فشاری طراحی}$$

$$\phi_c = \text{ضریب کاهش مقاومت در فشار مساوی } 0.9$$

$$M_{ux} = \text{مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور قوی X}$$

$$M_{uy} = \text{مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور ضعیف Y}$$

$$M_{cx} = \phi_b M_{nx} = \text{مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور قوی X}$$

$$M_{cy} = \phi_b M_{ny} = \text{مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور ضعیف Y}$$

$$\phi_b = \text{ضریب کاهش مقاومت برای خمش مساوی } 0.9$$

۱۰-۲-۲-۱۰ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان نیروی محوری

و لنگر خمشی

۱۰-۲-۲-۱۰ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان لنگر خمشی و نیروی

محوری فشاری

اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری فشاری حول یک یا هر دو محور X و Y در اعضای با مقطع

دارای یک یا دو محور تقارن با محدودیت  $0.1 \leq (I_{yc}/I_y) \leq 0.9$  که در آن  $I_y$  ممان اینرسی مقطع

کل و  $I_{yc}$  ممان اینرسی بال فشاری حول محور ضعیف Y می‌باشد، به شرح زیر تعیین می‌گردد:

$$\text{الف) برای } \frac{P_u}{P_c} \geq 0.2:$$

$$\frac{P_u}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$(1-7-2-10)$$

$$\text{ب) برای } \frac{P_u}{P_c} < 0.2:$$

$$\frac{P_u}{2P_c} + \left( \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0$$

$$(2-7-2-10)$$

## ۱۱-۲- ترکیب کشش و خمش

۱۰-۲-۷ الزامات طراحی اعضا برای ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی و ترکیب

لنگر پیچشی با سایر نیروها

۱۰-۲-۷-۲ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان نیروی محوری

و لنگر خمشی

۱۰-۲-۷-۲-۲ اعضای با مقطع دارای یک یا دو محور تقارن تحت اثر همزمان لنگر خمشی و

نیروی محوری کششی

اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری کششی حول یک یا هر دو محور X و Y در اعضای با مقطع

دارای یک یا دو محور تقارن با محدودیت  $0.1 \leq (I_{yc}/I_y) \leq 0.9$  که در آن  $I_y$  ممان اینرسی مقطعکل و  $I_{yc}$  ممان اینرسی بال فشاری حول محور ضعیف Y می باشد، به شرح زیر تعیین می گردد.

$$\frac{P_u}{P_t} \geq 0.2 \text{ (الف)}$$

$$\frac{P_u}{P_t} + \frac{1}{9} \left( \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \text{ (۳-۷-۲-۱۰)}$$

$$\frac{P_u}{P_t} < 0.2 \text{ (ب)}$$

$$\frac{P_u}{2P_t} + \left( \frac{M_{ux}}{M_{cx}} + \frac{M_{uy}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \text{ (۴-۷-۲-۱۰)}$$

که در آن:

 $P_u$  = مقاومت کششی مورد نیاز $P_n = P_t$  = مقاومت کششی طراحی $\phi_t$  = ضریب کاهش مقاومت در کشش (مطابق الزامات بخش ۱۰-۲-۳) $M_{ux}$  = مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور قوی X $M_{uy}$  = مقاومت خمشی مورد نیاز نسبت به محور ضعیف Y $M_{nx} = M_{cx}$  = مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور قوی X $M_{ny} = M_{cy}$  = مقاومت خمشی طراحی نسبت به محور ضعیف Y $\phi_b$  = ضریب کاهش مقاومت برای خمش مساوی ۰/۹

محاسبات خرداد ۸۹

۲۵- مقطع نشان داده شده در شکل تحت اثر توأم لنگر خمشی و نیروی محوری کششی قرار دارد. چنانچه لنگر

خمشی وارده بر مقطع حول محور X برابر ۴ ton-m باشد حداکثر نیروی کششی مجاز قابل تحمل توسط مقطع حدوداً

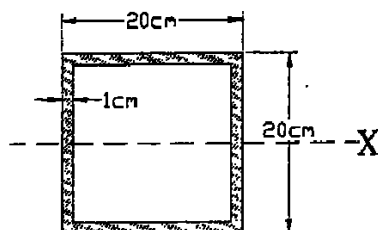
چقدر است؟  $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$  و  $F_{bx} = 0.7 F_y$ 

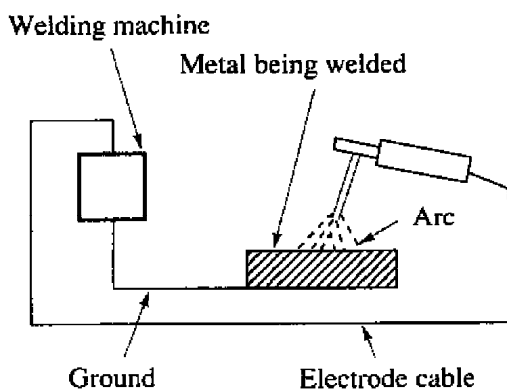
۱) ۳۳ ton

۲) ۶۳ ton

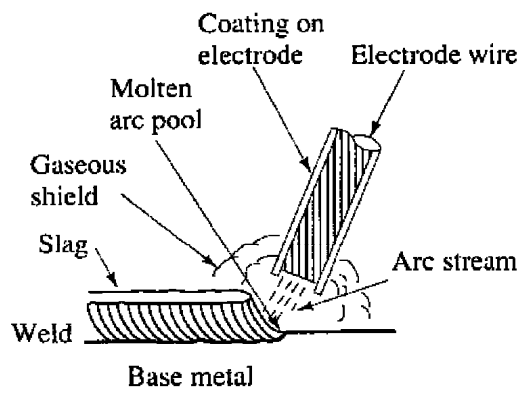
۳) ۵۳ ton

۴) ۴۳ ton

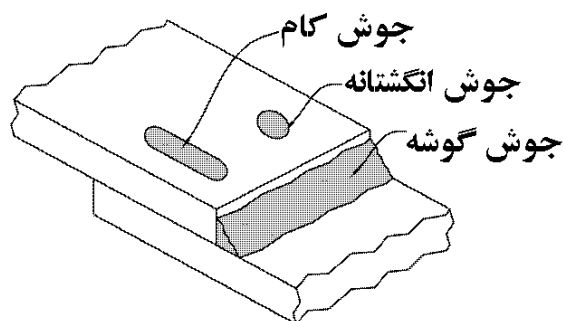
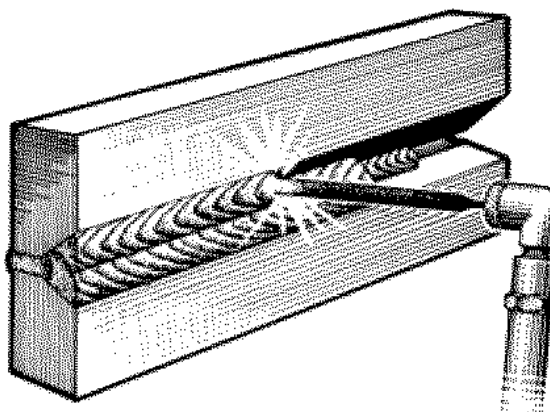




(a) Arc welding circuit



(b) Shielded arc welding



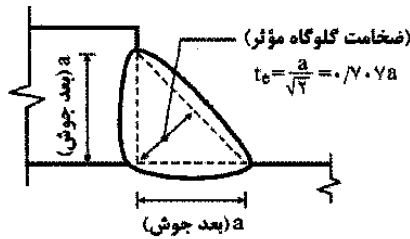
## ۱-۱۲- ابعاد جوش گوشه

۹-۲-۱۰ الزامات طراحی اتصالات

۲-۹-۲-۱۰ جوش‌ها

۲-۲-۹-۲-۱۰ جوش‌های گوشه

ب) محدودیت‌ها:



شکل ۱۰-۲-۹-۳ ضخامت گلوگاه مؤثر جوش‌های گوشه

- حداقل بُعد جوش‌های گوشه نباید از بُعد مورد نیاز برای انتقال بارهای محاسبه شده و اندازه‌های نشان داده شده در جدول ۲-۹-۲-۱۰ کوچکتر انتخاب شود. حداقل بُعد جوش تابع ضخامت قطعه نازکتر می‌باشد و از طرفی نباید بُعد جوش از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز نماید.
- حداکثر بُعد جوش‌های گوشه در لبه قطعات متصل شونده برای قطعات با ضخامت مساوی یا کمتر از ۶ میلی‌متر برابر ضخامت قطعه و برای قطعات با ضخامت بیش از ۶ میلی‌متر برابر ضخامت قطعه منهای ۲ میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۲-۹-۲-۱۰ حداقل بُعد جوش گوشه

ضخامت قطعه نازکتر	حداقل بُعد جوش گوشه (با یک بار عبور)
تا ۶ میلی‌متر	۳ میلی‌متر
بیش از ۶ تا ۱۲ میلی‌متر	۵ میلی‌متر
بیش از ۱۲ تا ۲۰ میلی‌متر	۶ میلی‌متر
بیش از ۲۰	۸ میلی‌متر

- طول مؤثر جوش‌های گوشه‌ای که برای تحمل تنش‌ها محاسبه شده‌اند نباید از ۴ برابر بُعد جوش کمتر باشد. به عبارت دیگر، بُعد جوش نباید از  $\frac{1}{4}$  طول آن تجاوز نماید.

- در اتصالات انتهایی تسمه‌های کششی اگر از جوش گوشه فقط در لبه‌های طولی و موازی امتداد نیرو استفاده شود، طول جوش هر طرف نباید از فاصله عمودی بین آنها (تقریباً پهناي تسمه) کمتر باشد و این فاصله نباید از ۲۰۰ میلی‌متر تجاوز کند (شکل ۱۰-۲-۹-۴). برای تأثیر طول جوش در سطح مقطع مؤثر اعضای کششی به جدول ۱۰-۳-۲-۱۰ مراجعه شود.

- در اتصال انتهایی اعضای محوری، طول مؤثر جوشی که به صورت طولی بارگذاری شده است نباید از ۱۰۰ برابر بُعد جوش (a) تجاوز نماید. در صورت نیاز به طول جوش بیش از ۱۰۰ برابر بُعد ساق جوش، طول مؤثر جوش باید با ضریب (β) کاهش داده شود.

$$L_e = \beta L$$

$$\beta = 1.2 - 0.002(L/a) \leq 1.0$$

(۱۰-۲-۹-۱)

 $L_e =$  طول مؤثر جوش $L =$  طول واقعی جوشی که از قسمت انتهایی جوش به صورت طولی بارگذاری شده است.

a = بُعد ساق جوش

β = ضریب کاهش طول واقعی (اسمی) جوش

برای  $L/a$  بزرگتر از ۳۰۰ طول مؤثر جوش باید برابر  $1.80a$  در نظر گرفته شود.

## محاسبات ۹۴

- برای اتصال انتهایی یک تسمه کششی که به صورت محوری بارگذاری شده است. در امتداد طول تسمه از دو ردیف جوش گوشه هریک به طول ۷۵۰ میلی‌متر و بعد ۵ میلی‌متر استفاده شده است. طول مؤثر هر ردیف جوش به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟

(۲) ۷۲۵ میلی‌متر

(۱) ۷۵۰ میلی‌متر

(۴) ۵۳۵ میلی‌متر

(۳) ۶۷۵ میلی‌متر

گزینه ۳

$$L_e = \beta L = \left(1.2 - 0.002 \frac{750}{5}\right) 750 = 675 \text{ mm}$$

## ۱۲-۲- مقاومت جوش

## ۱۰-۲-۹-۲- مقاومت جوش

مقاومت طراحی جوش‌ها مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن،  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت طبق جدول ۱۰-۲-۹-۳ و  $R_n$  مقاومت اسمی جوش می‌باشد که باید به شرح زیر برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت‌های حدی گسیختگی کششی و گسیختگی برشی برای مصالح فلز پایه و حالت حدی گسیختگی برای فلز جوش در نظر گرفته شود.

الف) بر اساس مصالح فلز پایه

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} \quad (۱۰-۲-۹-۲)$$

ب) بر اساس مصالح فلز جوش

$$R_n = \beta F_{nw} A_{we} \quad (۱۰-۲-۹-۳)$$

که در آن:

$$F_{nBM} = \text{تنش اسمی فلز پایه}$$

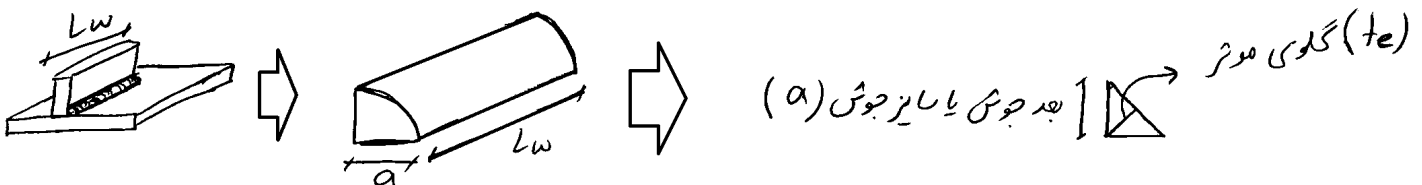
$$F_{nw} = \text{تنش اسمی فلز جوش}$$

$$A_{BM} = \text{سطح مقطع فلز پایه}$$

$$A_{we} = \text{سطح مقطع مؤثر جوش}$$

$\beta$  = ضریب بازرسی جوش به شرح زیر:

۱. در صورت انجام آزمایش‌های غیرمخرب نظیر رادیوگرافی و التراسونیک (فراصوتی):  $\beta=1$
۲. در صورت انجام جوش در کارخانه (یا شرایط مشابه) و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش:  $\beta=0.85$
۳. در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش:  $\beta=0.75$

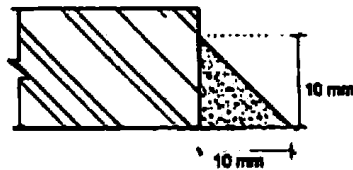


$$\phi R_n = \phi \beta F_n = \phi \beta (0.6 F_u) (0.707a) (L_w)$$

برای الکتروود E60 و با فرض انجام جوش در محل:

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.75 (0.6 \times 420) (0.707a) (L_w) = 100 a L_w \quad (N)$$

۴۲- در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، مقاومت اسمی جوش گوشه نشان داده شده در شکل برای ۱۰ میلی‌متر طول جوش به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فرض کنید جوشکاری در محل بوده و جوش توسط بازرسی جوش بازرسی چشمی می‌شود. همچنین فرض کنید الکتروود مصرفی از نوع E70 می‌باشد.

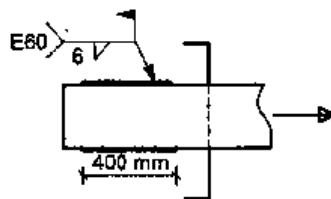


- ۱) 13.4 kN
- ۲) 15.6 kN
- ۳) 20.8 kN
- ۴) 22.05 kN

گزینه ۲

$$R_n = 0.75 \times (0.6 \times 490)(10 \times 0.707 \times 10) = 15589 N$$

۲۹- برای اتصال یک عضو کششی، با فرض انجام جوش در محل و بازرسی چشمی توسط بازرسی ذیصلاح جوش، جزئیات زیر ارائه شده است. در صورتیکه جوش در کارخانه و با استفاده از الکتروود E70 انجام شود (و سایر مشخصات بدون تغییر بماند)، به جای  $L=400$  mm برای هر خط جوش حداقل طولی که می‌توان در نظر گرفت به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید سایر محدودیتها حاکم بر طراحی نمی‌باشد)



- ۱) 300 mm
- ۲) 260 mm
- ۳) 350 mm
- ۴) 330 mm

گزینه ۱

برای الکتروود E60 مقدار  $F_{ue}=420MPa$  و برای الکتروود E70 برابر  $F_{ue}=490MPa$  می‌باشد. مقاومت جوش در دو حالت باید برابر باشد.

مقاومت طراحی جوش (برای جوش گوشه) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \phi R_n = 0.75 R_n &= 0.75 (\beta F_{nw} A_{we}) = 0.75 (\beta \times 0.6 F_{ue} \times A_{we}) = 0.75 (\beta \times 0.6 F_{ue} \times 0.707 a L_w) \\ &= 0.318 \beta F_{ue} a L_w \end{aligned}$$

در رابطه فوق به جای  $A_{we}$  عبارت  $0.707 a L_w$  قرار داده شده است. ضریب  $\frac{\sqrt{2}}{2} = 0.707$  جهت تبدیل بعد جوش  $(a)$  به بعد موثر می‌باشد.

در صورت استفاده از الکتروود E60 و برای جوش کارگاهی با بازرسی چشمی خواهیم داشت:

$$\phi R_n = 0.318 \times 0.75 \times 420 \times a L_w = 100 a L_w \text{ kN}$$

در صورت استفاده از الکتروود E70 و برای جوش کارخانه ای با بازرسی چشمی خواهیم داشت:

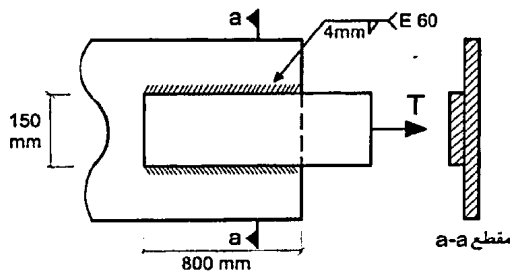
$$\phi R_n = 0.318 \times 0.85 \times 490 \times a L_w = 132 a L_w \text{ kN}$$

با توجه به افزایش مقاومت جوش می‌توان  $L_w$  را کاهش داد:

$$132 \times L_w = 100 \times 400 \rightarrow L_w = 303 \text{ mm}$$



۱۳- مقاومت اسمی اتصال جوشی شکل مقابل به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (کنترل فلز پایه مدنظر نبوده و ضریب بازرسی جوش را واحد فرض نمایید. همچنین فرض کنید الزامات حداقل و حداکثر بُعد جوش رعایت شده است.)



912 kN (۱)

1140 kN (۲)

1290 kN (۳)

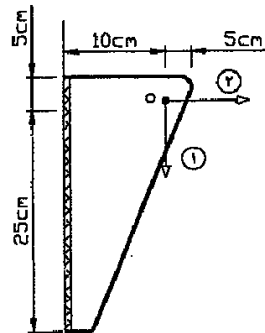
1612 kN (۴)

گزینه ۱

$$L_e = \beta L = \left(1.2 - 0.002 \frac{800}{4}\right) 800 = 640 \text{ mm}$$

$$R_n = \beta F_n = \beta (0.6 F_u) (0.707a) (L_w) \\ = 1(0.6 \times 420)(0.7074)(2 \times 640) = 912 \text{ kN}$$

۱۵- ورقی مطابق شکل به یک ستون جوش داده شده است (جوش گوشه در هر طرف ورق). در نقطه O روی ورق، یکبار نیروی F بصورت قائم (موقعیت ①) و بار دیگر بصورت افقی (موقعیت ②) وارد می‌شود. کدام عبارت در این ارتباط صحیح است؟



(۱) تنش جوش در سرتاسر طول آن ثابت است.

(۲) تنش حداکثر جوش در موقعیت ① بیش از موقعیت ② است.

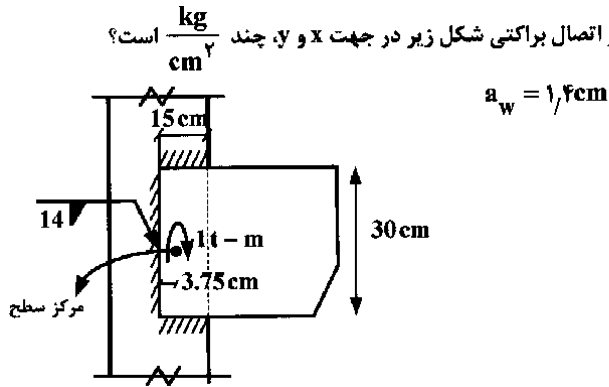
(۳) تنش حداکثر جوش در هر دو موقعیت یکسان است.

(۴) تنش حداکثر جوش در موقعیت ② بیش از موقعیت ① است.

گزینه ۴

$$f_1 = \sqrt{\left(\frac{Mc}{I}\right)^2 + \left(\frac{V}{A}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{10V \times 15}{I}\right)^2 + \left(\frac{V}{A}\right)^2} \\ f_2 = \frac{Mc}{I} + \frac{V}{A} = \frac{10V \times 15}{I} + \frac{V}{A}$$

۴۲- حداکثر تنش برشی ناشی از لنگر پیچشی ۱ t-m در اتصال برآکتی شکل زیر در جهت X و Y، چند  $\frac{kg}{cm^2}$  است؟



$$a_w = 1,7 \text{ cm}$$

$$(1) \quad 77 \text{ و } 103$$

$$(2) \quad 108 \text{ و } 103$$

$$(3) \quad 77 \text{ و } 144$$

$$(4) \quad 108 \text{ و } 144$$

گزینه ۴

$$t_e = \frac{1}{\sqrt{2}} a_w = 1 \text{ cm}$$

$$J = I_x + I_y$$

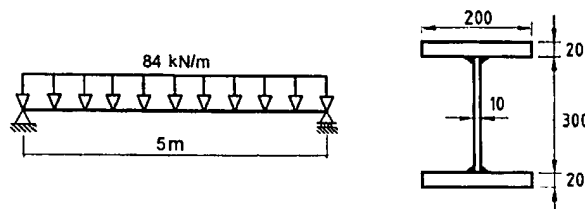
$$= \left[ \frac{t_w \times 30^3}{12} + 2 \times (t_w \times 15) \times 15^2 \right] + \left[ 2 \times \frac{15 \times t_w^3}{12} + (t_w \times 15) \times (7.5 - 3.75)^2 + t_w \times 30 \times 3.75^2 \right]$$

$$= 10406 \text{ cm}^2$$

$$f_x = \frac{T_y}{J} = \frac{1 \times 10^5 \times 15}{10406} = 144 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_y = \frac{T_x}{J} = \frac{1 \times 10^5 \times (15 - 3.75)}{10406} = 108 \frac{kg}{cm^2}$$

۱۶- در صورتی که جوش‌های گوشه دوطرفه اتصال جان به بال‌ها پیوسته و بُعد ساق جوش برابر a باشد و مقاومت طراحی هر خط جوش برابر 80a نیوتن بر میلی‌متر باشد (a بر حسب میلی‌متر)، حداقل بُعد جوش (a) بر حسب میلی‌متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (بار وارد بر تیر ضریب‌دار فرض شود. ابعاد مقطع بر حسب میلی‌متر می‌باشد.)



$$8 \quad (1)$$

$$6 \quad (2)$$

$$5 \quad (3)$$

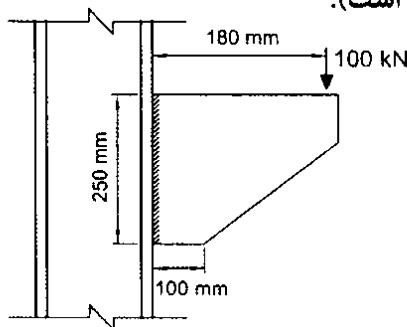
$$4 \quad (4)$$

گزینه ۳

$$\left( \text{جریان برش} = \frac{VQ}{I} = \frac{\left( \frac{84 \times 5}{2} \times 1000 \right) \times (200 \times 20 \times 160)}{\left( \frac{200 \times 340^3}{12} - \frac{190 \times 300^3}{12} \right)} \right) < 2 \times 80a \quad \rightarrow \quad 3.69 < a$$

با توجه به ضخامت جان (10 mm)، حداقل بُعد جوش گوشه 5 mm می‌باشد.

۱۰- برای اتصال نشان داده شده در شکل زیر بدون توجه به مقاومت موجود فلز پایه و نیز بعد حداقل و حداکثر جوش گوشه، اندازه حداقل محاسباتی ساق جوش بر حسب میلی‌متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (مقاومت طراحی جوش گوشه در واحد سطح  $100 \text{ MPa}$  در نظر بگیرید و فرض کنید دو طرف ورق جوش شده است).



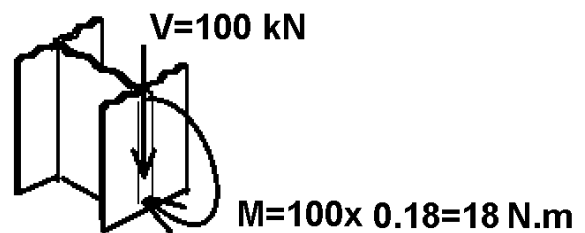
(۱) 18

(۲) 9

(۳) 13

(۴) 15

گزینه ۳



اگر بعد موثر جوش برابر  $t$  باشد و با توجه به اینکه دو خط جوش داریم:

$$f_w = \sqrt{\left(\frac{Mc}{I}\right)^2 + \left(\frac{V}{A}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{18 \times 10^6 \times 125}{2 \left(\frac{t \times 250^3}{12}\right)}\right)^2 + \left(\frac{100000}{2(t \times 250)}\right)^2} = \frac{8642}{t} < 100 \text{ MPa}$$

$$t = 8.8 \text{ mm}$$

مقدار فوق مقدار بعد "موثر" جوش را نشان می‌دهد. ساق جوش برابر خواهد بود با:

$$a = \sqrt{2}t = 12.5 \text{ mm}$$

### ۱۲-۳- الکتروود سازگار با فلز

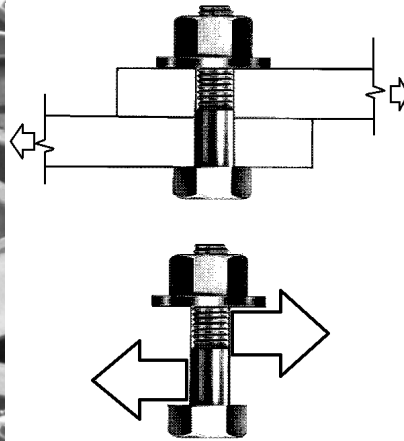
۱۰-۲-۹-۶ الکتروودهای سازگار با مصالح فلز پایه

فلز جوش (الکتروود مصرفی) باید سازگار با مصالح فلز پایه و مطابق با مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۴ باشد.

جدول ۱۰-۲-۹-۴ الکتروودهای سازگار با فلز پایه

نوع الکتروود سازگار	مقاومت نهایی کششی فلز الکتروود ( $F_{ue}$ )	تنش تسلیم مصالح فلز پایه ( $F_y$ )
E۶۰ یا معادل آن	۴۲۰ MPa	$t \leq 15 \text{ mm}$ , ۳۰۰ MPa
E۷۰ یا معادل آن	۴۹۰ MPa	
E۷۰ یا معادل آن	۴۹۰ MPa	$t > 15 \text{ mm}$ , ۳۰۰ MPa
E۷۰ یا معادل آن	۴۹۰ MPa	از ۳۸۰ MPa تا ۳۰۰ MPa
E۸۰ یا معادل آن	۵۶۰ MPa	از ۴۶۰ MPa تا ۳۸۰ MPa

$t =$  ضخامت فلز پایه



جدول ۱۰-۲-۹-۶ مشخصات پیچ‌های تولیدی یا موجود در ایران

تنش کششی نهایی مصالح پیچ ( $F_u$ )	تنش تسلیم مصالح پیچ ( $F_y$ )	نام استاندارد		نوع پیچ
		ISO	ASTM	
۴۰۰ MPa	۲۴۰ MPa	-	A۳۰۷	پیچ‌های معمولی
۴۰۰ MPa	۲۴۰ MPa	۴۶	-	
۴۲۰ MPa	۳۲۰ MPa	۴۸	-	
۵۰۰ MPa	۳۰۰ MPa	۵۶	-	
۵۲۰ MPa	۴۰۰ MPa	۵۸	-	
۶۰۰ MPa	۴۸۰ MPa	۶۸	-	
۸۰۰ MPa	-	-	A۳۲۵ $d \leq ۲۴\text{mm}$	پیچ‌های پرمقاومت
۷۲۵ MPa	-	-	A۳۲۵ $d > ۲۴\text{mm}$	
۱۰۰۰ MPa	-	-	A۴۹۰	
۸۰۰ MPa	-	۸۸		
۱۰۰۰ MPa	-	۱۰۹		
۱۲۰۰ MPa	-	۱۲۹		

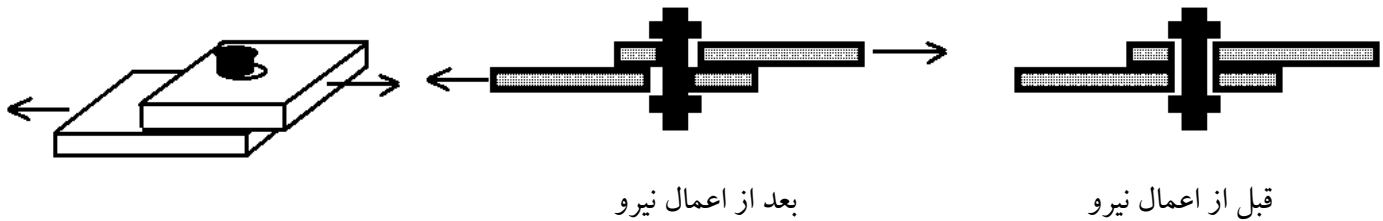
جدول ۱۰-۲-۹-۷ حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی ( $T_b$ )

پیچ‌های نوع A۴۹۰	پیچ‌های نوع A۳۲۵	قطر اسمی پیچ (بر حسب میلی‌متر)
۱۱۴ kN	۹۱ kN	M۱۶
۱۷۹ kN	۱۴۲ kN	M۲۰
۲۲۱ kN	۱۷۶ kN	M۲۲
۲۵۷ kN	۲۰۵ kN	M۲۴
۳۳۴ kN	۲۶۷ kN	M۲۷
۴۰۸ kN	۳۲۶ kN	M۳۰
۵۹۵ kN	۴۷۵ kN	M۳۶

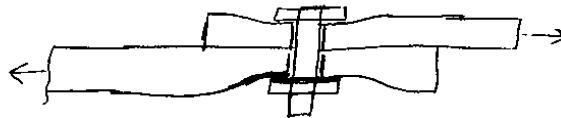
تبصره: در مواردی که قطر اسمی پیچ غیر از اعداد ذکر شده در جدول ۱۰-۲-۹-۷ باشد، حداقل نیروی پیش‌تنیدگی را می‌توان برابر  $0.55A_{nb}F_u$  (که معادل  $0.7A_{nb}F_u$  است) در نظر گرفت، که در آن  $A_{nb}$  سطح مقطع اسمی پیچ،  $A_{eb}$  سطح مقطع خالص یا سطح مقطع زیر دندانها و  $F_u$  تنش کششی نهایی مصالح پیچ است.

انواع اتصال:

۱- اتصال اتکایی: انتقال نیروی از طریق اتکای بدنه پیچ به قطعات متصل شونده است.

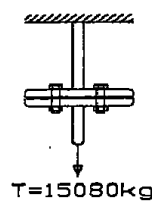


۲- اتصال اصطکاکی: پیچها از طریق پیچاندن اضافی مهره ها پیش تنیده می شوند. در نتیجه پیچ تحت کشش اولیه و صفحات متصل شونده تحت فشار اولیه قرار می گیرند. انتقال نیرو از طریق اصطکاک بین صفحات متصل شونده است.



## محاسبات خرداد ۸۹

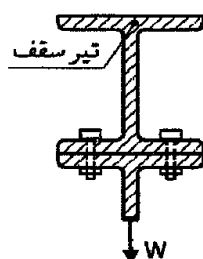
۲۱- در اتصال پیچی اصطکاکی شکل مقابل، چنانچه تعداد پیچ ها ۲ عدد و قطر آنها برابر ۲۰ میلیمتر باشد. تنش کششی در پیچها به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (فرض کنید پیچها از نوع A۳۲۵ و تنش کششی اولیه در آنها برابر  $0.55 F_u$  می باشد.)



- (۱)  $0.25 F_u$
- (۲)  $0.85 F_u$
- (۳)  $0.30 F_u$
- (۴)  $0.55 F_u$

## محاسبات اسفند ۸۹

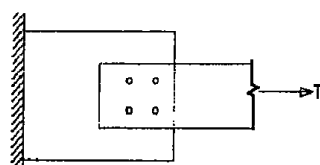
۱۴- در شکل روبرو وزنه W بوسیله دو پیچ بصورت اصطکاکی به تیر آهن سقف آویزان است. چنانچه قطر پیچها برابر ۲۲ میلیمتر، مقدار W برابر ۲۶۷.۲ کیلونیوتن، تنش نهایی پیچها  $F_u=800 \text{ MPa}$  و تنش پیش تنیدگی پیچها برابر  $0.55 F_u$  باشد، نیروی کششی موجود در هر پیچ بر حسب کیلو نیوتن به کدام عدد نزدیکتر است.



- (۱) 167.2
- (۲) 33.6
- (۳) 300.8
- (۴) 304.0

## محاسبات خرداد ۸۹

۱۷- مزیت اصلی کاربرد اتصال پیچی اصطکاکی نسبت به اتصال پیچی اتکایی تحت اثر نیروی برشی مطابق شکل زیر چه می باشد؟



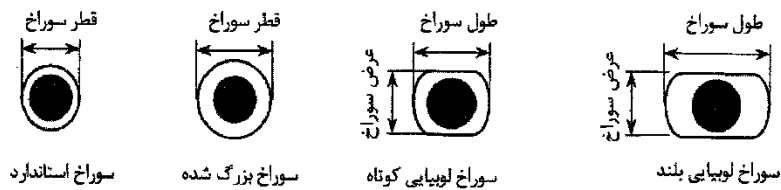
- (۱) بلند بودن طول پیچها در اتصالات اصطکاکی
- (۲) استفاده از پیچهای پر مقاومت در اتصالات اصطکاکی
- (۳) مشارکت همزمان و تقریباً یکسان پیچها در انتقال نیرو
- (۴) بلند بودن طول پیچها در اتصالات اتکایی

## ۱-۱۳- محدودیت فواصل سوراخها

۱۰-۲-۹-۳-۲ مشخصات و فواصل سوراخها در اتصالات پیچی

## الف) انواع سوراخها در اتصالات پیچی

انواع سوراخها در اتصالات پیچی به شرح زیر می باشد.



شکل ۱۰-۲-۱۰ انواع سوراخ پیچها در اتصالات پیچی

۱. سوراخ استاندارد
۲. سوراخ بزرگ شده
۳. سوراخ لوبیایی بلند
۴. سوراخ لوبیایی کوتاه

## ب) حداقل فواصل سوراخ پیچها در اتصالات پیچی

فاصله مرکز تا مرکز سوراخهای استاندارد، سوراخهای بزرگ شده و سوراخهای لوبیایی نباید از ۳ برابر قطر وسیله اتصال کمتر باشد.

## ت) حداقل فاصله سوراخها تا لبه در اتصالات پیچی

فاصله مرکز سوراخهای استاندارد تا لبه قطعه متصل شونده نباید از مقادیر داده شده در جدول ۱۰-۹-۲-۸ کمتر باشد. برای سوراخهای بزرگ شده و سوراخهای لوبیایی فاصله مرکز سوراخ تا لبه نباید از آنچه که برای سوراخ استاندارد تعیین شده به اضافه مقدار C مربوطه از جدول ۱۰-۹-۲-۹ کمتر شود.

جدول ۱۰-۹-۲-۸ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه در هر راستا

لبه بریده شده با قیچی (گیوتین)	لبه نورد شده ورق-نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده شده با شعله اتوماتیک یا اره
$2d$	$1/75d$

d = قطر اسمی پیچ

جدول ۱۰-۹-۲-۹ مقادیر افزایش حداقل فاصله سوراخ تا لبه (C)

سوراخ بزرگ شده (mm)	سوراخ لوبیایی (mm)	
	عمود بر امتداد لبه	موازی با لبه
3 mm	5 mm	$0/75 d$

## ث) حداکثر فاصله مرکز سوراخ تا لبه

حداکثر فاصله از مرکز هر پیچ تا نزدیکترین لبه قطعه در هر راستا به شرح زیر است.

۱. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی کم و متوسط ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله از مرکز هر پیچ تا نزدیکترین لبه قطعه در هر راستا نباید از ۱۲ برابر ضخامت نازکترین قطعه و همچنین از ۱۵۰ میلی متر تجاوز کند.
۲. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی شدید ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله از مرکز هر پیچ تا نزدیکترین لبه قطعه در هر راستا نباید از ۸ برابر ضخامت نازکترین قطعه و همچنین از ۱۲۵ میلی متر تجاوز کند.

## ج) حداکثر فاصله مرکز تا مرکز سوراخها در اتصالات پیچی

حداکثر فاصله مرکز تا مرکز سوراخها در اتصالات پیچی در هر راستا به شرح زیر است.

۱. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی کم و متوسط ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله بین مرکز سوراخها نباید از ۲۴ برابر ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده و همچنین از ۳۰۰ میلی متر تجاوز کند.
۲. برای قطعاتی که تحت اثر خوردگی شدید ناشی از عوامل جوی قرار داشته باشند، فاصله بین مرکز سوراخها نباید از ۱۴ برابر ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده و همچنین از ۲۰۰ میلی متر تجاوز کند.

## ۱۳-۲- مقاومت اتصالات پیچی اتکایی

۱۰-۲-۹-۳- مقاومت کششی طراحی و مقاومت برشی طراحی در اتصالات اتکایی

در اتصالات اتکایی، مقاومت کششی طراحی  $(\phi R_{nt})$  و مقاومت برشی طراحی  $(\phi R_{nv})$  پیچ‌ها و قطعات دندانه‌شده از روابط زیر تعیین می‌گردند.

$$\phi R_{nt} = \phi F_{nt} A_{nb} \quad (۴-۹-۲-۱۰)$$

$$\phi R_{nv} = \phi F_{nv} A_{nb} \quad (۵-۹-۲-۱۰)$$

در روابط فوق:

$\phi$  = ضریب کاهش مقاومت و مساوی ۰/۷۵ می‌باشد.

$R_{nt}$  = مقاومت کششی اسمی

$R_{nv}$  = مقاومت برشی اسمی

$A_{nb}$  = سطح مقطع اسمی وسیله اتصال (پیچ یا قطعه دندانه‌شده)

$F_{nt}$  = تنش کششی اسمی مطابق مقادیر جدول ۱۰-۹-۲-۱۰

$F_{nv}$  = تنش برشی اسمی مطابق مقادیر جدول ۱۰-۹-۲-۱۰

جدول ۱۰-۹-۲-۱۰ تنش اسمی (پیچ و قطعات دندانه شده)

تنش کششی (اسمی) $(F_{nt})$	تنش برشی (اسمی) $(F_{nv})$ در اتصالات اتکایی	نوع وسیله اتصال
$۰/۷۵F_u$ [۱],[۲]	$۰/۴۵F_u$ [۵],[۳]	پیچ‌های معمولی
$۰/۷۵F_u$ [۴]	$۰/۴۵F_u$ [۵]	پیچ‌های پر مقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه‌شده می‌گذرد
$۰/۷۵F_u$ [۴]	$۰/۵۵F_u$ [۵]	پیچ‌های پر مقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه‌شده نمی‌گذرد
$۰/۷۵F_u$ [۱],[۶]	$۰/۴۵F_u$	قطعه دندانه‌شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه‌شده می‌گذرد
$۰/۷۵F_u$ [۱],[۶]	$۰/۵۵F_u$	قطعه دندانه‌شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه‌شده نمی‌گذرد

جدول ۱۰-۹-۲-۸ ابعاد اسمی سوراخ پیچ بر حسب میلی‌متر

ابعاد اسمی سوراخ (mm)				قطر پیچ (mm)
سوراخ لوبیایی بلند (طول×عرض)	سوراخ لوبیایی کوتاه (طول×عرض)	سوراخ بزرگ‌شده	سوراخ استاندارد	
۱۸×۴۰	۱۸×۲۲	۲۰	۱۸	M۱۶
۲۲×۵۰	۲۲×۲۶	۲۴	۲۲	M۲۰
۲۴×۵۵	۲۴×۳۰	۲۸	۲۴	M۲۲
۲۷×۶۰	۲۷×۳۲	۳۰	۲۷	M۲۴
۳۰×۶۷	۳۰×۳۷	۳۵	۳۰	M۲۷
۳۳×۷۵	۳۳×۴۰	۳۸	۳۳	M۳۰
$(d+۳) \times ۲/۵ d$	$(d+۳) \times (d+۱۰)$	$d+۸$	$d+۳$	$\geq M۳۶$

## ۱۳-۲-۱- مقاومت اتکایی در جدار سوراخ

۱۰-۲-۹-۳- مقاومت اتکایی در جدار سوراخ پیچ

مقاومت اتکایی طراحی در جدار سوراخ پیچ در اتصالات اتکایی و اصطکاکی مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت برابر  $0.75$  و  $R_n$  مقاومت اتکایی اسمی می‌باشد که بر اساس حالت حدی اتکایی برای حالت‌های مختلف به شرح زیر تعیین می‌گردد.

۱. برای سوراخ استاندارد، سوراخ بزرگ‌شده، سوراخ لوبیایی کوتاه و سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که نیرو در امتداد طولی باشد:

$$R_n = 1/2 l_c t F_u \leq 2/3 d t F_u \quad (10-9-2-10)$$

۲. برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که نیرو در امتداد عرضی باشد (محور شکاف عمود بر امتداد نیرو باشد)

$$R_n = 1/0 l_c t F_u \leq 2/0 d t F_u \quad (10-9-2-10)$$

در روابط فوق:

$d$  = قطر اسمی پیچ

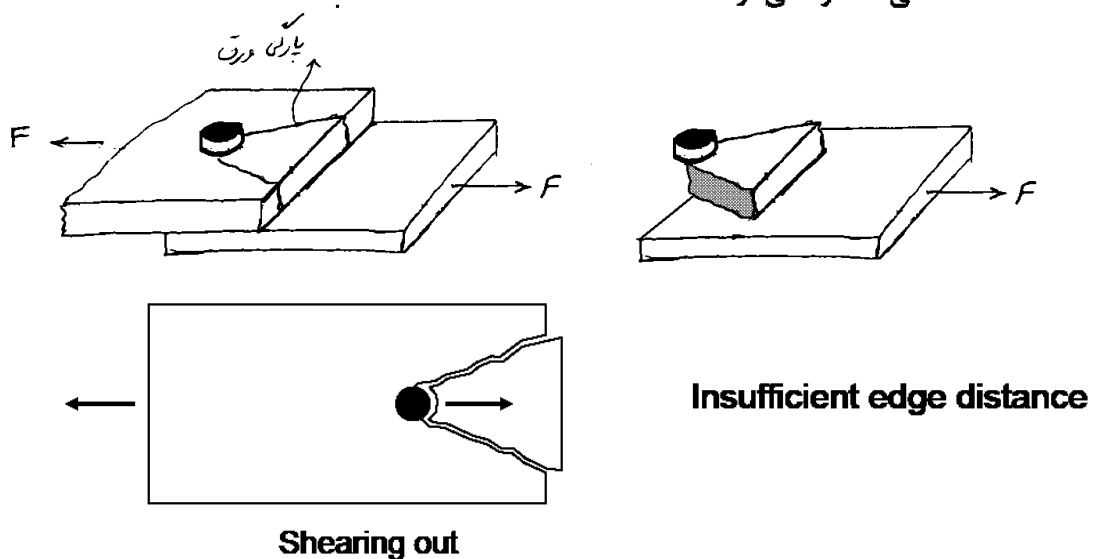
$F_u$  = تنش کششی نهایی مصالح ورق اتصال

$t$  = ضخامت قطعه اتصال

$l_c$  = فاصله خالص در راستای نیرو، بین لبه سوراخ‌ها برای سوراخ‌های میانی

= فاصله خالص در راستای نیرو، بین لبه سوراخ تا لبه آزاد ورق اتصال برای سوراخ‌های انتهایی

تیسره: استفاده از سوراخ‌های بزرگ‌شده، لوبیایی کوتاه و بلند موازی امتداد نیرو فقط به اتصالات اصطکاکی محدود می‌گردد.

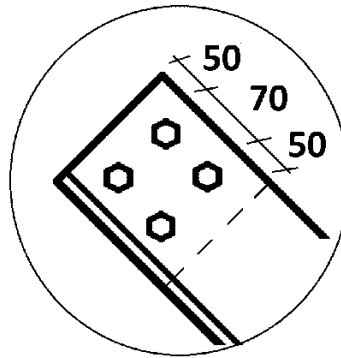
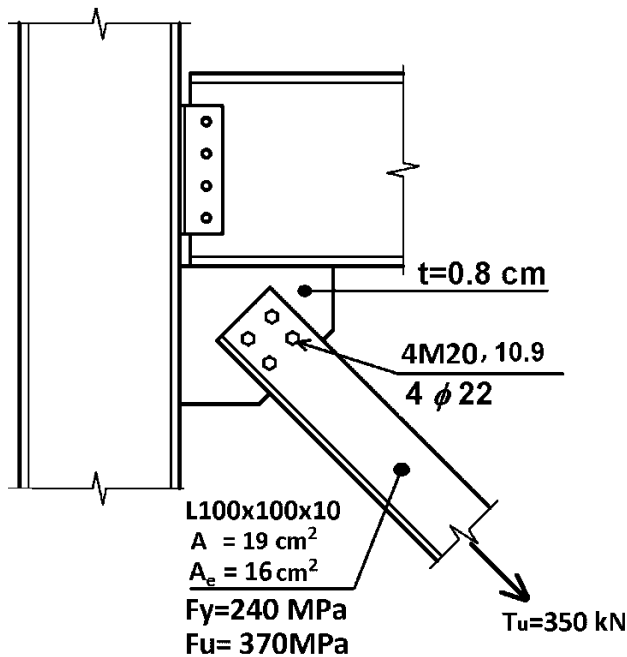




## ۱۳-۲-۲- مراحل کنترل اتصال اتکایی

اتصال زیر را کنترل نمایید.

سطح برش از قسمت دندانه شده پیچ عبور نمی کند و سوراخها استاندارد هستند.



۱- کنترل عضو کششی (مطابق فصل مربوط به اعضای کششی)

$$\begin{cases} 350 \times 10^3 < (0.9 \times 240) \times 1900 \\ 350 \times 10^3 < (0.75 \times 370) \times 1600 \end{cases}$$

OK

۲- کنترل مقاومت بولت ها

جدول ۱۰-۹-۲-۱۰ تنش اسمی (پیچ و قطعات دندانه شده)

تنش کششی اسمی ( $F_{nt}$ )	تنش برشی اسمی ( $F_{nv}$ ) در اتصالات اتکایی	نوع وسیله اتصال
$0.75F_u$ [۱],[۲]	$0.45F_u$ [۵],[۳]	پیچهای معمولی
$0.75F_u$ [۴]	$0.45F_u$ [۵]	پیچهای پر مقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می گذرد
$0.75F_u$ [۴]	$0.55F_u$ [۵]	پیچهای پر مقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی گذرد
$0.75F_u$ [۱],[۶]	$0.45F_u$	قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می گذرد
$0.75F_u$ [۱],[۶]	$0.55F_u$	قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی گذرد

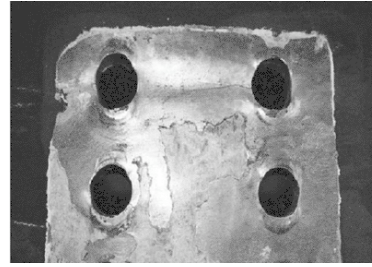
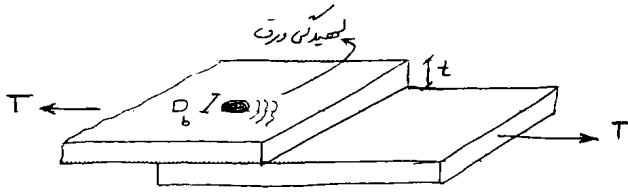


LRFD:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{نیروی ضریب دار وارد بر هر پیچ} = \frac{350 \times 10^3}{4} = 87500 \text{ N} \\ \text{مقاومت برشی طراحی} = \phi F_{nv} A_b = 0.75(0.55 \times 1000)(\pi \times 10^2) = 129525 \text{ N} \end{array} \right. \quad \text{قابل قبول}$$

$$87500 < 129525$$

## ۳- کنترل مقاومت اتکایی در جدار سوراخ



## ۱۰-۲-۹-۳-۷ مقاومت اتکایی در جدار سوراخ پیچ

مقاومت اتکایی طراحی در جدار سوراخ پیچ در اتصالات اتکایی و اصطکاکی مساوی  $\phi R_n$  می باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۷۵ و  $R_n$  مقاومت اتکایی اسمی می باشد که بر اساس حالت حدی اتکایی برای حالت های مختلف به شرح زیر تعیین می گردد.

۱. برای سوراخ استاندارد، سوراخ بزرگ شده، سوراخ لوبیایی کوتاه و سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که نیرو در امتداد طولی باشد:

$$R_n = 1/2 l_c t F_u \leq 2/3 d t F_u \quad (12-9-2-10)$$

۲. برای سوراخ لوبیایی بلند در حالتی که نیرو در امتداد عرضی باشد (محور شکاف عمود بر امتداد نیرو باشد)

$$R_n = 1/0 l_c t F_u \leq 2/0 d t F_u \quad (13-9-2-10)$$

در روابط فوق:

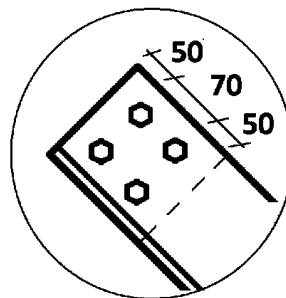
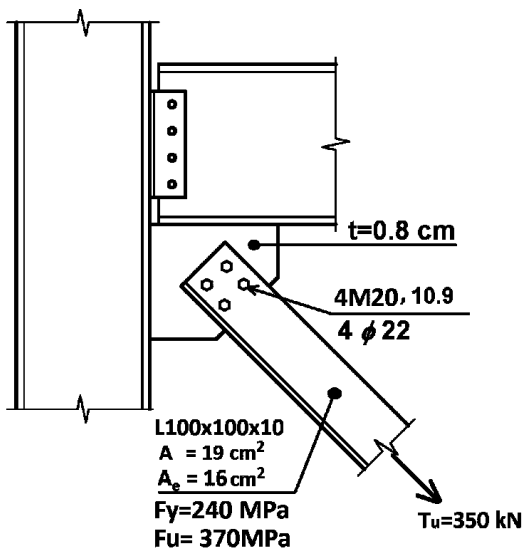
$d$  = قطر اسمی پیچ

$F_u$  = تنش کششی نهایی مصالح ورق اتصال

$t$  = ضخامت قطعه اتصال

$l_c$  = فاصله خالص در راستای نیرو، بین لبه سوراخ ها برای سوراخ های میانی

= فاصله خالص در راستای نیرو، بین لبه سوراخ تا لبه آزاد ورق اتصال برای سوراخ های انتهایی



$$\text{LRFD: } \left\{ \begin{array}{l} \text{نیروی ضریب دار هر پیچ} = \frac{350 \times 10^3}{4} = 87500 \text{ N} \\ \text{نیروی مقاوم طراحی} = \phi R_n = 0.75 \text{Min}(1.2 \times 39 \times 8 \times 370, 2.4 \times 20 \times 8 \times 370) \\ = \text{Min}(103896, 142080) \\ 87500 < 103896 \end{array} \right. \quad \text{قابل قبول}$$

## ۴- کنترل حداقل فواصل پیچها

(پ) حداقل فواصل سوراخ پیچها در اتصالات پیچی

فاصله مرکز تا مرکز سوراخهای استاندارد، سوراخهای بزرگشده و سوراخهای لوبیایی نباید از ۳ برابر قطر وسیله اتصال کمتر باشد.

جدول ۱۰-۲-۸ حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه در هر راستا

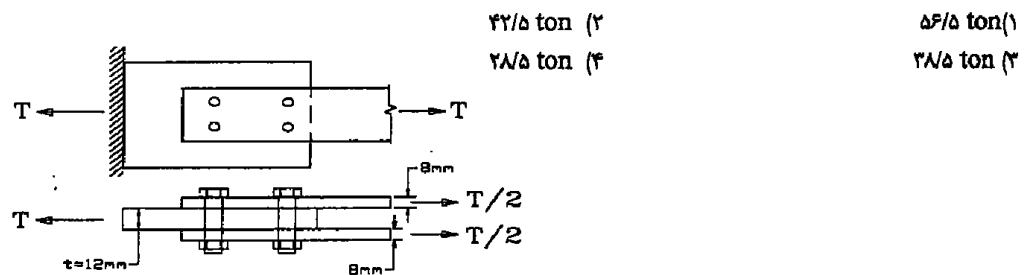
لبه نورد شده ورق- نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده شده با شعله اتوماتیک یا ااره	لبه بریده شده با قیچی (گیوتین)
$1/75d$	$2d$

$d$  = قطر اسمی پیچ

در سوال قبل، فاصله مرکز تا مرکز پیچها نباید کمتر از  $3 \times 20 = 60 \text{ mm}$  باشد. همچنین بار فرض بریده شدن با گیوتین، مرکز سوراخهای ردیف آخر تا لبه نبشی باید حداقل 40mm باشد.

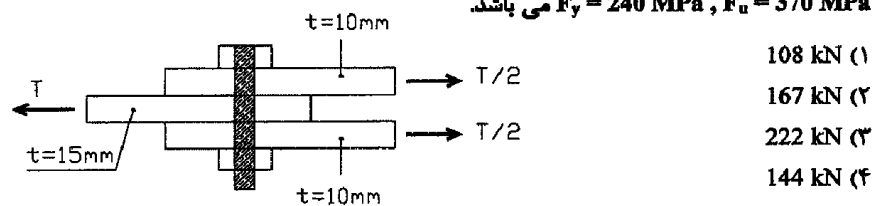
## محاسبات خرداد ۸۹

۲۷- حداکثر نیروی مجاز  $T$  از نظر کنترل تنش مجاز اتکایی حدوداً چقدر می باشد؟ در صورتی که نوع فولاد  $St37$  (  $F_u = 3700 \text{ kg/cm}^2$  و  $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$  ) و قطر پیچ برابر ۲۰mm از نوع  $F_u = 8000 \text{ kg/cm}^2$  و سوراخ از نوع استاندارد باشد.

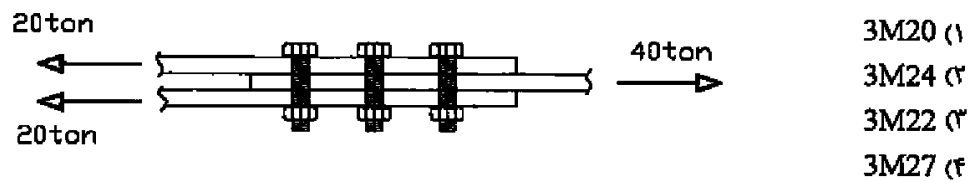


## محاسبات ۹۰

۲۰- چنانچه در اتصال اتکایی شکل زیر فقط از یک عدد پیچ M25 با سوراخ استاندارد استفاده شده باشد، فقط براساس کنترل لهدگی (اتکایی) ورقها، حداکثر نیروی قابل تحمل ( $T$ ) در طراحی به روش تنش مجاز به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است. ورقها از نوع  $St37$  بوده و در آن  $F_y = 240 \text{ MPa}$  ,  $F_u = 370 \text{ MPa}$  می باشد.



۱۹- یک اتصال پیچی به شکل نشان داده شده تحت نیروی طراحی 40 ton قرار دارد اگر اتصال از نوع اتکائی، پیچ مصرفی از نوع A325 یا 8.8 و سطح برش از قسمت دندانه شده پیچ عبور کند، حداقل نمره پیچ ها به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (فرض کنید تعداد پیچ های مصرفی کلاً 3 عدد می باشد.)



### ۱۳-۲-۳- اثر مشترک برش و کشش

#### ۱۰-۲-۹-۳- اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اتکایی

مقاومت کششی طراحی و برشی طراحی پیچ های تحت اثر توأم کشش و برش باید بر اساس حالت های حدی گسیختگی کششی و برشی مطابق روابط زیر تعیین شود.

$$\text{مقاومت کششی طراحی} = \phi R_{nt} = \phi F'_nt A_{nb} \quad (6-9-2-10)$$

$$\text{مقاومت برشی طراحی} = \phi R_{nv} = \phi F'_{nv} A_{nb} \quad (7-9-2-10)$$

که در آن:

$$F'_nt = F_{nt} \left[ 1/3 - \frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}} \right] \leq F_{nt} \quad (8-9-2-10)$$

$$F'_{nv} = F_{nv} \left[ 1/3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}} \right] \leq F_{nv} \quad (9-9-2-10)$$

$\phi$  = ضریب کاهش مقاومت و مساوی ۰/۷۵ می باشد.

$F_{nt}$  = مقاومت کششی اسمی مطابق جدول ۱۰-۹-۲-۱۰ وقتی که نیروی کششی به تنهایی عمل نماید.

$F_{nv}$  = مقاومت برشی اسمی مطابق جدول ۱۰-۹-۲-۱۰ وقتی که نیروی برشی به تنهایی عمل نماید.

$f_{nv}$  = تنش برشی مورد نیاز

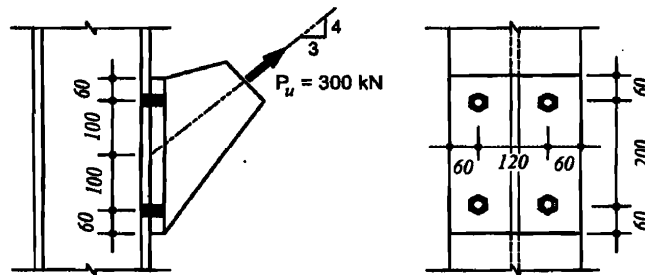
$f_{nt}$  = تنش کششی مورد نیاز

$A_{nb}$  = سطح مقطع اسمی پیچ

تبصره: در مواردی که تنش کششی یا برشی مورد نیاز کمتر از ۳۰ درصد تنش طراحی متناظر

باشد ( $f_u \leq 0/3 \phi F_n$ )، منظور کردن رابطه اندرکنش لازم نیست.

۴- در اتصال اتکایی شکل زیر قطر پیچ‌ها برابر ۲۰ میلی‌متر و پیچ‌ها از نوع ۸.۸ هستند. مقاومت کششی طراحی هر یک از پیچ‌ها بر حسب کیلونیوتن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ فرض کنید سطح برش پیچ‌ها از قسمت دندان‌شده می‌گذرد (ابعاد به میلی‌متر است).



(۱) 83.7

(۲) 111.6

(۳) 141.3

(۴) 188.4

گزینه ۱

مقاومت طراحی هر یک از پیچ‌ها برابر است با:

$$\phi F'_{nt} = \phi F_{nt} \left[ 1.3 - \frac{f_{uv}}{\phi F_{nv}} \right] = 0.75 \times (0.75 F_u \times 314) \left[ 1.3 - \frac{\left( \frac{300\,000 \times \frac{4}{5}}{4} \right)}{0.75 \times 0.45 F_u \times 314} \right] = 83690 \text{ N} = 83.7 \text{ kN}$$

• 314 مساحت هر از بولت‌ها می‌باشد.

• مقدار  $F_u$  نیز برابر 800MPa می‌باشد.

۱۸- چنانچه در یک اتصال پیچی از نوع اتکایی تحت اثر مشترک کشش و برش، تنش کششی مورد نیاز یک پیچ برابر 0.35 مقاومت کششی اسمی آن پیچ (وقتی که نیروی کششی به تنهایی عمل کند) باشد، مقاومت برشی اسمی پیچ چند درصد نسبت به حالتی که نیروی برشی به تنهایی بر روی پیچ عمل می‌کند، کاهش می‌یابد؟

(۴) 5

(۳) 17

(۲) 83

(۱) 95

گزینه ۳

$$\frac{f_{ut}}{F_{nt}} = 0.35$$

$$F'_{nv} = F_{nv} \left[ 1.3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}} \right] = F_{nv} \left[ 1.3 - \frac{0.35}{0.75} \right] = F_{nv} [0.8333]$$

وقتی کشش و برش همزمان اثر می‌کنند، رابطه زیر باید کنترل گردد. 0.75 ضریب کاهش مقاومت می‌باشد. در حضور نیروی کششی، نسبت مقاومت برشی به 0.83 مقدار اولیه کاهش می‌یابد.

۴۴- چنانچه در یک اتصال پیچی از نوع اتکایی، تنش برشی ناشی از بارهای ضریب‌دار 40 درصد تنش برشی اسمی پیچ باشد، در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، حداکثر تنش کششی اسمی پیچ حدوداً چقدر می‌تواند در نظر گرفته شود؟ فرض کنید پیچ‌ها از نوع پر مقاومت با تنش کششی نهایی  $F_u$  و تنش تسلیم  $F_y$  و سطح برش از قسمت دندان‌شده می‌گذرد.

(۲)  $0.6 F_u$ (۴)  $0.78 F_u$ (۱)  $0.75 F_u$ (۳)  $0.7 F_u$

۴۴- برای اتصال دو تسمه با ضخامت یکسان تحت نیروی محوری کششی، از پیچ‌های M20 از نوع A325 با سوراخ استاندارد و نوع اتکایی استفاده خواهد شد. تسمه‌ها از فولاد با تنش تسلیم 240 MPa و تنش کششی نهایی 370 MPa می‌باشند. فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌ها 80 mm و فاصله مرکز سوراخ‌های کناری از لبه آزاد تسمه برابر 60 mm است. حداقل ضخامت هر تسمه برحسب میلی‌متر حدوداً چقدر باشد تا مقاومت طراحی اتکایی جدار سوراخ پیچ‌ها از مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها کمتر نباشد؟ فرض کنید اتصال به صورت برشی بوده و سطح برش پیچ‌ها از قسمت دندان‌شده نمی‌گذرد.

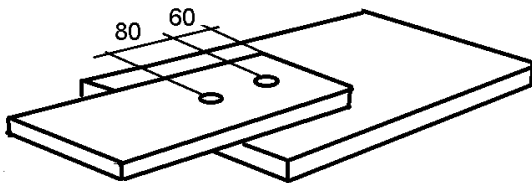
۸ (۱) ۱۰ (۲) ۱۲ (۳) ۱۵ (۴)

گزینه ۱ قطر سوراخ برابر  $20+2=22\text{mm}$  خواهد بود.

$$\phi \text{Min} \left( \frac{1.2l_c t F_u}{2.4dt F_u} \right) < \phi F_{nv} A_{nb}$$

$$0.75 \text{Min} \left( \frac{1.2 \times \text{Min}(80 - 22, 60 - 11)t \times 370}{2.4 \times 20t \times 370} \right) > 0.75 \times 0.55 \times 800 \times (314)$$

$$0.75 \text{Min} \left( \frac{21756t}{17760t} \right) > 103620 \quad \rightarrow \quad t > 7.78 \text{ mm}$$



۳۷- در یک اتصال پیچی با عملکرد اتکایی و با شش عدد پیچ M27 از نوع 10.9، حداکثر نیروی نهایی قابل تحمل توسط اتصال فقط از منظر برش در پیچ‌ها به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (فرض کنید سطح برش پیچ‌ها از ناحیه دندان‌شده نمی‌گذرد. عملکرد پیچ‌ها یک برشه فرض شود و فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو برابر 500 میلی‌متر در نظر گرفته شود).

2100 kN (۲) 2800 kN (۱)  
700 kN (۴) 1400 kN (۳)

گزینه ۳

$$6 \times [\phi F_{nv} A_b = 0.75 \times 0.55 \times 1000 \times (\pi \times 13.5^2) = 236 \text{ kN}] = 1416 \text{ kN}$$

۴۶- یک اتصال پیچی از نوع اتکایی با پیچ پر مقاومت بطوریکه سطح برش پیچ‌ها از قسمت دندان‌شده نمی‌گذرد، مفروض است. در صورتی که این اتصال تحت اثر مشترک کشش و برش قرار گیرد و تنش کششی موردنیاز یک پیچ 0.30 مقاومت کششی اسمی آن پیچ وقتی که نیروی کششی به تنهایی عمل نماید، باشد، نسبت مقاومت برشی اسمی این پیچ به تنش کششی نهایی آن به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟

0.55 (۴) 0.50 (۳) 0.45 (۲) 0.40 (۱)

گزینه ۳

$$F'_{nv} = \text{Min} \left( \frac{F_{nv}}{F_{nv} \left[ 1.3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nt}} \right]} \right) = \text{Min} \left( \frac{0.55 F_u}{0.55 F_u \left[ 1.3 - \frac{0.3}{\phi} \right]} \right) = \text{Min} \left( \frac{0.55 F_u}{0.55 F_u \left[ 1.3 - \frac{0.3}{\phi} \right]} \right) = 0.495 F_u$$

۴- اگر در یک اتصال پیچی با عملکرد اتکائی پیچ‌ها تحت اثر برش و کشش قرار گرفته باشند و در پیچ‌ها مقدار  $\frac{\phi f_{uv}}{F_{nv}} = 0.25$  و  $\frac{\phi f_{ut}}{F_{nt}} = 0.5$  باشد، آنگاه مقدار مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر خواهد بود؟

$$0.75F_{nv}A_{nb} \quad (۲)$$

$$0.3F_{nv}A_{nb} \quad (۱)$$

$$0.525F_{nv}A_{nb} \quad (۴)$$

$$0.4F_{nv}A_{nb} \quad (۳)$$

گزینه ۱

$$\begin{aligned} \phi F'_{nt} A_{nb} &= 0.75 F'_{nt} A_{nb} = 0.75 F_{nv} \left( 1.3 - \frac{f_{ut}}{\phi F_{nv}} \right) A_{nb} = 0.75 F_{nv} \left( 1.3 - \frac{1}{\phi^2} \frac{\phi f_{ut}}{F_{nv}} \right) A_{nb} \\ &= 0.75 F_{nv} \left( 1.3 - \frac{1}{\phi^2} 0.5 \right) A_{nb} = 0.75 F_{nv} \left( 1.3 - \frac{1}{0.75^2} 0.5 \right) A_{nb} = 0.3 F_{nv} A_{nb} \end{aligned}$$

## ۱۳-۳- کنترل اتصال اصطکاکی

۱۰-۲-۹-۳-۵ مقاومت کششی طراحی و برشی طراحی در اتصالات اصطکاکی

مقاومت کششی طراحی پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی عیناً مشابه مقاومت کششی طراحی پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اتکایی بوده و از ضوابط بند ۱۰-۲-۹-۳-۳ تعیین می‌گردد. مقاومت برشی طراحی پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی بر اساس کنترل لغزش بحرانی تعیین می‌گردد. مقاومت برشی طراحی پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات اصطکاکی بر اساس کنترل لغزش بحرانی مساوی  $\phi R_{nv}$  می‌باشد که در آن،  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت و  $R_{nv}$  مقاومت برشی اسمی به شرح زیر می‌باشد.

$$R_{nv} = \mu D_u h_f T_b n_s \quad (10-9-2-10)$$

که در آن:

$\phi$  = ضریب کاهش مقاومت به شرح زیر:

• برای سوراخ‌های استاندارد و سوراخ لوبیایی کوتاه در امتداد عمود بر راستای نیرو  $\phi=1$

• برای سوراخ‌های بزرگ‌شده و سوراخ لوبیایی کوتاه در امتداد موازی با راستای نیرو  $\phi=0.85$

• برای سوراخ‌های لوبیایی بلند  $\phi=0.7$

$\mu$  = ضریب اصطکاک به شرح زیر:

• برای وضعیت سطحی کلاس A (سطح فلز دار تمیز و رنگ‌نشده):  $\mu=0.3$

• برای وضعیت سطحی کلاس B (سطح تمیز شده با ماسه پاشی و رنگ‌نشده):  $\mu=0.5$

$D_u$  = نسبت پیش‌تنیدگی متوسط پیچ‌ها به پیش‌تنیدگی حداقل پیچ‌ها و مساوی  $1/13$

$h_f$  = ضریب کاهش بخاطر وجود ورق‌های پرکننده در بین قطعات متصل به یکدیگر به شرح زیر:

• در صورت عدم نیاز به ورق‌های پرکننده در بین قطعات متصل به یکدیگر مساوی ۱

• در صورت استفاده فقط از یک ورق پرکننده در بین قطعات متصل به یکدیگر مساوی ۱

• در صورت استفاده از دو یا تعداد بیشتری از ورق‌های پرکننده در بین قطعات متصل به یکدیگر

مساوی  $0.85$

$T_b$  = حداقل نیروی پیش‌تنیدگی پیچ طبق مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۷

$n_s$  = تعداد صفحات لغزش

۱۰-۲-۹-۳-۶ اثر مشترک کشش و برش در اتصالات اصطکاکی

در اتصالات اصطکاکی، در صورت وجود توأم نیروی کششی و برشی، مقاومت برشی اسمی بر اساس

کنترل لغزش طبق رابطه ۱۰-۲-۹-۱۰ باید به شرح زیر در ضریب کاهش  $k_{sc}$  ضرب گردد.

$$k_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} \quad (10-9-2-10)$$

که در آن:

$T_u$  = نیروی کششی مورد نیاز

$D_u$  = نسبت پیش‌تنیدگی متوسط پیچ‌ها به پیش‌تنیدگی حداقل پیچ‌ها و مساوی  $1/13$

$T_b$  = حداقل نیروی پیش‌تنیدگی پیچ طبق جدول ۱۰-۲-۹-۷

$n_b$  = تعداد پیچ‌هایی که نیروی کششی را تحمل می‌کنند.



در اتصال اصطکاکی نیز تمامی گامهای ۱ تا ۴ مربوط به اتصال اتکایی باید کنترل شوند. علاوه بر آن باید لغزش صفحات نیز محدود شود:

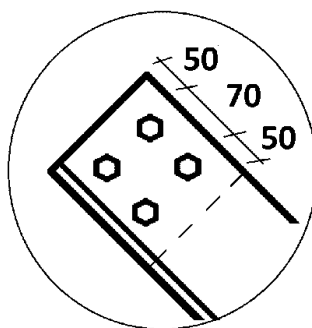
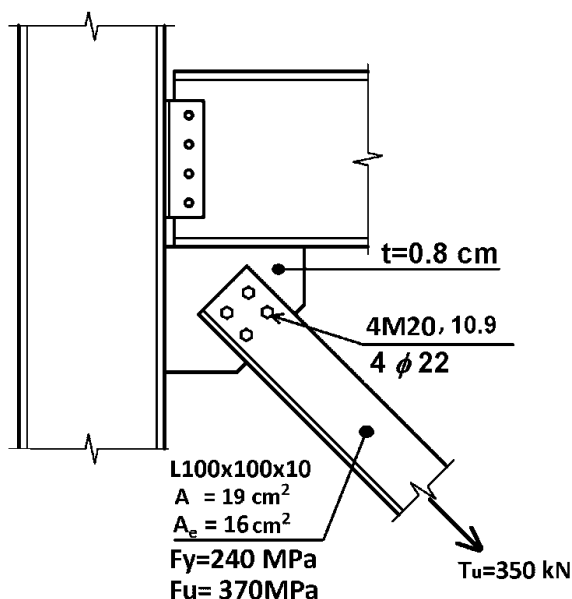
۱- کنترل عضو کششی (مطابق فصل مربوط به اعضای کششی)

۲- کنترل گسیختگی پیچ

۳- کنترل مقاومت اتکایی در جدار سوراخ

۴- کنترل حداقل فواصل پیچها

۵- کنترل لغزش صفحات



مثال: با فرض اینکه نوع پیچها در مثال قبل (اتصال بادبند) M20, 10.9 باشد، و اتصال از نوع اصطکاکی باشد، لغزش را کنترل نمایید.

$$\text{LRFD: } \left\{ \begin{array}{l} \text{نیروی ضریب دار وارد بر هر پیچ} = \frac{350 \times 10^3}{4} = 87500 \text{ N} \\ \text{مقاومت برشی طراحی} = \phi R_n A_b = 1(0.3 \times 1.13 \times 1 \times 179) = 60.681 \text{ kN} \\ \text{غیر قابل قبول} \end{array} \right. \quad 87500 \not\leq 60681$$

سوال: اگر یک اتصال را یک بار به صورت اصطکاکی و یک بار به صورت اتکایی طراحی کنیم، در کدام حالت پیچ های بیشتری لازم خواهد بود؟ (در هر دو نوع اتصال از پیچ اعلی استفاده شود)

در کدام اتصال تمیز بودن سطوح دارای اهمیت بیشتری است؟

۲۱- در یک اتصال پیچی اصطکاکی، نیروی کششی اعمالی به یک پیچ برابر با ۶۰٪ نیروی پیش تنیدگی آن است. تنش مجاز برشی آن در سوراخ استاندارد کدامیک از مقادیر زیر است.

$$F_v = F_p \text{ مقاومت نهایی مصالح پیچ}$$

$$F_v = 0.09F_p \quad (۲)$$

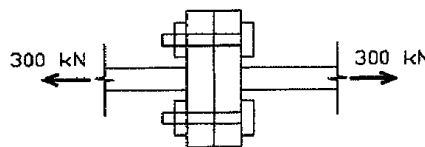
$$F_v = 0.06F_p \quad (۱)$$

$$F_v = 0.15F_p \quad (۴)$$

$$F_v = 0.12F_p \quad (۳)$$

## محاسبات ۹۰

۲۳- در اتصال اصطکاکی زیر ابتدا پیچها هر کدام به اندازه ۲۰۰ kN پیش تنیده می شوند سپس بارگذاری خارجی مطابق با شکل را به آنها وارد می کنیم در این حالت کشش داخل هر پیچ به کدامیک از اعداد زیر نزدیک تر است؟



$$150 \text{ kN} \quad (۱)$$

$$50 \text{ kN} \quad (۲)$$

$$200 \text{ kN} \quad (۳)$$

$$350 \text{ kN} \quad (۴)$$

گزینه ۳

## محاسبات-۹۱

۳۹- در شرایط یکسان از نظر تعداد، آرایش و نوع پیچها در طراحی به روش تنش مجاز، کدامیک از عبارات زیر صحیح تر است؟

(۱) ظرفیت برشی اتصال اتکایی بیشتر از ظرفیت برشی اتصال اصطکاکی است.

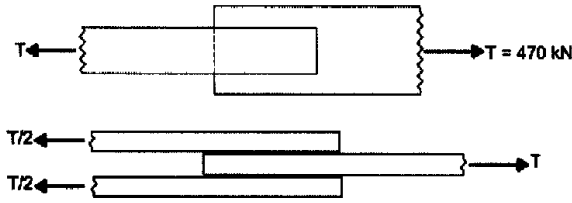
(۲) ظرفیت برشی اتصال اتکایی کمتر از ظرفیت برشی اتصال اصطکاکی است.

(۳) ظرفیت برشی اتصال اتکایی برابر با ظرفیت برشی اتصال اصطکاکی است.

(۴) به نوع سیستم سازه‌ای و نیز جزئیات اتصال بستگی داشته و ظرفیت برشی اتصال اتکایی ممکن است کمتر، مساوی و یا بیشتر از ظرفیت برشی اتصال اصطکاکی باشد.

گزینه ۱

۳۱- اتصال نشان داده شده در شکل زیر مربوط به عضوی در یک سیستم باربر جانبی لرزه‌ای می‌باشد. چنانچه پیچ‌ها از نوع A490 با قطر 20 mm و سطح برش از محل دندانه‌ها عبور نماید و پیچ‌ها در یک ردیف در راستای نیرو بکار برده شوند، در طراحی به روش تنش مجاز حداقل تعداد پیچ لازم به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟



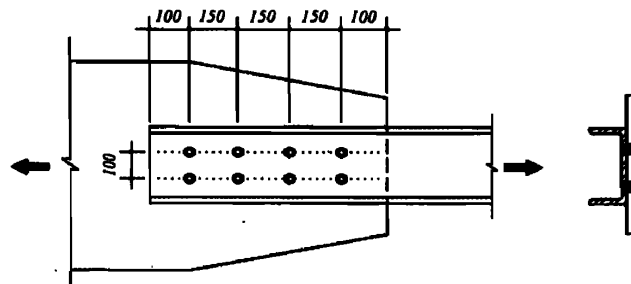
10 (۱)

4 (۲)

8 (۳)

5 (۴)

۱۳- ناودانی شکل زیر تحت کشش قرار دارد. پیچ‌ها از نوع پر مقاومت A490 با قطر 20 mm می‌باشند و سطح برش از محل دندانه شده نمی‌گذرد. در صورتی که اتصال در حالت اتکایی باشد و با سفت کردن پیچ‌ها به حالت اصطکاکی درآوریم مقاومت برشی طراحی اتصال حدوداً چقدر تغییر می‌یابد؟ (فرض کنید فقط مقاومت برشی طراحی اتصال بر اساس مقاومت برشی طراحی پیچ و اصطکاک صفحات حساب می‌شود. سوراخ از نوع استاندارد و وضعیت سطحی اتصال کلاس B است. از ورق پرکننده استفاده نمی‌شود. واحدها در شکل میلی‌متر است).



1) 22% افزایش

2) 22% کاهش

3) 12% کاهش

4) 12% افزایش

گزینه ۲

مقاومت هر پیچ بر اساس مقاومت اتکایی:

$$\varphi F_{nv} = 0.75(0.55F_u A_b) = 0.75 \times 0.55 \times 1000 \times 314 = 129525 \text{ N} = 129.5 \text{ kN}$$

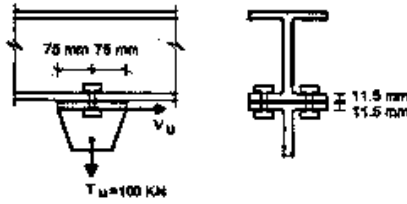
مقاومت هر پیچ بر اساس مقاومت اصطکاکی:

$$\varphi F_{nv} = \varphi \mu D_u h_f T_b n_s = 1 \times 0.5 \times 1.13 \times 1 \times 179 \times 1 = 101.135 \text{ kN}$$

بنابراین ۲۲ درصد افت مقاومت داریم.

## محاسبات خرداد ۹۳

۳۹- در اتصال پیچی اصطکاکی نشان داده شده در شکل، مقدار ظرفیت برشی طراحی به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ فولاد از نوع ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ )، پیچها M20 و از نوع A325 و سوراخها استاندارد می باشد و فواصل سوراخها از لبه ها به درستی تنظیم شده است. وضعیت سطحی اتصال، کلاس A فرض شود.



- (۱) 48 kN  
(۲) 96 kN  
(۳) 33 kN  
(۴) 66 kN

گزینه ۴

$$T_b = 142 \text{ kN}$$

$$k_{sc} = 1 - \frac{100}{1.13 \times 142 \times 2} = 0.688$$

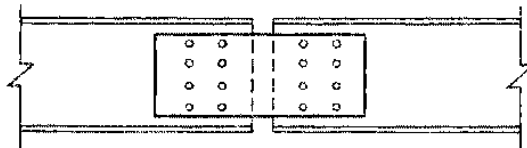
$$\phi R_{nv} = 2 \times [1 \times 0.3 \times 1.13 \times 1 \times 142 \times 1] = 96.27 \text{ kN}$$

$$k_{sc} \phi R_{nv} = 66.22 \text{ kN}$$

ضریب ۲ در ابتدای رابطه سوم به این دلیل است که دو عدد پیچ داریم.

## محاسبات ۹۵

۴۵- مطابق شکل زیر برای وصله یک عضو کششی با مقطع ناودانی تک از دو ورق اتصال جان (در داخل و پشت ناودانی) استفاده شده است. سوراخهای ناودانی استاندارد و سوراخهای ورق وصله لویبایی کوتاه با شیار عمود بر امتداد نیرو هستند. وضعیت سطوح تماس کلاس A بوده و از ورق پرکننده بین قطعات اتصال استفاده نشده است. در صورتی که عملکرد اتصال به صورت اصطکاکی در نظر گرفته شود و مقدار نیروی کششی محوری نهایی (ضریب دار) برابر 500 kN باشد، فقط بر اساس کنترل لغزش بحرانی، برای این اتصال کلاً چند عدد پیچ M20 از نوع A325 لازم است؟



- (۱) 14  
(۲) 12  
(۳) 10  
(۴) 8

گزینه ۲

$$500000 < \phi \mu D_u h_f T_b n_s$$

$$\frac{500}{\text{تعداد پیچ}} < 1 \times 0.3 \times 1.13 \times 1 \times 142 \times 2 \rightarrow \text{تعداد پیچ} = 5.193$$

تعداد پیچ دو برابر مقدار فوق خواهد بود (در هر طرف وصله) بنابراین 10.4 تعداد لازم محاسباتی است. بنابراین باید ۱۲ عدد پیچ قرار داده شود.

## محاسبات- ۹۱

۴۱- در یک اتصال پیچی اصطکاکی، پیچ ها از نوع A490 و قطر آنها 30 میلیمتر می باشد. چنانچه در طراحی به روش تنش مجاز نیروی کششی اعمالی به یک پیچ 30% حداقل نیروی پیش تنیدگی آن باشد، نیروی برشی قابل تحمل توسط این پیچ به کدامیک از مقادیر زیر برحسب کیلونیوتن نزدیکتر است؟

- (۱) 230  
(۲) 32  
(۳) 74  
(۴) 106

## محاسبات خرداد ۹۳

۳۵- برای انتقال فقط برش از یک قطعه به قطعه دیگر، یک اتصال پیچ و مهره ای اصطکاکی طراحی شده است. اگر در عمل، پیچها پیش تنیده نشده و به صورت اتکایی عمل کنند، کدامیک از گزینه زیر را می توان با اطمینان کامل صحیح دانست؟ قطر سوراخ استاندارد، وضعیت سطحی کلاس A و اتصال بدون ورق پرکننده می باشد. همچنین فرض کنید استفاده از اتصال اتکایی در این اتصال مجاز می باشد.

(۱) مقاومت اتکایی در جدار سوراخ کاهش خواهد یافت.

(۲) همواره مقاومت اتصال افزایش خواهد یافت.

(۳) مقاومت اتصال کاهش نخواهد یافت.

(۴) مقاومت برش قالبی کاهش خواهد یافت.

گزینه ۳

با عدم ایجاد پیش تنیدگی:

- مقاومت برشی اتکایی تغییر نمی کند
- مقاومت کنترل لغزش کاهش می یابد (صفر می شود)
- مقاومت برشی قالبی تغییر نمی کند

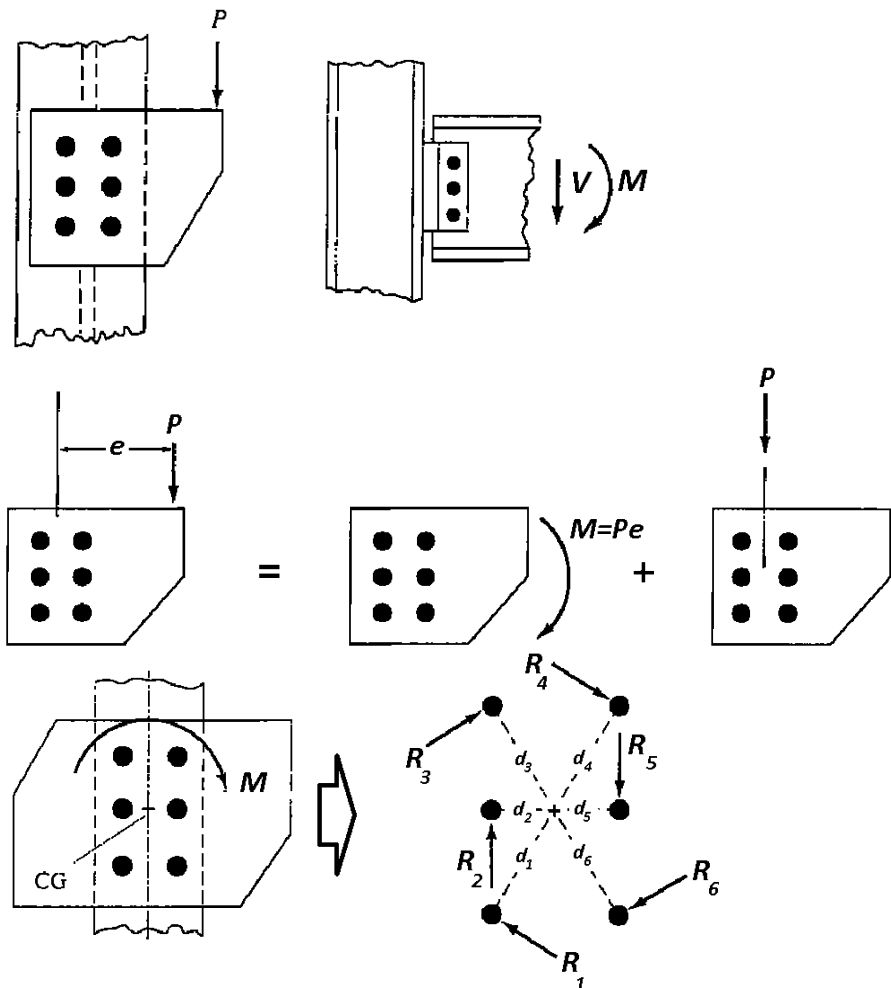
گزینه ۱ نادرست است: عدم ایجاد پیش تنیدگی خللی در مقاومت اتکایی ایجاد نمی کند.

گزینه ۲ نادرست است: مقاومت های اتکایی و برش قالبی تغییر نمی کنند و تنها مقاومت اصطکاکی صفر شده است بنابراین افزایشی در مقاومت اتصال نداریم.

گزینه ۳: از نظر کنترل لغزش مقاومت اتصال به صفر کاهش یافته است. بنابراین این گزینه نیز نادرست است.

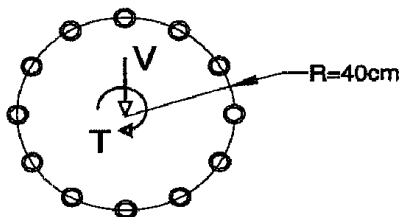
گزینه ۴: اصطکاکی یا اتکایی بودن اتصال تاثیری بر مقاومت برشی قالبی ندارد و مقاومت برشی قالبی نیز تغییر نمی کند.

اگر منظور طراحی از گزینه ۳ قابل قبول بودن اتصال باشد، با توجه به اینکه عنوان شده استفاده از اتصال اتکایی مجاز است، (با وجود صفر شدن مقاومت لغزشی) اتصال از نظر آیین نامه کماکان قابل قبول می باشد و گزینه ۳ صحیح می باشد.



محاسبات اسفند ۸۹

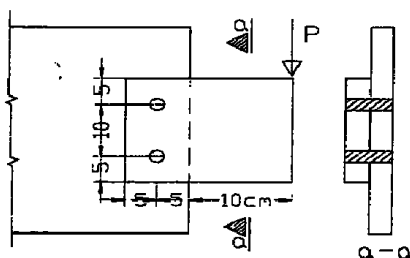
۲۰- اتصال ساعتی اتکایی نشان داده شده در شکل تحت اثر نیروی برشی ۳۰۰ کیلونیوتن و لنگر پیچشی ۳۰۰ کیلونیوتن متر قرار گرفته است. پیچها از نوع A490 و تعداد آنها ۱۲ عدد و سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد. براساس کنترل تنش مجاز در پیچها، حداقل نمره پیچها چقدر است؟



- M27 (۱)
- M22 (۲)
- M20 (۳)
- M24 (۴)

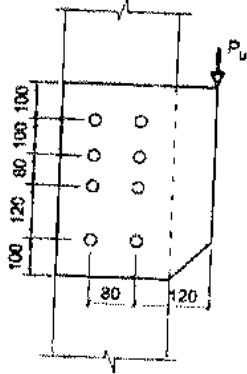
محاسبات خرداد ۸۹

۱۸- در اتصال اتکایی نشان داده شده در شکل، چنانچه پیچها از نوع A325 بوده و قطر آنها ۱۶ میلیمتر باشد و سطح برش از قسمت دندانه شده بگذرد، بر اساس کنترل تنش در پیچها، مقدار مجاز P به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ (طراحی بر اساس تنش مجاز مورد نظر است)



- ۴۲۸۸ kg (۱)
- ۲۸۴۸ kg (۲)
- ۲۰۳۴ kg (۳)
- ۶۴۳۲ kg (۴)

۴۲- در شکل زیر فقط براساس کنترل مقاومت برشی پیچ‌ها به روش الاستیک، حداکثر نیروی  $P_u$  قابل تحمل توسط اتصال برحسب  $kN$  به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ پیچ‌ها از نوع ۸.۸ با قطر اسمی ۲۲ میلی‌متر و عملکرد اتصال از نوع اتکایی بوده و سطح برش پیچ‌ها از قسمت دندانه‌شده می‌گذرد. (ابعاد در شکل به میلی‌متر است)



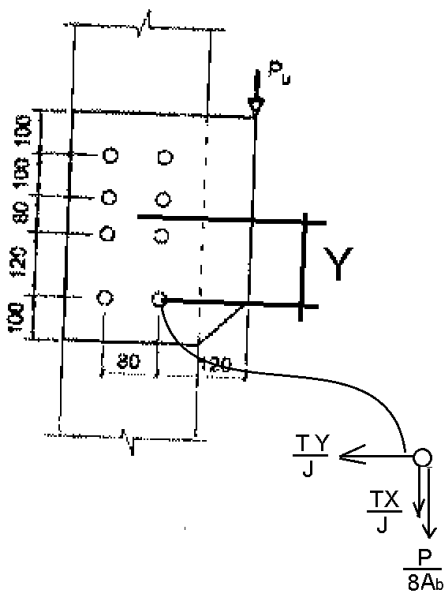
(۱) 320

(۲) 350

(۳) 420

(۴) 460

گزینه ۲



مرکز سطح پیچ‌ها:

$$Y = \frac{2A_b(120 + 200 + 300)}{8A_b} = 155 \text{ mm}$$

$$A_b = 380 \text{ mm}^2$$

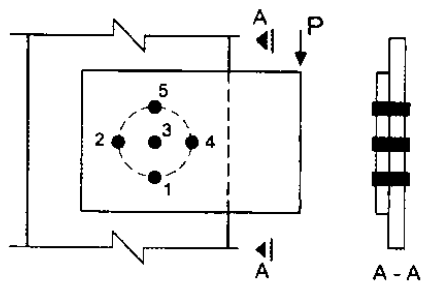
$$J = 2A_b(40^2 + 155^2 + 40^2 + 35^2 + 40^2 + 45^2 + 40^2 + 145^2) = 109400A_b$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{TX}{J} &= \frac{(160P)(40)}{109400A_b} = \frac{0.0585P}{A_b} \\ \frac{TY}{J} &= \frac{(160P)(155)}{109400A_b} = \frac{0.2267P}{A_b} \\ \frac{P}{8A_b} &= \frac{0.125P}{A_b} \end{aligned} \right\} F = \sqrt{\left(\frac{TX}{J} + \frac{P}{8A_b}\right)^2 + \left(\frac{TY}{J}\right)^2}$$

$$F = \sqrt{\left(\frac{0.1835P}{A_b}\right)^2 + \left(\frac{0.2267P}{A_b}\right)^2} = \frac{0.2916P}{A_b} < (\varphi F_{nv} = 0.75 \times 0.45 \times 800)$$

$$P < (925.7A_b = 351.7 \text{ kN})$$

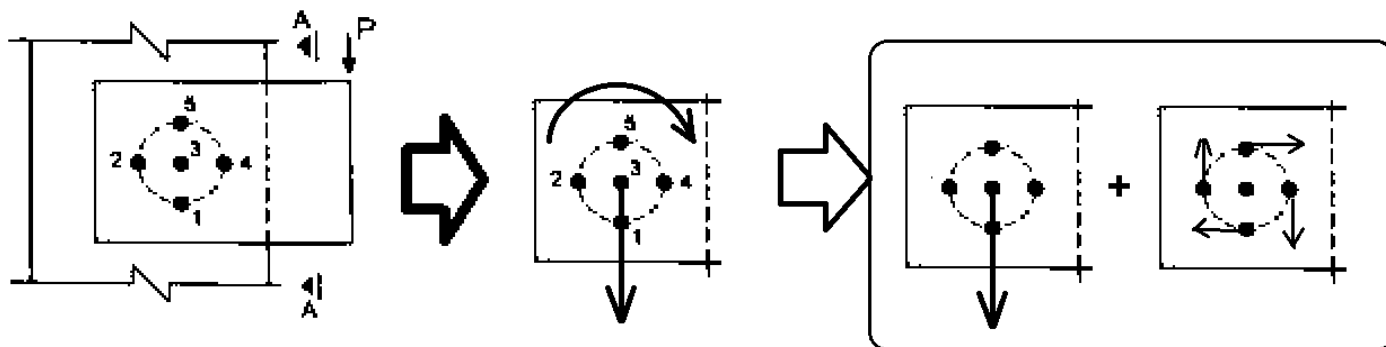
۵- در اتصال پیچی شکل روبرو، کمترین فنش برشی در کدامیک از پیچ‌ها به وجود می‌آید؟ (اتصال با عملکرد اتکایی فرض شود).



- (۱) در پیچ‌های شماره ۳ یا ۲
- (۲) قطعاً در پیچ شماره ۲
- (۳) قطعاً در پیچ شماره ۳
- (۴) قطعاً در پیچ شماره ۴

گزینه ۴

با توجه به شکل زیر در پیچ شماره ۲ (سمت چپ) برش ناشی از لنگر پیچش و نیروی برشی در جهت عکس هم هستند و بنابراین در این پیچ کمترین برش را خواهیم داشت. از طرفی اگر خروج از مرکزیت بار زیاد باشد، مقدار لنگر پیچشی قابل توجه خواهد بود (و اثر برش در مقابل آن ناچیز خواهد بود) و ممکن است در پیچ ۳ نیروی برشی کمتری داشته باشیم (چون در پیچ شماره ۳ پیچش بی اثر است).



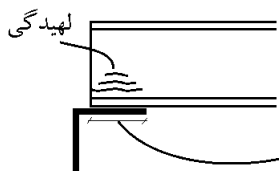


۱۳-۵- انواع اتصال

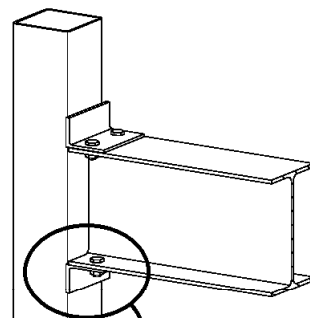
- ۱- صلب
- ۲- نیمه صلب
- ۳- ساده (مفصلی)

۱- اتصال با نبشی نشیمن (مفصلی)

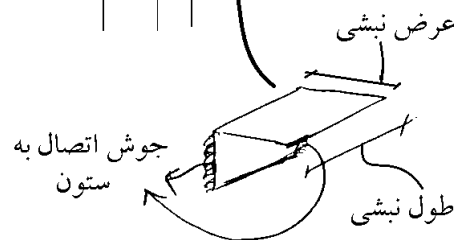
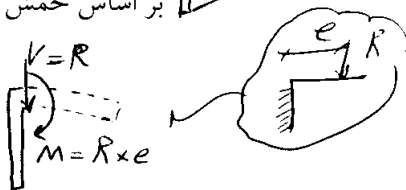
طول بال نبشی باید بیشتر از عرض بال تیر باشد (در اتصال جوشی)



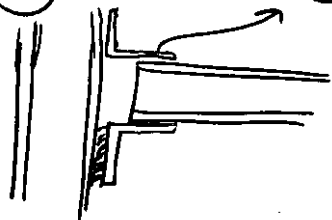
عرض بال نبشی بر اساس لهدگی جان تیر محاسبه می شود



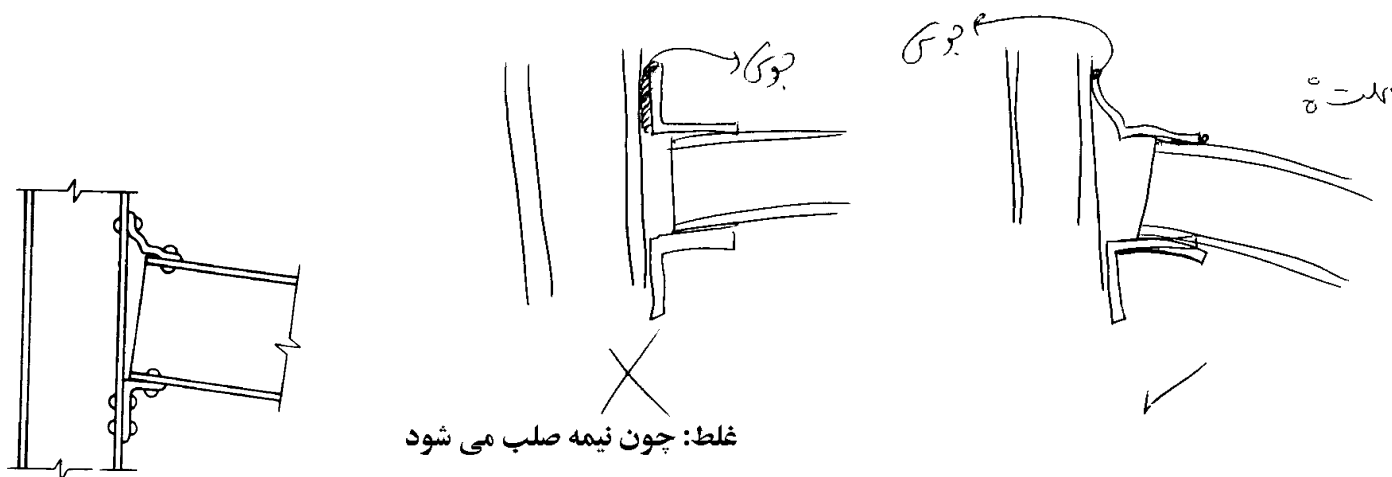
✓ ضخامت بال نبشی در بر اساس خمش و برش در مقطع محاسبه می شود



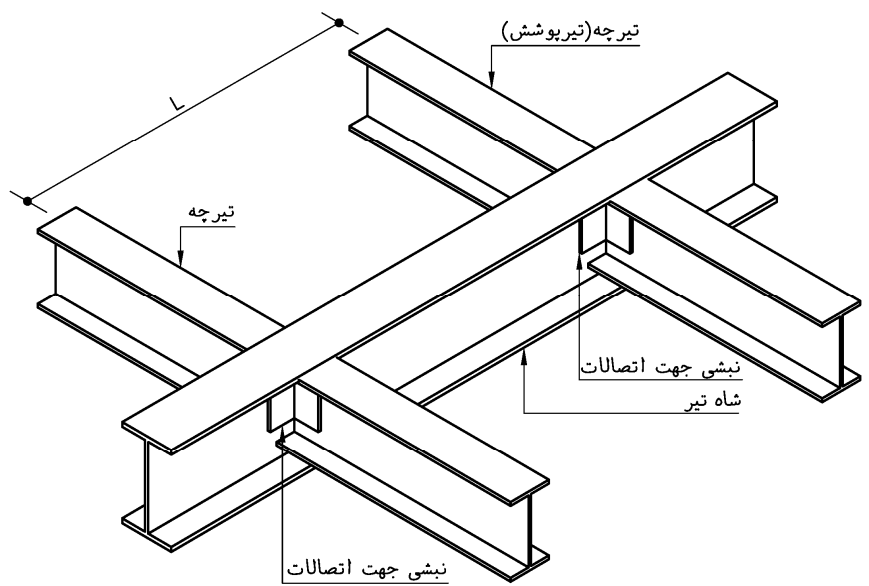
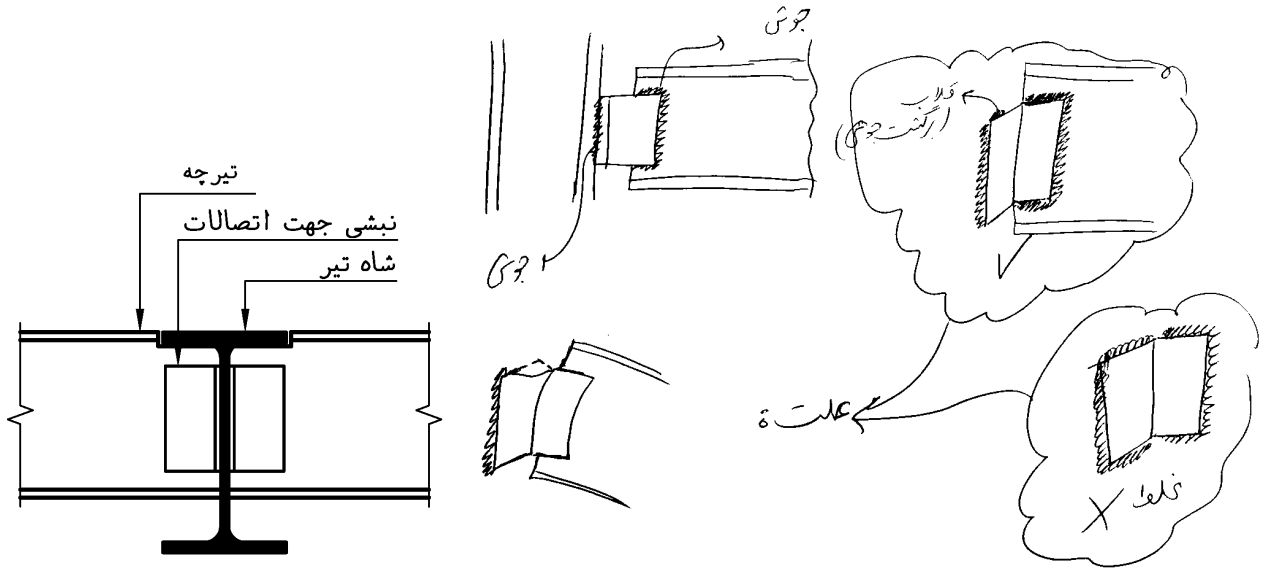
✓ نبشی فوقانی نقش سازه ای ندارد و تنها برای جلوگیری از رانش دیوار است  
بنابراین نیاز به محاسبه ندارد (ابعاد نبشی و جوش آن)



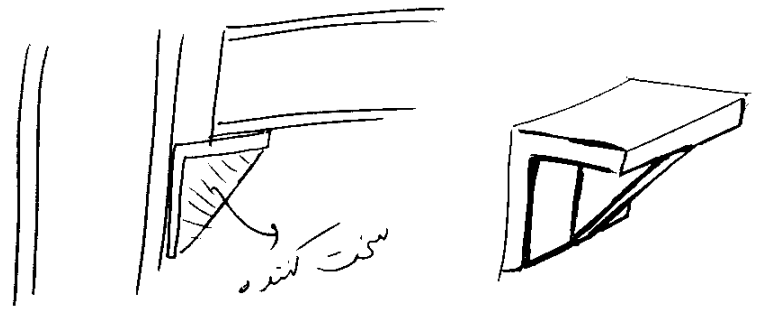
انصال نبشی فوقانی نباید سراسری باشد جوشی به ستون



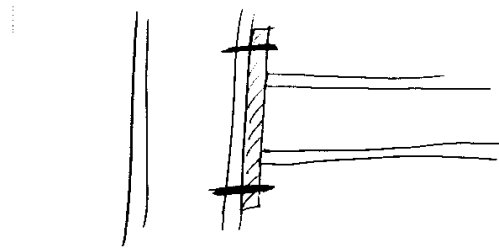
۲- اتصال با نبشی جان (مفصلی)



۳- اتصال با نبشی نشیمن با سخت کننده (مفصلی)



۴- اتصال با صفحه انتهایی



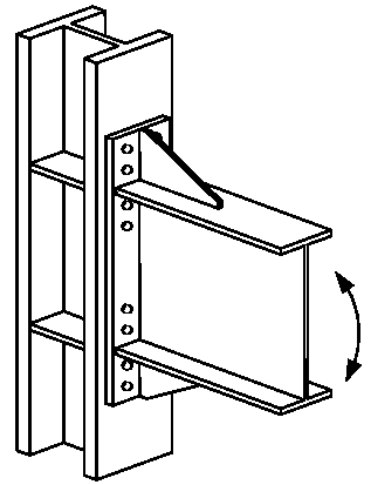
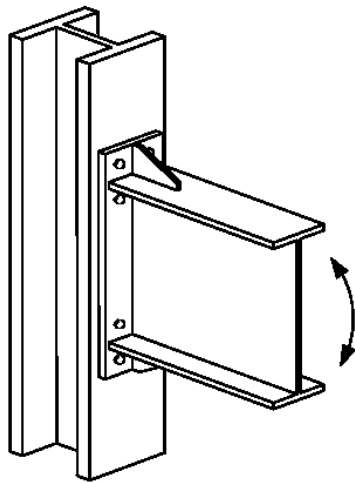
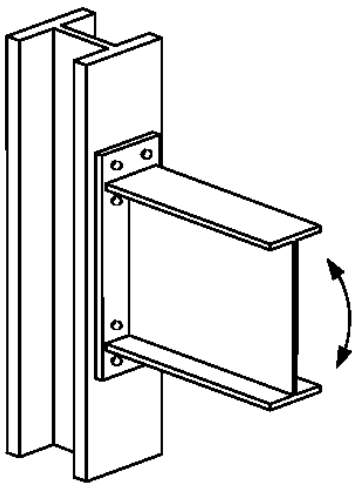
اتصال با صفحه انتهایی

ابتدای صفحه انتهایی را بر تیر

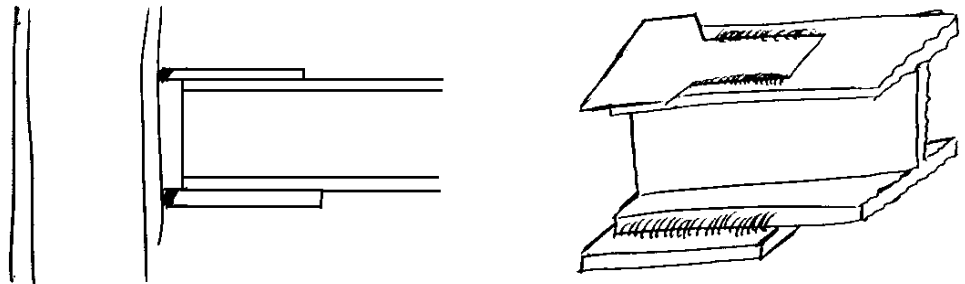
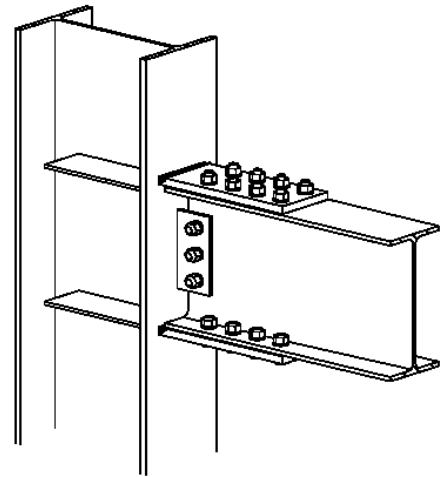
جوش می دهند سپس صفحه را بر ستون

پیچ می کنند.

بسته به مقدار زوایا پیچ که صلب یا نیمه صلب است (معمولاً صلب نمی توان)



## ۵- اتصال گیردار با ورق روسری و زیرسری



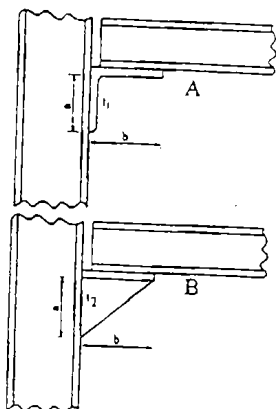
## محاسبات - ۳- آذر ۸۴

۲۴- در اتصال ساده تیر به ستون با نبشی جان، جوش نبشی به جان تیر:

- (۱) تحت اثر فقط نیروی برشی است.  
 (۲) تحت اثر تنها لنگر پیچشی است.  
 (۳) تحت اثر توأم نیروی برشی و لنگر خمشی است.  
 (۴) تحت اثر توأم نیروی برشی و لنگر پیچشی است.

## محاسبات - ۱- آذر ۸۴

۲۷- برای تکیه گاه ساده یک تیر فولادی دو شکل A و B مطرح شده است. در مورد لنگر خمشی وارده به ستون کدام گزینه صحیح است؟



- (۱) لنگر وارده به ستون در حالت B بیشتر است.  
 (۲) لنگر وارده به ستون در هر دو حالت مساوی است.  
 (۳) لنگر وارده به ستون در حالت A بیشتر است.  
 (۴) چون تکیه گاه ساده است، به ستون لنگری وارد نمی شود.

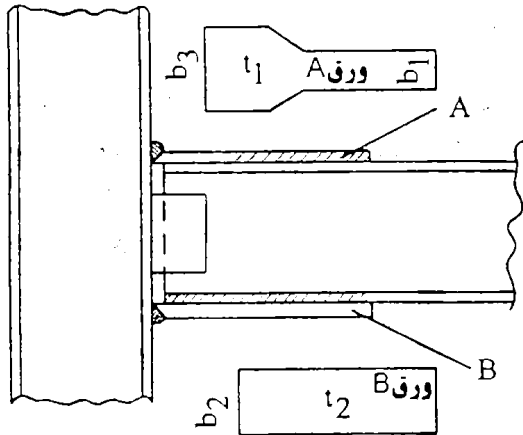
۲۴- در طرح اتصال صلب تیر به ستون یک قاب خمشی معمولی از مقاومت نهانی مقطع تیر استفاده خواهد شد. اگر  $t_1$  و  $t_2$  ضخامت لازم برای ورق‌های A و B باشند، کدام مورد صحیح است؟

$$t_1 b_1 > t_2 b_2 \quad (1)$$

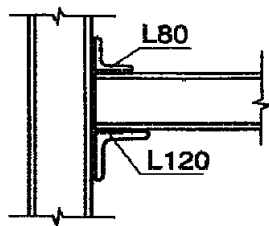
$$t_1 b_1 = t_2 b_2 \quad (2)$$

$$t_1 b_1 < t_2 b_2 \quad (3)$$

$$t_1 b_1 = t_2 b_2 \quad (4)$$



۲۹- برای اتصال مفصلی تیر به ستونی از یک عدد نبشی نشیمن L120 (تحتانی) و یک نبشی نگاهدارنده فوقانی L80 استفاده شده است. در خصوص اتصال فوق‌الذکر کدامیک از گزینه‌های زیر صحیح می‌باشد؟



(۱) نیروی برشی در انتهای تیر فولادی به نسبت سطح مقطع نبشی‌ها بین

L120 و L80 توزیع می‌گردد.

(۲) ضخامت نبشی L120 فقط براساس کنترل تنش برشی محاسبه می‌شود.

(۳) لبه‌های موازی با طول نبشی L80 باید به تیر و ستون با جوش متصل شود.

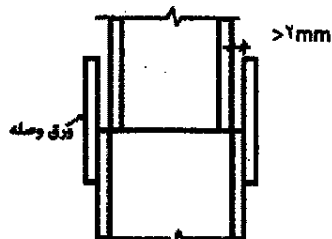
(۴) هر دو نبشی L120 و L80 باید در تمام لبه‌های تماس آنها با تیر و ستون جوش شوند.

## ۱-۱۴- الزامات عمومی

۱۰-۲-۹-۵ ورق‌های پرکننده (لقمه‌ها)

الزامات عمومی ورق‌های پرکننده در محل وصله اعضا به شرح زیر می‌باشد.

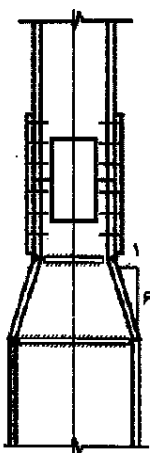
الف) در اتصالات جوشی، در صورتی که فاصله بین وجه داخلی ورق وصله و وجه خارجی قطعه با ابعاد کوچکتر، مساوی یا کمتر از ۲ میلی‌متر باشد، نیازی به تعبیه ورق‌های پرکننده نمی‌باشد.



نکل ۱۰-۲-۹-۱۲ نیاز به ورق پرکننده در اتصالات جوشی

ب) در اتصالات جوشی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آن‌ها کمتر از ۶ میلی‌متر می‌باشد یا ورق‌های پرکننده‌ای با ضخامت مساوی یا بزرگتر از ۶ میلی‌متر که توانایی انتقال نیروی ورق وصله را به ستون فوقانی ندارند، لبه‌هایشان باید همباد لبه‌های ورق وصله تمام شود و اندازه جوش باید مساوی مجموع اندازه جوش لازم جهت انتقال نیروی وصله به اضافه ضخامت ورق پرکننده در نظر گرفته شود.

پ) در اتصالات جوشی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آن بیش از ۶ میلی‌متر بوده و توانایی لازم جهت انتقال نیروی وصله را دارند، باید از لبه‌های ورق وصله به اندازه کافی ادامه یابند و به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، جوش شوند. جوش ورق‌های پرکننده به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، باید برای انتقال نیروهای ورق وصله کافی باشد. همچنین، ضخامت جوش‌هایی که ورق وصله را به ورق پرکننده متصل می‌کنند، باید متناسب با ضخامت ورق پرکننده بوده و برای انتقال نیروهای ورق وصله کافی باشد.



شکل ۱۰-۲-۹-۱۳ جزئیات وصله در محل تغییر قابل ملاحظه ابعاد ستون

ت) در اتصالات پیچی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آنها مساوی یا کمتر از ۶ میلی‌متر می‌باشد، لبه‌هایشان باید همباد لبه‌های ورق وصله تمام شود. در اینگونه موارد هیچ‌گونه کاهش بر روی مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها اعمال نمی‌شود. ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آنها بیشتر از ۶ میلی‌متر می‌باشد، باید یکی از الزامات زیر در مورد آنها به کار گرفته شود.

۱- لبه‌های ورق‌های پرکننده همباد با لبه‌های ورق وصله تمام شود و مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها در ضریب کاهش  $\geq 0.85$  [  $(1-6) \cdot 0.154$  ] ضرب شود. که در آن  $t$  ضخامت کل ورق‌های پرکننده به میلی‌متر است.

۲- لبه‌های ورق‌های پرکننده از لبه‌های ورق وصله به اندازه کافی ادامه یافته و به منظور توزیع یکنواخت نیروی کلی در محل وصله، با پیچ‌های کافی به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، پیچ شوند. در این حالت، اندازه محل اتصال باید به منظور سازگاری با تعداد کل پیچ‌ها افزایش یابد.

۳- لبه‌های ورق‌های پرکننده همباد با لبه‌های ورق وصله تمام شود و طراحی وصله به صورت اصطکاکی صورت گیرد.

## ۱۰-۳-۵ الزامات لرزه‌ای ستون‌ها، وصله ستون‌ها، کف‌ستون‌ها و وصله تیرها

## ۱۰-۳-۵-۲ الزامات طراحی لرزه‌ای وصله ستون‌ها

## ۱۰-۳-۵-۱-۲ موقعیت وصله ستون‌ها

الف) به جز موارد ذکر شده در زیر، در کلیه ستون‌های باربر و غیر باربر جانبی لرزه‌ای محل درز وصله در بالا و پایین وصله نباید از ۱۲۰۰ میلی‌متر به بال متصل به ستون نزدیکتر باشد.

(۱) در جایی که ارتفاع آزاد ستون کمتر از ۲/۴ متر است، محل وصله باید در وسط ارتفاع آزاد ستون در نظر گرفته شود.

(۲) در مواردی که درز لب به لب ورق‌های بال یا جان ستون در کارخانه و به صورت نفوذی کامل انجام می‌شود، محل درز وصله می‌تواند از ۱۲۰۰ میلی‌متر به بال متصل به ستون تیر نزدیکتر باشد. ولی در هر حال این فاصله نباید از بُعد بزرگتر ستون یا مقطع کوچکتر، کوچکتر در نظر گرفته شود.

(۳) در مواردی که اتصال کلیه تیرهای متصل به ستون مفصلی بوده و ستون در دهانه‌های مهاربندی شده قرار نگرفته باشد، محل درز وصله می‌تواند از ۱۲۰۰ میلی‌متر به بال تیر نزدیکتر باشد. ولی در هر حال این فاصله نباید از ۱/۵ برابر بُعد بزرگتر ستون یا مقطع کوچکتر، کوچکتر در نظر گرفته شود.

ب) اتصال وصله ستون به هر یک از دو قطعه ستون وصله‌شونده باید با یک نوع وسیله اتصال، جوش یا پیچ پر مقاومت، انجام شود و در مقطع عدم تقارن ایجاد نکند. اتصال وصله به یکی از قطعات ستون تماماً جوشی و به دیگری تماماً پیچی نیز مجاز است.

پ) در وصله لب به لب بین ورق‌های با پهنا یا ضخامت متفاوت که در بال یا جان ستون به کار می‌روند، تغییر تدریجی در پهنا یا ضخامت، از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به ۶ صورت گیرد.

ت) در وصله ستون‌های با ابعاد و مقطع متفاوت، به جای استفاده از ورق‌های پرکننده با ضخامت‌های زیاد، ارجح است ابتدا مقطع بزرگتر با شیب حداکثر ۱ به ۶ به مقطع کوچکتر تبدیل شده و سپس اتصال وصله صورت گیرد.

ث) در محل وصله ستون‌های متشکل از چند نیمرخ لازم است هر یک از ستون‌های وصله‌شونده در ارتفاعی حداقل به اندازه بُعد بزرگتر مقطع ستون به صورت یکپارچه در آیند و سپس وصله شوند.

## ۱۰-۳-۵-۲-۱۰ مقاومت مورد نیاز وصله ستون‌ها

وصله کلیه ستون‌ها، شامل ستون‌های غیرباربر جانبی، علاوه بر تأمین ضوابط فصل ۱۰-۲ باید به طور مجزا قادر به تحمل نیروهای زیر باشند.

(۱) بیشترین نیروهای داخلی (شامل نیروی محوری، نیروی برشی و لنگر خمشی به طور همزمان) تحت اثر ترکیبات یار متعارف.

(۲) بیشترین نیروهای محوری (بدون حضور نیروهای برشی و لنگرهای خمشی) تحت اثر ترکیبات بار زلزله تشدید یافته و با در نظر گرفتن مفاد تبصره‌های ۱ و ۲ از بند ۱۰-۳-۵-۱.

(۳) نیروی برشی حداقل برابر  $\frac{\Sigma M_{pc}}{H_g}$  که در آن  $\Sigma M_{pc}$  مجموع لنگرهای خمشی پلاستیک ستون در دو سمت وصله در امتداد مورد نظر و  $H_g$  ارتفاع طبقه است. این نیروی برشی باید در هر امتداد محورهای اصلی ستون و به طور مجزا و بدون حضور نیروهای محوری و لنگرهای خمشی در نظر گرفته شود.

(۴) لنگر خمشی حداقل برابر  $R_y M_{pc}$  که در آن  $R_y$  نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح ستون و  $M_{pc}$  لنگر خمشی پلاستیک ستون با مقطع کوچکتر وصله‌شونده است. این لنگر خمشی باید در هر امتداد محورهای اصلی ستون و به طور مجزا و بدون حضور نیروهای محوری و برشی در نظر گرفته شود.

### ۱۰-۳-۵- الزامات طراحی لرزه‌ای وصله تیرها

وصله تیرهای باربر جانبی باید الزامات لرزه‌ای زیر را تأمین کنند.

الف) وصله تیرها باید خارج از ناحیه حفاظت‌شده دو انتهای تیر قرار گیرد.

ب) در صورت استفاده از وصله مستقیم، وصله باید با جوش نفوذی کامل صورت گیرد. در این گونه موارد ارجح است محل وصله بال‌ها و محل وصله جان در یک مقطع صورت نگیرد.

پ) در وصله مستقیم بین ورق‌های با پهنا یا ضخامت متفاوت - که در بال یا جان تیرها به کار می‌روند - تغییر تدریجی در پهنا یا ضخامت، از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به ۲/۵ صورت گیرد.

ت) مقاومت خمشی مورد نیاز ( $M_{II}$ ) وصله‌های غیرمستقیم باید برابر مقاومت خمشی طراحی ( $\phi_b M_p$ ) عضو با مقطع کوچکتر وصله‌شونده در نظر گرفته شود.

ث) مقاومت برشی مورد نیاز ( $V_{II}$ ) وصله‌های غیرمستقیم نباید از یکی از سه مقدار (۱)، (۲) و (۳) این بند کمتر در نظر گرفته شود.

(۱) بیشترین برش حاصل از ترکیبات بار زلزله تشدید یافته در محل وصله

(۲) نیروی برشی در محل وصله که باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضریب‌داری که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و برش لرزه‌ای ناشی از  $M_{pr} = C_{pr} R_y M_p$  در محل‌های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شود.

(۳) مقاومت برشی طراحی عضو با مقطع کوچکتر وصله‌شونده

که در آن:

$M_p$  = لنگر پلاستیک مقطع تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک.

$R_y$  = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح تیر.

$C_{pr}$  = ضریبی است که در برگیرنده آثار عواملی از قبیل سخت‌شدگی، قیدهای موضعی و ملحقات موجود در اتصال تیر به ستون است و برای محاسبه حداکثر نیروی ایجاد شده در اعضا و وسایل اتصال به کار گرفته می‌شود. به جز در موردی که در بخش ۱۰-۳-۱۳-۶ برای  $C_{pr}$  عدد خاصی پیش‌بینی شده است، مقدار آن باید از رابطه زیر تعیین شود.

$$1/1 \leq C_{pr} = \frac{F_y + F_{II}}{2F_y} \leq 1/2 \quad (2-5-3-10)$$

که در آن:

$F_y$  = تنش تسلیم فولاد تیر

$F_{II}$  = تنش کششی نهائی فولاد تیر



۴۱- فرض کنید برای اتصال ورق‌های وصله یک عضو فولادی از اتصال پیچی و به صورت برشی و با عملکرد اتکایی استفاده شده است. اگر در این اتصال ضخامت ورق‌های پرکننده برابر 20 میلی‌متر باشد، برای آنکه نیازی به ادامه دادن ورق‌های پرکننده از اطراف ورق اتصال نباشد، مقدار مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها حدوداً چقدر باید در نظر گرفته شود؟ (فرض کنید سطح برش از قسمت دندان‌شده می‌گذرد و پیچ‌ها از نوع پرمقاومت هستند)

$$0.38 F_u \quad (۲)$$

$$0.35 F_u \quad (۱)$$

$$0.29 F_u \quad (۴)$$

$$0.45 F_u \quad (۳)$$

گزینه ۴ (البته به جای  $0.29F_u$  باید در گزینه  $0.29F_u A_{nb}$  درج می‌گردید)

$$\text{Max} \left\{ \left( \frac{1 - 0.0154(20 - 6)}{0.85} \right) \right\} = \left\{ \frac{0.78}{0.85} \right\} = 0.85$$

$$(\phi F_{nv} A_b)(0.85) = 0.75 \times 0.45 F_u A_{nb} (0.85) = 0.286 F_u A_{nb}$$

#### ۱۰-۹-۵ ورق‌های پرکننده (لقمه‌ها)

الزامات عمومی ورق‌های پرکننده در محل وصله اعضا به شرح زیر می‌باشد.

الف) در اتصالات جوشی، در صورتی که فاصله بین وجه داخلی ورق وصله و وجه خارجی قطعه با ابعاد کوچکتر، مساوی یا کمتر از ۲ میلی‌متر باشد، نیازی به تعبیه ورق‌های پرکننده نمی‌باشد.

ب) در اتصالات جوشی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آن‌ها کمتر از ۶ میلی‌متر می‌باشد یا ورق‌های پرکننده‌ای با ضخامت مساوی یا بزرگتر از ۶ میلی‌متر که توانایی انتقال نیروی ورق وصله را به ستون فوقانی ندارند، لبه‌هایشان باید همباد لبه‌های ورق وصله تمام شود و اندازه جوش باید مساوی مجموع اندازه جوش لازم جهت انتقال نیروی وصله به اضافه ضخامت ورق پرکننده در نظر گرفته شود.

پ) در اتصالات جوشی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آن بیش از ۶ میلی‌متر بوده و توانایی لازم جهت انتقال نیروی وصله را ندارند، باید از لبه‌های ورق وصله به اندازه کافی ادامه یابند و به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، جوش شوند. جوش ورق‌های پرکننده به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، باید برای انتقال نیروهای ورق وصله کافی باشد. همچنین، ضخامت جوش‌هایی که ورق وصله را به ورق پرکننده متصل می‌کنند، باید متناسب با ضخامت ورق پرکننده بوده و برای انتقال نیروهای ورق وصله کافی باشد.

ت) در اتصالات پیچی، ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آنها مساوی یا کمتر از ۶ میلی‌متر می‌باشد، لبه‌هایشان باید همباد لبه‌های ورق وصله تمام شود. در اینگونه موارد هیچ‌گونه کاهش بر روی مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها اعمال نمی‌شود. ورق‌های پرکننده‌ای که ضخامت آنها بیشتر از ۶ میلی‌متر می‌باشد، باید یکی از الزامات زیر در مورد آنها به کار گرفته شود.

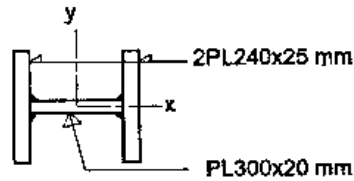
۱- لبه‌های ورق‌های پرکننده همباد با لبه‌های ورق وصله تمام شود و مقاومت برشی طراحی پیچ‌ها در ضریب کاهش  $\geq \frac{0.75}{1.0} [1 - 0.0154(t-6)]$  ضرب شود. که در آن  $t$  ضخامت کل ورق‌های پرکننده به میلی‌متر است.

۲- لبه‌های ورق‌های پرکننده از لبه‌های ورق وصله به اندازه کافی ادامه یافته و به منظور توزیع یکنواخت نیروی کلی در محل وصله، با پیچ‌های کافی به قطعه‌ای که روی آن قرار می‌گیرند، پیچ شوند. در این حالت، اندازه محل اتصال باید به منظور سازگاری با تعداد کل پیچ‌ها افزایش یابد.

۳- لبه‌های ورق‌های پرکننده همباد با لبه‌های ورق وصله تمام شود و طراحی وصله به صورت اصطکاکی صورت گیرد.

تبصره: توصیه می‌شود همانند شکل ۱۰-۹-۱۳ ستون‌ها قبل از محل درز، هم اندازه شوند، به طوری که در هنگام نصب نیازی به تعبیه ورق‌های پرکننده نباشد.

۲۶- در طرح لرزه‌ای یک ساختمان فولادی با شکل‌پذیری متوسط، حداقل مقاومت مورد نیاز برشی وصله ستون نشان داده شده در دو راستای قوی و ضعیف، به ترتیب به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟ ستون از ورق نوع ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) ساخته شده است. ارتفاع طبقه 3 متر فرض می‌شود. نیروی داخلی ستون تحت اثر ترکیبات بار متعارف کنترل کننده نمی‌باشد.



۱) 132 kN و 440 kN

۲) 120 kN و 384 kN

۳) 58 kN و 192 kN

۴) 66 kN و 220 kN

گزینه ۲

$$V_x = \sum \frac{M_{pcy}}{H_s} = \frac{2 \left( 240 \times 25 \times 325 + \frac{20 \times 300^2}{4} \right) \times 240}{3000} = 384000 \text{ N}$$

$$V_y = \sum \frac{M_{pcx}}{H_s} = \frac{2 \left( 2 \times \frac{25 \times 240^2}{4} + \frac{20^2 \times 300}{4} \right) \times 240}{3000} = 120000 \text{ N}$$

۴۷- با لحاظ الزامات طراحی لرزه‌ای، اگر لنگر خمشی پلاستیک ستون فولادی در ناحیه بالای وصله برابر 300 kN.m و در ناحیه پایین وصله برابر 360 kN.m و ارتفاع طبقه برابر  $H_p=4$  متر باشد. حداقل چه مقدار لنگر خمشی و چه مقدار نیروی برشی برای طراحی وصله باید در نظر گرفته شود؟ ستون دارای مقطع ساخته شده از ورق می‌باشد.

۱) 165 kN , 345 kN.m

۲) 190 kN , 360 kN.m

۳) 190 kN , 345 kN.m

۴) 165 kN , 414 kN.m

گزینه ۱

$$M_{splice} = R_y M_{pc} = 1.15 \times 300 = 345 \text{ kN.m}$$

$$V_{splice} = \frac{M_{pc-top} + M_{pc-bot}}{H_s} = \frac{300 + 360}{4} = 165 \text{ kN}$$

## ۱۰- ورق پای ستون

## ۱۰-۲-۹-۸ کفستون‌ها و فشار مستقیم بر بتن و مصالح بنایی

مقاومت اتکایی طراحی برای مصالح مختلف تکیه‌گاهی مساوی  $\phi_c P_p$  می‌باشد که در آن  $\phi_c$  ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۶۵ و  $P_p$  مقاومت اتکایی است که براساس حالت حدی خردشدگی مصالح تکیه‌گاهی به شرح زیر تعیین می‌گردد.

الف) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه مصالح بنایی یا سنگ‌آهکی یا ماسه‌سنگ متراکم و ماسه‌سیمان:

$$P_p = F_p A_p \quad (۲۰-۹-۲-۱۰)$$

که در آن:

$A_p$  = سطح اتکا در تماس با تکیه‌گاه بر حسب میلی‌متر مربع

$F_p$  = تنش اتکایی اسمی و مساوی ۶ مگاپاسکال

ب) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه مصالح بنایی با آجر فشاری و ملات ماسه‌سیمان:

$$P_p = F_p A_p \quad (۲۱-۹-۲-۱۰)$$

که در آن:

$A_p$  = سطح اتکا در تماس با تکیه‌گاه بر حسب میلی‌متر مربع

$F_p$  = تنش اتکایی اسمی و مساوی ۴ مگاپاسکال

پ) فشار مستقیم بر روی تکیه‌گاه بتنی:

$$P_p = 0.85 f_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7 f_c A_1 \quad (۲۲-۹-۲-۱۰)$$

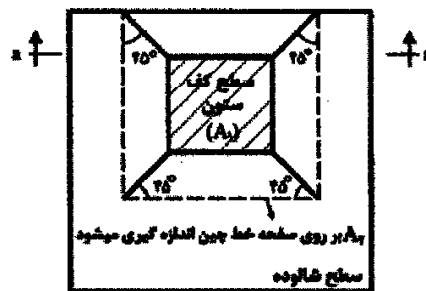
که در آن:

$f_c$  = مقاومت مشخصه فشاری بتن بر روی نمونه استوانه‌ای استاندارد.

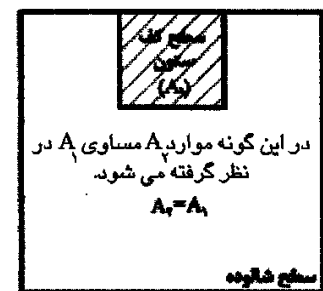
$A_1$  = سطح ورق کفستون در تماس با شالوده

$A_2$  = حداکثر سطحی از شالوده هم‌مرکز و متشابه با ورق کفستون که در پلان و عمق شالوده

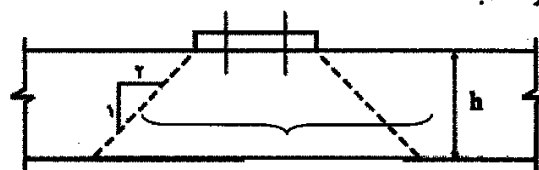
مطابق شکل ۱۰-۹-۲-۱۰ محدود می‌شود.



(ب) کف ستون‌هایی که لبه‌های آن از لبه شالوده فاصله دارد.



(الف) کف ستون‌هایی که حداقل یکی از لبه‌های آن با لبه شالوده هم‌پایه است.



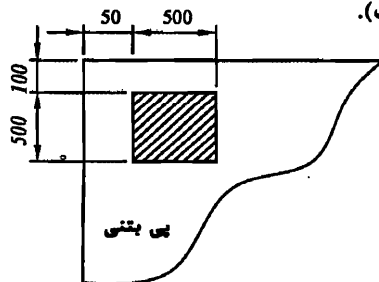
سطح  $A_1$

(ب) مقطع a-a

شکل ۱۰-۹-۲-۱۰ سطح اتکا در تماس با شالوده بتنی



۱۷- برای کف ستون نشان داده شده در شکل زیر، مقاومت اتکایی طراحی در زیر ورق کف ستون حدوداً چقدر است؟ فرض کنید ضخامت پی بتنی یک متر،  $f_c =$  مقاومت مشخصه فشاری بتن و  $A =$  سطح ورق کف ستون است. (ابعاد به میلی‌متر است).



$$0.66f_c A \quad (۱)$$

$$0.85f_c A \quad (۲)$$

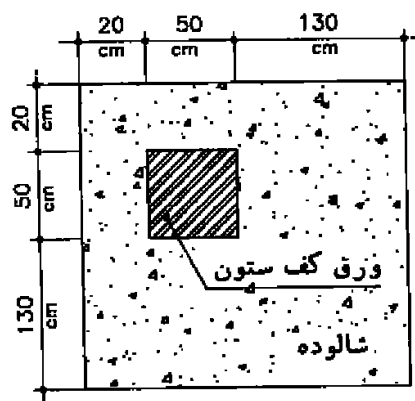
$$0.72f_c A \quad (۳)$$

$$0.55f_c A \quad (۴)$$

گزینه ۱

$$P = 0.85 \times 0.65 \times \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} f_c A = 0.85 \times 0.65 \times \sqrt{\frac{600^2}{500^2}} f_c A = 0.663 f_c A$$

۲۴- تنش فشاری مجاز در زیر ورق کف ستون شکل مقابل چه مقدار است؟



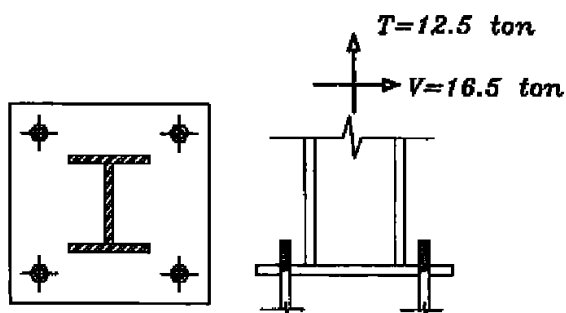
$$0.42f'_c \quad (۱)$$

$$0.54f'_c \quad (۲)$$

$$0.60f'_c \quad (۳)$$

$$0.85f'_c \quad (۴)$$

۲۷- برای ستون نشان داده شده در شکل، حداقل قطر بولت‌ها چقدر باید باشد؟ فرض کنید سطح برش از قسمت دندانه شده می‌گذرد.



$$\text{نوع بولت} = A - II$$

$$F_y = 3000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F_u = 5000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$4 \Phi 20 \quad (۲)$$

$$4 \Phi 25 \quad (۴)$$

$$4 \Phi 18 \quad (۱)$$

$$4 \Phi 22 \quad (۳)$$

۴- در یک سازه فولادی با سیستم دوگانه، نیروهای محوری وارد بر کف ستون یک ستون میانی، ناشی از بارهای مرده، زنده و زلزله (که براساس ویرایش سوم استاندارد 2800 و در نظر گرفتن اثر 30% زلزله جهت متعامد محاسبه شده است)، بدون هرگونه ضریبی به ترتیب  $+600$  kN،  $+470$  kN و  $\pm 1250$  kN است (علامت مثبت به معنای فشاری بودن نیرو است). با توجه به اینکه اطلاعات دیگری در دسترس نیست، براساس این اطلاعات، حداقل سطح مقطع اسمی کل میل مهارها به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر خواهد بود؟ بتن شالوده از رده C25 و میل مهارها از قطعات دندانه شده از جنس CK45 ( $F_t=600$ MPa) فرض شود.

$$5745 \text{ mm}^2 \quad (۱)$$

$$11365 \text{ mm}^2 \quad (۲)$$

$$8525 \text{ mm}^2 \quad (۳)$$

$$7660 \text{ mm}^2 \quad (۴)$$

گزینه ۲

با توجه به اینکه تنها نیروی محوری داده شده است، باید مطابق بند زیر باید از ترکیب بار زلزله تشدید یافته استفاده کنیم. میل مهارهای کف ستون باید بتوانند کل کشش وارد بر کف ستون را تحمل کنند. در رابطه زیر کشش مثبت فرض شده است:

$$T_u = 0.9D - \Omega_0(1.4E) = 0.9 \times (-600) + 2.5(1.4 \times 1250) = +3835 \text{ kN}$$

$$T_u < \phi F_{nt} A_{nb} \\ 3835000 < 0.75(0.75 \times 600)A_{nb} \rightarrow 11363 \text{ mm}^2 < A_{nb}$$

#### ۱۰-۳-۵ الزامات طراحی لرزه‌ای کفستون‌ها

کفستون کلیه ستون‌های باربر و غیرباربر جانبی و اتصالات آنها به ستون و شالوده علاوه بر تأمین ضوابط فصل ۱۰-۲ این مبحث باید به طور مجزا قادر به تحمل نیروهای زیر باشند.

(۱) بیشترین نیروهای داخلی (شامل نیروی محوری، نیروهای برشی و لنگرهای خمشی به طور همزمان) تحت اثر ترکیبات بار متعارف.

(۲) بیشترین نیروی محوری (بدون حضور نیروهای برشی و لنگرهای خمشی) تحت اثر ترکیبات بار زلزله تشدید یافته و با در نظر گرفتن مفاد تبصره‌های ۱ و ۲ از بند ۱۰-۳-۵-۱.

(۳) در هر دو امتداد محورهای اصلی ستون و به طور مجزا نیروی برشی برابر مجموع مولفه‌های افقی مقاومت‌های مورد نیاز اتصال مهاربندی و برش ظرفیتی ستون برابر  $\frac{\Sigma M_{pc}}{H_s}$  که در آن  $\Sigma M_{pc}$  مجموع لنگرهای خمشی پلاستیک ستون در دو سمت وصله در امتداد مورد نظر و  $H_s$  ارتفاع طبقه است. در محاسبه و طراحی کف ستون این نیروی برشی باید بدون حضور نیروهای محوری و لنگرهای خمشی در نظر گرفته شود.

(۴) در هر دو امتداد اصلی ستون و به طور مجزا لنگر خمشی برابر مجموع لنگرهای خمشی زیر و بدون حضور نیروهای برشی و محوری.

#### ۱۰-۲-۹-۳ مقاومت کششی طراحی و مقاومت برشی طراحی در اتصالات اتکایی

در اتصالات اتکایی، مقاومت کششی طراحی ( $\phi R_{nt}$ ) و مقاومت برشی طراحی ( $\phi R_{nv}$ ) پیچ‌ها و قطعات دندانه‌شده از روابط زیر تعیین می‌گردند.

$$\phi R_{nt} = \phi F_{nt} A_{nb} \quad (۱۰-۲-۹-۴)$$

$$\phi R_{nv} = \phi F_{nv} A_{nb} \quad (۱۰-۲-۹-۵)$$

در روابط فوق:

$$\phi = \text{ضریب کاهش مقاومت و مساوی } 0.75 \text{ می‌باشد.}$$

$$R_{nt} = \text{مقاومت کششی اسمی}$$

$$R_{nv} = \text{مقاومت برشی اسمی}$$

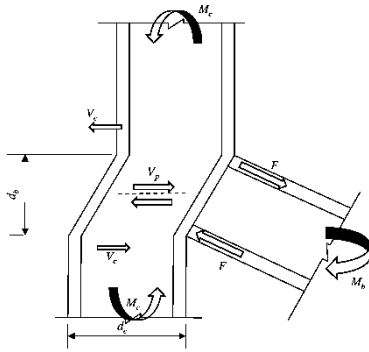
$$A_{nb} = \text{سطح مقطع اسمی وسیله اتصال (پیچ یا قطعه دندانه‌شده)}$$

$$F_{nt} = \text{تنش کششی اسمی مطابق مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۱۰}$$

$$F_{nv} = \text{تنش برشی اسمی مطابق مقادیر جدول ۱۰-۲-۹-۱۰}$$

جدول ۱۰-۲-۹-۱۰ تنش اسمی (پیچ و قطعات دندانه شده)

تنش کششی اسمی ( $F_{nt}$ )	تنش برشی اسمی ( $F_{nv}$ ) در اتصالات اتکایی	نوع وسیله اتصال
$0.75F_u$ [۱][۲]	$0.45F_u$ [۵][۶]	پیچ‌های معمولی
$0.75F_u$ [۴]	$0.45F_u$ [۵]	پیچ‌های پر مقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه‌شده می‌گذرد
$0.75F_u$ [۴]	$0.55F_u$ [۵]	پیچ‌های پر مقاومت در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه‌شده نمی‌گذرد
$0.75F_u$ [۱][۲]	$0.45F_u$ [۵]	قطعه دندانه‌شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه‌شده می‌گذرد
$0.75F_u$ [۱][۲]	$0.55F_u$ [۵]	قطعه دندانه‌شده طبق مشخصات تعیین شده، در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه‌شده نمی‌گذرد



در روابط فوق:

$$b_{cf} = \text{پهنای بال ستون}$$

$$t_{cf} = \text{ضخامت بال ستون}$$

$$d_c = \text{ارتفاع کلی مقطع ستون}$$

$$d_b = \text{ارتفاع کلی مقطع تیر}$$

$$t_w = \text{ضخامت جان مقطع ستون}$$

$$F_y = \text{تنش تسلیم فولاد}$$

$$P_u = \text{مقاومت محوری مورد نیاز ستون}$$

$$P_c = P_y = A_g F_y = \text{مقاومت محوری تسلیم}$$

$$A_g = \text{سطح مقطع کلی مقطع ستون}$$

۱۰-۲-۹-۱۰-۶ برش در چشمه اتصال

الزامات این بند مربوط است به حالتی که یک زوج نیروی متمرکز در یک یا هر دو بال عضو اثر می‌کند (شکل ۲۱-۹-۲-۱۰).

مقاومت برشی طراحی در چشمه اتصال مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۹ و  $R_n$  مقاومت اسمی است که بر اساس حالت حدی تسلیم برشی به شرح زیر تعیین می‌گردد.

۱. در حالتی که تأثیر تغییر شکل چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور نشود:

- برای حالتی که  $P_u \leq 0/4 P_c$  باشد:

$$R_n = 0/6 F_y d_c t_w \quad (32-9-2-10)$$

- برای حالتی که  $P_u > 0/4 P_c$  باشد:

$$R_n = 0/6 F_y d_c t_w (1/4 - \frac{P_u}{P_c}) \quad (33-9-2-10)$$

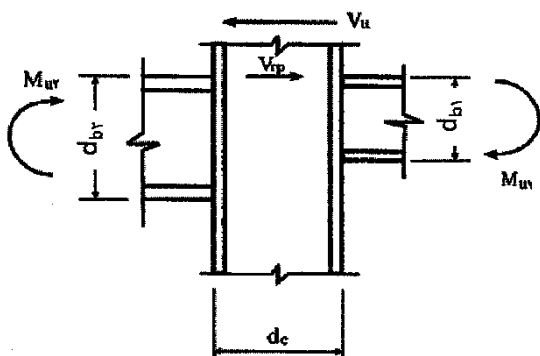
۲. در حالتی که تأثیر تغییر شکل چشمه اتصال در تحلیل سازه منظور شود:

- برای حالتی که  $P_u \leq 0/75 P_c$  باشد:

$$R_n = 0/6 F_y d_c t_w (1 + \frac{t_{bcf} t_{cf}}{d_b d_c t_w}) \quad (34-9-2-10)$$

- برای حالتی که  $P_u > 0/75 P_c$  باشد:

$$R_n = 0/6 F_y d_c t_w (1 + \frac{t_{bcf} t_{cf}}{d_b d_c t_w}) (1/9 - \frac{1/2 P_u}{P_c}) \quad (35-9-2-10)$$



شکل ۲۱-۹-۲-۱۰ برش در چشمه اتصال

تبصره ۱: مطابق شکل ۲۱-۹-۲-۱۰، مقاومت برشی مورد نیاز در چشمه اتصال،  $V_{up}$ ، از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$V_{up} = \frac{M_{u1}}{d_{b1}} + \frac{M_{u2}}{d_{b2}} - V_u \quad (36-9-2-10)$$

که در آن:

$M_{u1}$  و  $M_{u2}$  به ترتیب لنگرهای خمشی انتهایی تیرهای سمت چپ و راست چشمه اتصال است.

$V_u$  = نیروی برشی ستون در بالای چشمه اتصال

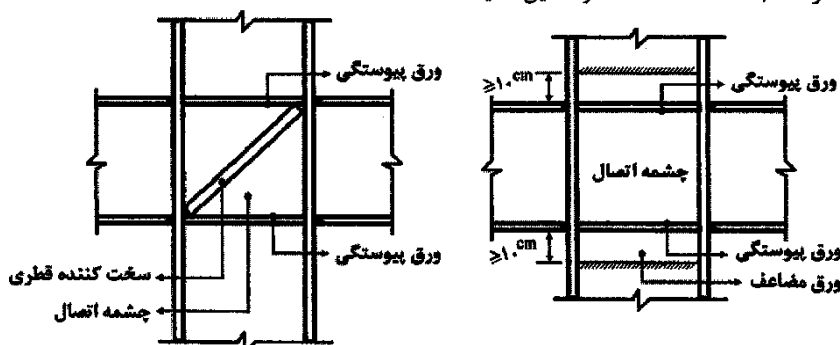
$d_{b1}$  و  $d_{b2}$  = به ترتیب ارتفاع‌های کل مقاطع تیرهای سمت چپ و راست چشمه اتصال است.

تبصره ۲: در صورتی که مقاومت برشی مورد نیاز چشمه اتصال از مقاومت برشی طراحی بیشتر

باشد، تعبیه ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) یا یک جفت سخت‌کننده قطری دارای

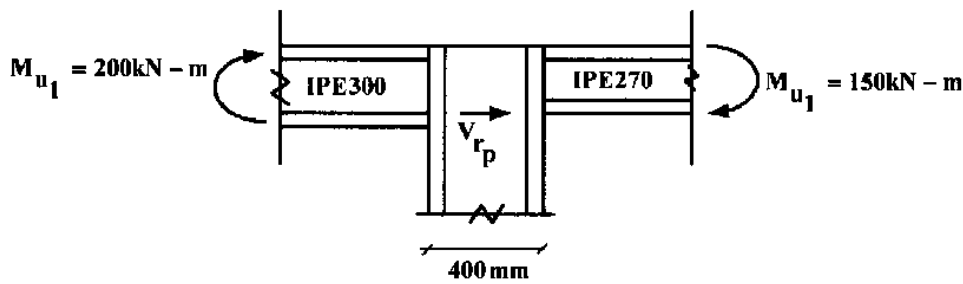
مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محدوده چشمه

اتصال ضروری است. ورق‌های مضاعف باید الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰ را تأمین نمایند.



شکل ۲۲-۹-۲-۱۰ سخت‌کننده‌های قطری و ورق‌های مضاعف در چشمه اتصال

۴۷- مقاومت برشی مورد نیاز چشمه‌ی اتصال ( $V_{rp}$ )، به روش حالات حدی، چند کیلونیوتن است؟



(۱) ۵۵۶

(۲) ۶۶۷

(۳) ۱۲۲۲

(۴) ۱۲۴۱

$$V_{rp} = \frac{200}{0.3} + \frac{150}{0.27} = 1222 \text{ kN}$$

## محاسبات ۸۷

۲۲- در یک قاب خمشی فولادی ویژه عرض بالهای تیر و ستون هر دو ۲۰ cm و ضخامت بال هر دو عضو ۲ cm است. از ورق مضاعف در جان استفاده نشده و ضخامت جان تیر برابر ۱ cm و ضخامت جان ستون برابر ۱.۵ cm است. ارتفاع مقطع تیر ۴۰ cm و ارتفاع مقطع ستون نیز ۴۰ cm می باشد. مقاومت برشی چشمه اتصال کدامیک از مقادیر زیر است؟

$$F_y = 2400 \text{ Kg/cm}^2$$

(۲) ۸۷۱۲۰ Kg

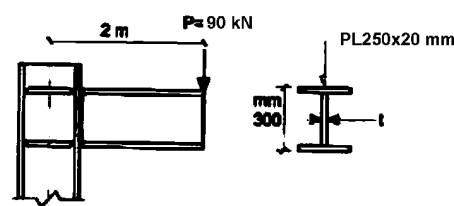
(۱) ۸۱۱۸۰ Kg

(۴) ۱۱۶۱۶۰ Kg

(۳) ۱۱۳۵۲۰ Kg

## محاسبات آذر ۹۲

۴۸- بخشی از یک سازه فولادی شامل یک ستون و تیر طره‌ای متصل به آن که برای حمل بار زنده متمرکز ۹۰ kN طراحی شده، در شکل مقابل نشان داده شده است. در طراحی به روش تنش مجاز، چشمه اتصال باید برای چه مقدار نیروی برشی مورد کنترل قرار گیرد؟ مشخصات مقطع برای تیر و ستون را یکسان و مطابق شکل در نظر گرفته و از وزن سازه صرف نظر نمایید.



(۱) ۱۶۶.۵ kN

(۲) ۵۵۵ kN

(۳) ۴۵ kN

(۴) ۹۰ kN

گزینه ۲.

$$M = 90 \times (2 - 0.15) = 166.5 \text{ kN.m}$$

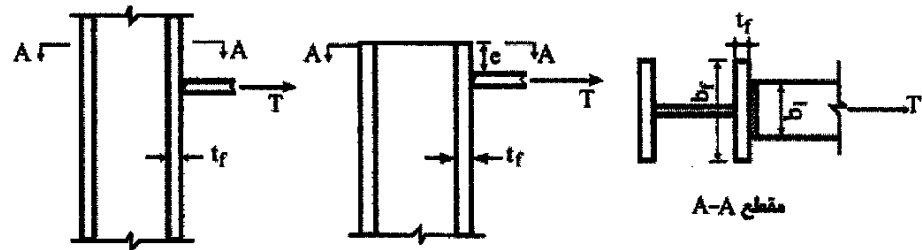
$$V_p = \frac{M}{d} = \frac{166.5}{0.3} = 555 \text{ kN.m}$$



۱۰-۹-۲-۱۰ الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز

۱۰-۹-۲-۱۰-۱ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی

الزامات این بند برای هر دو حالت نیروی کششی متمرکز تکی و مولفه کششی زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۰-۹-۲-۱۰).



شکل ۱۰-۹-۲-۱۰ خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی

مقاومت طراحی خمش موضعی بال در مقابل نیروی متمرکز کششی مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت برابر ۰/۹ و  $R_n$  مقاومت اسمی طبق رابطه زیر می‌باشد.

$$R_n = \phi / 25 F_{yf} t_f^2 \quad (23-9-2-10)$$

که در آن:

$t_f$  = ضخامت بال تحت نیروی کششی

$F_{yf}$  = تنش تسلیم بال

$R_n$  = مقاومت اسمی با اعمال محدودیت‌های زیر:

۱- در صورتی که طول بارگذاری شده در امتداد پهنای بال ( $b_f$ )، کوچکتر از  $0/15 b_f$  باشد، بررسی

رابطه ۲۳-۹-۲-۱۰ الزامی نیست.

۲- در صورتی که نیروی کششی در فاصله‌ای کمتر از  $10 t_f$  از انتهای عضو اثر نماید ( $e < 10 t_f$ )،

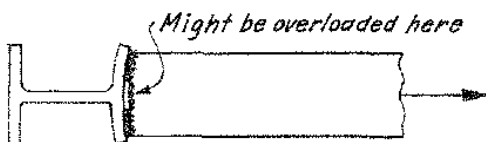
مقدار  $R_n$  حاصل از رابطه ۲۳-۹-۲-۱۰ باید ۵۰ درصد کاهش یابد.

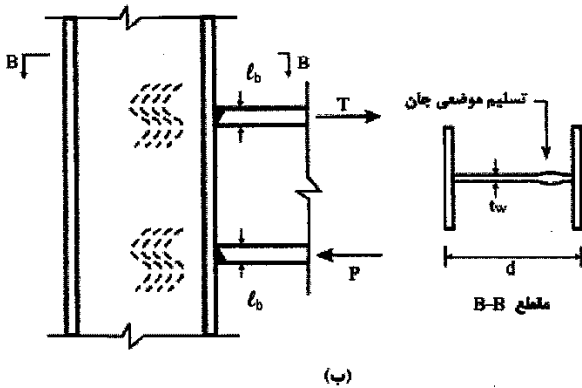
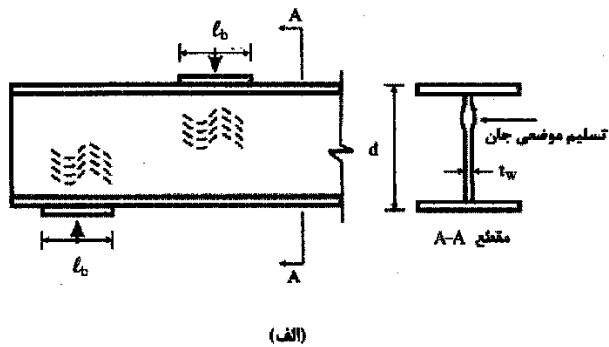
تبصره: در صورتی که مقاومت مورد نیاز ( $T_{II}$ ) از مقاومت طراحی ( $\phi R_n$ ) بیشتر باشد، تعبیه یک

جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت موردنیاز و مقاومت

طراحی در محل بارهای متمرکز ضروری می‌باشد. سخت‌کننده‌های موردنیاز باید الزامات

بند ۷-۱۰-۹-۲-۱۰ را تأمین نمایند.





شکل ۱۰-۹-۲-۱۷ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری

۱۰-۹-۲-۱۰ الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز

۲-۱۰-۹-۲-۱۰ [تسلیم موضعی جان] در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری

الزامات این بند برای نیروی کششی متمرکز تکی، نیروی فشاری متمرکز تکی و هر دو مولفه فشاری و کششی زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۰-۹-۲-۱۷).

مقاومت طراحی تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت مساوی ۱ و  $R_n$  مقاومت اسمی می‌باشد که براساس حالت حدی تسلیم موضعی جان به شرح زیر تعیین می‌شود.

۱- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای بزرگتر از  $d$  از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = F_{yw} t_w (\Delta k + l_b) \quad (24-9-2-10)$$

۲- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای مساوی یا کوچکتر از  $d$  از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = F_{yw} t_w (2/\Delta k + l_b) \quad (25-9-2-10)$$

در روابط فوق:

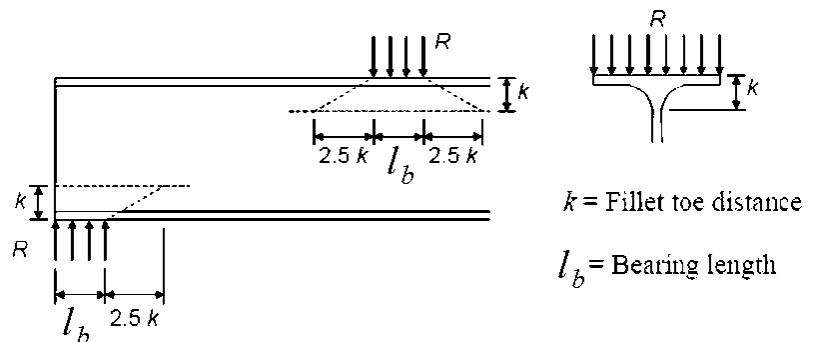
$F_{yw}$  = تنش تسلیم فولاد جان

$t_w$  = ضخامت جان

$d$  = ارتفاع کلی مقطع تیر

$k$  = فاصله از وجه بیرونی بال تا انتهای دو ماهیچه جان و بال در مقاطع نوردشده و فاصله از وجه بیرونی بال تا انتهای جوش گوشه اتصال بال و جان در مقاطع ساخته‌شده از ورق.  
 $l_b$  = طول اتکای بار متمرکز (برای عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی مقدار  $l_b$  نباید کمتر از  $k$  در نظر گرفته شود)

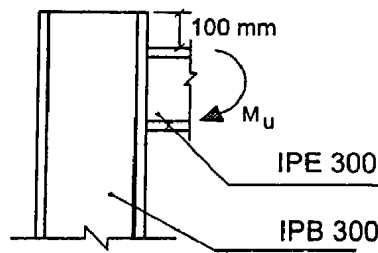
تبصره: در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت موردنیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز ضروری است. سخت‌کننده‌های تعبیه شده باید الزامات بند ۱۰-۹-۲-۱۰ را تأمین نمایند.



$k$  = Fillet toe distance

$l_b$  = Bearing length

۱۰- در اتصال شکل زیر، بدون توجه به الزامات طراحی لرزه‌ای، مقاومت طراحی خمشی موضعی بال ستون در برابر بار متمرکز کششی ناشی از  $M_u$  به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟



( $F_y=240 \text{ MPa}$ )

۱) 480 kN

۲) 240 kN

۳) 120 kN

۴) 77 kN

گزینه ۲

• کنترل خمش موضعی بال ستون در مقابل نیروی کششی:

ضخامت بال ستون برابر  $19 \text{ mm}$  می باشد.

$$\varphi R_n = \varphi \times 6.25 F_y t_f^2 = 0.9 \times 6.25 \times 240 \times 19^2 = 487.35 \text{ kN}$$

با توجه به اینکه مقدار  $e=100 \text{ mm}$  می باشد ( $e = 100 \text{ mm} < 10t = 190 \text{ mm}$ ) مقاومت بال ستون در مقابل نیروی کششی نصف خواهد شد:

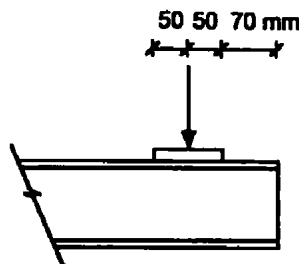
$$\varphi R_n = \frac{1}{2} 487.35 = 243.675 \text{ kN}$$

۴۴- در صورتیکه نیروی متمرکز مطابق شکل روی صفحه فولادی  $100 \times 100 \times 20 \text{ mm}$  در نزدیکی

انتهای آزاد تیر طره‌ای فولادی با مقطع IPE200 وارد گردد، مقاومت طراحی در برابر تسلیم

موضعی جان به کدامیک از مقادیر زیر برحسب کیلونیوتن نزدیکتر است؟ فولاد تیر از نوع ST37 با

تنش تسلیم  $240 \text{ MPa}$  می باشد.



۱) 270

۲) 180

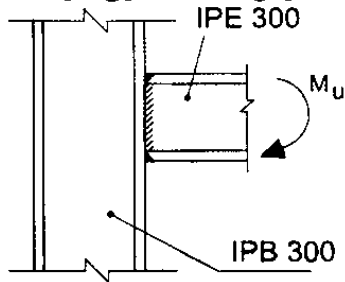
۳) 200

۴) 250

گزینه ۳

$$\varphi R_n = 1(240 \times 5.6(2.5 \times 20.5 + 100)) = 203.3 \text{ kN}$$

۳- در اتصال گیردار و مستقیم تیر IPE300 به بال ستون IPB300، مقاومت طراحی در برابر تسلیم موضعی جان ستون به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (فرض کنید ستون در طبقات میانی واقع بوده و  $F_y=240$  MPa است).



410 kN (۱)

1400 kN (۲)

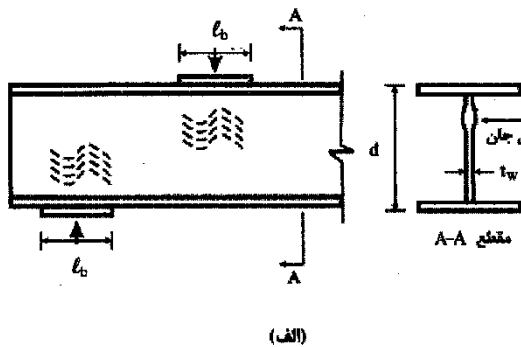
635 kN (۳)

607 kN (۴)

گزینه ۳

در رابطه زیر ضخامت جان ستون برابر  $11$  mm و ضخامت بال تیر برابر  $10.7$  mm و مقدار  $k$  نیز برابر  $46$  mm می باشد.

$$\phi R_n = R_n = 1 \times 240 \times 11(5 \times 46 + 10.7) = 635 \text{ kN}$$



(الف)

۱۰-۹-۲-۱۰ الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز

۲-۱۰-۹-۲-۱۰ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری

الزامات این بند برای نیروی کششی متمرکز تکی، نیروی فشاری متمرکز تکی و هر دو مولفه فشاری و کششی زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۰-۹-۲-۱۰).

مقاومت طراحی تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت مساوی ۱ و  $R_n$  مقاومت اسمی می‌باشد که براساس حالت حدی تسلیم موضعی جان به شرح زیر تعیین می‌شود.

۱- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای بزرگتر از  $d$  از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = F_{yw} t_w (\Delta k + l_b)$$

(۲۴-۹-۲-۱۰)

۲- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای مساوی یا کوچکتر از  $d$  از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = F_{yw} t_w (\gamma / \Delta k + l_b)$$

(۲۵-۹-۲-۱۰)

در روابط فوق:

$F_{yw}$  = تنش تسلیم فولاد جان

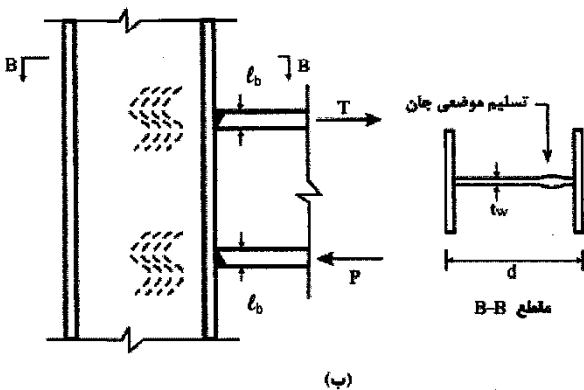
$t_w$  = ضخامت جان

$d$  = ارتفاع کلی مقطع تیر

$k$  = فاصله از وجه بیرونی بال تا انتهای دو ماهیچه جان و بال در مقاطع نوردشده و فاصله از وجه بیرونی بال تا انتهای جوش گوشه اتصال بال و جان در مقاطع ساخته شده از ورق.

$l_b$  = طول اتکای بار متمرکز (برای عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی مقدار  $l_b$  نباید کمتر از  $k$  در نظر گرفته شود)

تبصره: در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت موردنیاز و مقاومت موجود در محل بارهای متمرکز ضروری است. سخت‌کننده‌های تعبیه شده باید الزامات بند ۱۰-۹-۲-۱۰ را تأمین نمایند.



(ب)

شکل ۱۰-۹-۲-۱۰ تسلیم موضعی جان در مقابل نیروی متمرکز کششی و فشاری

## ۱۰-۹-۲-۱۰ الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز

## ۳-۱۰-۹-۲-۱۰-۱ لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

الزامات این بند برای نیروی فشاری متمرکز تکی و مولفه فشاری زوج نیروی متمرکز کاربرد دارد (شکل ۱۰-۹-۲-۱۰).

مقاومت طراحی لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت مساوی  $0.75$  و  $R_n$  مقاومت اسمی می‌باشد که بر اساس حالت حدی لهیدگی موضعی جان به شرح زیر تعیین می‌شود.

۱- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای مساوی یا بزرگتر از  $d/2$  از انتهای عضو وارد می‌شود:

$$R_n = 0.18 \cdot t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{l_b}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1/5} \right] \sqrt{\frac{E F_y w t_f}{t_w}} \quad (26-9-2-10)$$

۲- در حالتی که بار متمرکز، در فاصله‌ای کوچکتر از  $d/2$  از انتهای عضو وارد می‌شود:

- در صورتی که  $l_b/d \leq 0.2$  باشد:

$$R_n = 0.4 \cdot t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{l_b}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1/5} \right] \sqrt{\frac{E F_y w t_f}{t_w}} \quad (27-9-2-10)$$

- در صورتی که  $l_b/d > 0.2$  باشد:

$$R_n = 0.4 \cdot t_w^2 \left[ 1 + \left( \frac{l_b}{d} - 0.2 \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1/5} \right] \sqrt{\frac{E F_y w t_f}{t_w}} \quad (28-9-2-10)$$

در روابط فوق:

$d$  = ارتفاع کلی مقطع

$t_w$  = ضخامت جان

$t_f$  = ضخامت بال تحت بار

$l_b$  = طول اتکایی بار متمرکز (برای عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی مقدار  $l_b$  نباید کمتر از  $k$  در نظر

گرفته شود)

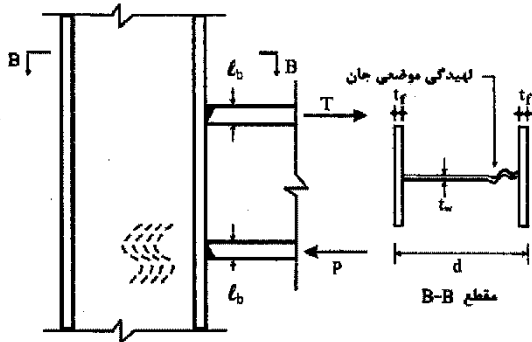
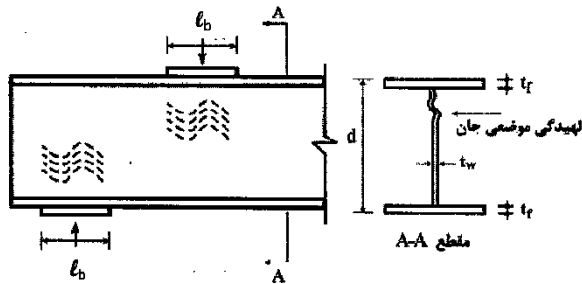
$F_y w$  = تنش تسلیم فولاد جان

$E$  = مدول الاستیسیته فولاد

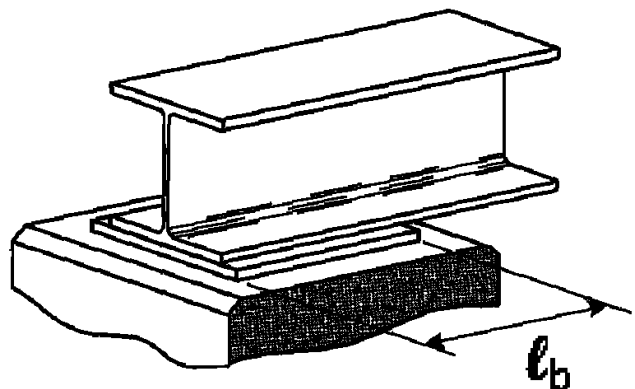
تیسره: در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده

دارای مقاومتی برابر با اختلاف مقاومت موردنیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز

ضروری است. سخت‌کننده‌های تعبیه شده باید الزامات بند ۱۰-۹-۲-۱۰-۷ را تأمین نمایند.

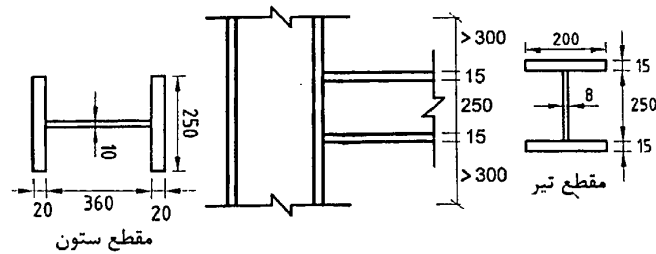


شکل ۱۰-۹-۲-۱۰ لهیدگی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری



۱۸- در اتصال گیردار تقویت نشده جوشی (WUF-W) مقابل، مقاومت طراحی لهیدگی جان ستون در مقابل نیروی متمرکز فشاری وارد از بال تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ اندازه‌ها به میلی‌متر بوده و فولاد مصرفی ستون و تیر به شرح زیر است:

تیر  $F_y = 355 \text{ MPa}$  و ستون  $F_y = 235 \text{ MPa}$



605 kN (۱)

807 kN (۲)

510 kN (۳)

1067 kN (۴)

گزینه ۱

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.8 \times 10^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{15}{400} \right) \left( \frac{10}{20} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2 \times 10^5 \times 235 \times 20}{10}} = 605 \text{ kN}$$

۱۰-۹-۲-۱۰ الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز

۴-۱۰-۹-۲-۱۰ **کمانش جانبی جان** در مقابل نیروی متمرکز فشاری

الزامات این بند مربوط است به حالتی که یک نیروی فشاری متمرکز تکی، به عضوی اعمال می‌شود که از حرکت جانبی بین بال فشاری تحت بار و بال کششی، در محل تأثیر نیروی متمرکز توسط مهار جانبی جلوگیری نشده است (شکل ۱۰-۹-۲-۱۰).

مقاومت طراحی کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن  $\phi$  ضریب کاهش مقاومت مساوی ۰/۸۵ و  $R_n$  مقاومت اسمی است که براساس حالت حدی کمانش جانبی جان به شرح زیر تعیین می‌گردد.

۱- اگر بال فشاری (بال بارگذاری شده) در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده باشد (شکل ۱۰-۹-۲-۱۰ الف):

- در صورتی که  $(L_b/b_f) / (L_b/t_w) \leq 2/3$  باشد:

$$R_n = \frac{C_r t_w^2 t_f}{h^2} \left[ 1 + 0.4 \left( \frac{h/t_w}{L_b/b_f} \right)^2 \right] \quad (27-9-2-10)$$

- در صورتی که  $(L_b/b_f) / (L_b/t_w) > 2/3$  باشد، لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست.

تبصره: در صورتی که مقاومت موردنیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، باید بال کششی را مهار نمود و یا از یک جفت سخت‌کننده در زیر بار متمرکز، یا از ورق تقویتی جان (ورق مضاعف) استفاده نمود. در صورت استفاده از ورق تقویتی جان رعایت الزامات بند ۱۰-۹-۲-۱۰ و در صورت استفاده از سخت‌کننده در زیر بار متمرکز رعایت الزامات بند ۱۰-۹-۲-۱۰ ضروری است.

۲- اگر بال فشاری (بال بارگذاری شده) در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده باشد (شکل ۱۰-۹-۲-۱۰ ب):

- در صورتی که  $(L_b/b_f) / (L_b/t_w) \leq 1/7$  باشد:

$$R_n = \frac{C_r t_w^2 t_f}{h^2} \left[ 0.4 \left( \frac{h/t_w}{L_b/b_f} \right)^2 \right] \quad (28-9-2-10)$$

- در صورتی که  $(L_b/b_f) / (L_b/t_w) > 1/7$  باشد، لزومی به کنترل کمانش جانبی جان نیست.

تبصره: در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیه مهار جانبی برای هر دو بال فشاری و کششی در محل اثر بار متمرکز ضروری است.

$C_r$  = ضریبی است که به شرح زیر در نظر گرفته می‌شود:

- اگر در محل اعمال بار متمرکز  $M_u < M_y$  باشد:

$$C_r = 6/62 \times 10^6 \text{ MPa} \quad (29-9-2-10)$$

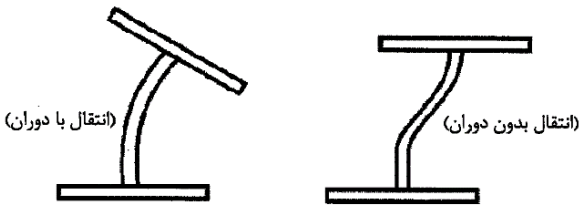
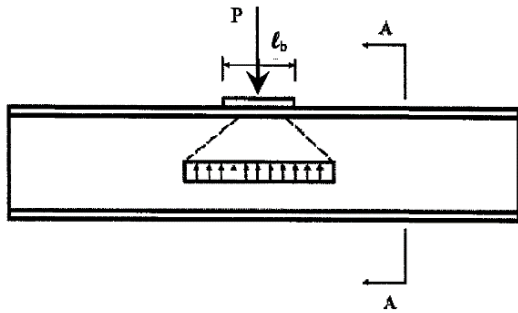
- اگر در محل اعمال بار متمرکز  $M_u \geq M_y$  باشد:

$$C_r = 3/31 \times 10^6 \text{ MPa} \quad (30-9-2-10)$$

که در آن:

$M_u$  = مقاومت خمشی مورد نیاز

$M_y$  = لنگر خمشی تسلیم



الف) حالتی که بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری شده است (مقطع A-A).  
ب) حالتی که بال فشاری در مقابل دوران زاویه‌ای نگهداری نشده است (مقطع A-A)

شکل ۱۰-۹-۲-۱۰ کمانش جانبی جان در مقابل نیروی متمرکز فشاری

در روابط فوق:

$b_f$  = پهنای بال

$t_f$  = ضخامت بال

$t_w$  = ضخامت جان

$L_b$  = بزرگترین طول بدون مهار جانبی هر دو بال

در محدوده اعمال بار متمرکز

$h$  = ارتفاع آزاد جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچه)

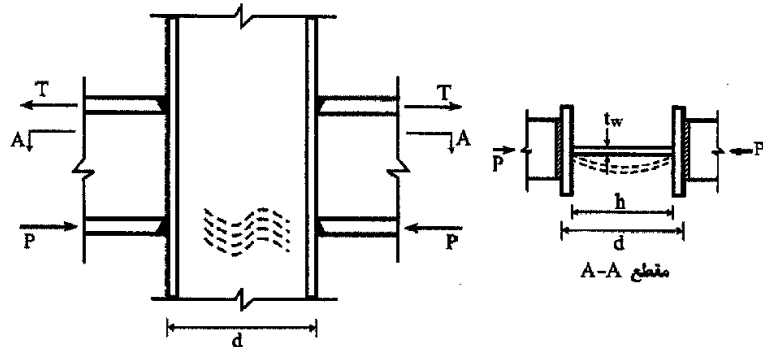
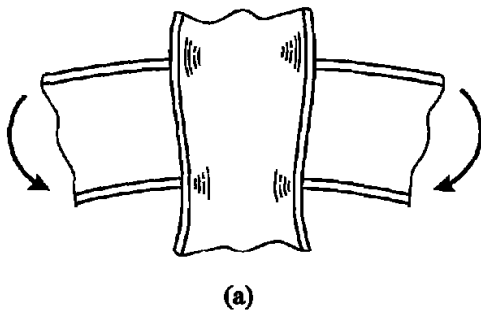
جان و بال در روی جان در مقاطع نوردشده و

فاصله بین دو بال در مقاطع ساخته‌شده از ورق)

۱۰-۲-۹-۱۰ الزامات ویژه بال‌ها و جان مقاطع اعضای تحت اثر بارهای متمرکز

۱۰-۲-۹-۱۰-۵ گمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری

الزامات این بند مربوط است به حالتی که یک جفت نیروی فشاری تنها یا یک جفت مولفه فشاری زوج نیرو در یک مقطع در جهت مخالف به بال‌های مقابل عضو اعمال می‌شوند (شکل ۱۰-۲-۹-۱۰).



شکل ۱۰-۲-۹-۱۰ گمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری

مقاومت طراحی گمانش فشاری جان در مقابل یک جفت نیروی متمرکز فشاری مساوی  $\phi R_n$  می‌باشد که در آن ضریب کاهش مقاومت برابر  $0.9$  و  $R_n$  مقاومت اسمی است که بر اساس حالت حدی گمانش موضعی جان از رابطه زیر تعیین می‌گردد.

$$R_n = \frac{24 t_w^2 \sqrt{E F_{yw}}}{h} \quad (31-9-2-10)$$

که در آن:

= ضخامت جان  $t_w$

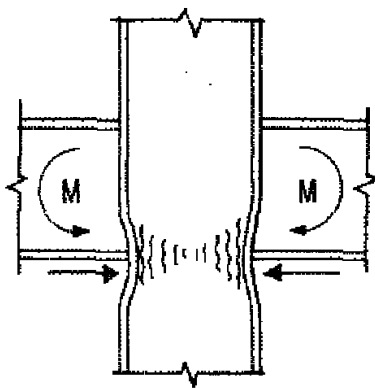
$h$  = ارتفاع آزاد جان (فاصله بین انتهای دو ماهیچه جان و بال در روی جان در مقاطع نوردشده و فاصله بین دو بال در مقاطع ساخته‌شده از ورق)

$F_{yw}$  = تنش تسلیم فولاد جان

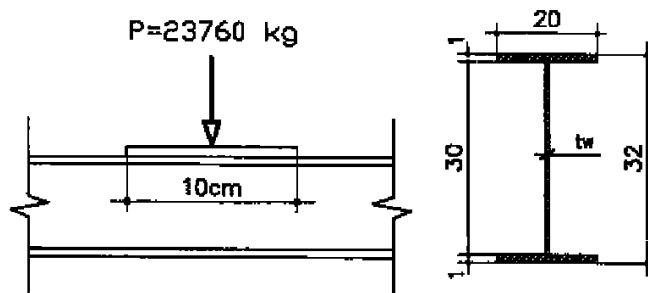
$E$  = مدول الاستیسیته فولاد

**تبصره ۱:** در صورتی که جفت نیروی فشاری در فاصله‌ای کمتر از  $d/2$  از انتهای عضو اثر نماید، مقدار  $R_n$  حاصل از رابطه ۳۱-۹-۲-۱۰ باید ۵۰ درصد کاهش یابد.

**تبصره ۲:** در صورتی که مقاومت مورد نیاز از مقاومت طراحی بیشتر باشد، تعبیه یک جفت سخت‌کننده دارای مقاومتی حداقل برابر با اختلاف مقاومت مورد نیاز و مقاومت طراحی در محل بارهای متمرکز ضروری است. سخت‌کننده‌های مورد نیاز باید الزامات بند ۱۰-۲-۹-۱۰ را تأمین نمایند.







۱۷- برای تیر شکل زیر با فرض اینکه هیچگونه سخت کننده در جان تیر تعبیه نشده باشد، براساس کنترل تسلیم موضعی جان، حداقل ضخامت جان تیر چقدر باید باشد.  $(F_y = 2400 \text{ Kg/cm}^2)$

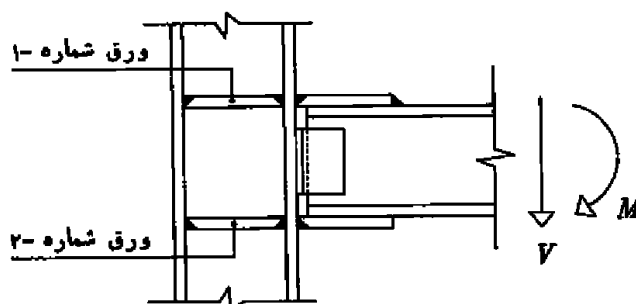
$$t_w = 8 \text{ mm} \quad (۲)$$

$$t_w = 5 \text{ mm} \quad (۴)$$

$$t_w = 10 \text{ mm} \quad (۱)$$

$$t_w = 6 \text{ mm} \quad (۳)$$

۱۶- در اتصال شکل زیر کدامیک از موارد زیر نادرست است؟



- (۱) ورق شماره ۱ می تواند به منظور جلوگیری از خمشی موضعی بال ستون تعبیه شده باشد.
- (۲) ورق شماره ۲ می تواند به منظور جلوگیری از تسلیم موضعی جان ستون تعبیه شده باشد.
- (۳) ورق شماره ۱ می تواند به منظور جلوگیری از لهیدگی جان ستون تعبیه شده باشد.
- (۴) ورق شماره ۲ می تواند به منظور جلوگیری از لهیدگی جان ستون تعبیه شده باشد.

## ۳-۱۰ الزامات طراحی لرزه ای

## ۲-۳-۱۰ تعاریف

## ۲-۲-۳-۱۰ ناحیه حفاظت شده اعضا

ناحیه حفاظت شده در یک عضو از سازه، که به ناحیه شکل پذیر عضو نیز موسوم است، به ناحیه ای از عضو اطلاق می شود که انتظار می رود در آن مفصل پلاستیک تشکیل شود. نظر به اهمیت این ناحیه و رفتار حساس آن در حرکات رفت و برگشتی سازه، این ناحیه باید عاری از هر گونه عملیاتی که موجب دگرگونی عملکرد عضو در این ناحیه می شود، باشد. ناحیه حفاظت شده در دو انتهای تیر، فاصله بین بر ستون تا نصف عمق تیر از محل تشکیل مفصل پلاستیک به سمت داخل دهانه در نظر گرفته می شود. همچنین ناحیه حفاظت شده برای مهاربندی های ویژه در تمام طول عضو و برای تیرهای پیوند قاب های مهاربندی شده و اگر تمام طول آن می باشد.

تصوره: در مهاربند های همگرای ویژه ضربداری ناحیه حفاظت شده را می توان فاصله بین انتهای اتصال در محل ضربداری و انتهای عضو مهاربندی در نظر گرفت.

نظر به اهمیت ناحیه حفاظت شده اعضا در تأمین شکل پذیری مورد نیاز، الزامات عمومی که باید در جزئیات بندی ناحیه حفاظت شده اعضا در نظر گرفته شوند به شرح زیر است.

۱. به کار بردن وصله مستقیم یا غیرمستقیم جوشی یا پیچی نیمرخ ها یا ورق های تشکیل دهنده عضو در ناحیه حفاظت شده ممنوع است.
۲. هر گونه ناپیوستگی ناشی از عملیات ساخت و نصب مانند جوش های موضعی، وسایل کمکی برای نصب، ناصافی های ناشی از برش های حرارتی در ناحیه حفاظت شده ممنوع بوده و در صورت وجود باید به نحو مناسبی بر طرف شده و تعمیر گردد.
۳. خال جوش کردن ورق های دوزنقه ای تیرهای مختلط و نیز جوش برشگیرهای از نوع گل میخ در تیرهای مختلط در ناحیه حفاظت شده، در صورت تأمین الزامات بخش ۱۰-۳-۱۳ مجاز است.

## ۴-۲-۳-۱۰ ترکیبات بار زلزله تشدید یافته

ترکیبات بار زلزله تشدید یافته با جایگزینی نیروهای لرزه طرح (E) با زلزله تشدید یافته ( $\Omega_0 E$ ) در ترکیبات متعارف بارها به دست می آیند که در آن  $\Omega_0$  به ضریب اضافه مقاومت سیستم سازه ای موسوم است و به عوامل متعددی نظیر درجات نامعینی سازه، مقاومت های بالاتر از حد تعیین شده مصالح مصرفی، سخت شدن کرنش ها، جزئیات بندی اعضا، اثرات اجزای غیرسازه ای و ... بستگی دارد. مطابق این مبحث ضریب  $\Omega_0$  برای انواع سیستم های سازه ای فولادی باید به شرح جدول ۱۰-۲-۳-۱۰ در نظر گرفته شود.

جدول ۱۰-۲-۳-۱۰ ضریب اضافه مقاومت  $\Omega_0$  برای انواع سیستم های باربر جانبی لرزه ای

$\Omega_0$	نوع سیستم باربر جانبی لرزه ای
۳	کلیه قاب های خمشی فولادی
۲	کلیه قاب های ساختمانی ساده توأم با مهاربندی هم محور و برون محور فولادی
۲/۵	کلیه سیستم های دوگانه یا ترکیبی

## ۱۸-۲- ترکیب بار لرزه ای برای ستونها

## ۱۰-۳ الزامات طراحی لرزه ای

۱۰-۳-۵ الزامات لرزه ای ستون ها، وصله ستون ها، کفستون ها و وصله تیرها

۱۰-۳-۵-۱ الزامات طراحی لرزه ای ستون

۱۰-۳-۵-۱ کلیه ستون ها (باربر و غیرباربر جانبی لرزه ای) باید الزامات فصل ۱۰-۲ را تأمین نمایند. ستون های باربر جانبی لرزه ای علاوه بر تأمین الزامات فصل ۱۰-۲ باید دارای مقاومت کافی در برابر نیروی محوری (بدون در نظر گرفتن نیروهای برشی و لنگرهای خمشی) ناشی از ترکیبات بار زلزله تشدید یافته باشند.

**تبصره ۱:** برای ستون های باربر جانبی لرزه ای که در معرض بار جانبی در بین دو انتهای ستون قرار دارند، اثر لنگر خمشی ناشی از این بار جانبی باید با نیروی محوری ناشی از ترکیبات بار زلزله تشدید یافته به صورت توأم در نظر گرفته شود.

**تبصره ۲:** در مواردی که مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ترکیب نیروی زلزله راستاهای متعامد ضرورت داشته باشد، الزامات عمومی طراحی لرزه ای ستون ها باید برای ترکیب نیروهای زلزله راستاهای متعامد نیز مورد کنترل قرار گیرد.

**تبصره ۳:** شالوده ساختمان باید برای نیروی محوری (بدون در نظر گرفتن نیروهای برشی و لنگرهای خمشی) ناشی از ترکیبات بار زلزله تشدید یافته نیز مورد محاسبه و کنترل قرار گیرد.

## محاسبات آذر ۹۲

۴۵- در یک ساختمان فولادی با سیستم سازه ای در یک جهت قاب خمشی فولادی با شکل پذیری متوسط و در جهت دیگر از نوع قاب ساختمانی ساده + مهاربند همگرا، نیروهای ناشی از حالت های بارگذاری مرده، زنده و زلزله به شرح زیر محاسبه گردیده است.

$$P_E = 1500 \text{ kN} \quad \text{و} \quad P_L = 500 \text{ kN} \quad \text{و} \quad P_D = 900 \text{ kN}$$

در طراحی به روش ضرایب بار و مقاومت، حداقل مقاومت محوری فشاری مورد نیاز برای ستون مذکور چقدر باید در نظر گرفته شود؟

$$4200 \text{ kN (۴)} \quad 6540 \text{ kN (۳)} \quad 3300 \text{ kN (۲)} \quad 5100 \text{ kN (۱)}$$

سوال ایراد دارد. معلوم نیست که نیروی  $P_E = 1500 \text{ kN}$  مربوط به زلزله کدام راستای می باشد تا ضریب او مگای مربوطه انتخاب شود.

برای رفع ایراد فرض کنید نیروی  $P_E = 1500 \text{ kN}$  مربوط به زلزله راستای قاب خمشی می باشد.

در کلید اولیه اعلام شده از طرف سازمان گزینه ۳ انتخاب شده است که احتمالاً طراح نیروی زلزله ۳۰ درصد را منظور نکرده و فرض کرده که نیروی زلزله در راستای قاب خمشی بوده و بنابراین روابط فوق به صورت زیر در نظر گرفته شده اند:

کنترل ترکیب بار عادی:

$$1.2D + L + E + 0.2S \\ 1.2 \times 900 + 500 + 1500 = 3080 \text{ kN}$$

کنترل ترکیب بار لرزه ای:

$$1.2D + L + 3E + 0.2S \\ 1.2 \times 900 + 500 + 3 \times 1500 = 6080 \text{ kN}$$

با توجه به تغییر ترکیب بارها در آیین نامه جدید، پاسخ در گزینه ها نیست.

۶- در یک ساختمان مسکونی مقدار نیروی محوری یک ستون فولادی واقع در یک قاب خمشی فولادی با شکل پذیری متوسط در هر دو راستای x و y، ناشی از بارهای مرده برابر 200 kN، ناشی از بارهای زنده برابر 100 kN و ناشی از نیروی زلزله طرح در امتداد x با در نظر گرفتن برون مرکزی اتفاقی برابر 700 kN و ناشی از نیروی زلزله طرح در امتداد y بدون در نظر گرفتن برون مرکزی اتفاقی برابر 700 kN برآورد شده است. براساس این اطلاعات، حداقل مقاومت محوری موردنیاز این ستون ( $P_u$ ) به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (فرض کنید فولاد مصرفی از نوع S235 است).

3020 kN (۲)

1200 kN (۱)

1700 kN (۴)

2400 kN (۳)

گزینه ۱

بسته به محل ساخت سازه دو پاسخ متفاوت بدست میاید:

اگر محل ساخت سازه در شهری با لرزه خیزی بسیار زیاد باشد داریم:

نیروی محوری ستون تحت ترکیب بار تشدید یافته:

$$P_u = 1.41P_D + P_L + \Omega_0 P_{EX} + 0.3\Omega_0 P_{EX} = 1.41 \times 200 + 100 + 3 \times 700 + 0.3 \times 3 \times 700 = 3112 \text{ kN}$$

اگر محل ساخت سازه در شهری با لرزه خیزی بسیار زیاد نباشد داریم:

نیروی محوری ستون تحت ترکیب بار تشدید یافته:

$$P_u = 1.2P_D + P_L + \Omega_0 P_{EX} + 0.3\Omega_0 P_{EX} = 1.2 \times 200 + 100 + 3 \times 700 + 0.3 \times 3 \times 700 = 3070 \text{ kN}$$

- ضریب 1.41 برای منظور کردن اثر زلزله قائم می باشد که برای سازه با کاربری مسکونی (با فرض  $I=1$ ) و نیز  $A=0.35$  بدست آمده است.

## ۱۸-۳- مهار جانبی تیرهای لرزه ای

## ۱۰-۳-۶ الزامات لرزه ای مهار جانبی تیرها در قاب های خمشی متوسط و ویژه

در ارتباط با مهار جانبی تیرهای باربر جانبی لرزه ای در قاب های خمشی متوسط و ویژه الزامات زیر باید تأمین شوند.

الف) کلیه تیرهای باربر جانبی لرزه ای باید در فاصله  $L_b$  دارای مهاربندی جانبی کافی باشند، به طوری که از هر گونه کمانش جانبی، پیچشی و جانبی- پیچشی در خلال تغییرشکل های فرا ارتجاعی جلوگیری شود. مهار جانبی تیرها باید به گونه ای تعبیه شوند که در محل اتصال آن ها به تیر از تغییر مکان جانبی هر دو بال تیر یا از پیچش کل مقطع به نحو موثری جلوگیری به عمل آید.

ب) تعبیه مهار جانبی در محل اعمال بارهای متمرکز خارجی در طول تیر، در محل تغییر مقطع تیر و در محل هایی که در بخش ۱۰-۳-۱۳ برای اتصالات از پیش تأیید شده پیش بینی شده است، الزامی است.

پ) مهارهای جانبی تیرهای باربر جانبی لرزه ای باید مطابق رابطه ۱۰-۳-۱۱ برای نیروی حداقل برابر با  $P_{bu}$  طراحی شوند.

$$P_{bu} = 0.06 R_y F_y Z_b / h_0 \quad (10-3-11)$$

که در آن:

$Z_b$  = اساس مقطع پلاستیک مقطع تیر

$h_0$  = فاصله مرکز تا مرکز بال های تیر

ت) مقدار حداکثر  $L_b$  برای تیرهای باربر جانبی لرزه ای در سیستم های با شکل پذیری متوسط برابر  $0.17 I_y \frac{E}{F_y}$  و در سیستم های با شکل پذیری زیاد برابر  $0.186 I_y \frac{E}{F_y}$  می باشد، که در آن  $I_y$  شعاع ژیراسیون مقطع تیر حول محور ضعیف است.



## محاسبات ۹۵

۱۷- مهارهای جانبی یک تیر با مقطع IPE 300 و مربوط به یک قاب خمشی ویژه حداقل برای چه مقدار نیرو باید طراحی شود؟ ( $F_y=240 \text{ MPa}$ )

38 kN (۴)

31 kN (۳)

29 kN (۲)

11 kN (۱)

گزینه ۴

$$P_{bu} = 0.06 R_y F_y \frac{Z_b}{h_0} = 0.06 \times 1.2 \times 240 \times \frac{628000}{(300 - 10.7)} = 37.51 \text{ kN}$$

## ۱۸-۴- قاب خمشی معمولی

## ۱۰-۳-۷ الزامات تکمیلی طراحی لرزه ای قاب های خمشی معمولی

## ۱۰-۳-۷-۱ محدودیت تیرها و ستون ها

تیرها و ستون ها در قاب های خمشی معمولی باید دارای شرایط زیر باشند.

الف) مقاطع تیرها و ستون ها باید فشرده باشند.

ب) استفاده از ستون های با مقطع متشکل از چند نیمرخ بست دار مجاز است.

پ) استفاده از تیرهای با جان سوراخ دار متوالی (لانه زنبوری) به عنوان اعضای باربر جانبی مجاز نیست. در صورت لزوم ایجاد سوراخ دسترسی در جان تیر، این سوراخ باید خارج از ناحیه حفاظت شده دو انتهای تیر و در نیمه میانی طولی دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به طور کامل فراهم گردد.

ت) در ناحیه حفاظت شده دو انتهای تیر، ایجاد هر گونه تغییر ناگهانی در پهنای بال یا ضخامت بال مجاز نمی باشد. تغییر تدریجی در پهنای یا ضخامت از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به ۲/۵ صورت گیرد.

## ۱۰-۳-۷-۲ اتصالات تیر به ستون

اتصالات تیر به ستون در قاب های خمشی معمولی باید دارای شرایط زیر باشند.

الف) در طراحی اتصالات تیر به ستون و نیز وصله تیرهای این نوع قاب های خمشی می توان محل تشکیل مفصل پلاستیک را در محل اتصال تیر به ستون در نظر گرفت.

ب) مقاومت خمشی مورد نیاز ( $M_{u}$ ) اتصال تیر به ستون باید از رابطه زیر تعیین شود.

$$M_u = 1/1 R_y M_p \quad (10-3-7-2)$$

که در آن:

$R_y$  = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح تیر مطابق مقادیر

جدول ۱۰-۳-۱۰

$M_p$  = لنگر پلاستیک مقطع تیر در محل اتصال تیر به ستون

پ) مقاومت برشی مورد نیاز ( $V_u$ ) اتصال تیر به ستون باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی

بارهای ثقلی ضریداری که با نیروی زلزله ترکیب می شوند و برش لرزه ای ناشی از  $M_{pr} = 1/1 R_y M_p$

در دو انتهای تیر، تعیین شود.

۱۱- حداقل مقاومت خمشی موردنیاز اتصال تیر IPE300 به ستون در قاب خمشی معمولی از فولاد با تنش تسلیم  $F_y=240$  MPa و تنش کشش نهایی  $F_u=370$  MPa بر حسب  $kN.m$  به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟

200 (۴)

180 (۳)

150 (۲)

220 (۱)

گزینه ۴

$$M_u = 1.1R_yM_p = 1.1 \times 1.2 \times (ZF_y) = 1.1 \times 1.2 \times 628000 \times 240 = 198.9 \text{ kN.m}$$

در شکل سمت راست بال نیز جوش شده است و اتصال تبدیل به اتصال صلب شده است.

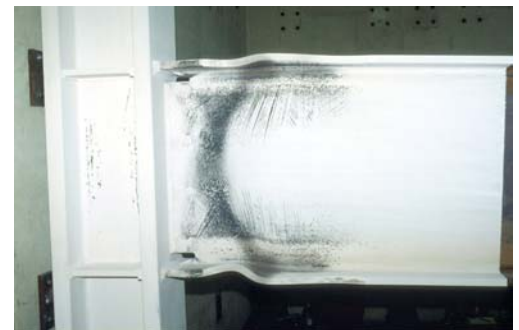
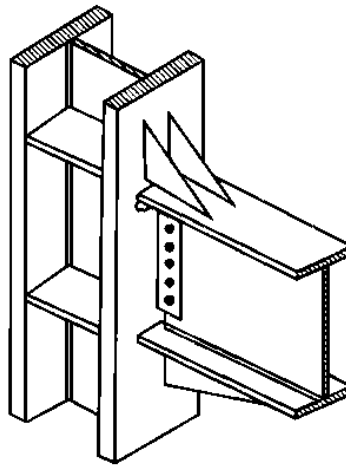


متأسفانه پس از جوش دادن بال تیر به ستون محل جوشکاری ترد شکن می شود.

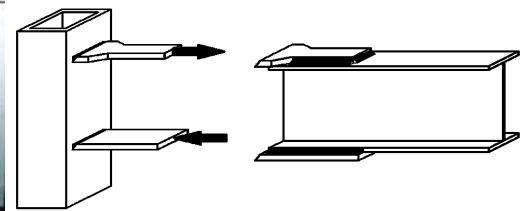
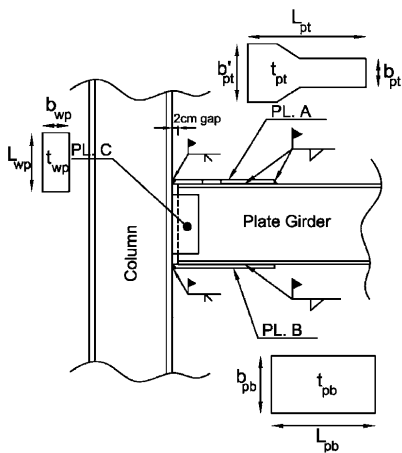
شکلهای زیر محل شکست بال به ستون را نشان می دهند. علت: جوشکاری موجب خشکی اتصال می شود. این نوع خرابی یک خرابی ترد محسوب می شود.



با قرار دادن سخت کننده در بر اتصال و افزایش مقاومت اتصال در "بر ستون" محل خرابی به داخل تیر منتقل می شود. این خرابی نرم محسوب می شود و در محل خرابی خشکی ناشی از جوش مشاهده نمی شود.



ورق روسری و زیر سری موجب می شود مفصل پلاستیک در داخل تیر تشکیل شود و شکست ترد اتفاق نیفتد:





## ۱۸-۵- قاب خمشی متوسط

## ۱۰-۳-۸ الزامات تکمیلی طراحی لرزه ای قاب های خمشی متوسط

قاب خمشی متوسط به قابی اطلاق می شود که در برابر نیروی جانبی زلزله بتواند تغییر شکل های فرا ارتجاعی محدودی را تحمل کند. در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب ها باید سعی شود که در نزدیکی دو انتهای تیر مفصل های پلاستیک تشکیل شوند و ظرفیت دورانی آنها به حدی باشد که دوران نظیر تغییر مکان جانبی نسبی طبقه حداقل به  $0.02$  رادیان برسد که حدود  $0.1$  رادیان آن در ناحیه فرا ارتجاعی باشد.

## ۱۰-۳-۸-۱ محدودیت تیرها و ستون ها

تیرها و ستون ها در قاب های خمشی متوسط باید دارای شرایط زیر باشند.  
الف) مقاطع تیرها و ستون ها باید از نوع فشرده لرزه ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر  $\lambda_{md}$  مطابق مقادیر جدول ۱۰-۴-۳ باشند.

ب) استفاده از ستون های با مقطع متشکل از چند نیمرخ بست دار مجاز است، مشروط بر آنکه خمش در ستون حول محور با مصالح باشد.

پ) استفاده از تیرهای با جان سوراخ دار متوالی (لانه زنبوری) به عنوان اعضای باربر جانبی مجاز نیست. در صورت لزوم ایجاد سوراخ دسترسی در جان تیر، این سوراخ باید خارج از ناحیه حفاظت شده دو انتهای تیر و در نیمه میانی طولی دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به طور کامل فراهم گردد.

ت) در ناحیه حفاظت شده دو انتهای تیر، ایجاد هر گونه تغییر ناگهانی در پهنای بال یا ضخامت بال مجاز نمی باشد. تغییر تدریجی در پهنا یا ضخامت از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر  $1$  به  $2/5$  صورت گیرد.

## ۱۰-۳-۸-۲ مقاومت های مورد نیاز و طراحی مقطع تیر

(۱) به جز در طراحی تیرهای با اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته، در طراحی مقطع تیرها برای خمش، رعایت ضابطه تکمیلی خاصی الزامی نیست. در تیرهای با اتصالات تیر با مقطع کاهش یافته، در دو انتهای تیر، مقاومت خمشی مورد نیاز تیر باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضربیداری که با نیروی زلزله ترکیب می شوند و اثرات لرزه ای ناشی از لنگر خمشی  $M_{pr} = C_{pr} R_y M_p$  در محل های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شود. در این حالت در دو انتهای تیر، مقاومت خمشی طراحی تیر را می توان برابر  $R_y M_{po}$  در نظر گرفت.

(۲) در دو انتهای تیر، مقاومت برشی مورد نیاز تیرها باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضربیداری که با نیروی زلزله ترکیب می شوند و اثرات لرزه ای ناشی از لنگر خمشی  $M_{pr} = C_{pr} R_y M_p$  در محل های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شود. مقاومت برشی طراحی تیرها باید براساس الزامات فصل ۱۰-۲ تعیین شود.

در روابط فوق:

$R_y$  = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح تیر

$M_p$  = لنگر پلاستیک مقطع تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک

$M_{po}$  = لنگر پلاستیک مقطع تیرهای با مقطع کاهش یافته در ابتدا و انتهای تیر

$C_{pr}$  = ضریبی است که دربرگیرنده آثار عواملی از قبیل سخت شدگی، قیدهای موضعی و ملحقیات موجود در اتصال تیر به ستون است و برای محاسبه حداکثر نیروی ایجاد شده در اعضا و وسایل اتصال به کار گرفته می شود. به جز در موردی که در بخش ۱۰-۳-۱۳-۶ برای  $C_{pr}$  عدد خاصی پیش بینی شده است، مقدار آن باید از رابطه زیر تعیین شود

$$1/1 \leq C_{pr} = \frac{(F_y + F_u)}{2F_y} \leq 1/2 \quad (10-3-10)$$

### ۱۰-۳-۸ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی متوسط

قاب خمشی متوسط به قابی اطلاق می‌شود که در برابر نیروی جانبی زلزله بتواند تغییرشکل‌های فرا ارتجاعی محدودی را تحمل کند. در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها باید سعی شود که در نزدیکی دو انتهای تیر مفصل‌های پلاستیک تشکیل شوند و ظرفیت دورانی آنها به حدی باشد که دوران نظیر تغییرمکان جانبی نسبی طبقه حداقل به  $0.02$  رادیان برسد که حدود  $0.01$  رادیان آن در ناحیه فرا ارتجاعی باشد.

#### ۱۰-۳-۸-۱ محدودیت تیرها و ستون‌ها

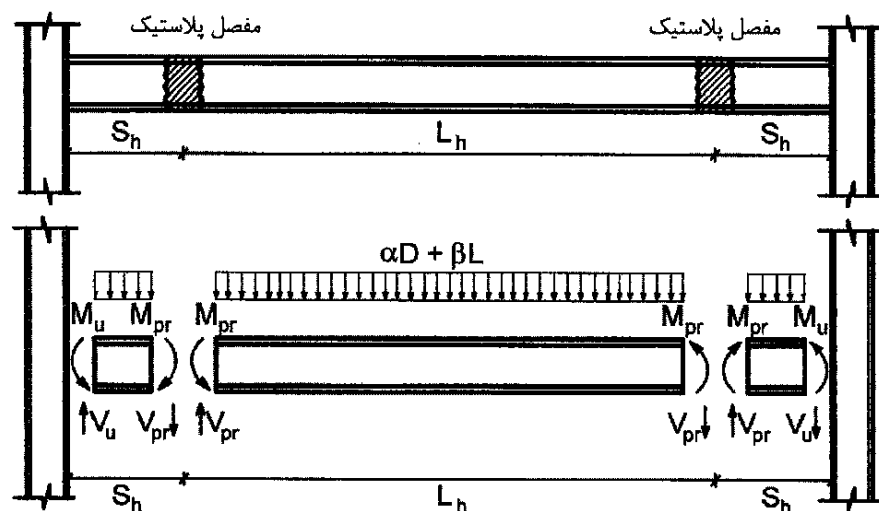
##### ۱۰-۳-۸-۳ اتصال تیر به ستون

کلیه اتصالات تیر به ستون در قاب‌های خمشی متوسط که نیروهای جانبی لرزه‌ای را تحمل می‌کنند، باید دارای شرایط زیر باشند.

الف) اتصالات خمشی تیر به ستون باید توانایی تحمل تغییرشکل‌های دورانی حداقل به میزان  $0.02$  رادیان را بدون کاهش قابل توجه در مقاومت خود دارا باشند. برای احراز این شرط لازم است اتصالات خمشی به کار رفته در قاب‌های خمشی متوسط از طریق آزمایشات توصیه شده توسط مراجع معتبر تایید شوند. در صورت عدم دسترسی به آزمایشات فوق استفاده از اتصالات از پیش تأیید شده ارائه شده در بخش ۱۰-۳-۱۳ بلامانع می‌باشد.

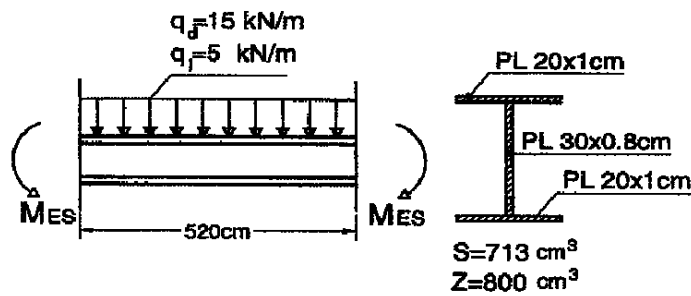
ب) اتصال تیر به ستون باید به گونه‌ای طراحی شود که شرایط ایجاد مفصل پلاستیک را در داخل تیر فراهم نماید. انجام این امر می‌تواند از طریق ضعیف کردن مقطع تیر در فاصله‌ای محدود از بر ستون صورت گیرد. روش‌های دیگر برای دستیابی به منظور فوق در اتصالات از پیش تأیید شده بخش ۱۰-۳-۱۳ ارائه شده است.

پ) مقاومت خمشی مورد نیاز ( $M_u$ ) و مقاومت برشی مورد نیاز ( $V_u$ ) اتصال باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضربنداری که با نیروی زلزله ترکیب می‌شوند و اثرات لرزه‌ای ناشی از لنگر خمشی  $M_{pr} = C_{pr} R_y M_p$  در محل‌های تشکیل مفصل پلاستیک، تعیین شوند (شکل ۱۰-۳-۱۰). که در آن،  $M_p$ ،  $R_y$  و  $C_{pr}$  مطابق تعاریف بند ۱۰-۳-۸-۲ می‌باشد.



شکل ۱۰-۳-۱۰ نمودار پیکره آزاد تیرهای باربر جانبی

۲۶- لنگر خمشی طراحی اتصال تیر به ستون ( $M_{ES}$ ) با مشخصات زیر از یک سازه با قاب خمشی فولادی متوسط به روش تنش مجاز برحسب کیلونیوتن متر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر می باشد؟ (محل تشکیل مفصل پلاستیک در فاصله نصف ارتفاع کل مقطع تیر از بر ستون فرض شود). ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ )

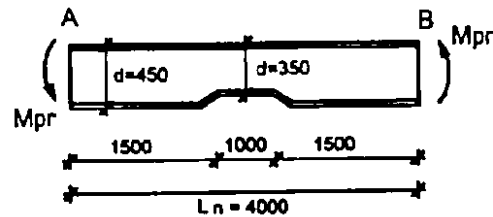


- (۱) 149  
(۲) 221  
(۳) 133  
(۴) 243

۳۲- تیر یک قاب خمشی ویژه در یک سیستم باربر جانبی لرزه ای بطول دهانه آزاد 7.0 متر تحت اثر بار مرده یکنواخت 3600 دکانیوتن بر متر و بار زنده یکنواخت 1200 دکانیوتن بر متر قرار دارد. چنانچه  $Z_b = 2650 \text{ cm}^3$  و نوع فولاد St37 ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) و ارتفاع کل مقطع تیر برابر 40 سانتیمتر باشد، نیروی برشی لازم جهت طراحی اتصال انتهای تیر برحسب kN در طراحی به روش تنش مجاز به کدام یک از اعداد زیر نزدیکتر می باشد؟

- (۱) 350  
(۲) 320  
(۳) 300  
(۴) 170

۳۸- شکل زیر بخش میانی یک تیر با شکل پذیری متوسط، بین مفاصل پلاستیک A و B را نشان می دهد. چنانچه آثار ناشی از بارهای مرده و زنده و سایر بارها، در مقایسه با بار زلزله بسیار ناچیز و قابل اغماض باشد، با توجه به فرضیات زیر، مقدار  $M_{pr}$  در مفصل پلاستیک تیر، حداکثر چه مقدار می تواند باشد؟ تیر از ورق با اتصال جوش جان به بال ساخته شده و مقطع آن دارای تقارن دو محوره بوده و خمش حول محور قوی است.  $d$  عمق کل مقطع بوده و ضخامت جان  $t_w = 8 \text{ mm}$  است. مقاومت برشی عضو بدون توجه به عمل میدان کششی و با فرض  $C_v = 1$  محاسبه می شود. فولاد مصرفی از نوع ST37 با  $F_y = 240 \text{ MPa}$  بوده و واحدهای روی شکل بر حسب میلی متر می باشد. تیر در محدوده کم عمق، از مقاومت کافی در برابر آثار ناشی از ایجاد  $M_{pr}$  در مفاصل پلاستیک برخوردار است.



$$1450 \text{ kN.m (۱)}$$

$$725 \text{ kN.m (۲)}$$

$$930 \text{ kN.m (۳)}$$

$$830 \text{ kN.m (۴)}$$

L- PL300x20

گزینه ۳

در طراحی لرزه ای تیر در دو انتهای خود باید بتواند برش زیر را تحمل کند:

$$V_{pr} = \frac{2M_{pr}}{L_n} = \frac{M_{pr}}{2000}$$

مقاومت برشی تیر در دو انتهای آن برابر است با:

$$\phi V_n = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times (450 \times 8) \times 1 = 466560 \text{ N}$$

برش وارد بر تیر  $V_{pr}$  باید کمتر از مقاومت برشی طراحی عضو در دو انتهای آن باشد:

$$V_{pr} < \phi V_n \rightarrow \frac{M_{pr}}{2000} < 466560 \rightarrow M_{pr} < 933 \text{ kN.m}$$

دقت شود که طبق آیین نامه تیر تنها لازم است در دو انتهای خود چنین برشی را تحمل کند و قسمت تضعیف شده میانی لزومی ندارد برای چنین برشی طراحی شود. قسمت میانی باید برای برش حاصل از ترکیب بارهای متعارف طراحی شود.

با توجه به جمله آخر در روی سوال احتمالاً هدف طراح این بوده است که قسمت میانی برای چنین برشی طراحی شود که در این صورت خواهیم داشت:

$$\frac{M_{pr}}{2000} < [\phi V_n = 0.9 \times 0.6 \times 240 \times (350 \times 8) \times 1 = 362880 \text{ N}] \rightarrow M_{pr} = 725.76 \text{ kN.m}$$

## ۱۸-۶- قاب خمشی ویژه

## ۱۰-۳-۹ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه

قاب خمشی ویژه به قابی اطلاق می‌شود که در برابر نیروی جانبی زلزله تغییرشکل‌های فراررتجاعی قابل ملاحظه‌ای را تحمل کند. در طراحی اعضا و اتصالات این نوع قاب‌ها باید سعی شود که در نزدیکی دو انتهای تیر مفصل‌های پلاستیک تشکیل شوند و ظرفیت دورانی آنها به حدی باشد که دوران نظیر تغییرمکان جانبی نسبی طبقه حداقل به  $0.04$  رادیان برسد که حدود  $0.03$  رادیان آن در ناحیه فراررتجاعی باشد.

## ۱۰-۳-۹-۱ محدودیت تیرها و ستون‌ها

تیرها و ستون‌ها در قاب‌های خمشی ویژه باید دارای شرایط زیر باشند.

الف) مقاطع تیرها و ستون‌ها باید از نوع فشرده لرزه‌ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر  $\lambda_{\text{تیر}}$  مطابق مقادیر جدول ۱۰-۴-۳-۱۰ باشند.

ب) در ستون‌ها استفاده از مقطع متشکل از چند نیمرخ بست‌دار مجاز نیست. اجزای مقطع ستون باید در تمامی طول آن به صورت پیوسته به یکدیگر متصل شوند.

پ) استفاده از تیرهای با جان سوراخ‌دار متوالی (لانه زنبوری) به عنوان اعضای باربر جانبی مجاز نیست. در صورت لزوم ایجاد سوراخ دسترسی در جان تیر، این سوراخ باید خارج از ناحیه حفاظت شده دو انتهای تیر و در نیمه میانی طولی دهانه تیر قرار گیرد. اطراف سوراخ باید به نحوی تقویت شود که مقاومت برشی و خمشی تیر به طور کامل فراهم گردد.

ت) در ناحیه حفاظت‌شده دو انتهای تیر، ایجاد هرگونه تغییر ناگهانی در پهنای بال یا ضخامت بال مجاز نمی‌باشد. تغییر تدریجی در پهنا یا ضخامت از ورق بزرگتر به ورق کوچکتر، باید با شیب حداکثر ۱ به  $2/5$  انجام پذیرد.

## ۱۰-۳-۹-۳ مقاومت‌های مورد نیاز و طراحی مقطع تیر

مقاومت‌های مورد نیاز و طراحی مقطع تیر در قاب‌های خمشی ویژه عیناً مشابه مقاومت‌های مورد نیاز و طراحی مقطع تیر در قاب‌های خمشی متوسط می‌باشد.

## ۱۸-۲- تیر ضعیف- ستون قوی


**۱۰-۳-۹ الزامات تکمیلی طراحی لرزه ای قاب های خمشی ویژه**

۱۰-۳-۹-۲ نسبت لنگر خمشی ستون به لنگر خمشی تیر

در کلیه گره های اتصالات خمشی تیر به ستون باید به طور مجزا در امتداد هر یک از محورهای اصلی مقطع ستون رابطه زیر برآورده گردد.

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1.0 \quad (10-3-9-1)$$

که در آن:

$\sum M_{pc}^*$  = مجموع لنگرهای خمشی ستون های بالا و پایین گره اتصال در امتداد مورد نظر مطابق با

رابطه زیر:

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c (F_{yc} - P_{uc}/A_g) \quad (10-3-9-2)$$

$\sum M_{pb}^*$  = مجموع تصاویر لنگرهای خمشی تیرها در گره اتصال نسبت به راستای مورد نظر. این

لنگرهای خمشی باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضرببنداری که با نیروی زلزله ترکیب می شوند و اثرات لرزه ای ناشی از لنگر خمشی  $M_{pb} = C_{pr} R_{yb} M_{pb}$  در محل تشکیل مفصل پلاستیک نسبت به محور ستون تعیین شوند (شکل ۱۰-۳-۸-۱).

در روابط فوق:

$Z_c$  = اساس مقطع پلاستیک ستون

$A_g$  = سطح مقطع ستون

$F_y$  = تنش تسلیم فولاد ستون

$P_{uc}$  = مقاومت فشاری مورد نیاز ستون حاصل از ترکیبات بار زلزله تشدید یافته

$M_{pb}$  = لنگر خمشی پلاستیک تیر در محل تشکیل مفصل پلاستیک

$R_{yb}$  = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم تعیین شده مصالح تیر مطابق مقادیر

جدول ۱۰-۳-۲-۱

$C_{pr}$  = مطابق تعریف بند ۱۰-۳-۵-۴

تبصره: در صورتی که یکی از حالت های زیر برقرار باشد، رعایت رابطه ۱۰-۳-۹-۱ در گره فوقانی

ستون الزامی نیست.

۱- ستون هایی که در کلیه ترکیبات بار متعارف دارای  $P_c < 0.3 P_{uc}$  (که در آن  $P_{uc}$  مقاومت

فشاری مورد نیاز،  $P_c = F_{yc} A_g$ ،  $F_{yc}$  تنش تسلیم فولاد ستون و  $A_g$  سطح مقطع ستون است)

بوده و دارای شرایط زیر باشند.

الف) ستون های ساختمان های یک طبقه و ستون های طبقه آخر ساختمان های چند طبقه

ب) تعدادی از ستون های هر طبقه که مجموع مقاومت برشی طراحی آنها کمتر از ۲۰ درصد کل

مقاومت برشی طراحی ستون های آن طبقه و مجموع مقاومت برشی طراحی آنها که بر روی یک

محور قرار دارند کمتر از ۳۳ درصد کل مقاومت برشی طراحی آن محور باشد. در این بند محور

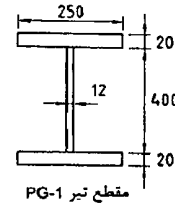
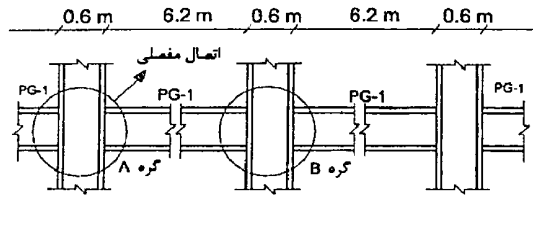
ستون به محور یا محورهای موازی اطلاق می شود که در فاصله کمتر از ۱۰ درصد بعد پلان طبقه،

در جهت عمود بر محور، از یکدیگر قرار گرفته باشند.

۲- ستون های طبقه ای که در آن نسبت مجموع مقاومت برشی طراحی ستون ها به مجموع مقاومت

برشی مورد نیاز ستون ها در آن طبقه ۵۰ درصد بیشتر از این نسبت در طبقه فوقانی آن باشد.

۲۲- شکل زیر بخشی از قاب‌های خمشی یک ساختمان فولادی با شکل‌پذیری ویژه را نشان می‌دهد. تمام اتصالات تیر به ستون غیر از اتصال گره A، گیردار و از نوع WUF-W می‌باشند. اگر از بارهای ثقلی وارد به تیرها صرف‌نظر شود، حداقل مجموع لنگرهای خمشی ستون‌های بالا و پایین گره B برای تأمین نسبت لنگر خمشی ستون به لنگر خمشی تیر به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیک‌تر خواهد بود؟ ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) (ابعاد نشان داده شده روی مقطع عرضی تیر به میلی‌متر است.)



2240 kN.m (۱)

2040 kN.m (۲)

1240 kN.m (۳)

2140 kN.m (۴)

گزینه ۴

تیر سمت چپ:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y Z F_y = 1.4 \times 1.15 \times \left( 250 \times 20 \times 420 + \frac{12 \times 400^2}{4} \right) \times 240 = 996.9 \text{ kN.m}$$

$$V_{pr} = \frac{M_{pr}}{L_h} = \frac{996.9}{6.2} = 160.8 \text{ kN}$$

$$M_{\text{در محور ستون}} = M_{pr} + V_{pr} \times \frac{d_c}{2} = 996.9 + 160.8 \times 0.3 = 1045 \text{ kN.m}$$

تیر سمت راست:

$$M_{pr} = C_{pr} R_y Z F_y = 1.4 \times 1.15 \times \left( 250 \times 20 \times 420 + \frac{12 \times 400^2}{4} \right) \times 240 = 996.9 \text{ kN.m}$$

$$V_{pr} = \frac{2M_{pr}}{L_h} = \frac{2 \times 996.9}{6.2} = 321.6 \text{ kN}$$

$$M_{\text{در محور ستون}} = M_{pr} + V_{pr} \times \frac{d_c}{2} = 996.9 + 321.6 \times 0.3 = 1093 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_b^* = 1045 + 1093 = 2138 \text{ kN.m}$$

## ۱۸-۸- ورق پیوستگی در قاب متوسط و ویژه

## ۱۰-۳-۸-۵ ورق‌های پیوستگی

ورق‌های پیوستگی (سخت‌کننده‌های عرضی) در مقابل بال‌های تیر یا ورق‌های پوششی اتصال بال بالایی و پایینی تیرهای متصل شونده به ستون علاوه بر تامین الزامات بخش ۱۰-۹-۲-۱۰ باید دارای شرایط زیر نیز باشند.

الف) در ستون‌های H شکل در صورتی که ضخامت بال ستون بزرگتر از مقادیر تعیین شده توسط روابط ۱۰-۳-۸-۲ و ۱۰-۳-۸-۳ باشد، تعبیه ورق‌های پیوستگی در چشمه اتصال الزامی نیست. در غیر اینصورت تعبیه یک جفت سخت‌کننده (ورق‌های پیوستگی) در داخل ستون و با رعایت شرایط (پ) تا (ح) همین بند الزامی است.

$$t_{cf} \geq \frac{0.4}{\sqrt{1/\lambda b_{bf} t_{bf} \frac{R_{yb} F_{yb}}{R_{yc} F_{yc}}}} \quad (2-8-3-10)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad (3-8-3-10)$$

ب) در ستون‌های قوطی شکل ساخته شده از مقاطع I شکل، بال ستون بزرگتر چنانچه خمش

حول محور عمود بر تیغه جان بوده و ضخامت بال ستون بزرگتر از مقادیر تعیین شده

توسط روابط ۱۰-۳-۸-۴ و ۱۰-۳-۸-۵ باشد، تعبیه ورق‌های پیوستگی در چشمه اتصال

الزامی نیست. در غیر اینصورت تعبیه یک جفت سخت‌کننده (ورق‌های پیوستگی) در داخل ستون و با رعایت شرایط (پ) تا (ح) همین بند الزامی است.

$$t_{cf} \geq \frac{0.4}{\sqrt{\left[1 - \frac{b_{bf}}{b_{cf}} \left(b_{cf} - \frac{b_{bf}}{4}\right)\right] 1/\lambda b_{bf} t_{bf} \frac{F_{yb} R_{yb}}{F_{yc} R_{yc}}}} \quad (4-8-3-10)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{12} \quad (5-8-3-10)$$

پ) طول ورق‌های پیوستگی باید برابر با فاصله خالص دو بال ستون باشد.

ت) پهنای ورق‌های پیوستگی در ستون‌های با مقطع قوطی شکل باید برابر فاصله خالص دو جان مقطع ستون بوده و در ستون‌های با مقطع H شکل مجموع پهنای ورق‌های پیوستگی در هر طرف جان مقطع ستون نباید از پهنای بال تیر یا پهنای ورق پوششی اتصال کمتر باشد.

ث) ضخامت ورق‌های پیوستگی نباید از نصف ضخامت بال تیر یا ضخامت ورق‌های پوششی اتصال (ورق‌های روسری و زیرسری) در اتصالات گیرداری که در امتداد موردنظر فقط به یک وجه ستون متصل هستند و از ضخامت بال تیر یا ضخامت ورق‌های پوششی اتصال (ورق‌های روسری و زیرسری) در اتصالات گیرداری که در امتداد موردنظر به هر دو وجه ستون متصل هستند، کمتر در نظر گرفته شود.

ج) جوش ورق‌های پیوستگی به بال ستون باید از نوع جوش شیاری با نفوذ کامل باشد. در صورتی که ضخامت ورق پیوستگی کوچکتر یا مساوی ۱۰ میلی‌متر باشد، استفاده از جوش گوشه دو طرفه نیز مجاز است.

چ) جوش ورق‌های پیوستگی به جان ستون باید از نوع جوش شیاری با نفوذ کامل یا جوش گوشه دو طرفه باشد.

ح) نسبت پهنای به ضخامت در ورق‌های پیوستگی با یک لبه متکی، نظیر ورق‌های پیوستگی ستون‌های H شکل، نباید از  $0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  و در ورق‌های پیوستگی با دو لبه متکی، نظیر ورق‌های پیوستگی ستون‌های با مقطع قوطی شکل، نباید از  $1/4 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  بزرگتر باشد. در این روابط E مدول الاستیسیته فولاد و  $F_y$  تنش تسلیم فولاد ورق پیوستگی می‌باشد.

در روابط فوق:

$F_{yb}$  = حداقل تنش تسلیم مصالح بال تیر

$F_{yc}$  = حداقل تنش تسلیم مصالح بال ستون

$R_{yb}$  = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم

تعیین شده مصالح تیر مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۱

$R_{yc}$  = نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم

تعیین شده مصالح ستون مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۱

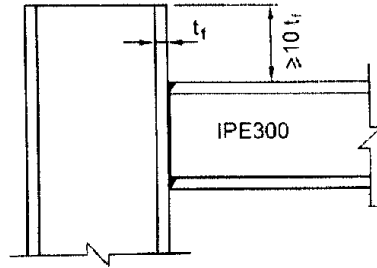
$b_{bf}$  = پهنای بال تیر

$t_{bf}$  = ضخامت بال تیر

$t_{cf}$  = ضخامت بال ستون



۱۷- در طراحی اتصال گیردار شکل زیر از یک قاب خمشی با شکل پذیری متوسط، اگر سخت کننده برای ستون در مقابل بال کششی تیر در نظر گرفته نشده باشد، حداقل ضخامت لازم بال ستون بر حسب میلی متر به کدامیک از گزینه های زیر نزدیکتر است؟ عرض بال تیر حدود ۰.۷ عرض بال ستون است. مقطع ستون IPB نورد شده بوده و فولاد مصرفی با  $F_y = 240 \text{ MPa}$  می باشد. عرض بال تیر ۱۵۰ mm و ضخامت بال آن ۱۰.۷ mm می باشد.



30 (۱)

25 (۲)

20 (۳)

15 (۴)

گزینه ۲

$$t_{cf} > 0.4\sqrt{1.8 \times 150 \times 10.7} = 21.5 \text{ mm}$$

$$t_{cf} > \frac{150}{6} = 25 \text{ mm}$$

کنترل فوق مربوط به روابط ورق پیوستگی می باشد. علاوه بر این روابط، روابط بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۱ نیز باید کنترل شود که با توجه به اینکه نیروی کششی بال (T در شکل پایین) داده نشده است، امکان کنترل خمش موضعی بال وجود ندارد. البته می توان نیروی کششی بال را برابر  $0.9AF_y$  در نظر گرفت که در این صورت نیز روابط مربوط به ورق پیوستگی حاکم خواهد بود. همچنین برای کنترل بند ۱۰-۲-۹-۱۰-۲ نیاز به ضخامت جان ستون داریم که ارائه نشده است و امکان کنترل وجود ندارد.

۲۷- در رابطه با طرح لرزه ای سازه های فولادی کدامیک از جملات زیر صحیح نمی باشد؟

- ۱) محل درز وصله ستونها می تواند در فاصله ۱۵۰ cm از بال تیر قرار داشته باشد.
- ۲) محل مفصل پلاستیک در قابهای خمشی ویژه در دو انتهای تیرها می تواند به فاصله نصف عمق تیر از برستون در نظر گرفته شود.
- ۳) در قابهای خمشی فولادی معمولی نیازی به کنترل و طراحی چشمه اتصال نمی باشد.
- ۴) در قاب خمشی فولادی متوسط مقاطع ستونها و تیرها می تواند از نوع فشرده باشد.

گزینه ۳

## ۱۸-۹- اتصالات از پیش تأیید شده گیردار

۱۰-۳-۱۳ اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

اتصالات گیردار ارائه شده در شکل‌های ۱۰-۳-۱۳-۱ تا ۱۰-۳-۱۳-۵ در صورت تأمین الزامات و محدودیت‌های این بخش به عنوان اتصالات گیردار از پیش تأیید شده محسوب می‌شوند. مضایق الزامات این بخش، انواع اتصالات گیردار از پیش تأیید شده به شرح جدول ۱۰-۳-۱۳-۱ می‌باشند.

جدول ۱۰-۳-۱۳ انواع اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

ردیف	نوع اتصال	مخفف	نوع سیستم سازهای قابل کاربرد	بخش مربوطه
۱	اتصال مستقیم تیر یا مقطع کاهش یافته	RBS	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۲-۱۳-۳-۱۰)
۲	اتصال فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی	BUEEP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۳-۱۳-۳-۱۰)
۳	اتصال فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی	BSEEP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۴-۱۳-۳-۱۰)
۴	اتصال پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری	BFP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۴-۱۳-۳-۱۰)
۵	اتصال جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری	WFP	قاب‌های خمشی متوسط	(۵-۱۳-۳-۱۰)
۶	اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی	WUF-W	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۶-۱۳-۳-۱۰)

## ۱۰-۳-۱۳-۱ الزامات عمومی اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

کلیه اتصالات از پیش تأیید شده باید دارای شرایط زیر باشند.

(۱) کلیه اتصالات باید به صورت صلب (گیردار کامل) در نظر گرفته شوند.

(۲) کلیه جوش‌های بکار رفته در اتصالات باید از طریق آزمایش‌های غیر مخرب نظیر رادیوگرافی و اولتراسونیک (فراصوتی) تأیید شوند.

(۳) در طراحی اتصالات از پیش تأیید شده، علاوه بر الزامات فصل‌های ۱-۱۰ و ۲-۱۰ باید الزامات بخش‌های ۱۰-۳-۱۰، ۸-۳-۱۰، ۹-۳-۱۰ و ۱۳-۳-۱۰ نیز رعایت شوند.

(۴) در کلیه اتصالات از پیش تأیید شده فاصله بین مفصل پلاستیک در داخل تیر تا برستون یا علامت  $S_{II}$  نمایش داده می‌شود و برای انواع مختلف اتصالات مذکور بر اساس نتایج آزمایش، محل تشکیل مفصل پلاستیک در بخش‌های مربوطه ارائه شده است.

(۵) در دو انتهای تیرهای ساخته شده از ورق، به فاصله  $(S_{II} d)$  که در آن  $d$  عمق تیر است، اتصال جان به بال باید از نوع جوش نفوذی با نفوذ کامل با جوش گوشه تقویتی در هر دو طرف جان باشد. ضخامت جوش‌های گوشه تقویتی در هر طرف جان نباید از ۸ میلی‌متر کمتر در نظر گرفته شود. در مواردی که در بخش‌های مربوط به اتصالات گیردار از پیش تأیید شده در این خصوص الزام دیگری وضع شده باشد، تأمین این شرایط برای اتصال جان به بال تیر الزامی نیست.

(۶) در ستون‌های H شکل ساخته شده از ورق، در محل اتصال تیر به ستون به فاصله‌ای شامل عمق تیر بعلاوه ۳۰۰ میلی‌متر بالا و پایین بال‌های تیر، اتصال جان به بال‌های مقطع ستون باید از نوع جوش نفوذی با نفوذ کامل با جوش گوشه تقویتی در هر دو طرف جان باشد. ضخامت جوش‌های گوشه تقویتی در هر طرف جان نباید از ۸ میلی‌متر و ضخامت جان مقطع ستون بیشتر در نظر گرفته شود.

(۷) در ستون‌های قوطی شکل ساخته شده از ورق، در محل اتصال تیر به ستون به فاصله‌ای شامل عمق تیر بعلاوه ۳۰۰ میلی‌متر بالا و پایین بال تیر، اتصال جان‌ها به بال‌های مقطع ستون، باید از نوع جوش نفوذی با نفوذ کامل باشد.

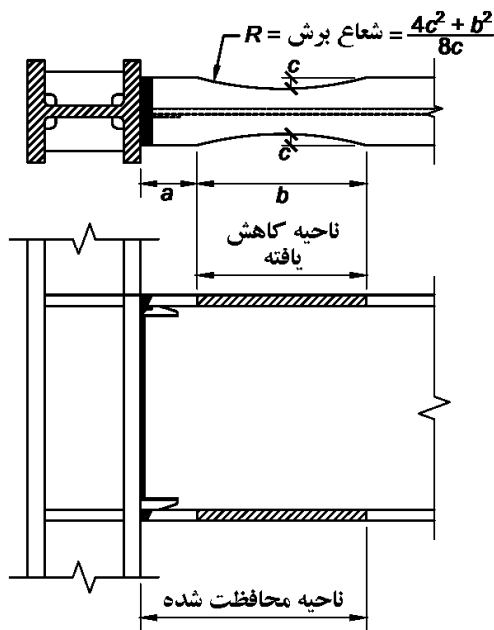
(۸) در ستون‌های ساخته شده از ورق با مقطع صلیبی شکل، در محل اتصال تیر به ستون به فاصله‌ای شامل عمق تیر بعلاوه ۳۰۰ میلی‌متر بالا و پایین بال تیر، اتصال جان‌ها به بال‌ها و جان دیگر باید از نوع جوش نفوذی با نفوذ کامل با جوش گوشه تقویتی در هر دو طرف جان باشد. ضخامت جوش‌های گوشه تقویتی در هر طرف جان نباید از ۸ میلی‌متر و ضخامت جان مقطع ستون کمتر در نظر گرفته شود.

(۹) در صورت نیاز به تعبیه تسمه‌های پشت‌بند در جوش‌های نفوذی، رعایت الزامات زیر ضروری است.

- برداشتن پشت‌بندهای مورد استفاده در اتصال ورق‌های پیوستگی به بال‌ها و جان (یا جان‌های) مقطع ستون، پس از اتمام عملیات جوشکاری الزامی نیست.
- در اتصالات گیردار مستقیم تیر به ستون، پشت‌بندهای مورد استفاده در بال تحتانی تیر باید برداشته شوند و پس از برداشتن تسمه‌های پشت‌بند، ریشه جوش نفوذی باید با جوش گوشه به ضخامت حداقل ۸ میلی‌متر تقویت گردد.
- در اتصالات گیردار مستقیم تیر به ستون، برداشتن پشت‌بندهای مورد استفاده در بال فوقانی تیر الزامی نیست. در صورتی که تسمه‌های پشت‌بند برداشته نشوند، این تسمه‌ها باید با جوش گوشه به ضخامت حداقل ۸ میلی‌متر به بال ستون جوش داده شوند.
- اتصال پشت‌بندهای مورد استفاده در اتصالات گیردار مستقیم تیر به ستون، به بال‌های تیر مجاز نیست.

## ۱-۳-۱۰ اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته (RBS)

- (۱) در دو انتهای تیر، تعبیه سوراخ‌های دسترسی برای انجام جوش نفوذی بال تیر به بال ستون، مطابق الزامات فصل ۱۰-۲، الزامی است.
- (۲) در دو انتهای تیر، ناحیه محافظت شده باید برابر  $a+b$  در نظر گرفته شود.  $b, a$  در شکل ۱-۱۳-۳-۱۰ نشان داده شده است.
- (۳) محل تشکیل مفصل پلاستیک باید برابر  $S_H = a + b/2$  در نظر گرفته شود.



الف) برای قاب‌های خمشی متوسط و ویژه

- (۴) تیرها باید دارای مهار جانبی مطابق الزامات بخش ۱۰-۳-۶ باشند. علاوه بر الزامات بخش ۱۰-۳-۶، در دو انتهای تیر، تعبیه مهار جانبی در فاصله‌ای بین انتهای ناحیه کاهش یافته تا نصف عمق تیر بعد از آن، الزامی است. در قاب‌های خمشی با دال بتنی سازه‌ای، در صورتی که تیرها در فاصله بین دو ناحیه حفاظت شده دارای برشگیرهای فولادی مدفون در بتن به فاصله حداکثر برابر ۳۰۰ میلی‌متر باشند، تعبیه مهارهای جانبی در محل‌های مذکور الزامی نیست.

- (۵) اتصال بال‌های تیر به بال ستون باید از طریق جوش نفوذی با نفوذ کامل صورت گیرد. برای این جوش رعایت ضابطه طراحی خاصی الزامی نیست.

- (۶) اتصال جان تیر به بال ستون باید از طریق جوش نفوذی با نفوذ کامل صورت گیرد. در این حالت برای این جوش رعایت ضابطه طراحی خاصی الزامی نیست. در قاب‌های خمشی متوسط، اتصال جان تیر به بال ستون می‌تواند از طریق یک ورق تک پیچ‌شده به جان تیر نیز صورت گیرد. در این‌گونه موارد اتصال ورق تک به جان تیر باید از نوع اصطکاکی با سوراخ استاندارد، یا سوراخ استاندارد در یکی و سوراخ لوبیایی کوتاه در امتداد موازی با محور تیر در دیگری، و اتصال آن به بال ستون از نوع نفوذی یا جوش گوشه دو طرفه باشد. در این حالت مقاومت برشی مورد نیاز اتصال باید براساس الزامات بند ۱۰-۳-۸-۳ تعیین شود. ضخامت جوش‌های گوشه طرفین ورق تک به بال ستون باید حداقل برابر  $0.75$  ضخامت ورق تک و ضخامت ورق تک باید حداقل برابر ۱۰ میلی‌متر باشد.

- (۷) جرم واحد طول تیر نباید از ۴۵۰ کیلوگرم تجاوز نماید.

- (۸) عمق مقطع تیر نباید از ۱۰۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

- (۹) ضخامت بال مقطع تیر نباید از ۵۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

- (۱۰) عمق مقطع ستون‌های H شکل و صلیبی نباید از ۱۰۰۰ میلی‌متر و عمق پهنای مقطع ستون‌های قوطی شکل ساخته‌شده از ورق نباید از ۷۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

- (۱۱) نسبت دهانه آزاد تیر به عمق مقطع آن نباید از ۷ در قاب‌های خمشی ویژه و از ۵ در قاب‌های خمشی متوسط کمتر در نظر گرفته شود.

- (۱۲) در ناحیه کاهش یافته تیر محدودیت‌های زیر باید تأمین شوند.

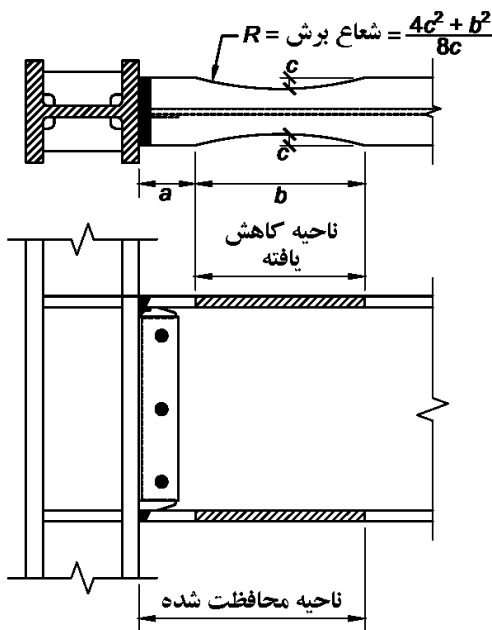
$$R = (4c^2 + b^2) / 8c \quad (1-13-3-10)$$

$$0.5 b_{bf} \leq a \leq 0.75 b_{bf} \quad (2-13-3-10)$$

$$0.65 d \leq b \leq 0.85 d \quad (3-13-3-10)$$

$$0.1 b_{bf} \leq c \leq 0.25 b_{bf} \quad (4-13-3-10)$$

- (۱۳) ستون‌ها و تیرها شامل ناحیه کاهش یافته باید دارای مقاومت کافی در برابر کلیه ترکیبات بارگذاری به استثنای ترکیبات بار زلزله تشدید یافته باشند. همچنین در کنترل تغییرمکان جانبی نسبی طبقه باید اثرات مقطع کاهش یافته لحاظ شود. در کنترل تغییرمکان جانبی نسبی طبقه بجای مدل‌سازی ناحیه کاهش یافته می‌توان تغییرمکان جانبی نسبی را در حالتی که ناحیه کاهش یافته لحاظ نشده است با ضریب  $1/1$  برای حالت نظیر  $c = 0.25 b_{bf}$  تشدید نمود. برای سایر مقادیر  $c$  می‌توان از تناسب بین آنها و  $c = 0.25 b_{bf}$  بهره برد.



ب) فقط برای قاب‌های خمشی متوسط

شکل ۱-۱۳-۳-۱۰ اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته (RBS)

۴۸- در قاب خمشی فولادی با اتصال گیردار مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته (اتصال از پیش تاییدشده)، اگر عرض ناحیه کاهش یافته تیر 30 درصد پهنای بال آن بوده ( $C=0.15 b_f$ ) و تغییرمکان جانبی نسبی طبقه بدون لحاظ کاهش مقطع تیر برابر 50 میلی متر محاسبه شده باشد، تغییرمکان جانبی نسبی طبقه با لحاظ اثر کاهش عرض مقطع تیر به طور تقریبی چقدر می تواند در نظر گرفته شود؟ فرض کنید به این منظور، از مدل سازی ناحیه کاهش یافته استفاده نشود.

53 mm (۴)

50 mm (۳)

44 mm (۲)

57 mm (۱)

$$\Delta = 50 \left( \frac{0.15}{0.25} \times 0.1 + 1 \right) = 53 \text{ mm}$$

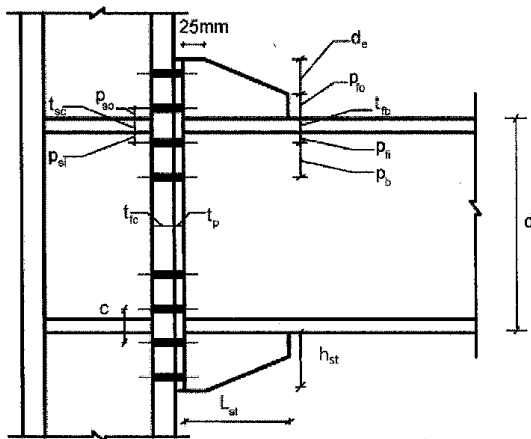
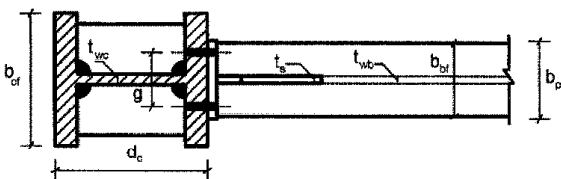
جدول ۱۰-۳-۱۳-۲ محدودیت‌های ابعادی اتصالات گیردار فلنجی

BSEEP				BUEEP		پارامتر
هشت پیچی		چهار پیچی		حداقل (mm)	حداکثر (mm)	
حداکثر (mm)	حداقل (mm)	حداکثر (mm)	حداقل (mm)	حداکثر (mm)	حداقل (mm)	$t_{bf}$
۳۰	۱۵	۲۵	۱۰	۲۵	۱۰	$b_{bf}$
۳۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۱۵۰	$d$
۱۰۰۰	۴۴۰	۷۰۰	۳۴۰	۱۴۰۰	۳۴۰	$t_p$
۷۰	۲۰	۵۰	۱۲	۶۰	۱۲	$b_p$
۴۰۰	۲۴۰	۳۰۰	۱۸۰	۳۰۰	۱۸۰	$g$
۲۰۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۰۰	۱۶۰	۱۰۰	$p_{fi}, p_{fo}$
۵۰	۴۰	۱۵۰	۵۰	۱۲۰	۳۵	$p_b$
۱۰۰	۹۰	-	-	-	-	

در جدول فوق:

- $b_{bf}$  = پهنای بال تیر  
 $b_p$  = پهنای ورق انتهایی  
 $t_{bf}$  = ضخامت بال مقطع تیر  
 $t_p$  = ضخامت ورق انتهایی  
 $d$  = عمق تیر متصل شونده به ورق انتهایی  
 $g$  = فاصله افقی بین دو ردیف قائم پیچ  
 $p_b$  = فاصله قائم بین دو ردیف پیچ در هر دو طرف بال تیر در اتصال فلنجی هشت پیچی  
 $p_{fi}$  = فاصله قائم بین نزدیکترین ردیف پیچ داخلی تا بر بال کششی تیر  
 $p_{fo}$  = فاصله قائم بین نزدیکترین ردیف پیچ بیرونی تا بر بال کششی تیر

ستون اجتناب شود.



ت) هندسه اتصال فلنجی هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی

شکل ۱۰-۳-۱۳-۲ اتصال گیردار فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی (BUEEP) و

اتصال گیردار فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی (BSEEP)

۱۰-۳-۱۳-۳ اتصال گیردار فلنجی بدون استفاده از ورق لچکی (BUEEP) و اتصال گیردار

فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی (BSEEP)

(۱) در دو انتهای تیر، تعبیه سوراخ‌های دسترسی برای انجام جوش نفوذی بال تیر به ورق انتهایی مجاز نمی‌باشد.

(۲) در دو انتهای تیر، ناحیه محافظت شده باید به شرح زیر در نظر گرفته شود.

- در اتصال فلنجی بدون استفاده از ورق لچکی برابر کوچکترین دو مقدار عمق تیر و سه برابر پهنای بال تیر از برستون

- در اتصال فلنجی با استفاده از ورق لچکی برابر طول لچکی بعلاوه کوچکترین دو مقدار نصف عمق تیر و سه برابر پهنای بال تیر، از برستون

(۳) محل تشکیل مفصل پلاستیک ( $S_{pl}$ ) باید برابر کوچکترین دو مقدار  $d/2$  و  $3b_{bf}$  از برستونبرای اتصالات فلنجی بدون استفاده از ورق‌های لچکی و برابر  $(L_{st} + t_p)$  از برستون برایاتصالات فلنجی با استفاده از ورق‌های لچکی در نظر گرفته شود. که در آن  $d$  عمق تیر،  $b_{bf}$ پهنای بال تیر،  $t_p$  طول ورق لچکی در روی بال تیر و  $t_b$  ضخامت ورق انتهایی است.

(۴) تیرها باید دارای مهار جانبی مطابق الزامات بخش ۱۰-۳-۶ باشند. علاوه بر الزامات بخش

۱۰-۳-۶ در دو انتهای تیر تعبیه مهار جانبی در فاصله‌ای بین انتهای ناحیه محافظت شده تا

نصف عمق تیر بعد از آن الزامی است. در قاب‌های خمشی با دال بتنی سازه‌ای، در صورتی که

تیرها در فاصله بین دو انتهای محافظت شده دارای برشگیرهای فولادی مدفون در بتن به

فاصله حداکثر برابر ۳۰۰ میلی‌متر باشند، تعبیه مهار جانبی در محل‌های مذکور الزامی نیست.

(۵) در قاب‌های خمشی با دال بتنی سازه‌ای، در فاصله  $1/5$  برابر عمق تیر از برستون، تعبیه

برشگیر در روی بال فوقانی تیر مجاز نمی‌باشد. همچنین در فاصله حداقل برابر ۲۵ میلی‌متر از

طریق مصالح اعطاف‌پذیر (نظیر یونولیت) باید از اتصال دال بتنی به هر دو طرف هر دو بال

(۶) پهنای ورق انتهایی نباید از بال تیر متصل شونده به آن کوچکتر در نظر گرفته شود. همچنین

پهنای موثر ورق انتهایی نباید از بال تیر متصل شونده بعلاوه ۲۵ میلی‌متر بزرگتر در نظر گرفته شود.

(۷) ورق‌های لچکی باید در امتداد جان تیر و در وسط ورق انتهایی تعبیه شوند. طول ورق‌های

لچکی نباید از  $1/75 h_{st}$  کوچکتر در نظر گرفته شود که در آن  $h_{st}$  ارتفاع لچکی‌ها در امتداد

محور ستون می‌باشد. ورق‌های لچکی در روی بال تیر و نیز در انتهای ورق انتهایی باید حدوداً

۲۵ میلی‌متر برش عمودی داشته و سپس به صورت مورب بریده شوند. ضخامت ورق‌های لچکی

نباید کمتر از ضخامت جان مقطع تیر در نظر گرفته شود. لچکی‌ها باید دارای شرایط

$$h_{st}/t_s \leq 0.156 \sqrt{E/F_y}$$

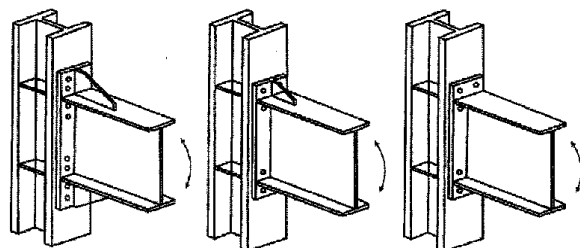
(۸) بکار بردن ورق‌های پرکننده انگشتی در بالا و پایین ورق انتهایی مجاز است.

(۱۵) عمق مقطع ستون‌های با مقطع H شکل و صلیبی نباید از ۱۰۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

(۱۶) ابعاد و ضخامت ورق انتهایی و نیز مشخصات و تعداد پیچ‌های اتصال ورق انتهایی به بال ستون

باید بر اساس مقاومت‌های خمشی و برشی مورد نیاز اتصال تیر به ستون (مطابق الزامات بند

۱۰-۳-۸-۳-۱۰) تعیین شود. در تعیین مقاومت‌های طراحی وسایل اتصال ضریب کاهش

مقاومت ( $\phi$ ) را برای طراحی پیچ‌ها، کنترل لهیدگی و گسیختگی کششی و برش قالبی ورقانتهایی، می‌توان برابر  $0.9$  و برای کنترل خمش و برش در ورق انتهایی برابر یک در نظر گرفت.

الف) چهار پیچی بدون ورق سخت‌کننده ب) چهار پیچی با ورق سخت‌کننده پ) هشت پیچی با ورق سخت‌کننده

## ۱۰-۳-۱۳-۴ اتصال گیردار پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (BFP)

علاوه بر تأمین الزامات عمومی بخش ۱۰-۳-۱۳-۱، اتصالات گیردار پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (شکل ۱۰-۳-۱۳-۳) باید دارای شرایط زیر باشند.

(۱) در دو انتهای تیر تعبیه سوراخ دسترسی برای انجام جوشکاری مجاز نمی‌باشد.

(۲) در دو انتهای تیر، ناحیه محافظت شده باید برابر فاصله از بر ستون تا دورترین ردیف پیچ در روی بال تیر نسبت به بر ستون به علاوه عمق تیر در نظر گرفته شود.

(۳) محل تشکیل مفصل پلاستیک ( $S_H$ ) در روی تیر باید در محل دورترین ردیف پیچ در روی بال تیر نسبت به بر ستون، در نظر گرفته شود.

(۴) تیرها باید دارای مهارجانبی مطابق الزامات بخش ۱۰-۳-۶ باشند. علاوه بر الزامات بخش ۱۰-۳-۶، در دو انتهای تیر، تعبیه مهارجانبی در فاصله‌ای بین انتهای ناحیه محافظت شده تیر تا نصف عمق تیر بعد از آن الزامی است. در قاب‌های خمشی با دال بتنی سازه‌ای در صورتی که تیرها در فاصله بین دو ناحیه محافظت شده دارای برشگیرهای فولادی مدفون در بتن به فاصله حداکثر برابر ۳۰۰ میلی‌متر باشند، تعبیه مهارجانبی در محل‌های مذکور الزامی نیست.

(۵) در قاب‌های خمشی ویژه با دال بتنی سازه‌ای و دارای برشگیرهای فولادی مدفون در بتن، در فاصله حداقل برابر ۲۵ میلی‌متر از طریق مصالح انعطاف‌پذیر (نظیر یونولیت) باید از اتصال دال بتنی به هر دو طرف هر دو بال ستون جلوگیری به عمل آید.

(۶) استفاده از ورق‌های پرکننده به ضخامت مجموعاً ۶ میلی‌متر بین ورق‌های اتصال و بال تیر مجاز است.

(۷) اتصال ورق‌های روسری و زیرسری به بال ستون باید از نوع جوش نفوذی با نفوذ کامل و به بال‌های تیر از نوع پیچی با قطر پیچ حداکثر برابر ۲۷ میلی‌متر باشد. در صورت استفاده از تسمه پشت‌بند در پشت جوش نفوذی تسمه‌های پشت‌بند باید پس از انجام جوشکاری برداشته شوند.

(۸) اتصال ورق تکی جان به بال ستون باید از نوع نفوذی با نفوذ کامل یا جوش گوشه دو طرفه باشد. ضخامت جوش‌های گوشه در هر دو طرف نباید از  $0.8t_w$  یا  $t_w$  ضخامت ورق تکی جان است و ۸ میلی‌متر کمتر در نظر گرفته شود.

(۹) اتصال ورق تکی جان به جان تیر باید از نوع پیچی و دارای سوراخ لوبیایی کوتاه افقی باشد.

(۱۰) جرم واحد طول تیر نباید از ۲۵۰ کیلوگرم تجاوز نماید

(۱۱) عمق مقطع تیر نباید از ۱۰۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

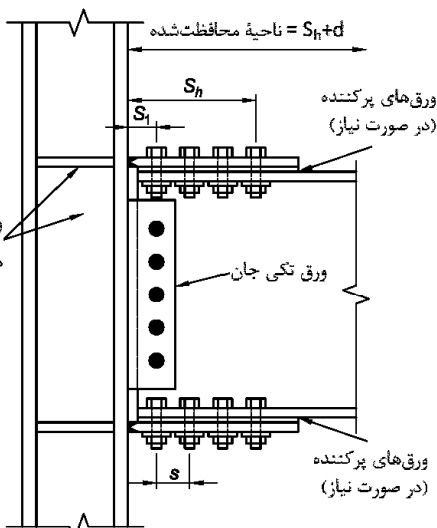
(۱۲) ضخامت بال مقطع تیر نباید از ۳۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

(۱۳) نسبت دهانه آزاد تیر به عمق مقطع آن نباید از ۹ در قاب‌های خمشی ویژه و از ۷ در قاب‌های خمشی متوسط کمتر در نظر گرفته شود.

(۱۴) عمق مقطع ستون‌های H شکل و صلیبی در قاب‌های خمشی با دال بتنی سازه‌ای و دارای برشگیر فولادی مدفون در بتن نباید از ۱۰۰۰ میلی‌متر و در غیاب دال بتنی سازه‌ای از ۴۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید. عمق و پهناي مقطع ستون‌های قوطی شکل ساخته شده از ورق نباید از ۷۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

(۱۵) ابعاد و ضخامت ورق‌های روسری و زیرسری و نیز مشخصات و تعداد پیچ‌های اتصال این ورق‌ها به بال تیر باید بر اساس مقاومت خمشی مورد نیاز اتصال تیر به ستون (مطابق الزامات بند ۱۰-۳-۸-۳-پ) تعیین شود. در تعیین مقاومت‌های طراحی بر اساس الزامات فصل ۱۰-۲، ضریب کاهش مقاومت ( $\phi$ ) را برای طراحی پیچ‌ها، کنترل لهدیگی، کنترل گسیختگی کششی و برش قالبی می‌توان برابر  $0.9$  و برای کنترل کشش در ورق‌های روسری و زیرسری برابر یک در نظر گرفت.

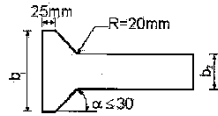
(۱۶) ابعاد و ضخامت ورق تکی جان و نیز مشخصات و تعداد پیچ‌های اتصال این ورق به جان تیر باید بر اساس مقاومت برشی مورد نیاز اتصال تیر به ستون (مطابق الزامات بند ۱۰-۳-۸-۳-پ) تعیین شود. مقاومت‌های اسمی و ضریب کاهش مقاومت ( $\phi$ ) ورق تکی جان و پیچ‌های نظیر آن باید بر اساس الزامات فصل ۱۰-۲ تعیین شود.



شکل ۱۰-۳-۱۳-۳ اتصال گیردار پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (BFP)

## ۱۰-۳-۱۳-۵ اتصال گیردار جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (WFP)

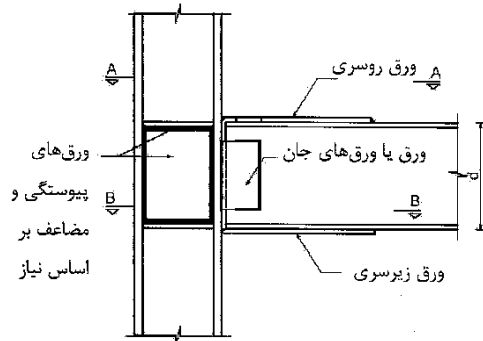
کاربرد اتصالات گیردار جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (شکل ۱۰-۳-۱۳-۴)، فقط به قاب‌های خمشی متوسط محدود می‌شود. در این نوع اتصالات علاوه بر الزامات عمومی بخش ۱۰-۳-۱۳-۱، باید الزامات زیر تأمین گردد.



$\beta$  = ضریب بازرسی جوش ورق روسری



مقطع A-A



مقطع B-B

شکل ۱۰-۳-۱۳-۴ اتصال گیردار جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (WFP)

- (۱) در دو انتهای تیر، تعبیه سوراخ‌های دسترسی برای انجام جوشکاری مجاز نمی‌باشد.
- (۲) در دو انتهای تیر، ناحیه محافظت‌شده باید برابر فاصله از بر ستون تا انتهای ورق‌های روسری و زیرسری (هر کدام که بزرگتر است) بعلاوه نصف عمق تیر بعد از آن، در نظر گرفته شود.
- (۳) محل تشکیل مفصل پلاستیک ( $S_H$ ) در روی تیر باید در محل انتهای ورق‌های روسری و زیرسری (هر کدام که بزرگتر است)، در نظر گرفته شود.

- (۴) تیرها باید دارای مهار جانبی مطابق الزامات بخش ۱۰-۳-۶ باشند. علاوه بر الزامات بخش ۱۰-۳-۶ در دو انتهای تیر، تعبیه مهار جانبی در فاصله بین انتهای ناحیه محافظت شده تا نصف عمق تیر بعد از آن الزامی است. در قاب‌های خمشی با دال بتنی سازه‌ای در صورتی که تیرها در فاصله بین دو ناحیه محافظت شده دارای برشگیرهای فولادی مدفون در بتن به فاصله حداکثر ۳۰۰ میلی‌متر باشند، تعبیه مهار جانبی در محل‌های مذکور الزامی نیست.
- (۵) اتصال ورق‌های روسری و زیرسری به بال ستون باید از نوع جوش نفوذی با نفوذ کامل و به بال‌های تیر از نوع جوش گوشه باشد. در صورت استفاده از تسمه‌های پشت‌بند در پشت جوش‌های نفوذی، تسمه‌های پشت‌بند باید پس از انجام جوشکاری برداشته شوند.

- (۶) اتصال ورق (یا ورق‌های) جان به بال ستون باید از نوع جوش نفوذی با نفوذ کامل یا جوش گوشه باشد. در صورت استفاده از ورق تکی جان، جوش گوشه باید دو طرفه باشد.
- (۷) اتصال ورق (یا ورق‌های) جان به جان تیر باید از نوع جوش گوشه باشد.

(۸) عمق مقطع تیر نباید از ۹۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

(۹) ضخامت بال مقطع تیر نباید از ۳۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

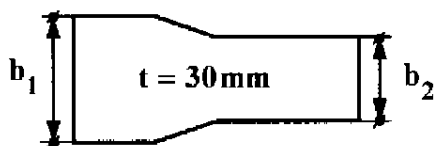
(۱۰) نسبت دهانه آزاد تیر به عمق مقطع آن نباید از ۵ کمتر در نظر گرفته شود.

(۱۱) عمق مقطع ستون‌های H شکل و صلیبی در قاب‌های خمشی با دال بتنی سازه‌ای و دارای برشگیرهای فولادی مدفون در بتن، نباید از ۹۰۰ میلی‌متر و در غیاب دال بتنی سازه‌ای از ۴۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید. عمق و پهناى ستون‌های قوطی‌شکل ساخته‌شده از ورق نباید از ۷۰۰ میلی‌متر تجاوز نماید.

(۱۲) ابعاد و ضخامت ورق‌های روسری و زیرسری و نیز مشخصات جوش‌های آنها به بال‌های تیر باید بر اساس مقاومت خمشی مورد نیاز اتصال تیر به ستون (مطابق الزامات بند ۱۰-۳-۸-۳-پ) تعیین شود. در تعیین مقاومت‌های طراحی بر اساس الزامات فصل ۲-۱۰، ضریب کاهش مقاومت ( $\phi$ ) را برای تعیین مشخصات جوش می‌توان برابر ۰/۹ و برای تعیین ضخامت ورق‌های روسری و زیرسری برابر یک در نظر گرفت.

(۱۳) ابعاد و ضخامت ورق (یا ورق‌های جان) و نیز جوش آن یا آنها به بال ستون و جان تیر باید بر اساس مقاومت برشی مورد نیاز اتصال تیر به ستون (مطابق الزامات بند ۱۰-۳-۸-۳-پ) تعیین شود. مقاومت‌های اسمی و ضریب کاهش مقاومت ورق (یا ورق‌های) جان و جوش‌های آن (یا آن‌ها) باید بر اساس الزامات فصل ۲-۱۰ تعیین شود.

۵۳- در یک اتصال گیردار با شکل پذیری متوسط و با استفاده از ورق رو سری «شکل زیر» و ورق زیر سری که فقط ورق‌ها به ستون متصل می‌شوند (تیر به ستون متصل نمی‌شود)، نیروی کششی ناشی از لنگر خمشی برابر  $600 \text{ kN}$  می‌باشد. در صورتی که ضریب بازرسی جوش  $0.85$  باشد، حداقل عرض  $b_1$  و  $b_2$ ، چند  $\text{mm}$  است؟  $f_y = 240 \text{ MPa}$



$$(1) \quad b_2 = 140 \text{ و } b_1 = 160$$

$$(2) \quad b_2 = 135 \text{ و } b_1 = 160$$

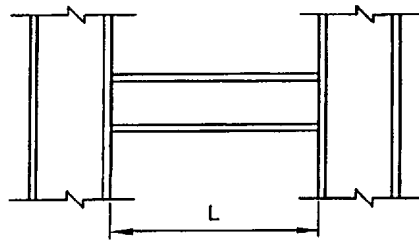
$$(3) \quad b_2 = 135 \text{ و } b_1 = 165$$

$$(4) \quad b_2 = 140 \text{ و } b_1 = 165$$





۱۴- تیر شکل زیر مربوط به یک قاب خمشی فولادی ویژه بوده و اتصال آن از نوع WUF-W است. مقاومت برشی مورد نیاز این تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک تر است؟ (فرض کنید وزن واحد طول تیر و نیز بارهای ثقلی وارد بر آن ناچیز است. همچنین فرض کنید تیر و ستون‌ها از ورق ساخته شده‌اند.  $M_p$  لنگر پلاستیک مقطع تیر می‌باشد.)



$$2.00 \frac{M_p}{L} \quad (۱)$$

$$2.30 \frac{M_p}{L} \quad (۲)$$

$$1.15 \frac{M_p}{L} \quad (۳)$$

$$3.22 \frac{M_p}{L} \quad (۴)$$

گزینه ۴

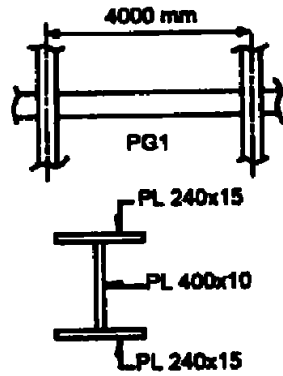
$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L} = \frac{2(C_{pr}R_yM_p)}{L} = \frac{2(1.4 \times 1.15M_p)}{L} = 3.22 \frac{M_p}{L}$$

۱۰-۳-۱۳-۶ اتصال گیردار تقویت نشده جوشی (WUF-W)

(۳) محل تشکیل مفصل پلاستیک ( $S_h$ ) در روی تیر باید در محل بر ستون در نظر گرفته شود ( $S_h=0$ ).

(۱۲) در این گونه اتصالات ضریب  $C_{pr}$  باید برابر  $1/4$  در نظر گرفته شود.

۳۹- یک مهندس محاسب در طراحی یک سازه فولادی با قاب خمشی ویژه چند طبقه که دارای دهانه‌هایی به طول 4 متر است (محور به محور)، از تیر ورق PG1 با مقطع نشان داده شده استفاده کرده است. اگر ابعاد بیرونی ستونهای قوطی این سازه 450×450 میلی‌متر باشد، برای اتصال از پیش تأیید شده تیر به ستون، کدام گزینه را پیشنهاد می‌کنید؟ هم مسائل فنی و هم سهولت اجرایی مدنظر باشد. فرض کنید کلیه تیرهای منتهی به هر چهار وجه ستون‌ها دارای اتصال گیردار کامل هستند.



۱) اتصال گیردار تقویت نشده جوشی (WUF-W)

۲) اتصال گیردار فلنجی هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی (BSEEP)

۳) اتصال گیردار جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (WFP)

۴) اتصال گیردار پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (BFP)

گزینه ۱ صحیح است.

گزینه ۲: در این نوع اتصال d تیر باید بین 440 mm تا 1000 mm باشد. d تیر مربوط به سوال برابر 430 mm می‌باشد و نمی‌توان از این نوع اتصال استفاده کرد.

گزینه ۳: استفاده از اتصال WFP در قابهای با شکل پذیری ویژه غیر مجاز است.

گزینه ۴: نسبت طول دهانه آزاد تیر به عمق تیر  $8.25 = \frac{4000-450}{430}$  می‌باشد که کمتر از مقدار مجاز آن برای اتصال BFP می‌باشد.

جدول ۱۰-۳-۲ محدودیت‌های ابعادی اتصالات گیردار فلنجی

BSEEP		BUEEP		BUEEP		پارامتر
هشت پیچی	چهار پیچی	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	
حداکثر (mm)	حداقل (mm)	حداکثر (mm)	حداقل (mm)	حداکثر (mm)	حداقل (mm)	$t_{bf}$
۳۰	۱۵	۲۵	۱۰	۲۵	۱۰	$b_{bf}$
۳۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۱۵۰	۲۵۰	۱۵۰	d
۱۰۰۰	۴۴۰	۷۰۰	۳۴۰	۱۴۰۰	۳۴۰	$t_p$
۷۰	۲۰	۵۰	۱۲	۶۰	۱۲	$b_p$
۴۰۰	۲۴۰	۳۰۰	۱۸۰	۳۰۰	۱۸۰	g
۲۰۰	۱۵۰	۱۶۰	۱۰۰	۱۶۰	۱۰۰	$P_{fit}, P_{fo}$
۵۰	۴۰	۱۵۰	۵۰	۱۲۰	۳۵	$P_b$
۱۰۰	۹۰	-	-	-	-	

جدول ۱۰-۳-۱ انواع اتصالات گیردار از پیش تأیید شده

ردیف	نوع اتصال	مخفف	نوع سیستم سازه‌ای قابل کاربرد	بخش مربوطه
۱	اتصال مستقیم تیر با مقطع کاهش یافته	RBS	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۲-۱۳-۳-۱۰)
۲	اتصال فلنجی چهار پیچی بدون استفاده از ورق لچکی	BUEEP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۳-۱۳-۳-۱۰)
۳	اتصال فلنجی چهار یا هشت پیچی با استفاده از ورق لچکی	BSEEP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۳-۱۳-۳-۱۰)
۴	اتصال پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری	BFP	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۴-۱۳-۳-۱۰)
۵	اتصال جوشی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری	WFP	قاب‌های خمشی متوسط	(۵-۱۳-۳-۱۰)
۶	اتصال مستقیم تقویت نشده جوشی	WUF-W	قاب‌های خمشی متوسط و ویژه	(۶-۱۳-۳-۱۰)

۱۰-۳-۳-۴ اتصال گیردار پیچی به کمک ورق‌های روسری و زیرسری (BFP)

(۱۳) نسبت دهانه آزاد تیر به عمق مقطع آن نباید از ۹ در قاب‌های خمشی ویژه و از ۷ در قاب‌های خمشی متوسط کمتر در نظر گرفته شود.

## ۱۸-۱۰- بادبند همگرای معمولی

۱۰-۳-۱۰ الزامات تکمیلی طراحی لرزه ای قاب های مهاربندی شده همگرای معمولی

۱۰-۳-۱۰-۱ الزامات عمومی

الف) پیکربندی مهاربندی های مجاز در این نوع قاب ها شامل مهاربندی های قطری، ضربدری و مهاربندی های به شکل ۷ و ۸ می باشند. استفاده از مهاربندی های به شکل K در این نوع قاب ها مجاز نمی باشد.

ب) در این نوع قاب ها نیروی جانبی باید بین کلیه مهاربندی های کششی و فشاری توزیع شود و مهاربند ها باید برای حداکثر نیروی ایجاد شده در آنها طراحی شوند. طراحی مهاربند های قطری و ضربدری در قاب های مهاربندی شده همگرای معمولی به صورت کششی تنها نیز مجاز است.

پ) مقاطع اعضای مهاربندی ها و تیرهای نظیر دهانه های مهاربندی شده در مهاربندی های از نوع ۷ و ۸ باید از نوع فشرده لرزه ای با محدودیت نسبت پهنا به ضخامت برابر  $\lambda_{md}$  مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۴ و مقاطع کلیه ستون ها و تیرهای نظیر دهانه های مهاربندی شده در مهاربندی های از نوع قطری و ضربدری باید فشرده باشند.

## ۱۰-۳-۱۰-۲ مهاربندی های به شکل ۷ و ۸

قاب های مهاربندی شده همگرای معمولی با مهاربندی های از نوع ۷ و ۸ باید دارای شرایط زیر باشند.

الف) ضریب لاغری ( $KL/r$ ) مهاربندی های از نوع ۷ و ۸ نباید از  $4\sqrt{E/F_y}$  تجاوز نماید.

ب) تعبیه سوراخ های متوالی در جان تیرهای دهانه های مهاربندی شده با هر نوع مهاربندی (قطری، ضربدری، ۷ و ۸) مجاز نیست. در صورت لزوم به تعبیه سوراخ دسترسی در جان تیر، اطراف آن باید به نحوی تقویت گردد که مقاومت های طراحی در مقطع سوراخ دار از مقاومت های طراحی مقطع کامل تیر کمتر نباشد.

پ) مهاربندی های به شکل ۷ و ۸ ای که در محل اتصال به تیر دارای خروج از مرکزیت کمتر از ارتفاع تیر هستند، به عنوان مهاربندی های همگرا محسوب می شوند و می توانند بر اساس الزامات این بخش طراحی شوند.

ت) تیرهای دهانه های مهاربندی شده با مهاربندی های به شکل ۷ و ۸ باید قادر به تحمل نیروهای قائم حاصل از ترکیب بارهای ثقلی بدون حضور مهاربندی ها باشند.

ث) تیرهای دهانه های مهاربندی شده با مهاربندی های به شکل ۷ و ۸ باید در حد فاصل دو ستون پیوسته بوده و دارای مهار جانبی کافی برای جلوگیری از کمانش پیشگی - جانبی باشند. در هر صورت، وجود حداقل یک جفت مهار جانبی در محل اتصال مهاربندی ها به تیر الزامی است.

ج) تیرهای دهانه های مهاربندی شده با مهاربندی های به شکل ۷ و ۸ و اتصالات آنها به ستون باید قادر به تحمل نیروهای نامتعادل ناشی از زلزله در ترکیب با بارهای ثقلی ضربدار باشند. برای منظور کردن اثر توزیع نامتعادل نیروهای مهاربندی های کششی و فشاری ناشی از زلزله، تیرهای دهانه های مهاربندی شده باید با در نظر گرفتن تعادل استاتیکی بارهای ثقلی ضربدار که با نیروی زلزله ترکیب می شوند و اثرات لرزه ای ناشی از نیروهای زیر در مهاربندی ها محاسبه شوند.

- نیروی لرزه ای مهاربند کششی کمترین دو مقدار  $R_y F_y A_g$  و نیروی کششی ناشی از ترکیبات بار زلزله تشدید یافته، که در آن،  $R_y =$  نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم فولاد مهاربندی،  $F_y =$  تنش تسلیم فولاد مهاربندی و  $A_g =$  سطح مقطع کلی عضو مهاربندی است.
- نیروی لرزه ای مهاربند فشاری برابر  $0.33 P_n$  که در آن  $P_n$  مقاومت فشاری اسمی مهاربند فشاری است.

## ۱۰-۳-۱۰-۳ اتصالات مهاربندی ها

مقاومت مورد نیاز اتصالات مهاربندی ها در قاب های مهاربندی شده همگرای معمولی نباید از یکی از دو مقدار (الف) و (ب) این بند کمتر در نظر گرفته شود.

الف) مقاومت کششی مورد انتظار اعضای مهاربندی برابر  $R_y F_y A_g$  که در آن  $R_y$  نسبت تنش تسلیم مورد انتظار به حداقل تنش تسلیم فولاد مهاربند،  $F_y$  تنش تسلیم فولاد مهاربند و  $A_g$  سطح مقطع کلی عضو مهاربندی است.

ب) بیشترین نیروی محوری حاصل از ترکیبات بار زلزله تشدید یافته در مهاربندی ها.

## ۱۸-۱۱- باد بند همگرای ویژه

## ۱۰-۳-۱۱ الزامات تکمیلی طراحی لرزه ای قاب های مهاربندی شده همگرای ویژه

## ۱۰-۳-۱۱-۱ الزامات عمومی

الف) پیکربندی مهاربندی های مجاز در این نوع قاب ها شامل مهاربندی های قطری، ضربدری و مهاربندی های به شکل Y و A می باشند. استفاده از مهاربندی های به شکل K در این نوع قاب ها مجاز نیست.

ب) مقاطع اعضای مهاربندی ها و ستون های نظیر دهانه های مهاربندی شده باید از نوع فشرده لرزه ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر  $\lambda_{hd}$  مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۴ و مقاطع تیرهای دهانه های مهاربندی شده باید از نوع فشرده لرزه ای با محدودیت حداکثر نسبت پهنا به ضخامت برابر  $\lambda_{md}$  مطابق مقادیر جدول ۱۰-۳-۴ و مقاطع بقیه ستون ها باید فشرده باشند.

پ) در قاب های مهاربندی شده همگرا، نیروی جانبی باید بین کلیه مهاربندی های کششی و فشاری توزیع شود و مهاربندی ها باید برای حداکثر نیروی ایجاد شده در آنها تحت اثر ترکیبات بار متعارف طراحی شوند. در قاب های مهاربندی شده همگرای ویژه طراحی مهاربندی ها به صورت کششی تنها مجاز نمی باشد.

ت) مهاربندی ها در امتداد هر محور در هر طبقه باید طوری در نظر گرفته شوند که در هر راستای بارگذاری حداقل ۳۰ درصد و حداکثر ۷۰ درصد نیروی جانبی سهم آن محور در کشش تحمل شود، مگر آن که اعضای مهاربندی های فشاری دارای مقاومتی بیشتر از آنچه تحلیل سازه برای بار زلزله از جمله ترکیبات بار تشدید یافته نشان می دهد، باشند. منظور از محور مهاربندی در این بند، یک یا چند محور مهاربندی شده مستقیم موازی است که به فاصله ای کمتر از ۱۰ درصد بُعد ساختمان در پلان، در جهت عمود بر محور، از یکدیگر قرار گرفته باشند.

ث) ضریب لاغری ( $KL/I$ ) مهاربندی های فشاری در قاب های مهاربندی شده با هر نوع مهاربندی (قطری، ضربدری، Y و A)، نباید از ۲۰۰ تجاوز نماید.

ج) در مهاربندی های با مقطع ساخته شده (تشکیل شده از چند نیمرخ و اتصال دهنده ها)، فاصله اتصال دهنده های اعضا باید به گونه ای انتخاب شوند که نسبت لاغری ( $B/I_i$ ) که در آن a فاصله اتصال دهنده ها از یکدیگر و  $I_i$  شعاع ژیراسیون حداقل تک نیمرخ است) هر عضو ما بین اتصال دهنده ها از ۰/۴ برابر ضریب لاغری حاکم عضو ساخته شده بیشتر نشود. مجموع مقاومت های برشی طراحی اتصال دهنده ها باید برابر یا بیشتر از مقاومت کششی طراحی هر عضو باشد. فاصله اتصال دهنده ها باید به طور یکنواخت اختیار شده و تعداد آنها در طول عضو از دو عدد کمتر نباشد. اتصال دهنده ها نباید در یک سوم میانی طول آزاد مهاربندی ها تعبیه شوند. در مواردی که کمانش مهاربندی ها حول محور بحرانی کمانش ایجاد برش در اتصال دهنده ها نمی شود، رعایت شرط  $B/I_i \leq 0.4(KL/I)_{max}$  برای تک تک اعضا الزامی نیست.

چ) تعبیه سوراخ های متوالی در جان تیرهای دهانه های مهاربندی شده با هر نوع مهاربندی (قطری، ضربدری، Y و A) مجاز نیست. در صورت لزوم به تعبیه سوراخ دسترسی در جان تیر، اطراف آن باید به نحوی تقویت گردد که مقاومت های طراحی در مقطع سوراخ دار از مقاومت های طراحی مقطع کامل تیر کمتر نباشد.

ح) مهاربندی های Y و A ای که در محل اتصال به تیر دارای خروج از مرکزیت کمتر از ارتفاع تیر هستند، به عنوان مهاربندی های همگرا محسوب می شوند و می توانند بر اساس الزامات این بخش طراحی شوند.

خ) تیرهای دهانه های مهاربندی شده با مهاربندی های به شکل Y و A باید قادر به تحمل نیروهای قائم حاصل از ترکیب بارهای ثقیلی بدون حضور مهاربندی ها باشند.

د) تیرهای دهانه های مهاربندی شده با مهاربندی های به شکل Y و A باید در حد فاصل دو ستون پیوسته بوده و دارای مهار جانبی کافی برای جلوگیری از کمانش جانبی- پیچشی باشند. در هر صورت، وجود حداقل یک جفت مهار جانبی در محل اتصال مهاربندی ها به تیر الزامی است.

## ۲-۱۱-۳-۱۰ تیرها، ستون‌ها و اتصالات آنها

مقاومت‌های طراحی تیرها، ستون‌ها و اتصالات آنها در قاب‌های مهاربندی شده همگرای ویژه نباید از نیروهای ناشی از تحلیل‌های زیر کوچکتر در نظر گرفته شوند.

الف) تحلیلی که در آن فرض می‌شود نیروی مهاربندی‌های کششی برابر  $R_y F_y A_g$  و نیروی مهاربندی‌های فشاری برابر  $1/14 F_{cr} A_g$  می‌باشد.

ب) تحلیلی که در آن فرض می‌شود نیروی مهاربندی‌های کششی برابر  $R_y F_y A_g$  و نیروی مهاربندی‌های فشاری برابر  $0.3 \times 1/14 F_{cr} A_g$  می‌باشد.

$F_{cr}$  = تنش فشاری مورد انتظار ناشی از کمناش مطابق ضوابط بخش ۲-۱۰-۴ با این شرط که در آن بجای  $F_y$  از  $R_y F_y$  استفاده شده باشد.

## ۳-۱۱-۳-۱۰ اتصال مهاربندی‌ها

مقاومت مورد نیاز اتصالات مهاربندی‌ها، شامل اتصال تیر به ستون اگر بخشی از سیستم مهاربندی باشد، باید به شرح زیر در نظر گرفته شوند.

الف) مقاومت کششی مورد نیاز

مقاومت کششی مورد نیاز اتصالات مهاربندی‌ها باید حداقل برابر  $R_y F_y A_g$  باشد.

ب) مقاومت فشاری مورد نیاز

مقاومت فشاری مورد نیاز اتصالات مهاربندی‌ها باید حداقل  $1/14 F_{cr} A_g$  باشد.

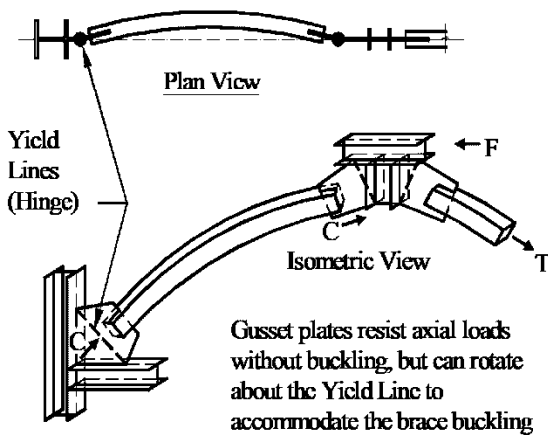
پ) سازگاری اتصال با کمناش مهاربندی‌ها

به منظور سازگاری اتصال با کمناش مهاربندی‌ها، اتصالات مهاربندی‌ها باید یکی از الزامات زیر را برآورده نمایند.

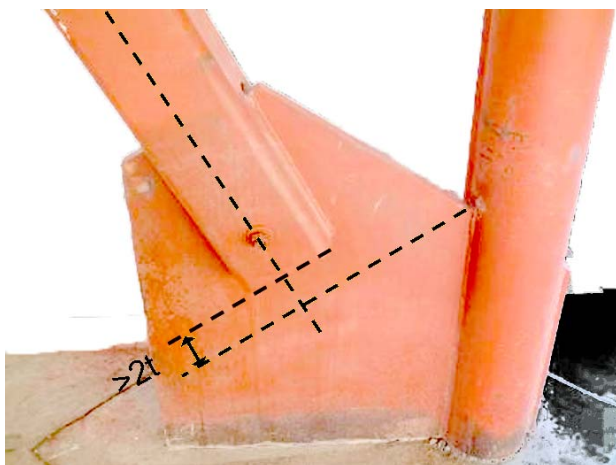
(۱) اتصال اعضای مهاربندی باید دارای مقاومت خمشی مورد نیاز حداقل برابر  $1/11 R_y M_p$  باشد که در آن،  $M_p$  لنگر خمشی پلاستیک مقطع عضو مهاربندی حول محور کمناش بحرانی مقطع است.

(۲) سازگاری با دوران غیرالاستیک حاصل از تغییر شکل‌های پس از کمناش در خارج از صفحه مهاربندی از طریق مهیا نمودن شرایط کمناش بحرانی مهاربندی در خارج از صفحه قاب و قطع مهاربندی به اندازه دو برابر ضخامت صفحه اتصال (۲۴) قبل از خط تکیه‌گاهی ورق اتصال (خط آزاد خمشی). در این مبحث رعایت ضابطه تکمیلی خاصی برای کنترل کمناش لبه آزاد ورق اتصال الزامی نیست.

در بندهای (الف) و (ب)، پارامترهای  $R_y$ ،  $F_y$ ،  $A_g$ ،  $F_{cr}$  همان تعاریفی هستند که در بند ۲-۱۱-۳-۱۰ به کار گرفته شده‌اند.



Out-Of-Plane Buckling of Braces



۲۷- برای طراحی اتصال مهاربند همگرای ویژه در یک ساختمان، مقاومت کششی مورد نیاز 900 kN و تنش فشاری مورد انتظار ناشی از کماتش 90 MPa محاسبه شده است. حداقل مقاومت فشاری مورد نیاز در این اتصال به کدامیک از مقادیر زیر نزدیکتر است؟  
مهاربندها از فولاد ST37 ( $F_u = 370 \text{ MPa}$ ,  $F_y = 240 \text{ MPa}$ ) و مقاطع ناودانی ساخته شده‌اند.

420 kN (۱)

320 kN (۲)

280 kN (۳)

350 kN (۴)

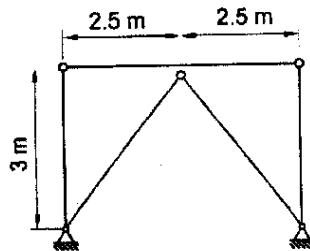
گزینه ۴

ابتدا باید سطح مقطع ناودانی ( $A_g$ ) بدست آید:

$$T = R_y F_y A_g = 900 \text{ kN} \rightarrow A_g = \frac{900000}{1.2 \times 240} = 3125 \text{ mm}^2$$

$$P = 1.1 \times 1.14 \times (90) \times A_g = 1.1 \times 1.14 \times 90 \times 3125 = 352 \text{ kN}$$

۱۹- مهاربندهای همگرای ویژه نشان داده شده در شکل زیر مربوط به یک ساختمان فولادی مقاوم در برابر زلزله، از لوله به قطر خارجی 160 mm و ضخامت 5 mm تشکیل شده است. چنانچه  $F_{cre} = 217 \text{ MPa}$  باشد، حداقل مقاومت خمشی طراحی تیر طبقه (با صرفنظر از اثر بارهای ثقلی) به کدامیک از گزینه‌های زیر نزدیکتر است؟ ( $F_y = 240 \text{ MPa}$ )



530 kN.m (۱)

700 kN.m (۲)

115 kN.m (۳)

0 kN.m (۴)

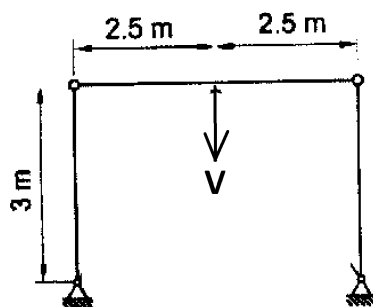
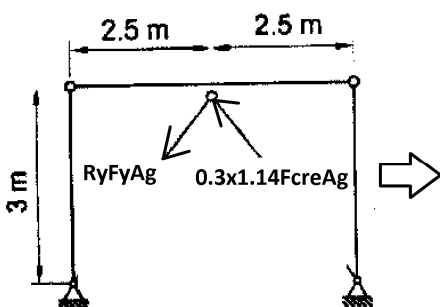
گزینه ۱

$$R_y F_y A_g = 1.25 \times 240 \times (\pi \times 80^2 - \pi \times 75^2) = 1.25 \times 240 \times 2433.5 = 730050 \text{ N} = 730 \text{ kN}$$

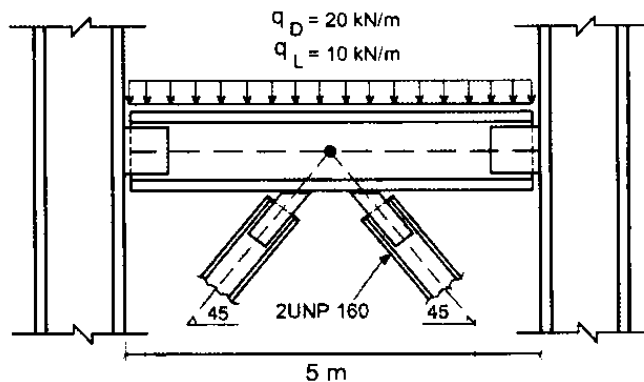
$$0.3 \times 1.14 F_{cre} A_g = 0.3 \times 1.14 \times 217 \times 2433.5 = 180.6 \text{ kN}$$

برای محاسبه لنگر وارد بر تیر، مولفه قائم این نیروها باید منظور شود:

$$V = (730 - 180.6) \frac{3}{\sqrt{3^2 + 2.5^2}} = 422 \text{ kN}$$

بنابراین تیر باید برای لنگر  $M = \frac{VL}{4} = \frac{422 \times 5}{4} = 527.5 \text{ kN.m}$  طراحی شود.

۸- در شکل روبرو یکی از دهانه‌های یک قاب ساختمانی ساده توام با مهاربندی همگرای ویژه از نوع ۸ و با کاربری مسکونی نشان داده شده است. چنانچه مقدار تنش فشاری مورد انتظار اعضای مهاربندی با مقطع دویل UNP160 ناشی از کماتش برابر  $0.9R_yF_y$  فرض شود، حداقل مقاومت خمشی مورد انتظار ( $M_u$ ) تیر به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ (تنش تسلیم فولاد اعضای مهاربندی را برابر  $240 \text{ MPa}$  در نظر بگیرید).



$$M_u = 521 \text{ kN.m (۱)}$$

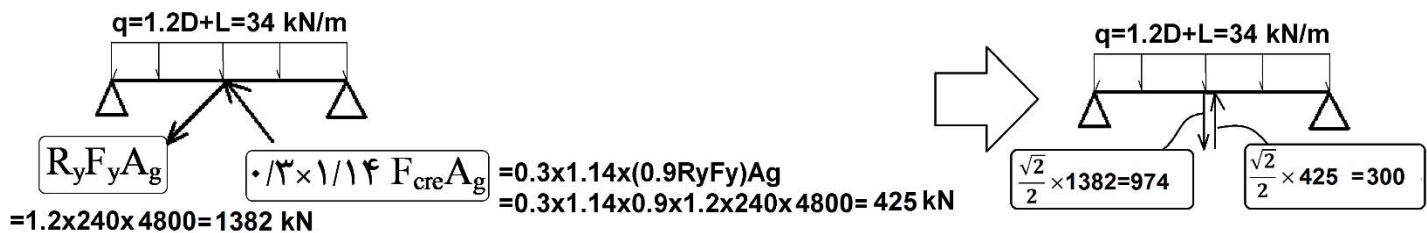
$$M_u = 940 \text{ kN.m (۲)}$$

$$M_u = 125 \text{ kN.m (۳)}$$

$$M_u = 262 \text{ kN.m (۴)}$$

گزینه ۲

مساحت جفت ناودانی برابر  $4800 \text{ mm}^2 = 2 \times 2400$  می باشد:



با توجه به شکل فوق، لنگر تیر برابر است با:

$$M_u = \frac{qL^2}{8} + \frac{(974 - 300) \times L}{4} = 34 \times \frac{5^2}{8} + \frac{(674) \times 5}{4} = 948 \text{ kN.m}$$



۲۸- در یک قاب مهاربندی شده همگرای ویژه با شکل هشت ۸، طول دهانه تیر ۱۲ متر و ارتفاع طبقه ۴.۵ متر است. چنانچه در طراحی به روش حالات حدی در اثر توزیع نامتعادل نیروهای قطری ناشی از زلزله نیروی قطری کششی برابر  $A_g F_{ye} = 2500 \text{ kN}$  و نیروی قطری فشاری برابر  $F_{cr} A_g = 400 \text{ kN}$  در نظر گرفته شوند، نیروی قائم نامتعادل ناشی از زلزله وارد بر وسط دهانه تیر حدوداً برحسب کیلونیوتن به کدام گزینه نزدیکتر است؟

۱۷۰۰ (۴)

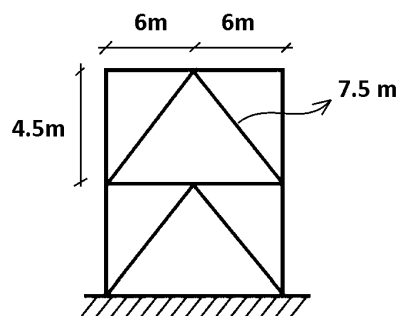
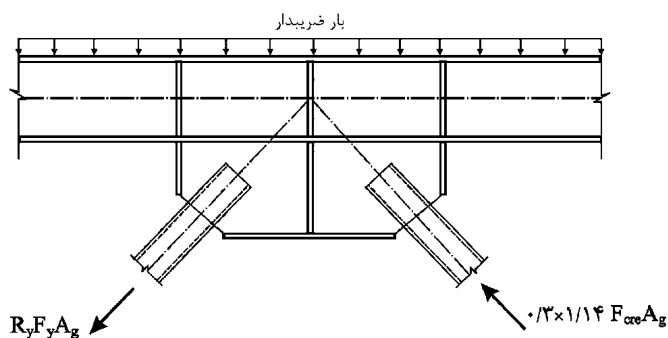
۱۵۰۰ (۳)

۱۳۰۰ (۲)

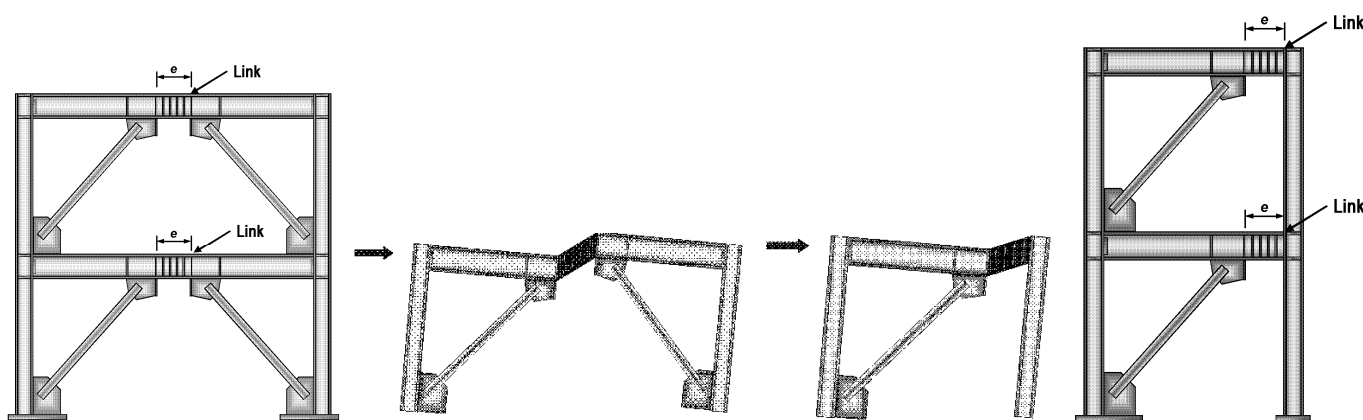
۲۳۰۰ (۱)

گزینه ۲:

$$(2500 - 400) \times \frac{4.5}{7.5} = 1260$$



## ۱۸-۱۲-مهاربند واگرا



۱۰-۳-۱۲ الزامات تکمیلی طراحی لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی‌شده واگرا

۱۰-۳-۱۲-۲ مقاومت برشی مورد نیاز تیر پیوند

مقاومت برشی مورد نیاز تیر پیوند باید بر اساس تحلیل سازه تحت اثر ترکیبات بار متعارف تعیین شود.

۱۰-۳-۱۲-۳ مقاومت برشی طراحی تیر پیوند

مقاومت برشی طراحی تیر پیوند مساوی  $\phi_v V_n$  می‌باشد که در آن،  $\phi_v$  ضریب کاهش مقاومت برابر

۰/۹ و  $V_n$  مقاومت برشی اسمی می‌باشد که باید برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس

حالات‌های حدی تسلیم برشی و تسلیم خمشی در نظر گرفته شود.

الف) تسلیم برشی

$$(1-12-3-10)$$

ب) تسلیم خمشی

$$(2-12-3-10)$$

در روابط فوق:

$$(3-12-3-10)$$

$$P_u / P_c \leq 0.15$$

$$P_u / P_c > 0.15$$

$$(4-12-3-10)$$

$$P_u / P_c \leq 0.15$$

$$P_u / P_c > 0.15$$

$P_u$  = مقاومت محوری مورد نیاز تیر پیوند بر اساس ترکیبات بار متعارف

$P_c$  = مقاومت تسلیم محوری تیر پیوند برابر  $F_y A_g$

$A_{1W}$  = مساحت جان (یا جان‌ها) مقطع تیر پیوند برابر  $(d-2t_f)t_w$

برای مقاطع I شکل و برابر  $2(d-2t_f)t_w$  برای مقاطع قوطی شکل

$F_y$  = تنش تسلیم فولاد تیر پیوند

$Z$  = اساس مقطع پلاستیک تیر پیوند

$e$  = طول تیر پیوند که برابر است با فاصله بین اتصال دو انتهای

مهاربند در روی بال تیر یا فاصله بین اتصالات انتهایی مهاربندی در

روی بال تیر تا بر ستون

$$V_n = V_p$$

$$V_n = \frac{2M_p}{e}$$

$$V_p = \begin{cases} 0.16 F_y A_{1W} & P_u / P_c \leq 0.15 \\ 0.16 F_y A_{1W} \sqrt{1 - \left(\frac{P_u}{P_c}\right)^2} & P_u / P_c > 0.15 \end{cases}$$

$$M_p = \begin{cases} F_y Z & P_u / P_c \leq 0.15 \\ F_y Z \left( \frac{1 - P_u / P_c}{0.15} \right) & P_u / P_c > 0.15 \end{cases}$$

۱۰-۳-۱۲-۴ طول تیر پیوند

تیرهای پیوندی که دارای شرایط  $P_u / P_c > 0.15$  هستند، باید محدودیت زیر را برآورده نمایند.

الف) در صورتی که  $\rho' \leq 0.5$  باشد:

$$(5-12-3-10)$$

ب) در صورتی که  $\rho' > 0.5$  باشد:

$$(6-12-3-10)$$

در روابط فوق:

$$(7-12-3-10)$$

$V_n$  = مقاومت برشی مورد نیاز تیر پیوند بر اساس ترکیبات بار متعارف

$V_c$  = مقاومت تسلیم برشی تیر پیوند برابر  $0.16 F_y A_{1W}$

$P_u$  = مقاومت محوری مورد نیاز تیر پیوند بر اساس ترکیبات بار متعارف

$P_c$  = مقاومت تسلیم محوری تیر پیوند برابر  $F_y A_g$

$A_{1W}$  = مساحت جان (یا جان‌ها) مقطع تیر پیوند برابر  $(d-2t_f)t_w$

برای مقاطع I شکل و برابر  $2(d-2t_f)t_w$  برای مقاطع قوطی شکل

$A_g$  = سطح مقطع کلی مقطع تیر پیوند

$F_y$  = تنش تسلیم فولاد تیر پیوند

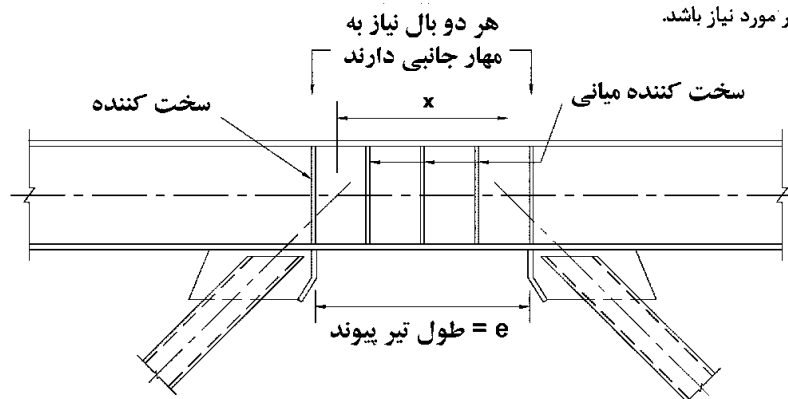
$V_p$  = برش پلاستیک مقطع تیر پیوند مطابق رابطه ۱۰-۳-۱۲-۳

$M_p$  = لنگر پلاستیک مقطع تیر پیوند مطابق رابطه ۱۰-۳-۱۲-۴

نیمه: برای تیرهای پیوندی که دارای شرایط  $P_u / P_c \leq 0.15$  هستند، هیچ محدودیتی برای طول

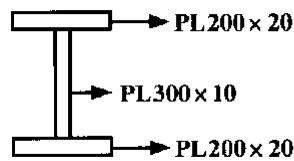
تیر پیوند وجود ندارد، لیکن به دلیل تأمین الزامات بند ۱۰-۳-۱۲-۵ ممکن است به

تیرهای پیوندی با طول کوتاه‌تر مورد نیاز باشد.



## محاسبات-۹۱

۴۵- مقاومت برشی مجاز تیر پیوند ( $V_p$ ) برحسب کیلونیوتن در قاب مهاربندی شده‌ی واگرای ویژه که مقطع تیر آن مطابق شکل زیر دارای طول تیر پیوند ۱۸۰ cm و با فرض این که  $\frac{P_a}{P_y} = 0.08$  باشد، کدام است؟ (نیروی محوری موجود در تیر و  $P_y$  نیروی محوری تسلیم تیر پیوند می‌باشد).



- (۱) ۲۴۰/۸  
(۲) ۲۵۹/۲  
(۳) ۲۷۶/۹  
(۴) ۲۹۸/۱

## محاسبات ۹۴

۱۳- برای یک تیر پیوند در مهاربند واگرا  $M_p = 240 \text{ kN.m}$  و  $V_p = 160 \text{ kN}$  بوده و نسبت مقاومت محوری موردنیاز به مقاومت تسلیم محوری برابر ۰.۱ می‌باشد. اگر طول تیر پیوند ۲.۴ متر باشد، مقاومت برشی طراحی ( $\phi V_n$ ) تیر پیوند برحسب کیلونیوتن، حدوداً چقدر است؟

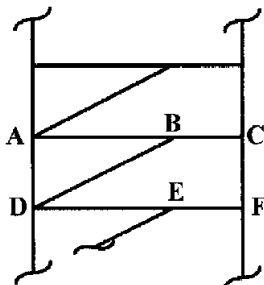
- (۱) ۷۲ (۲) ۱۸۰ (۳) ۲۸۸ (۴) ۱۴۴

گزینه ۴

$$\phi V_n = \phi \text{Min} \left\{ V_p, \frac{2M_p}{e} \right\} = \phi \text{Min} \left\{ 160, \frac{2 \times 240}{2.4} \right\} = 0.9 \times 160 = 144 \text{ kN}$$

## محاسبات-۹۱

۵۵- در قاب واگرای ویژه EBF، اتصال کدام گره باید حتماً به صورت خمشی اجرا شود؟



- (۱) تیر AB به ستون AD  
(۲) تیر BC به ستون CF  
(۳) عضو قطری BD به ستون AD  
(۴) عضو قطری BD به تیر ABC

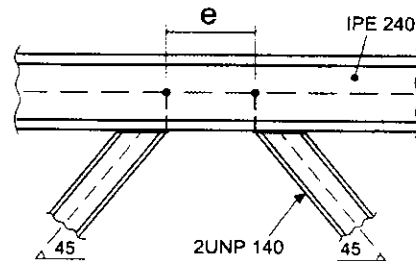
گزینه ۲

## محاسبات اسفند ۸۹

۲۴- مقاومت برشی اسمی ( $V_n$ ) تیر پیوند در قاب مهاربندی شده واگرای ویژه، با اساس مقطع پلاستیک ۱۸۰۰ سانتیمتر مکعب، سطح مقطع جان برابر ۲۰ سانتیمتر مربع و طول تیر پیوند ۱۶۰ سانتی متر از فولاد با تنش تسلیم ۲۴۰ MPa چقدر می‌باشد؟ (نیروی محوری تیر پیوند ناچیز است).

- (۱) ۵۴۰ kN (۲) ۴۸۰ kN  
(۳) ۳۲۴ kN (۴) ۲۸۸ kN

۷- در شکل روبرو یکی از دهانه‌های یک قاب مهاربندی شده واگرا که در آن مقاطع اعضای مهاربندی از دوپل ناودانی 140 تشکیل شده است، نشان داده شده است. چنانچه تیر فاقد نیروی محوری باشد، حداکثر طول تیر پیوند برای آنکه تسلیم برشی حاکم بر مقاومت طراحی تیر پیوند باشد، به کدامیک از مقادیر زیر نزدیک‌تر است؟ ( $F_y=240 \text{ MPa}$ )



537 mm (۱)

1240 mm (۲)

895 mm (۳)

624 mm (۴)

گزینه ۲

$$V_p = \frac{2M_p}{e} \rightarrow 0.6F_y A_{tw} = \frac{2F_y Z}{e} \rightarrow 0.6F_y (240 - 2 \times 9.8) \times 6.2 = \frac{2F_y \times 367000}{e}$$

$$e = 895 \text{ mm}$$

## ۱۰-۳-۱۲ الزامات تکمیلی طراحی لرزه ای قاب های مهاربندی شده واگرا

## ۱۰-۳-۱۲-۵ دوران تیر پیوند

حداکثر دوران غیر الاستیک تیر پیوند نسبت به ناحیه خارج از آن، در حالتی که تغییر مکان جانبی نسبی طبقه  $(\delta_i)$  برابر تغییر مکان جانبی نسبی طرح  $(\Delta_i)$  فرض شود، نباید از مقادیر زیر تجاوز نماید.

(الف)  $0.08$  رادیان برای حالتی که طول تیر پیوند مساوی یا کمتر از  $1/6 M_p/V_p$  باشد.

(ب)  $0.02$  رادیان برای حالتی که طول تیر پیوند مساوی یا بزرگتر از  $2/6 M_p/V_p$  باشد.

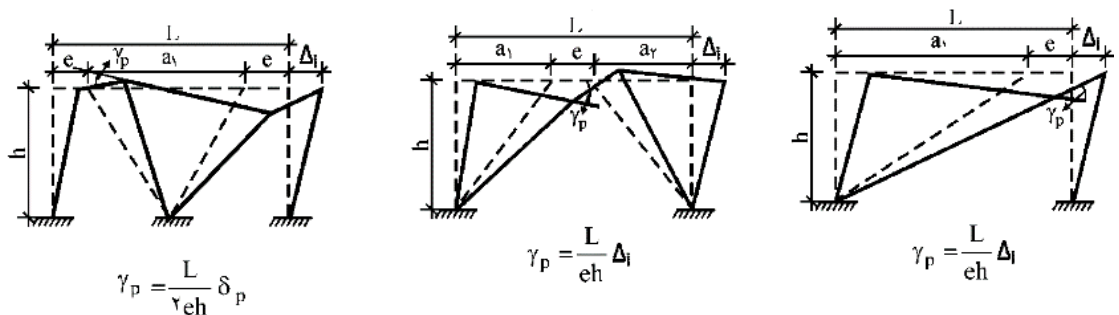
در روابط فوق:

$$V_p = \text{برش پلاستیک مقطع تیر پیوند مطابق رابطه } 3-12-3-10$$

$$M_p = \text{لنگر پلاستیک مقطع تیر پیوند مطابق رابطه } 4-12-3-10$$

تبصره ۱: برای مقادیر طول پیوند بین دو مقدار (الف) و (ب)، می توان از درون یابی خطی بهره برد.

تبصره ۲: دوران غیر الاستیک تیر پیوند نسبت به ناحیه خارج از آن  $(\gamma_p)$  در حالتی که تغییر مکان جانبی نسبی طبقه برابر تغییر مکان جانبی نسبی طرح فرض می شود را می توان از روابط مندرج در شکل ۱-۱۲-۳-۱۰ تعیین نمود.



شکل ۱-۱۲-۳-۱۰ دوران غیر الاستیک تیر پیوند نسبت به ناحیه خارج از آن  $(\gamma_p)$

محاسبات ۹۳

۴۹- در مهاربند واگرا، اگر طول تیر پیوند برابر  $2M_p/V_p$  باشد، حداکثر دوران غیر الاستیک تیر پیوند نسبت به ناحیه خارج از آن، برای زلزله طرح به چه مقداری محدود می شود؟ تغییر مکان جانبی نسبی طبقه برابر با تغییر مکان جانبی نسبی طرح فرض شود.

- (۱) ۰.۰۴۸ رادیان      (۲) ۰.۰۶۴ رادیان      (۳) ۰.۰۴۴ رادیان      (۴) ۰.۰۵۶ رادیان

گزینه ۴

$$\gamma_p = 0.02 + \frac{2.6 - 2}{2.6 - 1.6} \times 0.06 = 0.056 \text{ rad}$$

## ۱۹- شرایط بهره برداری

## ۱۹-۱- کنترل خیز و ارتعاش در تیرها

## ۱۰-۲-۱۰ الزامات حالت‌های حدی بهره‌برداری در تحلیل و طراحی

مجموعه سازه شامل اعضا و اتصالات آنها، باید از نظر قابلیت بهره‌برداری مورد کنترل و طراحی قرار گیرند. در تحلیل و طراحی براساس حالت‌های حدی بهره‌برداری باید ضرایب ایمنی جزئی مقاومت ( $\Phi$ ) و نیز مطابق ترکیبات بارگذاری ارائه شده در مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ضرایب ایمنی جزئی بارها، برابر واحد در نظر گرفته شود.

## ۱۰-۲-۱۰-۱ ملاحظات پیش‌خیز

اگر برای بعضی از اعضای خمشی، پیش‌خیز به خصوصی لازم است تا در هنگام بارگذاری به شکل مورد نیاز و در ارتباط با اعضای دیگر درآیند، باید اندازه، جهت و موقعیت پیش‌خیز در مدارک طرح و محاسبه و نیز در نقشه‌های سازه‌ای به روشنی مشخص شود. در خرپاهای با دهانه بیش از ۱۲ متر، لازم است به اندازه تغییرشکل بار مرده، پیش‌خیز داده شود. در شاه‌تیرهای مربوط به جراثقال با دهانه بزرگتر از ۱۲ متر باید پیش‌خیزی در حدود تغییرشکل ناشی از بار مرده به اضافه  $\frac{1}{4}$  بار زنده، پیش‌بینی شود. تیرها و خرپاهایی که خیز معینی برای آنها قید نشده باشد، باید در کارخانه طوری ساخته شوند که به هر حال پس از نصب، تغییرشکل روبه بالا (پیش‌خیز) داشته باشند.

## ۱۰-۲-۱۰-۲ تغییرشکل‌ها

تیرها و شاه‌تیرهایی که سقف‌های نازک‌کاری شده را تحمل می‌کنند، باید طوری محاسبه و طراحی شوند که تغییرشکل حداکثر ناشی از بار مرده و زنده از  $\frac{1}{33}$  طول دهانه و تغییرشکل حداکثر ناشی از بار زنده از  $\frac{1}{33}$  طول دهانه بیشتر نشود. در صورتی که در تیرهای مختلط برشگیردار، در هنگام بتن ریزی دال از پایه‌های موقت در زیر تیر فولادی استفاده نشود، کنترل تغییرشکل تیر مختلط باید شامل مراحل زیر باشد. گام ۱. ابتدا بار ناشی از وزن تیر فولادی، دال بتنی و بار ناشی از قالب بندی بر تیر فولادی تنها اثر داده شده و تغییرشکل تیر محاسبه می‌گردد. گام ۲. سپس بار مرده اضافی (تمام بارهای مرده‌ای که بعد از گرفتن دال بتنی وارد می‌شوند نظیر وزن کف‌سازی، تیغه‌ها و موارد مشابه) و بار زنده بر مقطع مختلط اثر داده می‌شوند و تغییرشکل تیر مختلط محاسبه می‌گردد. مجموع تغییرشکل‌های محاسبه شده در گام‌های ۱ و ۲ نباید از  $\frac{1}{33}$  طول دهانه بیشتر شود. همچنین، در اعضای مختلط، تغییرشکل‌های اضافی در اثر خزش و افت بتن باید به نحو موثری در محاسبه تغییرشکل‌ها در نظر گرفته شود.

## ۱۰-۲-۱۰-۴ ارتعاش (لرزش)

تیرها و شاه‌تیرهایی که سطوح بزرگ خالی از تیغه‌بندی (یا خالی از عناصر دیگری که خاصیت میراکنندگی ارتعاش را دارند) را تحمل می‌کنند، باید با توجهی خاص به لرزش و ارتعاش حاصل از بارهای جنبشی (نظیر بارهای ناشی از رفت و آمد افراد، حرکت و توقف آسانسورها، حرکت ماشین آلات و نظایر آنها) محاسبه شوند. در تیرهای مربوط به این کف‌ها، فرکانس نوسانی تیر باید به اندازه‌ای باشد که از حد احساس بشری تجاوز ننماید. برای این منظور، لازم است فرکانس دوره‌ای ( $f$ ) این تیرها بزرگتر یا مساوی ۵ هرتز باشد.\*

\* برای محاسبه فرکانس دوره‌ای ( $f$ ) به مراجع راهنمای معتبر مراجعه شود.  
 برای محاسبه فرکانس دوره‌ای ( $f$ ) تیرهای دو سر ساده تحت بار مرده یکنواخت  $q_D$  می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود.  

$$f = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EIg}{q_D}}$$
 که در آن  
 $E$  = مدول الاستیسیته مصالح تیر بر حسب نیوتن بر متر مربع  
 $I$  = ممان اینرسی مقطع تیر بر حسب  $m^4$   
 $g$  = شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه ( $g=9.81 \text{ m/s}^2$ )  
 $q_D$  = بار مرده یکنواخت بر حسب نیوتن بر متر طول  
 $L$  = طول دهانه تیر دو سر ساده بر حسب متر  
 $f$  = فرکانس دوره‌ای تیر بر حسب هرتز

۴۳- برای تیرچه‌های با تکیه‌گاه‌های ساده به طول دهانه 6 متر، بار مرده یکنواخت (بدون لحاظ وزن تیر) برابر  $0.6 \text{ kN/m}$  و بار زنده یکنواخت برابر  $6 \text{ kN/m}$  برآورد شده است. چنانچه تیرچه‌ها دارای مهار جانبی کافی باشند، کوچکترین مقطع IPE مجاز (از نظر مقاومت و بهره‌برداری) برای تیرچه‌ها کدامیک از گزینه‌های زیر است؟ (تغییر شکل حداکثر ناشی از بار زنده نباید از  $\frac{1}{360}$  طول دهانه بیشتر باشد.  $F_u=370 \text{ MPa}$  و  $F_y=240 \text{ MPa}$ )

IPE 220 (۲)

IPE 200 (۱)

IPE 270 (۴)

IPE 240 (۳)

گزینه ۳

با فرض اولیه IPE220 با وزن  $22.6 \text{ kg/m}$  داریم:

$$q_u = 1.2q_D + 1.6q_L = 1.2 \left( 0.6 + \frac{26.2 \times 9.81}{1000} \right) + 1.6(6) = 10.62$$

$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} = \frac{10.62 \times 6^2}{8} = 47.82 \text{ kN.m} < (\varphi Z F_y = 0.9Z \times 240)$$

$$Z_{\text{لازم}} = 221426 \text{ mm}^3$$

با توجه به جدول اشتایل انتهای جزوه فولاد نظام مهندسی بنده برای IPE220 مقدار Z برابر 221000 می باشد  
تکرار محاسبات با وزن IPE200:

$$q_u = 1.2q_D + 1.6q_L = 1.2 \left( 0.6 + \frac{22.4 \times 9.81}{1000} \right) + 1.6(6) = 10.58$$

$$M_u = \frac{q_u L^2}{8} = \frac{10.58 \times 6^2}{8} = 47.62 \text{ kN.m} < (\varphi Z F_y = 0.9Z \times 240)$$

$$Z_{\text{لازم}} = 220494 \text{ mm}^3$$

بنابراین از نظر مقاومت خمشی IPE200 مناسب است.

کنترل خیز تیر:

$$\frac{5q_L L^4}{384EI} < \frac{L}{360} \quad \rightarrow \quad \frac{5 \times 6 \times 6000^4}{384 \times 2 \times 10^5 I} = \frac{6000}{360} \quad \rightarrow \quad I_{\text{لازم}} = 30375000 \text{ mm}^4 = 3037.5 \text{ cm}^4$$

با توجه به جدول انتهای جزوه داریم:

$$I_{IPE220} = 2772 \text{ cm}^4$$

$$I_{IPE240} = 3892 \text{ cm}^4$$

بنابراین باید از IPE240 استفاده شود.

۲۹- تیرهای نگهدارنده یک سقف با سطح بزرگ خالی از تیغه بندی و بدون عناصر با خاصیت میرا کننده، دارای تکیه گاه های دوسر ساده با دهانه 6 متر می باشند. اگر بار مرده وارد بر هر یک از این تیرها 600 کیلوگرم بر متر باشد، حداقل ممان اینرسی لازم آنها جهت پاسخگویی به ارتعاشات ناشی از بارهای جنبشی به کدام یک از مقادیر زیر نزدیکتر می باشد؟

$$3970 \text{ cm}^4 \text{ (۴)} \quad 2970 \text{ cm}^4 \text{ (۳)} \quad 1970 \text{ cm}^4 \text{ (۲)} \quad 970 \text{ cm}^4 \text{ (۱)}$$

گزینه ۴

$$f = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EIg}{q_D}} = \frac{\pi}{2 \times 6^2} \sqrt{\frac{(2 \times 10^{11})(I)(9.81)}{600 \times 9.81}} > 5 \quad \rightarrow \quad I > 3970 \times 10^{-8} \text{ m}^4 = 3970 \text{ cm}^4$$

۵۱- تیر مختلطی با دهانه ی ساده و به طول ۸ m، ممان اینرسی پروفیل تیر حول تار خنثی برابر  $۲۳۱۳ \text{ cm}^4$  می باشد. اگر ممان

اینرسی مقطع مرکب تیر مختلط حول تار خنثی برابر  $۷۱۹۴۹ \text{ cm}^4$  و عرض بارگیر تیر مختلط  $۱/۲ \text{ m}$  و بار مرده  $۶۵ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$

و بار زنده  $۳۵ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$  باشد، فرکانس نوسانی تیر، چند هرتز است؟

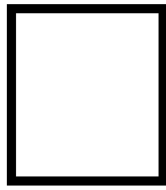
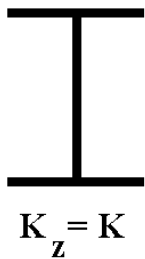
$$۶ \text{ (۴)} \quad ۶/۵ \text{ (۳)} \quad ۱۰/۵ \text{ (۲)} \quad ۱۱/۵ \text{ (۱)}$$

گزینه ۲

$$f = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EIg}{q_D}} = \frac{\pi}{2 \times 8^2} \sqrt{\frac{(2 \times 10^{11})(71949 \times 10^{-8})(9.81)}{1.2 \times 650 \times 9.81}} = 10.53$$



## ۲۰- خلاصه روابط

مقاومت فشاری ستونهای با مقطع I شکل ( $K_z \leq K$ ) و باکس

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

۱- محاسبه  $r$ 

۲- محاسبه لاغری

$$\lambda = \text{Max} \left( \frac{K_x L}{r_x}, \frac{K_y L}{r_y} \right) < 200$$

۳- محاسبه تنش کمانش خمشی

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

۴- محاسبه تنش فشاری مربوط به کمانش خمشی

الف) اگر  $\frac{F_y}{F_e} \leq 2/25$  یا  $\frac{KL}{r} \leq 4/71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  باشد:

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

(۲-۴-۲-۱۰)

ب) اگر  $\frac{F_y}{F_e} > 2/25$  یا  $\frac{KL}{r} > 4/71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  باشد:

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

(۳-۴-۲-۱۰)

۵- محاسبه مقاومت فشاری اسمی مقطع

$$P_n = F_{cr} A_g \quad , \quad \phi_c = 0.9$$

ستونهای با مقطع I شکل متقارن و  $K_z \neq K$ -۱ محاسبه  $\Gamma$ 

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

-۲ محاسبه لاغری

$$\lambda = \text{Max}\left(\frac{K_x L}{r_x}, \frac{K_y L}{r_y}\right) < 200$$

-۳ محاسبه تنش کمانش خمشی

$$F_{e-M} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

-۴ محاسبه تنش کمانش پیچشی

-۱-۴ محاسبه ثابت تاییدگی:

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} = \frac{b_f^3 t_f h_0^2}{24}$$

یادداشت: برای مقاطع I شکل با تقارن دو محوره،  $C_w$  را می‌توان مساوی  $I_y h_0^2 / 4$  در نظر گرفت که در آن  $h_0$  فاصله مرکز به مرکز بال‌ها می‌باشد.

-۲-۴ محاسبه ثابت پیچشی:

$$J = \frac{1}{3} \sum L t^3$$

-۳-۴ محاسبه تنش کمانشی پیچشی:

$$F_{e-T} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{I_x + I_y} \right)$$

-۵ محاسبه تنش کمانشی

$$F_e = \text{Min}(F_{e-T}, F_{e-M})$$

-۶ محاسبه تنش فشاری مربوط به کمانش خمشی

الف) اگر  $\frac{F_y}{F_e} \leq 2/25$  یا  $\frac{KL}{r} \leq 4/71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  باشد:

$$F_{cr} = \left[ 0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (2-4-2-10)$$

ب) اگر  $\frac{F_y}{F_e} > 2/25$  یا  $\frac{KL}{r} > 4/71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  باشد:

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (3-4-2-10)$$

-۷ محاسبه مقاومت فشاری اسمی مقطع

$$P_n = F_{cr} A_g, \quad \phi_c = 0.9$$

$\lambda$	Fcr (240)	Fcr (360)	$\lambda$	Fcr (240)	Fcr (360)	$\lambda$	Fcr (240)	Fcr (360)	$\lambda$	Fcr (240)	Fcr (360)	$\lambda$	Fcr (240)	Fcr (360)
1	240.0	360.0	41	220.3	316.6	81	171.9	218.2	121	113.9	118.2	161	66.8	66.8
2	240.0	359.9	42	219.4	314.6	82	170.5	215.5	122	112.5	116.3	162	66.0	66.0
3	239.9	359.8	43	218.4	312.6	83	169.0	212.8	123	111.1	114.4	163	65.2	65.2
4	239.8	359.6	44	217.5	310.5	84	167.6	210.1	124	109.7	112.6	164	64.4	64.4
5	239.7	359.3	45	216.5	308.4	85	166.2	207.4	125	108.4	110.8	165	63.6	63.6
6	239.6	359.0	46	215.5	306.3	86	164.7	204.7	126	107.0	109.0	166	62.8	62.8
7	239.4	358.7	47	214.5	304.1	87	163.3	202.0	127	105.6	107.3	167	62.1	62.1
8	239.2	358.2	48	213.4	301.9	88	161.8	199.3	128	104.3	105.7	168	61.3	61.3
9	239.0	357.8	49	212.4	299.7	89	160.4	196.7	129	102.9	104.0	169	60.6	60.6
10	238.8	357.3	50	211.3	297.5	90	158.9	194.0	130	101.6	102.4	170	59.9	59.9
11	238.5	356.7	51	210.2	295.2	91	157.5	191.3	131	100.2	100.9	171	59.2	59.2
12	238.2	356.1	52	209.1	292.9	92	156.0	188.7	132	98.9	99.4	172	58.5	58.5
13	237.9	355.4	53	208.0	290.5	93	154.5	186.0	133	97.6	97.9	173	57.8	57.8
14	237.6	354.7	54	206.9	288.2	94	153.1	183.4	134	96.2	96.4	174	57.2	57.2
15	237.3	353.9	55	205.8	285.8	95	151.6	180.8	135	94.9	95.0	175	56.5	56.5
16	236.9	353.0	56	204.6	283.4	96	150.2	178.1	136	93.6	93.6	176	55.9	55.9
17	236.5	352.1	57	203.4	280.9	97	148.7	175.5	137	92.2	92.2	177	55.3	55.3
18	236.1	351.2	58	202.2	278.5	98	147.2	172.9	138	90.9	90.9	178	54.6	54.6
19	235.6	350.2	59	201.0	276.0	99	145.7	170.4	139	89.6	89.6	179	54.0	54.0
20	235.2	349.2	60	199.8	273.5	100	144.3	167.8	140	88.3	88.3	180	53.4	53.4
21	234.7	348.1	61	198.6	271.0	101	142.8	165.2	141	87.1	87.1	181	52.8	52.8
22	234.2	346.9	62	197.4	268.5	102	141.3	162.7	142	85.9	85.9	182	52.3	52.3
23	233.6	345.8	63	196.1	265.9	103	139.9	160.2	143	84.7	84.7	183	51.7	51.7
24	233.1	344.5	64	194.8	263.3	104	138.4	157.7	144	83.5	83.5	184	51.1	51.1
25	232.5	343.2	65	193.6	260.8	105	136.9	155.2	145	82.3	82.3	185	50.6	50.6
26	231.9	341.9	66	192.3	258.2	106	135.5	152.7	146	81.2	81.2	186	50.0	50.0
27	231.3	340.5	67	191.0	255.6	107	134.0	150.2	147	80.1	80.1	187	49.5	49.5
28	230.6	339.1	68	189.7	252.9	108	132.6	147.8	148	79.0	79.0	188	49.0	49.0
29	229.9	337.6	69	188.4	250.3	109	131.1	145.4	149	78.0	78.0	189	48.5	48.5
30	229.3	336.1	70	187.0	247.7	110	129.7	142.9	150	76.9	76.9	190	48.0	48.0
31	228.5	334.5	71	185.7	245.0	111	128.2	140.6	151	75.9	75.9	191	47.5	47.5
32	227.8	332.9	72	184.3	242.4	112	126.8	138.0	152	74.9	74.9	192	47.0	47.0
33	227.1	331.3	73	183.0	239.7	113	125.3	135.6	153	74.0	74.0	193	46.5	46.5
34	226.3	329.6	74	181.6	237.0	114	123.9	133.2	154	73.0	73.0	194	46.0	46.0
35	225.5	327.9	75	180.3	234.3	115	122.4	130.9	155	72.1	72.1	195	45.5	45.5
36	224.7	326.1	76	178.9	231.6	116	121.0	128.7	156	71.1	71.1	196	45.1	45.1
37	223.8	324.3	77	177.5	229.0	117	119.6	126.5	157	70.2	70.2	197	44.6	44.6
38	223.0	322.4	78	176.1	226.3	118	118.2	124.3	158	69.3	69.3	198	44.2	44.2
39	222.1	320.5	79	174.7	223.6	119	116.7	122.2	159	68.5	68.5	199	43.7	43.7
40	221.2	318.6	80	173.3	220.9	120	115.3	120.2	160	67.6	67.6	200	43.3	43.3

## مقاطع I شکل با بال و جان فشرده (Mx)

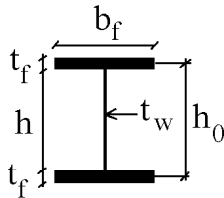
۱- محاسبه  $L_p$  و کنترل لزوم در نظر گیری کمانش پیشگی جانبی

$$L_p = 1.76r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 50.8 \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

۲- محاسبه  $r_{ts}$

یادداشت: برای مقاطع I شکل با دو محور تقارن،  $C_w = \frac{I_y h_o^2}{4}$  بوده و لذا رابطه ۱۰-۵-۲-۱۰ برای

مقاطع I شکل به صورت زیر ساده می شود.



$$r_{ts} = \frac{I_y h_o}{r S_x}$$

(۱۰-۵-۲-۱۰)

همچنین  $r_{ts}$  را می توان به طور محافظه کارانه شعاع ژیراسیون مقطعی شامل بال فشاری و یک ششم

جان نسبت به محور مار بر جان در نظر گرفت.

$$r_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left( 1 + \frac{h t_w}{6 b_f t_f} \right)}}$$

(۱۱-۵-۲-۱۰)

و  $b_f$  و  $t_f$  به ترتیب ضخامت و پهنای بال فشاری مقطع

۳- محاسبه  $L_r$

$$L_r = 1/9 \delta r_{ts} \frac{E}{\cdot / \gamma F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_o} + \sqrt{\left( \frac{Jc}{S_x h_o} \right)^2 + 6/ \gamma 6 \left( \frac{\cdot / \gamma F_y}{E} \right)^2}}$$

(۷-۵-۲-۱۰)

$$c = 1 \quad J = \frac{1}{3} \sum b t^3$$

۴- محاسبه  $C_b$

۵- محاسبه  $F_{cr}$

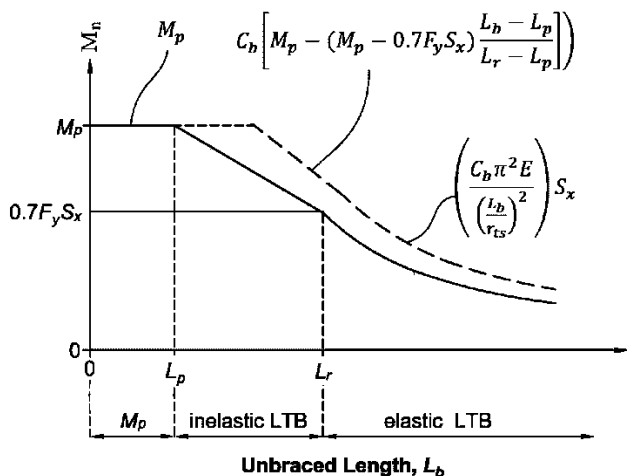
$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + \cdot / \cdot \gamma 8 \frac{Jc}{S_x h_o} \left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2}$$

(۸-۵-۲-۱۰)

تبصره: در رابطه ۸-۵-۲-۱۰ عبارت زیر رادیکال را می توان به طور محافظه کارانه مساوی واحد در

نظر گرفت.

۶- محاسبه  $M_n$



ب-۱) اگر  $L_b \leq L_p$  باشد لزومی به در نظر گرفتن کمانش پیشگی - جانبی نمی باشد.

ب-۲) برای  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (۴-۵-۲-۱۰)$$

ب-۳) برای  $L_b > L_r$ :

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (۵-۵-۲-۱۰)$$

Name	d	b <sub>f</sub>	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	Area	A <sub>sy</sub>	A <sub>sx</sub>	J (اشتتایل)	J	I <sub>y</sub>	I <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	S <sub>x</sub>	Z <sub>y</sub>	Z <sub>x</sub>	r <sub>y</sub>	r <sub>x</sub>	h <sub>0</sub>	C <sub>w</sub>	r <sub>ts</sub>	L <sub>p</sub> (240)	L <sub>p</sub> (360)	L <sub>r</sub> (240) (اشتتایل)	L <sub>r</sub> (240)	L <sub>r</sub> (360)
	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	mm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>	mm	mm	mm	mm <sup>6</sup>	mm	mm	mm	mm	mm	mm
IPE100	100	55	5.7	4.1	1030	410	522.5	11600	8957	15.9	171	5781.8	34200	9150	39400	12.4	40.7	94.3	3.535E+08	14.8	630	514	3036	2730	1927
IPE120	120	64	6.3	4.4	1320	528	672	16900	13897	27.7	318	8656.3	53000	13600	60700	14.5	49.1	113.7	8.952E+08	17.2	737	602	3191	2963	2119
IPE140	140	73	6.9	4.7	1640	658	839.5	24000	20594	44.9	541	12301.4	77285.7	19200	88300	16.5	57.4	133.1	1.989E+09	19.7	838	684	3394	3216	2326
IPE160	160	82	7.4	5	2010	800	1011.3	35400	28511	68.3	869	16658.5	108625	26100	124000	18.4	65.8	152.6	3.976E+09	21.9	935	763	3663	3411	2496
IPE180	180	91	8	5.3	2390	954	1213.3	47300	39597	101	1317	22197.8	146333.3	34600	166000	20.6	74.2	172	7.470E+09	24.4	1047	855	3902	3694	2721
IPE200	200	100	8.5	5.6	2850	1120	1416.7	69200	52152	142	1943	28400	194300	44600	221000	22.3	82.6	191.5	1.302E+10	26.5	1133	925	4223	3882	2885
IPE220	220	110	9.2	5.9	3340	1298	1686.7	90300	71535	205	2772	37272.7	252000	58100	285000	24.8	91.1	210.8	2.277E+10	29.3	1260	1029	4543	4252	3168
IPE240	240	120	9.8	6.2	3910	1488	1960	130000	93583	284	3892	47333.3	324333.3	73900	367000	27	99.8	230.2	3.762E+10	31.7	1372	1120	4963	4526	3390
IPE270	270	135	10.2	6.6	4590	1782	2295	159000	120406	420	5790	62222.2	428888.9	97000	484000	30.2	112.3	259.8	7.087E+10	35.7	1534	1253	5260	4910	3715
IPE300	300	150	10.7	7.1	5380	2130	2675	199000	157019	604	8356	80533.3	557066.7	125000	628000	33.5	124.6	289.3	1.264E+11	39.6	1702	1390	5625	5334	4062
IPE330	330	160	11.5	7.5	6260	2475	3066.7	281000	207016	788	11770	98500	713333.3	154000	804000	35.5	137.1	318.5	1.998E+11	41.9	1804	1473	5960	5574	4262
IPE360	360	170	12.7	8	7270	2880	3598.3	374000	291423	1043	16270	122705.9	903888.9	191000	1019000	37.9	149.6	347.3	3.145E+11	44.8	1926	1572	6303	5971	4560
IPE400	400	180	13.5	8.6	8450	3440	4050	513000	377190	1318	23130	146444.4	1156500	229000	1307000	39.5	165.4	386.5	4.922E+11	46.9	2007	1639	6550	6148	4722
IPE450	450	190	14.6	9.4	9880	4230	4623.3	667000	514749	1676	33740	176421	1499556	276000	1702000	41.2	184.8	435.4	7.943E+11	49.3	2093	1709	6709	6386	4923
IPE500	500	200	16	10.2	11600	5100	5333.3	891000	717342	2142	48200	214200	1928000	336000	2194000	43	203.8	484	1.254E+12	51.9	2185	1784	6955	6685	5159
IPE550	550	210	17.2	11.1	13400	6105	6020	1230000	955274	2668	67120	254095.2	2440727	401000	2787000	44.6	223.8	532.8	1.893E+12	54.0	2266	1850	7225	6906	5342
IPE600	600	220	19	12	15600	7200	6966.7	1650000	1340643	3387	92080	307909.1	3069333	486000	3512000	46.6	243	581	2.858E+12	56.6	2368	1933	7547	7273	5620

$$J = 2 \left( \frac{b_f t_f^3}{3} \right) + \frac{(d - t_f) t_w^3}{3}$$

$$I_y = 2 \left( \frac{t_f b_f^3}{12} \right) + \frac{t_w^3 (d - 2t_f)}{12}$$

$$I_x = \left( \frac{b_f d^3}{12} \right) - \frac{(b_f - t_w)(d - 2t_f)^3}{12}$$

$$S_y = 2 \frac{I_y}{b_f}$$

$$S_x = 2 \frac{I_x}{d}$$

$$Z_y = \frac{t_f b_f^2}{2} + \frac{(d - 2t_f) t_w^2}{4}$$

$$Z_x = \frac{t_w (d - 2t_f)^2}{4} + b_f t_f (d - t_f)$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$h_0 = d - t_f$$

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}}$$

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x h_0} + \sqrt{\left( \frac{Jc}{S_x h_0} \right)^2 + 6.76 \left( \frac{0.7 F_y}{E} \right)^2}}$$

در محاسبه L<sub>r</sub> برای I شکل با دو محور تقارن، مقدار c برابر یک می باشد.