

« بسمه تعالی »

• بر اساس آیین نامه ایران و AISC

♦ طراحی گام به گام:

✓ انواع تیرها و ستون ها

✓ انواع اتصالات

✓ انواع مهاربند ها



« مربوط به درس سازه های فولادی I & II »

« کلیه حقوق این مطلب متعلق به وب سایت موج عمران بوده و هرگونه کپی برداری از آن پیگرد قانونی دارد »

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پیشگفتار :

سازه فولادی مجموعه ای از اعضای باربر ، ساخته شده از ورق یا نیمرخ های ساختمانی می باشد که به کمک اتصالات به یکدیگر متصل شده و اسکلت ساختمان را بوجود می آورند .

نیمرخ های فولادی تولیدات کارخانه ای هستند که با توجه به روش های تکامل یافته برای تولید آنها ، غالباً رفتاری در حد انتظار از خود نشان می دهند .

سازه های فولادی به ۳ گروه اساسی طبقه بندی می شوند :

الف) سازه های قاب بندی شده ؛ که مجموعه ای از اعضای محوری ، خمشی و یا محوری خمشی می باشند.

ب) سازه های پوسته ای که در اعضای آنها نیروی محوری قالب است .

ج) سازه های معلق که در آنها نیروی کششی حاکم است .

اکثر ساختمان های متداول دارای اسکلت قاب بندی شده می باشند . سازه های قاب بندی شده ترکیبی از تیرها و ستون ها می باشند که با استفاده از اتصالات صلب و یا ساده به یکدیگر متصل شده اند . سازه های قاب بندی شده ممکن است به صورت ساختمان های چند طبقه و یا ساختمان های صنعتی باشند .

به طور کلی سازه های قاب بندی شده از ترکیب دو سری قاب صفحه ای عمود بر هم بوجود آمده و تشکیل قاب فضایی را می دهند . لیکن عملکرد قاب های موجود در هر امتداد ، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد قاب های امتداد دیگر ندارد . بنابراین تحلیل قابهای هر امتداد به طور مستقل بصورت صفحه ای انجام می گیرد . قاب های ساختمانی باید قادر به تحمل بارهای قائم و جانبی باشند . برای تحمل بارهای جانبی یا از اتصالات صلب ، یا از سیستم مهار بندی و یا سیستم ترکیبی استفاده می شود .

موضوعی که همیشه بحث برانگیز بوده و موجب نگرانی طراحان و سازندگان سازه های فولادی است ، چگونگی رفتار اتصالاتی است که ؛ برای ساخت اعضای مرکب از نیمرخ و ورق ، و همچنین برای یکپارچه نمودن اجزاء (شامل تیر ، ستون و مهاربندها) در محل گره ها مورد استفاده قرار می گیرند .

وسایل اتصالاتی که برای ساخت اجزاء و اتصال آنها به کار می رود شامل پیچ ، پرچ و جوش است . در این میان استفاده از جوش در ساختمان سازی متعارف در ایران بسیار رواج دارد . در سطح جهانی قدمت استفاده از جوش در ساخت اسکلت فولادی شاید به ۱۰۰ سال برسد . در کشور ما نیز شاید بتوان قدمتی ۵۰ ساله برای استفاده از جوشکاری در ساختمان تصور نمود .

با توجه به مطالب ذکر شده ، این مجموعه به جهت انجام طراحی ساده و آسان سازه های فولادی بر اساس آیین نامه ایران بوده و برگرفته از کتب درسی طراحی سازه های می باشد . البته لازم به ذکر است که از آنجایی که آیین نامه ایران در بسیاری از موارد استنباطی از آیین نامه *AISC* می باشد ، در پاره ای از موارد به بند های این آیین نامه اشاره شده است . امید است این مجموعه مورد توجه دانشجویان و مهندسين طراح در حرفه ساختمان قرار گیرد .

۱ کلیات

۲ قطعات کششی

- ۲ 1-2 طراحی قطعه کششی
- ۲ 2-2 تنش مجاز
- ۳ 3-2 جدول تعیین سطح مقطع موثر A_e ، برای قطعات کششی
- ۳ 4-2 روش های تعبیه سوراخ
- ۴ 5-2 تعیین سطح خالص
- ۴ 6-2 تسمه معادل
- ۴ 7-2 کنترل صلبیت در قطعات کششی
- ۵ 8-2 قطعات کششی مرکب
- ۶ 9-2 مراحل محاسبه ظرفیت کششی مقطع
- ۶ 10-2 مراحل طراحی مقطع کششی
- ۷ 11-2 طراحی میلگردها کششی
- ۷ 12-2 میل مهار لایه در سقف های سبک (سازه های صنعتی) :

۳ قطعات فشاری

- ۸ 1-3 محاسبه تنش بحرانی
- ۸ 2-3 تعیین نوع کمانش
- ۸ 3-3 تنش مجاز
- ۸ الف) کمانش ارتجاعی
- ۸ ب) کمانش غیر ارتجاعی
- ۹ 4-3 جدول تعیین F_a بر حسب $F_y = 2333 \text{ bar}$
- ۱۰ 5-3 جدول تعیین F_a بر حسب $F_y = 2400 \text{ bar}$, $F_y = 3600 \text{ bar}$
- ۱۱ 6-3 تعیین ضریب طول موثر (K)
- ۱۲ 7-3 نمودار ژولیان و لورنس
- ۱۳ 8-3 مراحل گام به گام طراحی ستون ها
- ۱۳ 9-3 کمانش موضعی
- ۱۴ 10-3 انواع قطعات فشاری
- ۱۶ 11-3 مراحل گام به گام طراحی ستون ها در صورت وجود کمانش موضعی
- ۱۶ 12-3 قطعات فشاری مرکب
- ۱۷ 13-3 مراحل گام به گام طراحی ستون های بست دار
- ۲۳ 14-3 برگه طراحی ستون فلزی

۲۴ (۴) کف ستون

- ۲۴ 1-4 روش تعیین تنش مجاز فشاری بتن
- ۲۴ (۱) طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت و بدون سخت کننده
مراحل گام به گام (تک پروفیل)
- ۲۴ (۲) طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت $(e \leq \frac{N}{6})$
- ۲۵ (۳) طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت زیاد $(e \leq \frac{N}{2}, e > \frac{N}{6})$
- ۲۶ (۴) طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت زیاد $(e > \frac{N}{2}, e > \frac{N}{6})$
- ۲۷ 2-4 الف) روش تقریبی
- ۲۷ 3-4 ب) روش دقیق
- ۲۸ 4-4 طراحی کف ستون با استفاده از سخت کننده ها
- ۲۹ 5-4 مراحل گام به گام
- ۳۲ 6-4 برگه طراحی کف ستون

۳۳ (۵) قطعات خمشی

- ۳۳ 1-5 طراحی تیر با اتکا جانبی مناسب
- ۳۳ 2-5 تنش مجاز خمشی حول محور قوی در نیمرخ I و ناودانی
- ۳۴ 3-5 تنش مجاز خمشی حول محور قوی برای مقطع I، تسمه ها و ورق های مستطیلی
- ۳۴ 4-5 روش طرح خمیری
- ۳۴ 5-5 کنترل ابعاد طرح خمیری
- ۳۵ 6-5 کنترل خیز
- ۳۶ 7-5 کنترل برش
- ۳۶ 8-5 طراحی ورق های زیرسری
- ۳۷ 9-5 طراحی اعضاء تحت خمش دو محوره
- ۳۸ 10-5 کمانش جانبی تیر ها
- ۳۸ 11-5 تنش مجاز خمشی F_b
- ۴۲ 12-5 برگه طراحی تیر فلزی

۴۳ (۶) مباحث تکمیلی طرح تیر ها

- ۴۳ 1-6 طرح تیر با ورق تقویت
- ۴۳ الف) روابط تقریبی برای حدس ورق تقویت
- ۴۳ ب) روابط دقیق برای تعیین ورق تقویت
- ۴۴ 2-6 تیر سراسری
- ۴۴ الف) قضیه سه لنگر
- ۴۵ ب) باز توزیع لنگر
- ۴۵ ج) ضوابط فشردگی
- ۴۵ د) نحوه باز توزیع لنگر

۴۶	ت (مراحل گام به گام طراحی تیر سراسری با ورق تقویت
۴۷	3-6 تیر لانه زنبوری
۴۷	الف (مشخصات هندسی سوراخ ها
۴۸	ب (معیارهای طراحی
۴۸	(۱) معیار خمش
۴۸	(۲) معیار کمانش موضعی اجزای سپری شکل
۴۸	(۳) معیار برش قائم
۴۹	ج (برش پای نر
۵۰	4-6 مسائل ویژه در طرح تیر
۵۰	الف (کنترل جاری شدن موضعی جان
۵۱	ب (کنترل لهیدگی در جان تیر
۵۱	ج (کنترل کمانش توأم با انتقال جانبی در جان تیر
۵۲	د (بقیه قطعات تقویتی در بارها متمرکز

۵۳ تیر مختلط (۷)

۵۳	1-7 عرض مؤثر دال بتنی
۵۳	2-7 محاسبه مشخصات مقطع
۵۴	3-7 محاسبات تیر های مرکب در دو حالت متفاوت
۵۴	الف (اجرای با شمع بندی
۵۵	ب (اجرایی بدون شمع بندی
۵۶	4-7 کنترل خیز
۵۷	الف (با شمع بندی
۵۷	ب (بدون شمع بندی
۵۷	5-7 طرح برشگیر ها
۵۷	(۱) طرح برش گیر بر اساس بارهای وارده
۵۷	(۲) طرح برشگیر به روش مقاومت نهایی
۵۷	6-7 تعیین مقدار q از جدول آیین نامه
۶۰	7-7 برگه طراحی تیر مختلط
۶۲	8-7 برگه طراحی تیرچه کرومیت

۶۳ تیر ستون (۸)

۶۳	1-8 فرمول اول
۶۳	الف (رابطه میانگین عدم جاری شدن
۶۳	ب (رابطه میانگین پایداری
۶۳	2-8 فرمول دوم
۶۳	3-8 تعیین C_m
۶۴	4-8 انتخاب مقطع اولیه تیر ستون
۶۵	5-8 مراحل گام به گام طراحی تیر ستون ها

۶۶ ۹) پیچش

- ۶۶ 1-9 راه حل ساده برای طراحی قطعات خمشی توأم با پیچش
۶۶ (I 2-9
۶۶ (II 3-9
۶۷ (III 4-9

۶۸ ۱۰) پیچ و پرچ

- ۶۸ 1-10 حداقل بار دوام پیچ ها
۶۸ 2-10 تنش های مجاز برشی
۶۹ 3-10 تعیین مقادیر عددی ضرایب $\beta_1, \beta_2, \beta_3$
۶۹ الف) در اتصالات برشی
۶۹ ب) در اتصالات اصطکاکی
۶۹ 4-10 تنش های قراردادی
۶۹ 5-10 فواصل پیچ ها
۶۹ الف) اتصالات برشی
۶۹ ب) اتصالات اصطکاکی
۷۰ 6-10 اثر توأم برش و پیچش
۷۱ 7-10 طرح اتصالات پیچی تحت کشش
۷۱ 8-10 اثر توأم کشش و برش
۷۱ الف) اتصالات برشی
۷۲ ب) اتصالات اصطکاکی
۷۵ 9-10 اتصالات پیچی تحت اثر خمش
۷۵ الف) روابط تقریبی
۷۵ ب) روابط دقیق
۷۶ 10-10 مراحل گام به گام

۷۸ ۱۱) جوش

- ۷۸ 1-11 جدول تعیین حداقل اندازه جوش گوشه
۷۸ 2-11 جدول تعیین حداقل بعد جوش گوشه
۷۹ 3-11 جدول تعیین حداقل ضخامت مؤثر جوش لب با نفوذ غیر کامل
۷۹ 4-11 جدول تعیین حداقل بعد جوش لب با نفوذ غیر کامل
۷۹ 5-11 ضوابط حداکثر اندازه جوش گوشه
۸۰ 6-11 حداقل طول مؤثر جوش گوشه
۸۰ 7-11 سطح مؤثر جوش
۸۰ 8-11 ضخامت مؤثر جوش لب
۸۰ الف) جوش لب با نفوذ کامل
۸۱ ب) جوش لب با نفوذ غیر کامل
۸۱ 9-11 ضخامت مؤثر جوش گوشه

۸۱	10-11 ارزش جوش
۸۱	11-11 نیروی جوش
۸۱	12-11 جوش انگشترانه و کام
۸۲	13-11 تنش مجاز
۸۳	14-11 طراحی اتصال متعادل
۸۳	15-11 مراحل گام به گام طراحی اتصال متعادل
۸۴	16-11 برش با خروج از مرکزیت
۸۴	17-11 جوش تحت اثر برش و لنگر خمشی
۸۵	18-11 رابطه برای طراحی یک خط جوش تحت خمشی

۸۶ (۱۲) اتصالات

۸۶	1-12 اتصالات ساده ی تیر به ستون
۸۶	2-12 مراحل گام به گام طراحی اتصال با نبشی نشیمن
۸۷	3-12 ظوابط اجرایی
۸۸	4-12 مراحل گام به گام طراحی اتصال با نبشی جان
۸۹	5-12 روش گام به گام طراحی اتصال براکت
۹۰	6-12 ضابطه اجرایی اتصال براکت
۹۰	7-12 اتصال صلب تیر به ستون
۹۲	8-12 مراحل گام به گام طراحی اتصال صلب تیر به ستون
۹۴	9-12 طرح لرزه ای اتصال صلب در قاب خمشی معمولی
۹۵	الف (طرح اتصال بر اساس روش تنش مجاز
۹۶	ب (روش تنش مجاز بر اساس روش حدی
۹۷	10-12 طرح لرزه ای اتصال صلب در قاب خمشی ویژه
	الف (طراحی اتصال
۹۹	ب (کنترل چشمه اتصال برای برش
۹۹	ج (کنترل عدم تشکیل مفصل پلاستیک در ستون در هر گره از قاب خمشی
۱۰۰	11-12 وصله ها
۱۰۰	الف) طراحی وصله بال
۱۰۱	ب) طراحی وصله جان
۱۰۱	12-12 طرح جوش وصله جان
۱۰۲	13-12 طرح جوش وصله بال
۱۰۲	14-12 وصله تیر
۱۰۵	15-12 برگه طراحی اتصالات

۱۰۹ (۱۳) تیر ورق

۱۰۹	1-13 ترسیم دیاگرام برش ، لنگر خمشی
۱۰۹	2-13 حدس ارتفاع جان
۱۱۰	3-13 تعیین ضخامت جان
۱۱۰	4-13 تعیین سطح مقطع بال

۱۱۰	5-13 انتخاب ضخامت بال
۱۱۰	6-13 کنترل خمش و محاسبه تنش های خمشی
۱۱۱	7-13 بررسی لزوم کاربرد سخت کننده های میانی
۱۱۱	8-13 کنترل برش
۱۱۲	9-13 کنترل تنش خمشی جان
۱۱۲	10-13 کنترل کمانش قائم جان
۱۱۳	11-13 محاسبه جوش سخت کننده ها
۱۱۳	12-13 کنترل های چشمه آخر
۱۱۴	13-13 ورق های زیر سری در محل بار متمرکز و تکیه گاه ها
۱۱۴	14-13 محاسبه ی ورق های سخت کننده میانی
۱۱۴	15-13 محاسبه ورق های اتکایی زیر بار متمرکز
۱۱۵	16-13 طراحی جوش بال به جان
۱۱۶	17-13 چند نکته در رابطه با تیر ورق ها

۱۱۷ (۱۴) بادبند ها

۱۱۷	1-14 بادبندهای هم محور یا همگرا
۱۱۷	2-14 تحلیل و طراحی مهار بندهای ضربدری
۱۱۷	الف) روش اول
۱۱۷	ب) روش دوم
۱۱۷	۱) تحلیل دقیق
۱۱۸	۲) تحلیل تقریبی
۱۱۸	3-14 بادبندی های هشتی و هفتی
۱۱۸	الف) تحلیل تحت بار q
۱۱۸	ب) تحلیل برای نیروی های جانبی
۱۱۹	4-14 ضوابط کلی طراحی بادبند های همگرا
۱۲۰	5-14 نحوه محاسبه فواصل لقمه های بادبند
۱۲۰	6-14 بادبند های برون محور یا واگرا
۱۲۱	7-14 ضوابط خاص ناحیه پیوند
۱۲۳	8-14 برگه طراحی بادبندها

۱۲۸ (۱۵) قطعات با لنگر لختی متغیر

۱۳۱ (۱۶) طراحی در برابر خستگی

۱۳۲ (۱۷) طراحی سازه های خرابایی

۱۳۳ جداول نیمرخ های ساختمانی

کلیات

تبدیل آحاد:

$$1 \text{ dan} = 10N = 1Kg$$

$$1 \text{ KN} = 10^3 N = 100 \text{ Kg}$$

$$1 \text{ bar} = 1 \frac{\text{dan}}{\text{cm}^2} = 1 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

فولادهای ساختمانی : در سازه های فولادی از انواع مختلف فولاد ساختمانی در طراحی سازه ها استفاده می شود . فولاد نرمه بیشترین مصرف را در ساختمان دارا است . فولاد اعلاء نیز بعد از فولاد نرمه در اجرای سازه ها بکار می رود .

الف (مشخصات فولاد نرمه :

$$F_y = 2300 \pm 100 \quad (\text{bar}) \text{ تنش تسلیم}$$

$$F_u = 3700 \quad (\text{bar}) \text{ تنش نهایی}$$

درصد ازدیاد طول در شکست ۲۲ تا ۲۵ درصد

نکته : مبنای کار ما در حل مسائل $f_y = 2400 \text{ bar}$ خواهد بود.

ب) مشخصات فولاد اعلا :

$$F_y = 2600 \pm 100 \quad (\text{bar}) \text{ تنش تسلیم}$$

$$F_u = 5200 \quad (\text{bar}) \text{ تنش نهایی}$$

درصد ازدیاد طول در شکست حداقل ۲۲ درصد

مشخصات عمومی فولادها به شرح زیر است:

$$e = 2.1 \times 10^6 \text{ تا } 2 \times 10^6 \quad (\text{bar}) \text{ ضریب ارتجاعی فولاد}$$

$$\lambda = 11 \times 10^{-6} \left(\frac{\text{cm}}{\text{c} \cdot \text{cm}} \right) \quad \text{ضریب انبساط حرارتی فولاد}$$

در این مجموعه از حروف بزرگ F برای بیان حروف تنش های مجاز و از حروف کوچک f برای بیان تنش های موجود استفاده شده است .

F_t و f_t : تنش موجود و مجاز کششی

F_a و f_a : تنش موجود و مجاز فشاری

F_b و f_b : تنش موجود و مجاز خمشی

F_v و f_v : تنش موجود و مجاز برشی

تذکر : در این مجموعه هر جا برای روابط و فرمولها واحدی ذکر نشده است پیش فرض مورد نظر Kg-cm است یعنی برای طول cm و برای نیرو Kg در نظر گرفته شده است .

تذکر : ضوابط ارائه شده از آیین نامه ایران بر اساس مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمانی ایران است و ضوابط مربوط به بارگذاری از مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان و آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش سوم است . ضوابط ارائه شده $AISC$ نیز بر اساس آیین نامه سازه های فولادی $AISC$ است .

مقاطع کششی

۲



(1-2) طراحی قطعه کششی :

تنش مجاز \leq تنش موجود

$$f_t = \frac{T}{A} \leq F_t$$

(2-2) تنش مجاز :

(الف) تنش مجاز مقاطع کششی با احتساب سطح ناخالص (A_g) مگر در مقاطع مفصل ها :

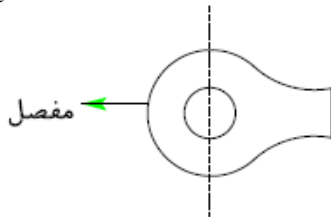
$$F_t = 0.6F_y \quad (\text{بند ۱۰-۱-۴-۱, آیین نامه ایران})$$

(ب) تنش مجاز مقاطع کششی با احتساب سطح خالص موثر (A_e) آن ها :

$$F_t = 0.5F_u \quad (\text{بند ۱۰-۱-۴-۱, آیین نامه ایران})$$

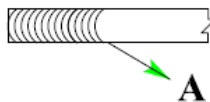
(ج) تنش مجاز در مقاطع مفصل ها :

$$F_t = 0.45F_y \quad (\text{بند ۱۰-۱-۴-۳, آیین نامه ایران})$$



(ه) تنش مجاز میلگردهای رزوه شده با احتساب سطح ناخالص آنها یا در قطر بزرگ :

$$F_t = 0.33F_u \quad (\text{بند ۱۰-۱-۴-۱, آیین نامه ایران})$$



سطح مقطع ناخالص (A_g) :

$$A_g = b \cdot t \quad (\text{بند ۱۰-۱-۱-۱۱, قسمت الف, آیین نامه ایران})$$

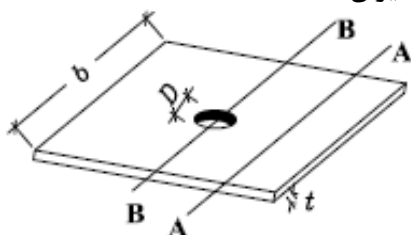
سطح مقطع خالص (A_n) :

$$A_n = (b - D)t \quad (\text{بند ۱۰-۱-۱-۱۱, قسمت ب, آیین نامه ایران})$$

سطح مقطع موثر (A_e) :

$$A_e = U \times A_n \quad (\text{بند ۱۰-۱-۱-۱۱, قسمت پ, آیین نامه ایران})$$

D : قطر محاسباتی سوراخ



(3-2) (جدول تعیین سطح مقطع موثر A_e ، برای قطعات کششی، بند ۱۰-۱-۱-۱۱، ایران)

شرح قطعه	حداقل تعداد پیچ یا پرچ در امتداد تشی	U	سطح خالص موثر A_e	شرط لازم
۱- هرگاه کل عناصر قطعه به صفحه اتصال متصل شده باشند.	۱ (یا جوش)	۱	A_n	به جز تسمه یا اتصال جوشی (به ردیف های ۶-۷-۸ مراجعه شود)
۲- وصله ها یا عناصر اتصال که کششی عمل می کنند (قطعات کوتاه کششی)	۱	۱	$A_n \leq 0.85A_g$	بند ۱-۵-۱ آیین نامه
۳- نیمرخ های I و T شکل	۳ (یا جوش)	۰/۹	$0.9A_n^*$	$\frac{\text{عرض بال}}{\text{ارتفاع مقطع}} \geq \frac{2}{3}$
۴- نیمرخ های I و T شکل در صورتی که فاقد شرط بند فوق باشند و سایر نیمرخ ها و نیمرخ های مرکب که دارای سطح مقطعی خارج از سطح اتصال باشند.	۳ (یا جوش)	۰/۸۵	$0.85A_n^*$	
۵- کلیه نیمرخ های مذکور در دو بند فوق	۲	۰/۷۵	$0.75A_n$	
۶- تسمه با اتصال جوش طولی در دو لبه و به موازات نیرو	جوش	۱	A_g	$l \geq 2W^{**}$ (طول جوش)
۷- مانند بند ۶	جوش	۰/۸۷	$0.87A_g$	$2W > l \geq 1.5W$
۸- مانند بند ۶	جوش	۰/۷۵	$0.75A_g$	$1.5W > l \geq W$

* اتصال از طریق بال یا بالها انجام خواهد شد.

** W عرض تسمه است و l طول هر جوش در امتداد طول تسمه است.

تبصره ۵: حداقل تعداد پیچ و پرچ در هر ردیف آن پیچ هایی است که اگر پیچ هایی غیر از آنها برداشته شوند خللی در مساله پدید نمی آید.

4-2) روش های تعبیه سوراخ:

الف) روش استاندارد: در این روش به دلیل فشار زیادی که میله مرکزی به صفحه وارد می کند مقداری از مساحت اطراف سوراخ لهیده می شود و به همین دلیل یک قطر محاسباتی در نظر می گیریم.

$d = \varphi + 15 (mm)$	قطر محاسباتی سوراخ
$D = d + 15 (mm)$	قطر واقعی سوراخ
	قطر پیچ φ

ب) روش برقو: در این روش پانچ سوراخ را با قطر کمتری از قطر محاسباتی انجام می دهیم و سپس لبه ها را با ابزاری بنام برقو براده برداری می کنیم.

$$\left[\begin{array}{l} d = \varphi + 15 \text{ (mm)} \\ D = d \end{array} \right.$$

ج) روش مته زنی: از دو روش فوق گرانتر است و اگر ضخامت صفحه زیاد باشد مورد استفاده قرار می گیرد.

$$\left[\begin{array}{l} d = \varphi + 15 \text{ (mm)} \\ D = d \end{array} \right.$$

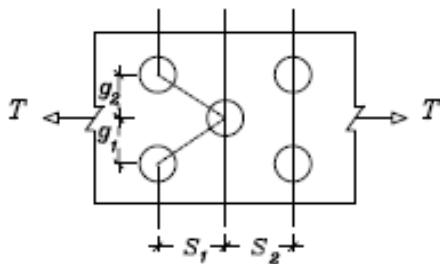
5-2) تعیین سطح خالص:

الف) تعیین سطوح خالص روی مسیره های قائم:

$$A_n = A_g - n(D.t)$$

ب) تعیین سطوح خالص روی مسیره های مایل:

$$A_n = A_g - n(D.t) + \sum_{i=1}^j \frac{S_i^2}{4g_i} \times t_i$$



j: تعداد مسیره های مایل

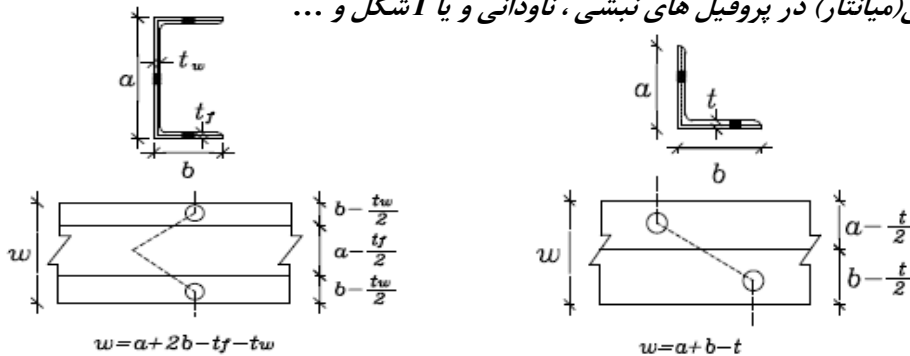
t_i: ضخامت ورق در مسیر مایل

S_i: فاصله افقی دو پیچ در مسیر مایل

g_i: فاصله قائم دو پیچ در مسیر مایل

6-2) تسمه معادل:

عبارت است از خط میانی (میاننار) در پروفیل های نبشی، ناودانی و یا I شکل و ...



7-2) کنترل صلبیت در قطعات کششی:

در طرح قطعات کششی باید ضابطه صلبیت با توجه به مطالب زیر معین شود:

الف) در قطعات کششی (قطعات اصلی و فرعی) نسبت طول آزاد قطعه به شعاع ژیراسیون حداقل مقطع نباید از ۳۰۰ تجاوز کند.

تذکر: قطعه اصلی قطعه ای است که در طول عمر سازه همواره تحت تنش باشد و خرابی آن منجر به خرابی سازه شود. قطعه فرعی قطعه ای است که در موارد خاص به تنش می افتد و خرابی آنها بلافاصله منجر به خرابی سازه نمی شود.

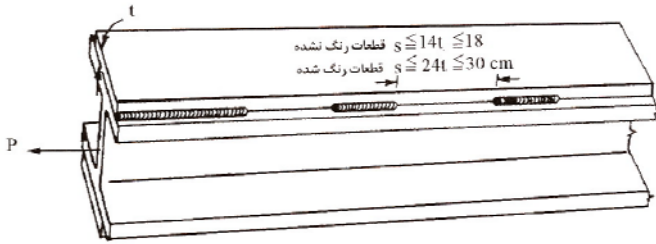
$$\frac{L}{r_{\min}} \leq 300 \quad (\text{بند ۱۰-۱-۴-۲, آیین نامه ایران})$$

(ب) برای قطعات کششی به صورت میلگرد ضابطه ای جهت صلبیت تعریف نشده است .
 (ج) در قطعات مرکب در هر صورت نسبت فاصله آزاد هر نیمرخ از قطعه به شعاع ژیراسیون حداقل همان نیمرخ نباید از ۳۰۰ تجاوز کند . (بند ۱۰-۱-۴-۲، آیین نامه ایران)

8-2) قطعات کششی مرکب :

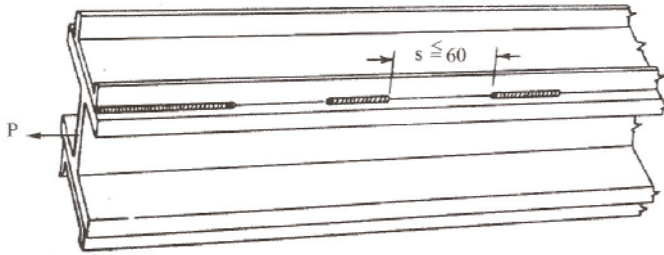
(الف) هرگاه قطعه از یک تسمه و یک نیمرخ تشکیل شده باشد :

(بند ۱۰-۱-۴-۲، ایران)



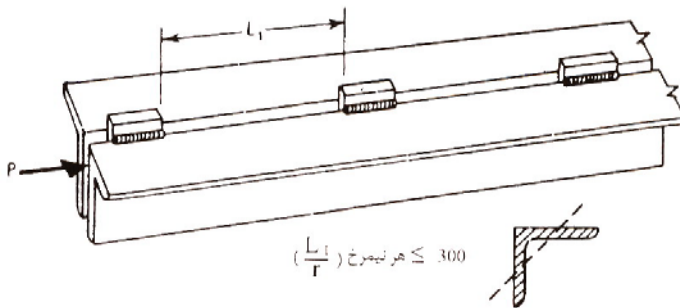
(ب) هرگاه قطعه از ترکیب دو نیمرخ تشکیل شده باشد :

(بند ۱۰-۱-۴-۲، ایران)



(ج) هرگاه در تشکیل قطعه از لقمه استفاده شده باشد :

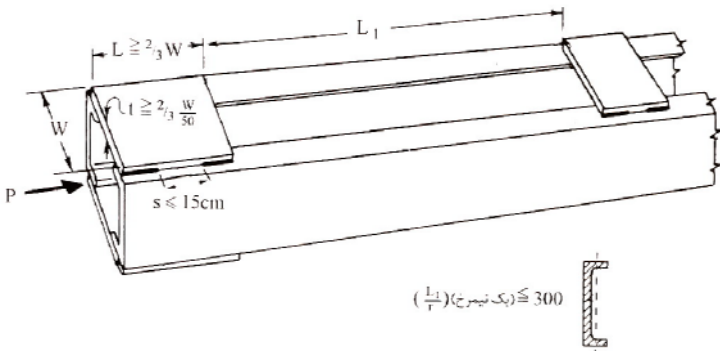
(بند ۱۰-۱-۴-۲، ایران)



$$r_{\min} \text{ تک} = r_{\text{عمود برنیمساز}}$$

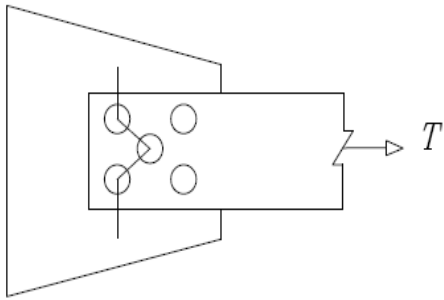
(ه) هرگاه در اتصال نیمرخ های قطعه از تسمه استفاده شده باشد :

(بند ۱۰-۱-۴-۲، ایران)



محاسبه A_n در صورتیکه مسیر مورد بررسی تحت اثر کل نیرو نباشد :

اگر به شکل صفحه بعد توجه کنید در مسیر مورد بررسی کل نیرو وارد نمی شود . بلکه ضریبی (k) از نیرو وارد می شود و داریم :



$$K = \frac{\text{تعداد سوراخ های رد شده} - \text{تعداد کل سوراخ ها}}{\text{تعداد کل سوراخ ها}}$$

ضابطه : $Ae(0.5 \cdot F_u) \geq K \cdot T$

به جای ضابطه ارائه شده می توان ضریب بالا را به صورت معکوس در A_n مسیرهایی که تحت اثر کل نیرو نیستند ضرب کرد .

9-2) مراحل محاسبه ظرفیت کششی مقطع :

۱) محاسبه سطح ناخالص A_g

۲) محاسبه سطح خالص A_n که داریم :

$$A_n = \text{Min} (A_{n_i})$$

۳) محاسبه سطح خالص موثر A_e :

$$A_e = U \cdot A_n$$

۴) محاسبه T :

$$T = \min \begin{cases} 0.6F_y \times A_g \\ 0.5F_u \times A_e \end{cases}$$

۵) کنترل صلبیت .

10-2) مراحل طراحی مقطع کششی :

۱) محاسبه سطح ناخالص لازم A_g :

۲) محاسبه A_n و A_e لازم :

$$A_e \geq \frac{T}{0.5 \cdot F_u}$$

۳) محاسبه r_{\min} لازم :

برای مقاطع اصلی و فرعی $r_{\min} \geq \frac{L}{300}$ \longrightarrow انتخاب پروفیل

۴) کنترل A_e و r_{\min} :

(لازم) $A_e \geq A_e$ (موجود)

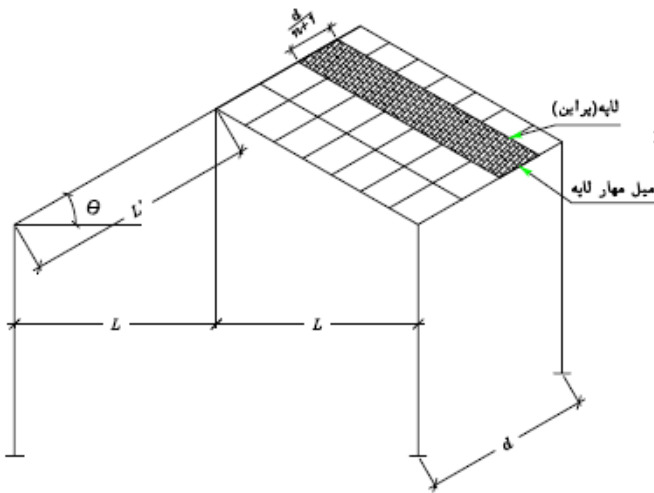
(لازم) $r_{\min} \geq r_{\min}$ (موجود)

11-2) طراحی میلگردهای کششی :

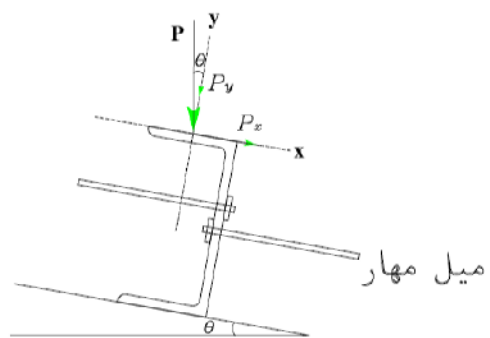
$$F_t = 0.33F_u \longrightarrow A \geq \frac{T}{F_t} \longrightarrow A \geq \frac{\pi D^2}{4}$$

با توجه به سه معادله بالا می توان D (قطر میلگرد) را محاسبه کرد .

نکته : حداقل قطر میلگرد به جهت امکان رزوه 10 mm یا $10\ \Phi$ می باشد .



12-2) میل مهار لایه در سقف های سبک (سازه های صنعتی) :



$$L = L' \cos \theta \quad qL = q'L'$$

وزن پوشش افقی $= q_1 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right)$ مایل $= q_1 \cos \theta \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right)$

بار برف مایل $= q_2 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right)$ افقی $= \frac{q_2'}{\cos \theta} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right)$

n : تعداد ردیف میل مهار در فاصله بین دو قاب

d : فواصل خرپا یا تیرهای اصلی

$2L$: دهانه پوشش

$\frac{d}{n+1}$: عرض بارگیر هر میلگرد

q_i : شدت بار افقی

q_i' : شدت بار مایل

$$\text{شدت بار} = \begin{cases} q' = q_1' + q_2' \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right) \text{ مایل} \\ q = q_1 + q_2 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} \right) \text{ افقی} \end{cases} \longrightarrow \text{بار قائم} = \begin{cases} P = q' \cdot L' \cdot \frac{d}{n+1} (\text{Kg}) \\ P = q \cdot L \cdot \frac{d}{n+1} (\text{Kg}) \end{cases}$$

$$\Rightarrow T = P_x = P \sin \theta \longrightarrow A = \frac{\pi D^2}{4} \geq \frac{T}{0.33F_u} \longrightarrow D \geq \dots$$

مقاطع فشاری

۳

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_e^2}$$

بار بحرانی (اولر) برای ستونی که دو سر مفصل باشد به صورت روبرو است:

L_e : طول موثر عضو فشاری

I : ممان اینرسی عضو فشاری

E : مدول الاستیسیته عضو فشاری

P_{cr} : بار بحرانی

(1-3) محاسبه تنش بحرانی:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}, \quad \lambda = \frac{KL}{r} = \frac{L_e}{r}$$

λ : ضریب لاغری عضو فشاری

L : طول آزاد عضو فشاری

K : ضریب طول موثر

r : شعاع ژیراسیون عضو فشاری

$$\lambda_{cr} = C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{F_y}} = \frac{6440}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{بند ۱۰-۱-۵-۲, قسمت الف, ایران})$$

(2-3) تعیین نوع کمانش:

$$\left[\begin{array}{l} \text{اگر } \lambda \geq C_c \longrightarrow \text{کمانش ارتجاعی} \longrightarrow F_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \\ \text{اگر } \lambda < C_c \longrightarrow \text{کمانش غیر ارتجاعی} \longrightarrow F_{cr} = \left(1 - \frac{\lambda^2}{2C_c^2}\right) F_y \end{array} \right.$$

(3-3) تنش مجاز: (بند ۱۰-۱-۵-۲ آیین نامه ایران)

الف) کمانش ارتجاعی:

$$F = \frac{F_{cr}}{F \cdot S} = \frac{12}{23} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{105 \times 10^5}{\lambda^2} \quad (\text{رابطه ۱۰-۵-۲ آیین نامه ایران})$$

ب) کمانش غیر ارتجاعی:

$$F_a = \frac{F_{cr}}{F \cdot S} = \frac{(1 - 0.5\beta^2) F_y}{F \cdot S}, \quad \beta = \frac{KL/r}{C_c}, \quad F \cdot S = 1.67 + 0.375\beta - 0.125\beta^3$$

$$F_a = \frac{\left(1 - \frac{\lambda^2}{2C_c^2}\right) \cdot F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3}{8} \frac{\lambda}{C_c} - \frac{1}{8} \frac{\lambda^3}{C_c^3}} \quad (\text{رابطه ۱۰-۵-۱ آیین نامه ایران})$$

نکته: تنش مجاز مقاطعات فشاری درجه دوم (فرعی):

$$\left[\begin{array}{l} \text{اگر } \lambda \geq 120 \quad F_{as} = \frac{F_a}{1.6 - \frac{\lambda}{200}} \quad (\text{رابطه ۱-۵-۳ AISC}) \\ \text{اگر } \lambda < 120 \quad F_{as} = F_a \quad (\text{بند ۱-۵-۳ AISC}) \end{array} \right.$$

نکته: ضریب لاغری حداکثر مقاطعات فشاری (اصلی و فرعی) محدود به عدد ۲۰۰ می باشد. (بند ۱۰-۱-۱-۸ آیین نامه ایران)

4-3) جدول تعیین F_a بر حسب $F_y = 2333 \text{ bar}$

(جدول تعیین تنش مجاز بر حسب لاغری، ضمیمه A، AISC)

$\lambda = \frac{KL}{r} > C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$						$\lambda = \frac{KL}{r} < C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$					
$F_a = \frac{12 \pi^2 E}{23 \lambda^2}$						$F_a = \frac{\left(1 - \frac{\lambda^2}{2C_c^2}\right) F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3\lambda}{8C_c} - \frac{\lambda^3}{8C_c^3}}$					
λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	λ
0	1400	1398	1395	1393	1390	1387	1385	1382	1379	1376	0
10	1373	1370	1367	1364	1361	1357	1354	1351	1347	1343	10
20	1339	1335	1332	1328	1324	1320	1316	1312	1308	1304	20
30	1300	1296	1291	1287	1283	1278	1274	1269	1264	1260	30
40	1255	1250	1245	1240	1235	1230	1225	1220	1215	1210	40
50	1205	1199	1194	1189	1183	1178	1172	1167	1161	1155	50
60	1150	1144	1138	1132	1126	1120	1114	1108	1102	1096	60
70	1090	1084	1078	1072	1065	1059	1053	1046	1040	1033	70
80	1026	1019	1013	1006	999	992	986	979	972	965	80
90	957	950	943	936	929	922	914	907	900	892	90
100	885	877	869	862	854	846	839	831	823	815	100
110	807	799	791	783	775	767	759	750	742	734	110
120	638	717	709	700	692	683	674	665	656	648	120
		721	716	710	705	700	695	689	684	679	
130	638	629	620	611	602	593	585	576	568	560	130
	672	666	660	654	648	641	635	630	624	618	
140	552	544	536	529	521	514	507	500	494	487	140
	613	608	603	598	593	588	583	579	574	570	
150	481	474	468	462	456	450	444	439	433	428	150
	565	561	557	553	549	546	542	538	535	531	
160	422	417	412	407	402	397	392	388	383	379	160
	528	525	522	518	515	513	510	507	504	501	
170	374	370	366	361	357	353	349	345	341	337	170
	499	496	494	492	489	487	485	483	481	479	
180	334	330	326	323	319	316	313	309	306	303	180
	477	475	473	471	470	468	467	465	465	462	
190	300	296	293	290	287	284	281	279	276	273	190
	461	460	458	457	456	455	454	453	452	451	
200	270										200
	451										

به ازای $\lambda \geq 120$ دو عدد به عنوان تنش مجاز حداکثر ذکر شده: عدد اول که بالای عدد دوم قرار دارد، تنش مجاز در مقاطعات فشاری درجه اول و عدد دوم که حاصل تقسیم عدد اول در ضریب $\left(1.6 - \frac{\lambda}{120}\right)$ است تنش مجاز مقاطعات فشاری درجه دوم نظیر بادبند ها است.

(5-3) جدول تعیین F_a بر حسب $F_y = 2400 \text{ bar}$, $F_y = 3600 \text{ bar}$ (ضمیمه A, AISC)

جدول ۱- تنش مجاز فشاری ستونهای بر حسب ضریب لاغری برای $F_y = 2400 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)$

$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a
1	1437	41	1278	81	1026	121	695	161	406
2	1435	42	1272	82	1019	122	686	162	401
3	1432	43	1267	83	1012	123	677	163	396
4	1429	44	1262	84	1004	124	667	164	391
5	1426	45	1256	85	997	125	658	165	386
6	1423	46	1251	86	989	126	648	166	382
7	1420	47	1245	87	982	127	638	167	377
8	1417	48	1240	88	974	128	629	168	373
9	1414	49	1234	89	967	129	626	169	368
10	1411	50	1228	90	959	130	623	170	364
11	1408	51	1223	91	951	131	613	171	360
12	1404	52	1217	92	943	132	604	172	356
13	1401	53	1211	93	936	133	595	173	352
14	1397	54	1205	94	928	134	586	173	348
15	1394	55	1199	95	920	135	577	175	346
16	1390	56	1193	96	912	136	569	176	340
17	1386	57	1187	97	904	137	561	177	336
18	1382	58	1181	98	896	138	553	178	332
19	1379	59	1175	99	887	139	545	179	328
20	1375	60	1168	100	879	140	537	180	325
21	1371	61	1162	101	871	141	529	181	321
22	1367	62	1156	102	863	142	522	182	318
23	1362	63	1149	103	855	143	515	183	314
24	1358	64	1143	104	846	144	507	184	311
25	1354	65	1137	105	838	145	500	185	307
26	1350	66	1130	106	829	146	494	186	304
27	1345	67	1123	107	821	147	487	187	301
28	1341	68	1117	108	812	148	480	188	298
29	1336	69	1110	109	802	149	474	189	295
30	1332	70	1103	110	795	150	468	190	291
31	1327	71	1097	111	786	151	461	191	288
32	1322	72	1090	112	777	152	455	192	285
33	1318	73	1083	113	768	153	449	193	283
34	1313	74	1076	114	759	154	444	194	280
35	1308	75	1069	115	750	155	438	195	277
36	1303	76	1062	116	741	156	432	196	274
37	1298	77	1055	117	732	157	427	197	271
38	1293	78	1048	118	723	158	422	198	268
39	1288	79	1041	119	714	159	416	199	266
40	1283	80	1034	120	705	160	411	200	263

جدول ۲- تنش مجاز فشاری ستونهای بر حسب ضریب لاغری برای $F_y = 3600 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)$

$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a	$\frac{KL}{r}$	F_a
1	2155	41	1841	81	1329	121	719	161	406
2	2150	42	1830	82	1314	122	707	162	401
3	2145	43	1819	83	1298	123	695	163	396
4	2140	44	1808	84	1283	124	684	164	391
5	2135	45	1797	85	1268	125	673	165	386
6	2129	46	1786	86	1252	126	663	166	382
7	2123	47	1775	87	1237	127	652	167	377
8	2117	48	1764	88	1221	128	642	168	373
9	2111	49	1753	89	1205	129	632	169	368
10	2105	50	1741	90	1189	130	623	170	364
11	2099	51	1729	91	1173	131	613	171	360
12	2092	52	1718	92	1157	132	604	172	356
13	2085	53	1706	93	1140	133	595	173	352
14	2079	54	1694	94	1124	134	586	173	348
15	2072	55	1682	95	1107	135	577	175	346
16	2064	56	1669	96	1090	136	569	176	340
17	2057	57	1658	97	1074	137	561	177	336
18	2050	58	1645	98	1057	138	553	178	332
19	2042	59	1632	99	1040	139	545	179	328
20	2034	60	1620	100	1022	140	537	180	325
21	2026	61	1607	101	1005	141	529	181	321
22	2018	62	1594	102	987	142	522	182	318
23	2010	63	1581	103	970	143	515	183	314
24	2002	64	1568	104	952	144	507	184	311
25	1993	65	1555	105	945	145	500	185	307
26	1985	66	1541	106	936	146	494	186	304
27	1976	67	1528	107	919	147	487	187	301
28	1967	68	1514	108	902	148	480	188	298
29	1958	69	1501	109	886	149	474	189	295
30	1949	70	1487	110	869	150	468	190	291
31	1940	71	1473	111	854	151	461	191	288
32	1931	72	1459	112	839	152	455	192	285
33	1921	73	1445	113	824	153	449	193	283
34	1911	74	1431	114	810	154	444	194	280
35	1902	75	1417	115	797	155	438	195	277
36	1892	76	1402	116	782	156	432	196	274
37	1882	77	1388	117	769	157	427	197	271
38	1873	78	1373	118	756	158	422	198	268
39	1861	79	1359	119	743	159	416	199	266
40	1851	80	1344	120	731	160	411	200	263

(6-3) تعیین ضریب طول موثر (K) : (بخش ۸-۱ AISC)

الف) هرگاه دو سر قطعه فشاری به گره صلب ختم نشود مقدار K از جدول زیر محاسبه می شود:

(جدول C-۱-۸-۱ AISC)

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
شکل کمانش ستون به وسیله خط چین نشان داده شده است						
مقادیر نظری K	۰,۵	۰,۷	۱,۰	۱,۰	۰,۲	۲,۰
مقادیر توصیه شده برای طراحی	۰,۶۵	۰,۸۰	۱,۰	۱,۲	۲,۱	۲,۰
شرایط انتهایی			چرخش گیر دار چرخش آزاد چرخش گیردار چرخش			بدون انتقال بدون انتقال انتقال آزاد انتقال آزاد

ب) ضریب طول موثر قاب ها: (بخش ۸-۱ AISC)

(۱) کمانش ستون ارتجاعی باشد:

در این حالت با استفاده از روابط داده شده و با توجه به وضعیت مهارتی قاب ها از نمودار ژولیان و لورنس مقدار ضریب طول موثر (K) قابل محاسبه است:

$$G_T = \frac{\sum \frac{I_c}{L_c}}{\sum \frac{I_b}{L_b}}, \quad G_B = \frac{\sum \frac{I_c}{L_c}}{\sum \frac{I_b}{L_b}}$$

G_T : رابطه مربوط به گره بالایی

G_B : رابطه مربوط به گره پایینی

مجموع $\frac{I}{L}$ کلیه ستون های متصل به گره مورد نظر در صفحه قاب

مجموع $\frac{I}{L}$ کلیه تیر های متصل به گره مورد نظر در صفحه قاب

(۲) کمانش ستونی غیر ارتجاعی باشد:

اگر کمانش غیر ارتجاعی با $\lambda \leq C_c$ در این صورت مقدار G_T, G_B با روابط زیر تصحیح می شود:

F_a قدیم $(G = G')$ اصلاح شده

$$F_e' = \frac{12}{23} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2}$$

G : همان G_T با G_B در حالت ارتجاعی است.

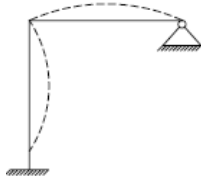
F_a : تنش مجاز در حالت غیر ارتجاعی است.

F_e' : تنش مجاز اولر

نکته ۱: مقدار G تکیه گاه گیردار $G=1$ و برای تکیه گاه مفصلی ستون ها $G=10$ است.

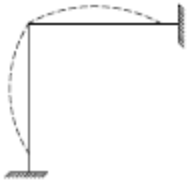
نکته ۲: در استفاده از نمودار ژولیان و لورنس باید به این نکته توجه داشت که گره انتهایی تیرها صلب باشد. اگر گره انتهایی تیر یک گره صلب نباشد در این صورت $\sum \frac{I_b}{L_b}$ در ضرایب زیر ضرب می شود:

الف) ستون عضوی از قاب بدون جابجایی و انتهایی تیر مفصل باشد در این صورت:



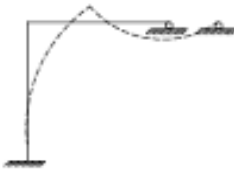
$$\longrightarrow 1.5 \times \left[\frac{I}{L} \right]_b$$

ب) ستون عضوی از قاب بدون جابجایی و انتهایی تیر گیردار باشد در این صورت:



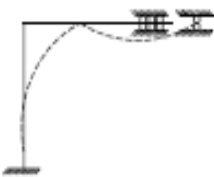
$$\longrightarrow 2 \times \left[\frac{I}{L} \right]_b$$

ج) ستون عضوی از قاب با جابجایی و انتهایی تیر مفصل باشد در این صورت:



$$\longrightarrow 0.5 \times \left[\frac{I}{L} \right]_b$$

د) ستون عضوی از قاب با جابجایی و انتهایی تیر گیردار باشد در این صورت:



$$\longrightarrow 0.67 \times \left[\frac{I}{L} \right]_b$$

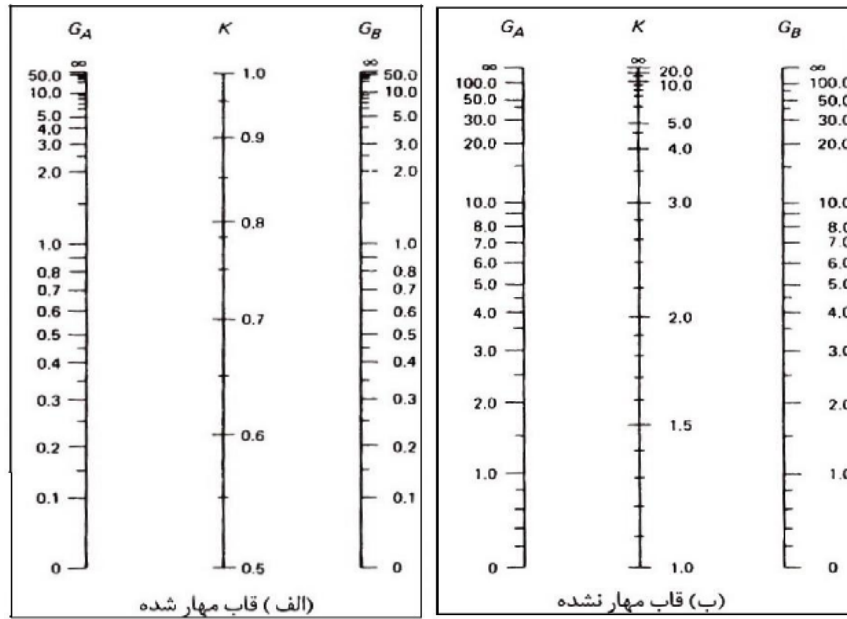
7-3) نمودار ژولیان و لورنس:

نکته ۱: هر چه مقدار G افزایش یابد مقدار K نیز زیاد می شود؛ در حالت مهار شده $0.5 \leq K \leq 1$ است و در قاب مهار نشده $1 < K < \infty$ است.

نکته ۲: G_T ، G_B ربطی به مهار شدگی و مهار نشدگی ندارند و چه قاب مهار شود یا نشود با همان G_T و G_B ، K را تعیین می کنیم.

در صورت نیاز به ضرایب اصلاح I تیرها (بدلیل شرایط غیر صلب بودن تکیه گاه دو تیر) ضرایب اصلاح متناسب با نوع قاب مهار شده یا نشده، متفاوت بوده و لازم است در ضریب G اعمال گردد. (توضیحات همین صفحه)

(شکل c-1-8-2، AISC)



8-3) مراحل گام به گام طراحی ستون ها :

مرحله ۱: فرض می کنیم در مرحله اول $F_a = 1000 \text{ bar}$ باشد .

مرحله ۲: تعیین سطح مقطع :

$$A \geq \frac{P}{F_a} \rightarrow A \geq \dots$$

مرحله ۳: با توجه به سطح مقطع بدست آمده مناسب ترین پروفیل را انتخاب می کنیم .

مرحله ۴: با توجه به پروفیل مورد نظر و مشخصات آن شامل $l_x, l_y, r_x, r_y, k_x, k_y$ داریم:

$$\left\{ \begin{aligned} \lambda_x &= \frac{K_x \cdot L_x}{r_x} \\ \lambda_y &= \frac{K_y \cdot L_y}{r_y} \end{aligned} \right.$$

$$\lambda_{\max} = \max\{\lambda_x, \lambda_y\}$$

مرحله ۵: تعیین λ_{\max} با توجه به λ_x, λ_y یعنی داریم که :

مرحله ۶: با توجه به λ_{\max} و F_a را مجدداً حساب می کنیم :

مرحله ۷: میزان تنش فشاری ستون را محاسبه می کنیم :

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

مرحله ۸:

الف) اگر $f_a \leq F_a$ پس O.K و در آن صورت طراحی پایان می یابد. (البته طرح بایستی اقتصادی باشد).

ب) اگر $f_a > F_a$ باشد در این صورت نمره پروفیل افزایش می یابد و محاسبات را از گام ۴ مجدداً تکرار می کنیم .

نکته: اگر $f_a \ll F_a$ باشد نمره پروفیل کاهش یافته و محاسبات را تکرار می کنیم .

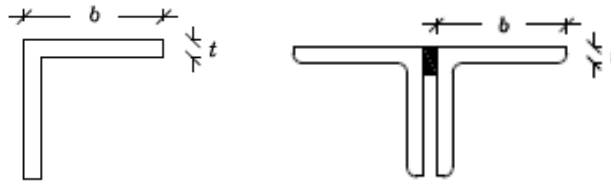
9-3) گمانش موضعی :

فرض کنید پروفیلی با ترکیبی از پروفیل ها تشکیل دهنده عضو فشاری باشند. اگر روابط مربوط به گمانش موضعی بر قرار نباشد باید میزان F_a بر اساس ضریب های Q_a, Q_s یعنی ضرایب تقلیل تنش برای عناصر تقویت شده و تقویت نشده تغییر کند (کاهش یابد). در گمانش موضعی تلاش ما بر این است که با کاهش تنش موثر از گمانش قسمتی از ستون جلوگیری کنیم.

10-3 انواع مقاطعات فشاری :

الف) عناصر تقویت نشده: (ضمیمه C, AISC)

نوع ۱: مقاطعات تشکیل شده از نبشی با زوج نبشی های مجزا از هم :



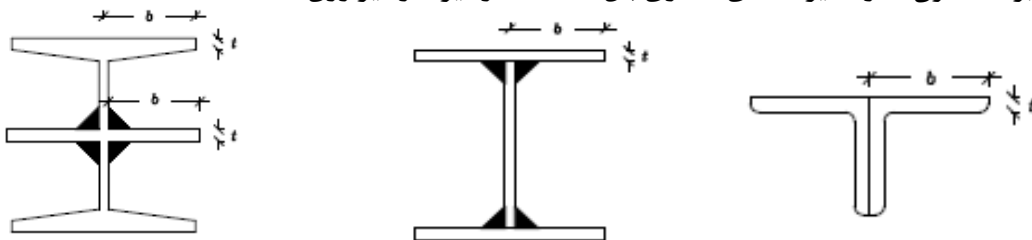
اگر $\frac{b}{t} \leq \frac{637}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_s = 1$ (بند ۱-۹-۱، AISC)

اگر $\frac{637}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t} < \frac{1300}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_s = 1.34 - 0.000533 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{F_y}$ (رابطه 2-1، AISC, C)

اگر $\frac{b}{t} \geq \frac{1300}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_s = \frac{108950}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$ (رابطه 2-2، AISC, C)

نکته: اگر مقطعی از چند ورق با b متغییر ساخته شده باشد، تک تک Q_s ها را حساب کرده و min آنها را در نظر می گیریم.

نوع ۲: مقاطعات فشاری تشکیل شده از دو نبشی به هم چسبیده و یا دو پروفیل به هم چسبیده، صفحات بیرون زده از شاهتیرها ستون ها و سایر اعضای فشاری بال تحت فشار تیرها و تیر ورق ها :

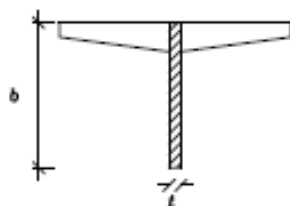


اگر $\frac{b}{t} \leq \frac{797}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_s = 1$ (بند ۱-۹-۱، AISC)

اگر $\frac{797}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t} < \frac{1476}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_s = 1.415 - 0.000521 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{F_y}$ (رابطه 2-3، AISC, C)

اگر $\frac{b}{t} \geq \frac{1476}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_s = \frac{1406000}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$ (رابطه 2-4، AISC, C)

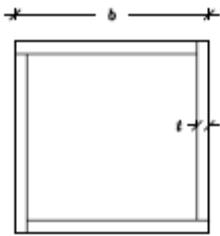
نوع ۳: ساق نیمرخ های سپری :



اگر $\frac{b}{t} \leq \frac{1065}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_s = 1$ (بند ۱-۹-۱، AISC)

اگر $\frac{1065}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t} < \frac{1476}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_s = 1.908 - 0.000853 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y}$ (رابطه AISC, C 2-5)

اگر $\frac{b}{t} \geq \frac{1476}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_s = \frac{1406000}{F_y \left(\frac{b}{t} \right)^2}$ (رابطه AISC, C 2-6)



(ب) عناصر تقویت شده: (ضمیمه AISC, C)

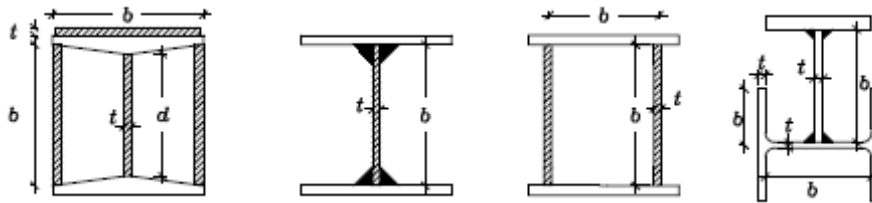
نوع ۱: برای بال قوطی های مربع و مستطیل شکل و با ضخامت یکنواخت:

اگر $\frac{b}{t} \leq \frac{1995}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_a = 1 \rightarrow b_e = b$ (بند ۱-۹-۱ AISC)

اگر $\frac{b}{t} > \frac{1995}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_a \neq 1 \rightarrow b_e = \frac{2121}{\sqrt{f}} t \left[1 - \frac{422}{\left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{f}} \right] \leq b$ (رابطه AISC, C 3-۱)

$$f = f_a \leq Q_s \cdot F_a$$

نوع ۲: برای هر عضو تقویت شده ای که تحت فشار یکنواخت قرار داشته باشد:



اگر $\frac{b}{t} \leq \frac{2121}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_a = 1 \rightarrow b_e = b$ (بند ۱-۹-۱ AISC)

اگر $\frac{b}{t} > \frac{2121}{\sqrt{F_y}}$ \longrightarrow $Q_a \neq 1 \rightarrow b_e = \frac{2121}{\sqrt{f}} t \left[1 - \frac{371}{\left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{f}} \right] \leq b$ (رابطه AISC, C 3-2)

$$f = f_a \leq Q_s \cdot F_a$$

نوع ۳: برای صفحات یکسره ای که چند نیمرخ را به هم وصل می کنند و در آنها سوراخهای متناوب برای دسترسی به داخل نیمرخ های متصل به آنها ایجاد شده است رابطه $\frac{b}{t} \leq \frac{2658}{\sqrt{F_y}}$ باید برقرار باشد. (بند ۱-۹-۲-۱ AISC)

نوع ۴: در مورد نیمرخ هایی با مقطع مدور، که تحت فشار محوری قرار دارند، در صورتی تمام سطح مقطع موثر تلتقی خواهد شد که نسبت قطر خارجی نیمرخ به ضخامت جدار آن در رابطه زیر صدق می کند.

$\frac{b}{t} \leq \frac{231990}{\sqrt{F_y}}$ (بند ۱-۹-۲-۱ AISC)

11-3) مراحل گام به گام طراحی ستون ها در صورت وجود کمانش موضعی :

- مرحله ۱: ابتدا ستون را بر اساس حالت بدون وجود کمانش موضعی طرح می کنیم (F_a را می یابیم).
- مرحله ۲: سپس مقدار Q_s را از کنترل عناصر تقویت نشده محاسبه می کنیم.
- مرحله ۳: از رابطه $f = f_a \leq Q_s \cdot F_a$ برای f مقداری را فرض می کنیم.
- مرحله ۴: مقدار b_e را برای عناصر تقویت شده محاسبه می کنیم.
- مرحله ۵: مقدار A_e سطح موثر را می یابیم:

$$A_e = A_g - \sum (b - b_e) \cdot t$$

مرحله ۶: محاسبه Q_a داریم: (بخش ۴ C, AISC)

$$Q_a = \frac{A_e}{A_g}$$

مرحله ۷: محاسبه Q که داریم:

$$Q = Q_s \cdot Q_a$$

مرحله ۸: محاسبه C_c داریم:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{Q \cdot F_y}} = \frac{6440}{\sqrt{Q \cdot F_y}}$$

مرحله ۹: محاسبه مجدد F_a با توجه C_c ، λ :

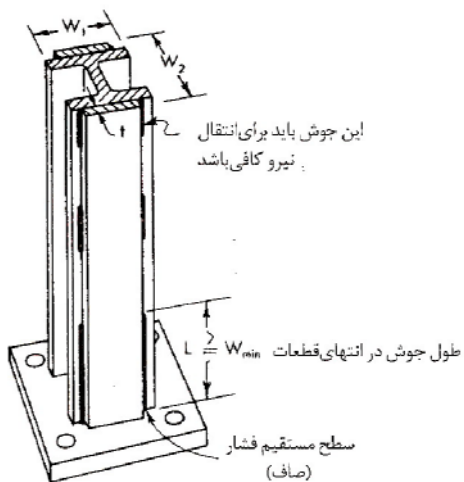
در حالت غیر ارتجاعی ←

$$F_a = \frac{Q \cdot F_y}{F.S} \left[1 - \frac{\lambda^2}{2C_c'^2} \right]$$

(رابطه ۱-5 C, AISC)

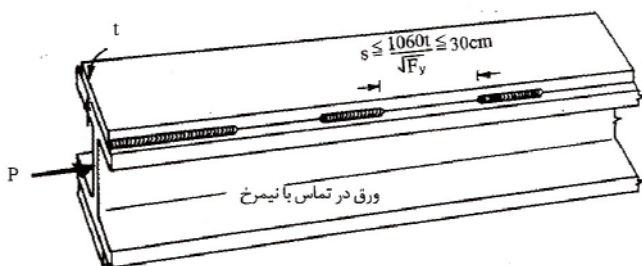
مرحله ۱۰: کنترل $f_a \leq F_a$:

اگر تفاوت F_a بدست آمده با مقدار حدی در نظر گرفته شده زیاد باشد مقدار F_a جدید را به عنوان f در نظر گرفته و از مرحله ۴ به بعد عملیات را دوباره تکرار می کنیم.



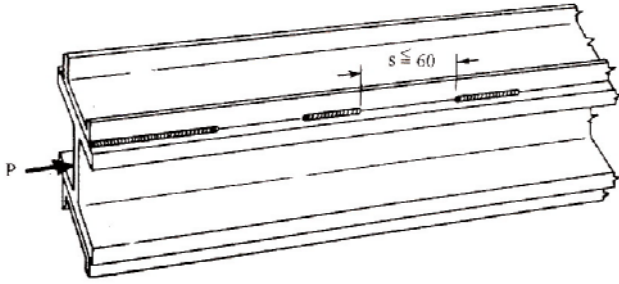
12-3) مقاطعات فشاری مرکب: (بند ۱۰-۱-۵-۴ آیین نامه ایران)

الف) هرگاه اتصال انتهایی نیمرخ ها در قطعه فشاری مطرح باشد باید مطابق شکل عمل شود:

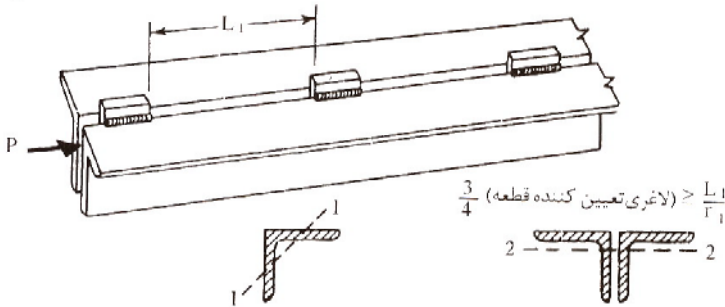


ب) اگر اتصال ورق و نیمرخ در طول قطعه مطرح باشد:

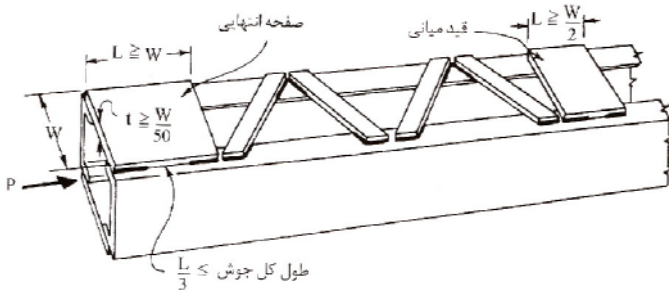
ج) اگر اتصال دو نیمرخ در طول قطعه مطرح باشد :



د) اگر چند قطعه توسط لقمه به یکدیگر متصل شده باشند باید به صورت زیر عمل شود :



ه) اگر مقاطعات توسط بست به یکدیگر متصل شوند باید ورق دو انتهای قطعه و همچنین ورق محلی که آرایش بست به هم می خورد مطابق شکل زیر باشد :



13-3) مراحل گام به گام طراحی ستون های بست دار :

نوع ۱: ستون های با بست افقی یا نردبانی : (بند ۱۰-۱-۵-۴ قسمت ب) آیین نامه ایران)

مرحله ۱ : می دانیم در ستون های ترکیبی لاغری کمتر و تنش مجاز بیشتر است پس فرض می کنیم ابتدا $F_a = 1100$ باشد .

مرحله ۲ : با توجه به F_a داریم :

$$A \geq \frac{P}{F_a} \rightarrow A = \dots, \frac{A}{2} = \dots$$

مرحله ۳ : تعیین نوع پروفیل ستون با توجه به $\frac{A}{2}$.

مرحله ۴ : با فرض اینکه $\lambda_x = \lambda_{max}$ مقدار F_a جدید را محاسبه می کنیم .

مرحله ۵ : با توجه به اینکه فرض می کنیم $\alpha, \alpha \lambda_y \leq \lambda_x$ با توجه به بست تعیین می شود ابتدا فرض می کنیم که $\alpha = 1.15$ باشد حال داریم :

$$\left(1.15 \cdot \frac{KL}{r} \right)_y \leq \left(\frac{KL}{r} \right)_x \rightarrow r_y = ?$$

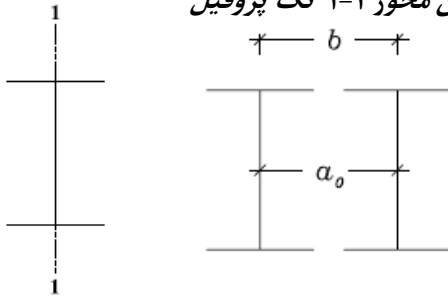
$$\rightarrow b \geq \dots$$

$$r_y^2 = r_{y0}^2 + \left(\frac{b}{2} \right)^2$$

مرحله ۶: تعیین a_0 با توجه به شکل و کنترل آن بر اساس رابطه زیر:

r_1 : شعاع ژیراسیون حداقل تک نیمرخ با شعاع ژیراسیون محور ۱-۱ تک پروفیل

$$a_0 \leq 20 r_1$$



در پروفیل های دابل I شکل: $a_0 = b - t_w$
 b: فاصله مرکز ثقل تا مرکز ثقل دو نیمرخ

$$\lambda_y = \frac{KL}{r_y}$$

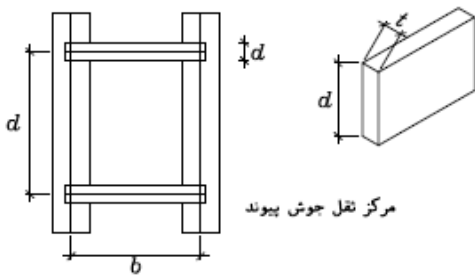
بعد از محاسبه a_0 و b جدید مجدداً $r_y = \sqrt{r_{y0}^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}$ را بدست آورده و آنگاه:

مرحله ۷: تعیین d و t_d از روابط زیر: (بند ۱۰-۱-۵-۴ قسمت ب) آیین نامه ایران)

$$\text{ابعاد بست افقی} \begin{cases} d \geq 0.42a_0 \\ t_d \geq \frac{b}{40} \end{cases}$$

d : عرض قید

t_d : ضخامت قید



حال می توانیم پلیت های بست را طرح کنیم.

نکته: مرکز ثقل جوش پیوند باید بر تار فشاری نیمرخ ها منطبق باشد.

نکته: مقدار d, t_d باید طوری طرح شوند که با شرایط اجرایی نیز هم خوانی داشته باشد.

مرحله ۸: تعیین فواصل بست ها: (بند ۱۰-۱-۵-۴ قسمت ب) آیین نامه ایران)

$$\begin{cases} a \geq 2.5d \\ \frac{a}{r_1} \leq \text{Max} \begin{cases} ۴۰ \text{ یا } ۵۰ \\ \frac{2}{3} \lambda_y \text{ یا } \frac{L}{2r_x} \end{cases} \end{cases}$$

r_1 : شعاع ژیراسیون حداقل تک نیمرخ

a: فواصل مراکز بست ها

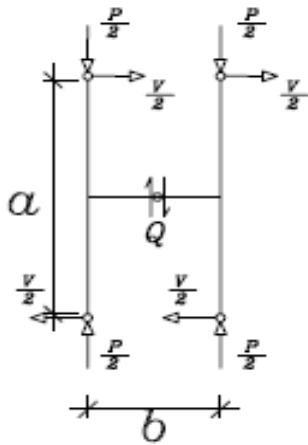
حال مقداری را برای a بر اساس قواعد بالا فرض می کنیم.

نکته: به لحاظ اجرایی مقدار a در حدود ۴۰ تا ۶۰ سانتی متر مناسب می باشد.

مرحله ۹: کنترل ابعاد بست بر اساس کنترل برش و خمش:

$$V = 0.02P \text{ (میزان برش در ستون های ترکیبی)}$$

(بند ۱۰-۱-۵-۴ قسمت ب) ایران)



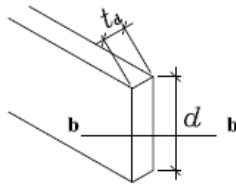
$$\frac{Q}{2} = \frac{V \cdot a}{2b}$$

کنترل برش $\rightarrow 1.5 \frac{Q/2}{d \cdot t_d} \leq 0.4 F_y$

کنترل خمش :	{	$M_b = \frac{Q}{2} \cdot \frac{b}{2}$	$\leftarrow M_b$ لنگر در هر قید
		$S_x = \frac{t_d \cdot d^2}{6}$	$\leftarrow S_x$ اساس مقطع هر قید
		$f_b = \frac{M_b}{S_x} < 0.75 F_y$	$\leftarrow f_b$ تنش خمشی موجود

نکته : اگر $f < 0.75 F_y$ در این صورت مقطع قوی تری انتخاب می شود و با اینکه فواصل بست ها (a) را کم می کنیم .

مرحله ۱۰ : تعیین دقیق α :



(بند ۱۰-۵-۴، آیین نامه ایران)

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{0.822}{(\lambda_y)^2} \left(\frac{A}{A_b} \cdot \frac{ab}{r_b^2} \right) + \left(\frac{a}{r_1} \right)^2}$$

A : سطح مقطع کلی نیمرخ های عضو فشاری

A_b : سطح مقطع یک جفت قید افقی

a : فاصله مرکز به مرکز قید ها

b : فاصله مرکز ثقل دو نیمرخ از یکدیگر

r_b : شعاع ژیراسیون قید افقی نسبت به محوری که تحت خمش قرار می گیرد. (محور b در شکل صفحه قبل)

r_1 : شعاع ژیراسیون حداقل هر یک از نیمرخ های فشاری است .

مرحله ۱۱ : کنترل نهایی :

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_x = \dots \\ \alpha \lambda_y = \dots \end{array} \right. \quad \lambda_{\max} = \dots \rightarrow F_a = \dots \quad \text{کنترل : } f_a \leq F_a$$

نکته : رابطه دیگری نیز برای تعیین مقدار دقیق α ارائه شده است :

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{\left(\frac{a}{r_1} \right)^2}{\lambda_y^2}}$$

$\leftarrow \alpha$ فواصل قید ها در امتداد طول عضو

$\leftarrow r_1$ شعاع ژیراسیون حداقل هر یک از نیمرخ های فشاری

نوع ۲: طراحی براساس بست چپ و راست: (ساده و دوبل) (بند ۱۰-۱-۵-۴ قسمت الف) ایران)

مرحله ۱: مطابق نسبت های افقی تا مرحله ۶ انجام می دهیم تا مقدار b را نیز محاسبه کنیم.

$$d = \frac{b}{\sin \theta}$$

مرحله ۲: تعیین d (طول بست): (مشترک بین بست ساده و دوبل)

مرحله ۳: تعیین a (فواصل بست ها):

$$\left\{ \begin{array}{l} a = 2 \cdot d \cdot \cos \theta \longrightarrow \text{مخصوص بست ساده} \\ a = d \cdot \cos \theta \longrightarrow \text{مخصوص بست دوبل} \\ \frac{a}{r_1} \leq \frac{3}{4} \lambda_{\max} \longrightarrow \text{رابطه مشترک} \end{array} \right. \longrightarrow a = \dots$$

نکته: بست های چپ و راست را باید طوری قرار داد که لاغری بال محصور بین نقاط اتصال آن از $\frac{3}{4}$ لاغری تعیین

کننده کلی عضو بیشتر نشود. (بند ۱۰-۱-۵-۴ قسمت الف) ایران) (رابطه بالا)

نکته: اگر فاصله اتصالات بین دو سر بست بیش از ۳۸ سانتیمتر باشد ارجح است که بست ها به صورت زوج در نظر

گرفته شوند و با در آنها نیمرخ نبشی استفاده گردد. (بند ۱۰-۱-۵-۴ قسمت الف) ایران)

مرحله ۴: محاسبه t_b :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ساده} \quad \frac{d}{r_d} \leq 140 \\ \text{دوبل} \quad \frac{d}{r_d} \leq 200 \end{array} \right.$$

$$\rightarrow r_d)_y \geq 0.29 t_b \Rightarrow t_b \geq \dots$$

r_d : شعاع ژیراسیون حول محور ضعیف قید

با بدست آوردن t_d مجدداً r_d را محاسبه می کنیم.

نکته: نسبت $\frac{d}{r}$ برای بست های چپ و راست تکی نباید از ۱۴۰ تجاوز کند. برای بست های چپ و راست به صورت

زوج این نسبت نباید از ۲۰۰ بیشتر شود. (بند ۱۰-۱-۵-۴ قسمت الف) ایران)

توضیح: محور ۱-۱ محور ضعیف قید است که r_d نسبت به آن محاسبه می شود.



مرحله ۵: محاسبه λ_d :

نکته: طول آزاد برای محاسبه ضریب لاغری بست های اتصالی که در فشار قرار دارند در بست های تکی برابر فاصله

بین اتصالات دو سر آنها به عضو فشاری و در بست های زوج ضریب ۷۰ درصد این فاصله به حساب می آید.

(بند ۱۰-۱-۵-۴ قسمت الف) ایران)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ساده} \quad \frac{d}{r_d} = \lambda_d = \dots \\ \text{دوبل} \quad \frac{0.7d}{r_d} = \lambda_d = \dots \end{array} \right.$$

مرحله ۶: محاسبه تنش مجاز فشاری:

طراحی بست های چپ و راست به مانند طراحی مقاطعات درجه دوم است. $\lambda_d = \dots \Rightarrow F_a = \dots$

مرحله ۷:

$$F = \frac{V}{n \sin \theta}, V = 0.02P$$

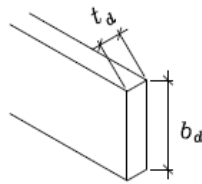
(نیروی فشاری موجود در قید)

در بست چپ و راست ساده $n = 2$ و در بست چپ و راست دوبل $n = 4$ است.

نکته: زاویه تمایل امتداد بست ها نسبت به محور طولی عضو ارجح است که برای بست تکمی از ۶۰ درجه و برای بست های زوج از ۴۵ درجه کمتر نباشد. (بند ۱۰-۱-۵-۴ قسمت الف) ایران

$$\frac{F}{t_b \cdot b_d} \leq F_a \rightarrow b_d = \dots$$

حال داریم



$b_d \leftarrow$ عرض قید

$t_b \leftarrow$ ضخامت قید

مرحله ۸: محاسبه α به طور دقیق

$$\left[\begin{array}{l} \frac{KL}{r} \geq 40 \rightarrow \alpha = \sqrt{1 + \frac{300}{\lambda_y^2}} \\ \frac{KL}{r} < 40 \rightarrow \alpha = 1.1 \end{array} \right.$$

(رابطه آیین نامه ایران)

ضریب لاغری نسبت به محور عمود بر بست ها: $\frac{KL}{r}$

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{\lambda_y^2} \cdot \frac{A}{A_d} \cdot \frac{1}{\cos \theta \cdot \sin^2 \theta}}$$

A : سطح مقطع کل نیمرخ های عضو فشاری

A_d : سطح مقطع بست های چپ و راست در هر مقطع ستون

θ : زاویه شیب بست چپ و راست نسبت به محور طولی ستون

$$A_d = n \cdot b_d \cdot t_d$$

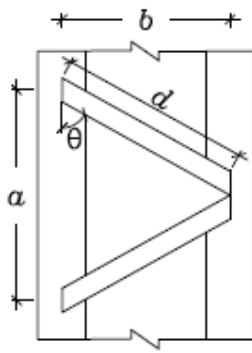
$n = 2$ در بست چپ و راست ساده

$n = 4$ در بست چپ و راست دوبل

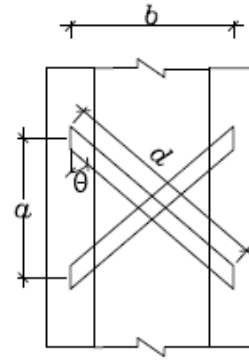
مرحله ۹: کنترل نهایی:

$$\left[\begin{array}{l} \lambda_x = \dots \\ \alpha \lambda_y = \dots \end{array} \right.$$

$$\lambda_{\max} = \dots \rightarrow F_a = \dots \quad \text{کنترل: } f_a \leq F_a$$



بست چپ و راست ساده ($\theta \geq 60^\circ$)



بست چپ و راست دابل ($\theta \geq 45^\circ$)

α نکته: در ستون هایی که هم بست چپ و راست و هم پیوند افقی داریم از رابطه زیر برای تعیین دقیق

استفاده می شود

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{\pi^2}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \left[\frac{A}{A_d} \cdot \frac{1}{\cos \cdot \sin^2 \theta} + \frac{A}{A_b} \tan \theta \right]}$$



ستون با بست چپ و راست و پیوند افقی

14-3) برگه طراحی ستون فلزی

برگه طراحی ستون فلزی (روش تنش مجاز)									
شماره ستون در تحلیل:			طبقه:						
مشخصات مقطع:					نیروها و لنگرهای طراحی				
$P(t)$	$M_y(t,m)$	$M_x(t,m)$	$L(cm)$	$A(cm^2)$	$r_x(cm)$	$r_y(cm)$	$w_x(cm^3)$	$w_y(cm^3)$	F_y
تنش های مجاز									
$G_j(x)$		K_x	K_y	$\lambda_x = \left(\frac{KL}{r}\right)_x$	$\lambda_y = \left(\frac{KL}{r}\right)_y$	F_a (kg/cm ²)	F_{bx} (kg/cm ²)	F_{ex}' (kg/cm ²)	
$G_i(x)$									
محاسبات دستی									
خروجی ETABS									
ترکیب تنش های محوری و خمشی									
$(1): \frac{f_a}{F_a} + \beta_x \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \leq 1$					$\beta_x = \frac{C_{mx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ex}'}\right)}$				
$(2): \frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \leq 1$									
f_a (kg/cm ²)	f_a/F_a	$f_a/0.6F_y$	f_{bx} (kg/cm ²)	f_{bx}/F_{bx}	C_{mx}	β_x	Ratio (1)	Ratio (2)	Ratio (ETABS)
کنترل ضوابط آیین نامه 2800									
$(1): P_1 = P_{DL} + 0.8P_{LL} + (0.4R)P_E \leq P_{SC}$					$P_{SC} = 1.7F_a A$				
$(2): P_2 = 0.85P_{DL} + (0.4R)P_E \leq P_{ST}$					$P_{ST} = F_y A$				
$P_{DL}(t)$	$P_{LL}(t)$	$P_E(t)$	$ P_1(t) $	$P_{SC}(t)$	Check(1)	$ P_2(t) $	$P_{ST}(t)$	Check(2)	
					O.K.			O.K.	
طراحی بست های موازی ستون									
$l_1(cm)$	فاصل بین قیدها	$d(cm)$	ارتفاع هر قید	ضخامت $t(cm)$	$\lambda_{ye} = k_1 \lambda_y$	$\lambda_{ye} \leq \lambda_x$	USE		
						O.K.			

۴

طراحی کف ستون ها

1-4) روش تعیین تنش مجاز فشاری بتن :

(۱) تنش فشاری مجاز بروی تکیه گاه بتنی : (بند ۱۰-۷-۷ ، آیین نامه ایران)

$$F_p = 0.3 f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 0.7 f'_c$$

f'_c ← مقاومت فشاری بتن بروی نمونه استوانه ای استاندارد .

A_1 ← سطح ورق زیر در تماس با شالوده $(cm)^2$ (سطح کف ستون)

A_2 ← حداکثر سطحی از شالوده هم مرکز و متشابه با ورق زیرستون $(cm)^2$ می باشد . (سطح پی)

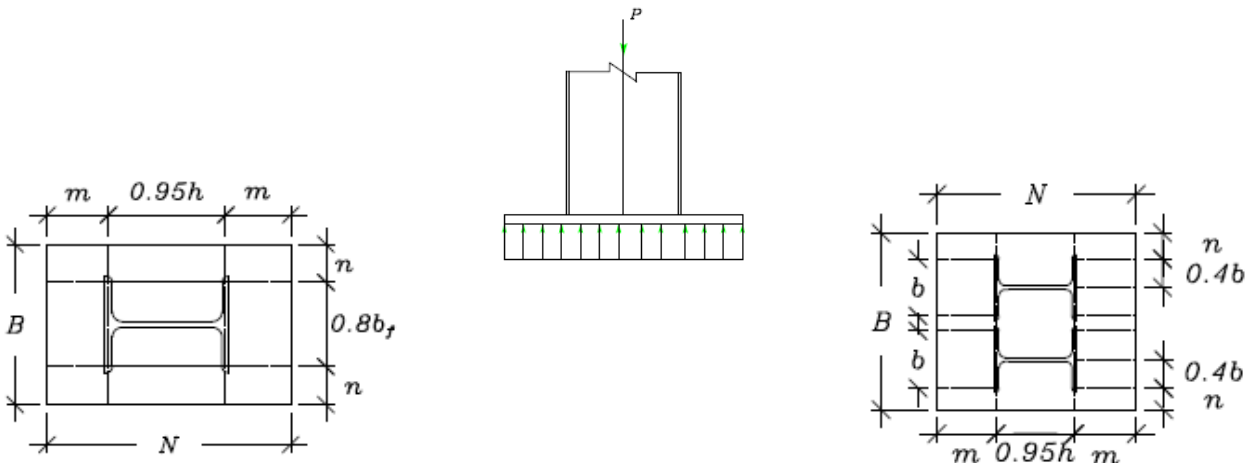
$$F_p = \alpha \cdot f_a$$

(۲) مقدار f_p از رابطه زیر نیز تعیین می شود :

$$\alpha = \begin{cases} 1.25 \rightarrow & \text{کف ستون در کنار پی نواری} \\ 1.5 \rightarrow & \text{کف ستون در وسط پی نواری} \\ \sqrt[2]{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2.0 \rightarrow & \text{سطح کف ستون و } A_2 \text{ سطح پی} \end{cases}$$

$f'_c (Kg/cm^2)$	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۳۵۰	۴۰۰
$f_a (Kg/cm^2)$	۳۰	۴۵	۵۵	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰

(۱) طراحی کف ستون بدون خروج از مرکزیت و بدون سخت کننده : ($e = 0 \rightarrow M = 0$)



مراحل گام به گام : (تک پروفیل)

$$N - 0.95h = B - 0.8b$$

(۱) فرض می کنیم $m = n$ است ، حال داریم :

$$f_p = \frac{P}{N.B} \leq F_p \rightarrow N.B \geq \frac{P}{F_p}$$

(۲) رابطه کنترل تنش فشاری :

۳) با استفاده از بند ۱، ۲، با دو معادله و دو مجهول، N, B را تعیین می کنیم؛ و کنترل می کنیم که:

$$f_p \leq F_p$$

نکته: ابعاد کف ستون مضربی از 5 است.

۴) با توجه به N, B ، مقدار m, n را چنین داریم:

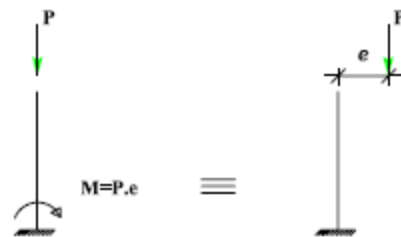
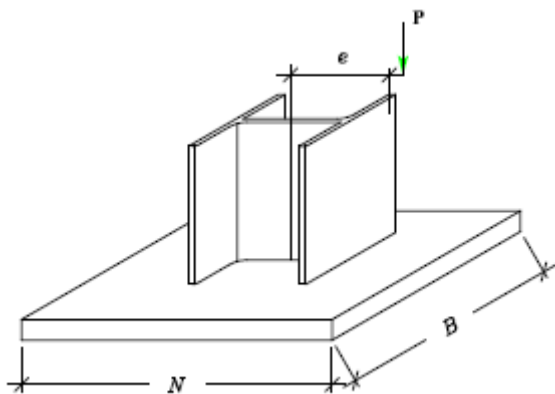
$$\begin{cases} m = \frac{1}{2}(N - 0.95h) \\ n = \frac{1}{2}(B - 0.8b_f) \end{cases}$$

۵) تعیین ضخامت کف ستون یا (t) :

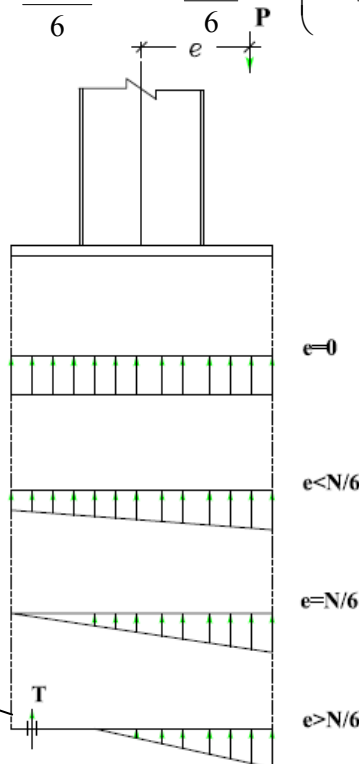
$$\begin{cases} m' = \max(m, n) \\ f_p = \frac{P}{N \cdot B} \end{cases} \rightarrow t \geq 2m' \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \Rightarrow t = \dots$$

$$USE : B \cdot PL(N \times B \times t)$$

طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت:



$$f_p = \frac{P}{A} \pm \frac{P \cdot e}{B \cdot N^2} = \frac{P}{A} \pm \frac{P \cdot e}{A \cdot N} = \frac{P}{A} \left(1 \pm \frac{e}{N} \right) \leq F_p$$



در این ناحیه Bolt محاسباتی قرار می دهیم تا نیروی کششی را تحمل کند.

(۲) طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت: $(e \leq \frac{N}{6})$

(۱) با توجه به ابعاد ستون N, B را تعیین می کنیم .

با فرض اولیه $B = N$ ، می توان مقادیر N, B را به صورت زیر تعیین نمود :

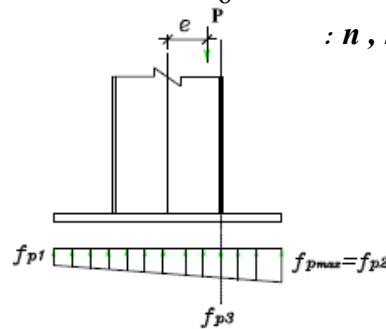
$$B \approx \sqrt{\frac{P}{F_P}} \quad , N = \frac{P}{2B.F_P} + \sqrt{\left(\frac{P}{2B.F_P}\right)^2 + \frac{6M}{B.F_P}} \quad \text{رابطه *}$$

(۲) با N بدست آمده فرض $e \leq \frac{N}{6}$ را کنترل می کنیم ، اگر برقرار بود وارد مرحله ۳ می شویم .

(۳) محاسبه m, n :

$$\begin{cases} m = \frac{1}{2}(N - 0.95h) \\ n = \frac{1}{2}(B - 0.8b) \end{cases} \rightarrow \max(m, n) = m'$$

$$f_P = \frac{f_{P3} + f_{P2}}{2}$$



(۴) با تعیین f_{Pmax} از رابطه صفحه قبل بایستی کنترل کنیم که :

(۵) تعیین ضخامت B_{PL} :

$$t \geq 2m' \sqrt{\frac{f_P}{F_y}}$$

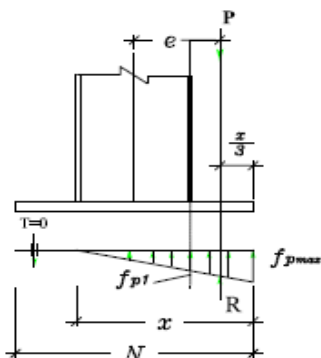
نکته : اگر f_P را از فرمول تعیین f_{Pmax} قرار دهیم طرح غیر اقتصادی است و اگر f_P متوسط دو سر کف ستون قرار دهیم در خلاف جهت اطمینان است .

(۳) طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت زیاد : $(e > \frac{N}{6}, e \leq \frac{N}{2})$

در این حالت فرض می کنیم که برآیند نیروهای زیر کف ستون بر P منطبق است و از نیروی کششی صرفنظر می

کنیم در این حالت طول ناحیه کششی مشخص نیست .

$R \leftarrow$ برآیند نیروهای زیر کف ستون



(۱) با توجه به ابعاد ستون ، بعد کف ستون در جهت لنگر N و بعد دیگر کف ستون B تعیین می شود .

(۲) کنترل رابطه :

$$\frac{N}{6} \leq e \leq \frac{N}{2}$$

(۳) تعیین طول گسترش :

$$T \approx 0 \rightarrow \frac{x}{3} = \frac{N}{2} - e \Rightarrow x = 3\left(\frac{N}{2} - e\right)$$

۴ (کنترل رابطه تنش فشاری : $\sum F_y = 0 \Rightarrow \frac{1}{2} f_p \cdot x \cdot B = P \rightarrow f_p = \frac{2P}{x \cdot B} \leq F_p$

۵ (تعیین ضخامت B_{PL} : $m' = \max(m, n)$

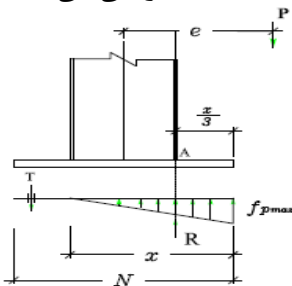
$f_p = \frac{f_{pmax} + f_{p1}}{2} \rightarrow t \geq 2m' \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \rightarrow Use \quad PL(B \cdot N \cdot t)$

نکته : m, n از ممان روابط ارائه شده در صفحات قبل بدست می آید .

۴ (طراحی کف ستون با خروج از مرکزیت زیاد : $(e > \frac{N}{2}, e > \frac{N}{6})$

(2-4 الف) روش تقریبی :

فرض : بر آیند عکس العمل زیر کف ستون در میان صفحه بال فشاری است . در این حالت Bolt طراحی می کنیم چون نیروی کششی قابل صرف نظر نیست .



نکته : برای آنکه فضای کافی برای قرار دادن میل مهار وجود داشته باشد ، ابعاد کف ستون باید حداقل 20 cm از

ابعاد ستون بیشتر باشد .

۱ (N, B را با توجه به ابعاد ستون تعیین می کنیم و یا از رابطه * استفاده می کنیم .

۲ (مقدار خروج از محوریت را محاسبه و با $\frac{N}{6}, \frac{N}{2}$ مقایسه می کنیم .

$$\left[\begin{array}{l} e > \frac{N}{6} \rightarrow \text{میل مهار به کشش می افتد} \\ e > \frac{N}{2} \rightarrow \text{از فرض اولیه استفاده می کنیم} \end{array} \right.$$

۳ (با فرض وارد شدن بر آیند عکس العمل زیر کف ستون در میان صفحه بال فشاری $x, \frac{x}{3}$ را محاسبه می کنیم .

$$\frac{x}{3} = \frac{N - h}{2} + \frac{t_f}{2} \rightarrow x = \dots$$

۴ (بالنگر گیری حول نقطه A و معلوم بودن بار P ، نیروی کششی T محاسبه می شود .

if $T < 0 \rightarrow$ حداقل $2\Phi 20$ به میل مهار کششی وارد نمی شود

if $T > 0 \rightarrow A_s \geq \frac{T}{F_t} \rightarrow F_t = 0.33F_u$

نکته : اگر برش پای ستون را نیز مد نظر قرار دهیم ، داریم : $nA_s \geq \frac{T + 0.9V}{0.43F_u}$

n : تعداد میل مهار در هر طرف است زیرا ناشی از نیروی زلزله ممکن است جهت لنگر عوض شود .

۵ (بدست آوردن R : $R = T + P$

6) تعیین f_p و مقایسه آن با مقدار مجاز F_p :

$$R = \frac{f_p \times x}{2} \times B \rightarrow f_p = \frac{2R}{x \cdot B} \leq F_p$$

F_p ← تنش مجاز فشاری بتن

هر جا که رابطه $f_p \leq F_p$ برقرار نشد، ابعاد کف ستون را افزایش می دهیم.

7) لنگر بحرانی در میان صفحه بال ستون با توجه به توزیع تنش زیر کف ستون محاسبه می شود:

8) تعیین ضخامت (t) با کنترل خمش صفحه:

$$\text{تنش موجود در کف ستون} = \frac{M}{S} = \frac{M}{\frac{Bt^2}{6}} \leq 0.75F_y \rightarrow t = \dots$$

نکته: $0.75F_y$ به دلیل مستطیلی بودن مقطعی است که خمش را تحمل می کند.

چند نکته:

1 - قطر میل مهار (Φ) بین 20 - 80 mm انتخاب شود.

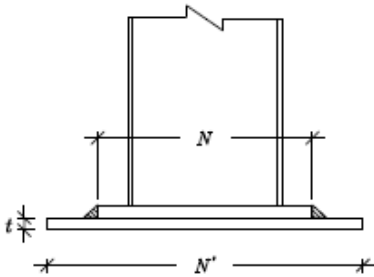
2 - اگر نیاز به Bolt محاسباتی نبود از $2\Phi 20$ استفاده شود و میل مهارها به صورت متقارن در طرفین قرار می گیرند.

3 - فاصله بین بولت ها تا کنار صفحه حداقل $1.5Q$ باشند.

4 - قطر سوراخ صفحه را حدود 1 تا 1.5 mm بزرگتر از قطر بولت در نظر می گیرند.

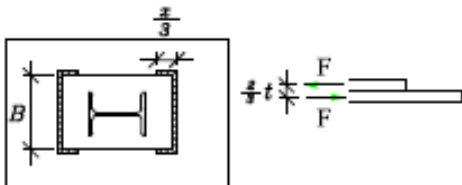
5 - اگر بخواهیم جهت تأمین ضخامت از دو پلیت استفاده کنیم:

$$L_w = 2\left(\frac{x}{3}\right) + B$$



$$F = \frac{M}{\frac{2}{3}t} = \dots$$

$$650a \times L_w \geq F \rightarrow a = \dots$$



a بدست آمده بایستی با a_{\max} , a_{\min} مقایسه شود.

توجه: محاسبات قبلی برای صفحه کوچک انجام شده است.

3-4 (ب) روش دقیق:

در این روش f_p , x , T , مجهولند و B , N , As فرض می شوند:

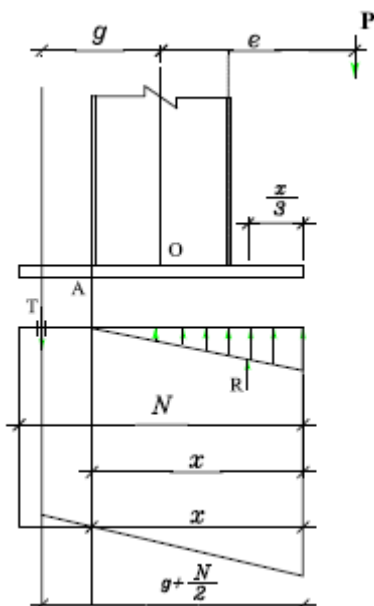
(1)

$$\sum F_y = 0 \rightarrow \frac{1}{2} f_p \cdot x \cdot B = P + T \quad (I)$$

$$\sum M_b = 0 \rightarrow \frac{1}{2} f_p \cdot x \cdot B \left(\frac{N}{2} - \frac{x}{3} \right) + T \cdot g = P \cdot e \quad (II)$$

نقطه A ، نقطه پایان تنش فشاری است.

با فرض اینکه صفحه ستون حول نقطه A دوران کند داریم:



$$\frac{\varepsilon_C}{x} = \frac{\varepsilon_S}{g + \frac{N}{2} - x} \xrightarrow{E_S = nE_C} \frac{nE_C \varepsilon_C}{x} = \frac{E_S \varepsilon_S}{g + \frac{N}{2} - x} \quad (III)$$

$$\rightarrow \frac{nf_P}{x} = \frac{f_T}{g + \frac{N}{2} - x} \rightarrow \frac{nf_P}{x} = \frac{T/A_S}{g + \frac{N}{2} - x}$$

از حل سه معادله و سه مجهول T, x, f_P محاسبه می گردند .

(۲) انجام کنترل روبرو:

$$\left[\begin{array}{l} f_P \leq F_P \rightarrow \text{ابعاد صفحه مناسب است} \rightarrow \text{ضخامت صفحه را تعیین می کنیم} \\ f_s = \frac{T}{A_S} \leq 0.33F_u \rightarrow \text{مساحت میل مهار کافیست} \end{array} \right.$$

4-4) طراحی کف ستون با استفاده از سخت کننده ها :

برای کاهش ضخامت کف ستون ، از یک سری سخت کننده هایی بروی $B \cdot PL$ استفاده می شود تا لنگر طراحی ضخامت تا حد امکان کاهش داده شود . اصول طراحی کف ستون با سخت کننده با طراحی کف ستون در حالت عادی تفاوتی ندارد .

استفاده از سخت کننده ها توزیع تنش زیر کف ستون را تغییر نمی دهد و موجب گیر داری اتصال نمی شود .

4-5) مراحل گام به گام :

(۱) تعیین ابعاد کف ستون (N, B) با استفاده از رابطه تقریبی * صفحه ۲۶ .

$$e = \frac{M}{P} \rightarrow \begin{cases} e > \frac{N}{6} \rightarrow \text{توزیع تنش مثلثی و بولت ها به کشش می افتند} \\ e < \frac{N}{6} \rightarrow \text{توزیع تنش دوزنقه ای و بولت ها به کشش نمی افتند} \end{cases} \quad (۲)$$

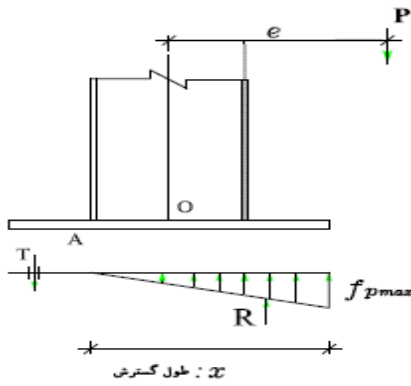
(۳) تعیین طول گسترش تنش (x) :

$$\frac{e}{N} \mapsto \frac{x}{N}$$

از جدول زیر استفاده می شود : (برای اعدادی که در جدول وجود ندارند ، انترپوله می کنیم)

$\frac{e}{N}$	۰,۰۸	۰,۳	۰,۵۲	۰,۶	۰,۶۱۵	۰,۶۴	۰,۷۵	۰,۸۷	۱
$\frac{x}{N}$	۱	۱	۰,۴۸	۰,۴	۰,۳۹	۰,۳۷	۰,۳۵	۰,۳۴	۰,۳۳۳

۴) تعیین مقادیر T, R :



$$\sum M_e = 0 \rightarrow T = \dots$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R = T + P$$

$$f_p(\max) = \frac{2R}{x \cdot B} \leq F_p$$

۵) کنترل تنش فشاری:

اگر رابطه برقرار نبود ابعاد $B \cdot PL$ افزایش می یابد.

۶) تعیین موقعیت سخت کننده ها و مشخص کردن نواحی 1 تا 4 و محاسبه لنگر در نواحی مختلف کف ستون:

الف) ناحیه ۱ (از یک طرف بسته):

q_1 ← تنش ماکزیمم در ناحیه 1

α_1 ← بعد کوچکتر ناحیه 1

m_1 ← لنگر عرض واحد ناحیه 1

$$m_1 = \frac{q_1 \cdot \alpha_1^2}{2}$$

ب) ناحیه 2 (از دو طرف بسته):

q_2 ← تنش ماکزیمم در ناحیه 2

α_2 ← بعد کوچکتر ناحیه 2

m_2 ← لنگر عرض واحد ناحیه 2

$$m_2 = \frac{q_2 \cdot \alpha_2^2}{2}$$

ج) ناحیه 3 (از سه طرف بسته):

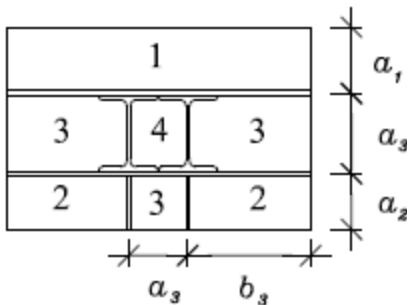
q_3 ← تنش ماکزیمم در ناحیه 3

α_3 ← طول لبه آزاد ناحیه 3

m_3 ← لنگر عرض واحد ناحیه 3

$$m_3 = \beta_3 \cdot q_3 \cdot \alpha_3^2$$

β_1 : از جدول تعیین می شود و b_3 طول لبه غیر آزاد ناحیه 3 می باشد.



b_3/α_3	۰,۵	۰,۶	۰,۷	۰,۸	۰,۹	۱	۱,۲	۱,۴	۲	>۲
β_3	۰,۰۶	۰,۰۷۴	۰,۰۸۸	۰,۰۹۷	۰,۱۰۷	۰,۱۱۲	۰,۱۲	۰,۱۲۶	۰,۱۳۲	۰,۱۳۳

(د) ناحیه 4 (از چهار طرف بسته):

q_4 ← تنش ماکزیمم ناحیه 4

α_4 ← بعد کوچکتر ناحیه 4

m_4 ← لنگر عرض واحد ناحیه 4

$$m_4 = \beta_4 \cdot q_4 \cdot \alpha_4^2$$

β_1 : از جدول تعیین می شود، b_4 طول بعد بزرگ تر ناحیه 4 است.

b_4/α_4	۱	۱,۱	۱,۲	۱,۳	۱,۴	۱,۵	۱,۶	۱,۷	۱,۸	۱,۹	۲	>۲
β_4	۰,۰۴۸	۰,۰۵۵	۰,۰۶۳	۰,۰۶۹	۰,۰۷۵	۰,۰۸۱	۰,۰۸۶	۰,۰۹۱	۰,۰۹۴	۰,۰۹۸	۰,۱۰۰	۰,۱۲۵

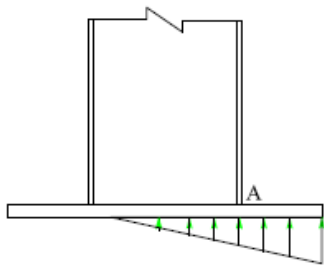
(۷) تعیین ضخامت کف ستون با استفاده از لنگر در نواحی مختلف:

$$m = \max\{m_1, m_2, m_3, m_4\} = \dots \rightarrow t \geq \sqrt{\frac{6m}{0.75F_y}} \rightarrow t \geq \dots$$

نکته: اگر ضخامت زیاد شد، دور تا دور کف ستون نیز سخت کننده هایی استفاده می کنیم تا کلیه ناحیه 4 تبدیل شود و لنگر کاهش یابد. طریقه قرار گیری سخت کننده ها بر عهده ماست و با تغییر وضعیت قرار گیری سخت کننده ها محاسبات بایستی تکرار شود و t جدید را بدست آوریم.

(۸) طراحی سخت کننده ها:

ابتدا لنگر در نقطه A به طور دقیق محاسبه می شود و سپس با فرض مناسب برای t_s, h_s ممان اینرسی و اساس مقطع را می یابیم و رابطه خمش را کنترل می کنیم.



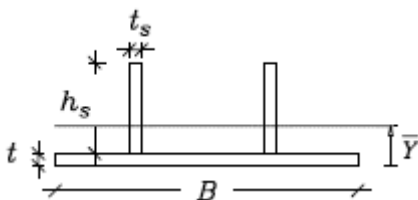
$$\bar{Y} = \dots$$

$$I = \dots$$

M ← لنگر برای کل عرض B

t_s ← ضخامت سخت کننده

h_s ← ارتفاع سخت کننده



$$S = \frac{I}{C} = \frac{I}{h_s + t - y}, f_b = \frac{M}{S} \leq 0.75F_y$$

(۹) طراحی میل مهارها بولت ها:

طراحی میل مهارها به برش پای ستون و نیروی کششی T بستگی دارد از رابطه زیر تعیین می شود:

$$nA_s \geq \frac{T + 0.9V}{0.43.F_u}$$

6-4) برگه طراحی کف ستون:

برگه طراحی صفحه زیر ستون						
ستون:			تیپ صفحه ستون:			
نیروها	$P(ton)$	$M_y(t.m)$	$V(ton)$	$e = \frac{M/P}{(cm)}$	$F_y = 2400(kg/cm^2)$	
بار طراحی ستون					$f_c = 210(kg/cm^2)$	
بار ماکزیمم e					$F_p = 147(kg/cm^2)$	
تعیین ابعاد (cm)		$e \leq \frac{D}{6} \Rightarrow q = \frac{P}{BD} \left(1 + \frac{6e}{D}\right)$		q_1	q_2	$q \leq F_p$
D	B	$e \geq \frac{D}{6} \Rightarrow q = \frac{2(P+T)}{x.B}$		(kg/cm^2)	(kg/cm^2)	O.K.
تعیین ضخامت صفحه ستون بدون لچکی						
d	b	$m = \frac{1}{2}(D - 0.95d)$	m	n	$s = \text{Max}\{m, n\}$	$t \geq \sqrt{\frac{3qs^2}{0.75F_y}}$
		$n = \frac{1}{2}(B - 0.8b)$				$t(cm)$
تعیین ضخامت صفحه ستون با لچکی						
$m_1 = q_1(a_1^2/2)$		$m_3 = \alpha q_3 a_3^2$		$t \geq \sqrt{\frac{6M}{0.75F_y}}$		$t(cm)$
$m_2 = q_2(a_2^2/2)$		$m_4 = \beta q_4 a_4^2$		$M = \text{Max}\{m_1, m_2, m_3, m_4\}$		
تعیین میل مهارها						
بار طراحی	$P(ton)$	$M_y(t.m)$	$V(ton)$	$F_y = 3000(kg/cm^2)$		
				$F_u = 5000(kg/cm^2)$		
$T(kgf)$	$A_{req} \geq \frac{T}{0.33F_u} =$		آرماتور در یک سمت صفحه ستون	$A(cm^2)$		
کنترل تنش برشی			کنترل اثر مشترک تنش کششی و برشی			
$f_v = \frac{(V/2)}{A}$	f_v (kg/cm^2)	$F_v = 0.17F_u$	$f_v \leq F_v$	f_t (kg/cm^2)	$F_t = 0.43F_u - 1.8f_v \leq 0.33F_u$	$f_t \leq F_t$
			O.K.			O.K.
$l_{dh}(cm)$ طول میل مهار با قلاب استاندارد			$f_{bh} = 3.15\sqrt{f_c}$	$l_{dh} = d \frac{F_y}{4f_{bh}}$	$l_{dh}(cm)$	

قطعات خمشی

۵

1-5 طراحی تیر با اتکا جانبی مناسب:

طراحی اعضای خمشی بر اساس حداکثر میزان ممان خمشی وارده بر اعضا انجام می گیرد.

$$f_b = \frac{MC}{I} \text{ تنش موجود}, \quad S_x = \frac{I}{C} \rightarrow f_b = \frac{M}{S_x} \leq F_b$$

S_x : اساس مقطع ارتجاعی

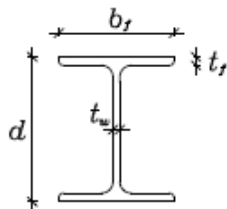
M : حداکثر لنگر خمشی وارده به مقطع

مقطع فشرده: قطعه ای را فشرده گویند که دارای شرایط ابعادی مقطع به صورت زیر باشد:

الف) اتصال بال به جان به صورت پیوسته باشد.

ب) فواصل مهار جانبی بال فشاری رعایت شده باشد.

ج) نسبت b_f به t_f و d به t_w در روابط زیر صدق می کند:

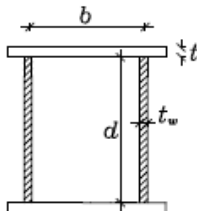


ضوابط فشردگی

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{545}{\sqrt{F_y}}$$

(جدول ۱-آیین نامه ایران)

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{5365}{\sqrt{F_y}}$$



ضوابط فشردگی

$$\frac{b_f}{t_f} \leq \frac{1590}{\sqrt{F_y}}$$

(جدول ۱-آیین نامه ایران)

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{5365}{\sqrt{F_y}}$$

برای مشاهده محدودیت و پهنای آزاد به ضخامت، برای سایر عناصر فشاری به جدول ۱ آیین نامه ایران مراجعه شود. نکته: برای خمش حول x باید کلیه ضوابط مقطع فشرده از جمله فواصل مهار جانبی را کنترل کنیم ولی برای حول y فقط کنترل ابعاد کفایت می کند.

2-5) تنش مجاز خمشی حول محور قوی در نیمرخ I و ناودانی: (بند ۱-۱۰-۱-۲-۱ آیین نامه ایران)

برای قطعات فشرده خمشی $F_{bx} = 0.66 \cdot F_y$ (رابطه ۱-۲-۱۰ آیین نامه ایران)

برای قطعات غیر فشرده $F_{bx} = 0.6 \cdot F_y$ (رابطه ۱-۲-۱۰ آیین نامه ایران)

اعضایی که تمام شرایط فشردگی را دارا هستند و $\frac{b_f}{2t_f}$ آنها از $\frac{545}{\sqrt{F_y}}$ بزرگ تر ولی از $\frac{795}{\sqrt{F_y}}$ کوچک تر باشد می توان

بر اساس تنش مجاز خمشی که از رابطه زیر محاسبه می شود طرح کرد. (بند ۱-۵-۱-۴-۲ آیین نامه AISC)

$$\frac{545}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{795}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow F_{bx} = F_y \left[0.79 - 0.000239 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right] \quad (\text{رابطه ۱-۵-۵-۱ الف AISC})$$

3-5) تنش مجاز خمشی حول محور برای مقطع I, تسمه ها و ورق های مستطیلی: (بند ۱۰-۱-۲-۲ آیین نامه ایران)

$$\text{برای قطعات فشرده خمشی} \quad F_{b_x} = 0.75 \cdot F_y \quad (\text{رابطه ۱۰-۲-۷ آیین نامه ایران})$$

$$\text{برای قطعات غیر فشرده} \quad F_{b_x} = 0.6 \cdot F_y \quad (\text{رابطه ۱۰-۲-۸ آیین نامه ایران})$$

توجه: در کنترل شرایط فشردگی پروفیل ها در خمش حول محور ضعیف نیازی به کنترل L_u, L_c نیست.

در مقاطع در تقارن در دو جهت مانند H, I که نسبت به محور ضعیف خود تحت خمش قرار گیرند در صورتی که بال آنها شرایط مقطع فشرده را احراز نکند و اتصال جان و بال به صورت سرتاسری باشد می توان محاسبه را بر اساس تنش مجاز از رابطه زیر انجام داد: (بند ۱۰-۱-۲-۲ آیین نامه ایران)

$$\frac{545}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{795}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow F_{b_x} = F_y \left[1.075 - 0.0006 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{F_y} \right] \quad (\text{رابطه ۱۰-۲-۹ آیین نامه ایران})$$

4-5) روش طرح خمیری:

در روش طرح خمیری بارهای وارده را در ضریب بار ضرب می کنند تا بار نهایی قطعه که موجب خرابی خمیری قطعه خواهد شد بدست آید. لنگرهای نهایی خرابی خمیری سازه را معین می کنند.

$$F_y = \frac{M_p}{Z} \rightarrow M_p = Z \cdot F_y, Z = 2Q$$

Q: گشتاور اول سطح

Z: اساس مقطع خمیری

$$\text{ضریب شکل} = \frac{Z}{S} = \frac{\text{اساس مقطع خمیری}}{\text{اساس مقطع ارتجاعی}}$$

در طرح خمیری ضریب اطمینان را روی بارها اعمال می کنیم، به این صورت که بارها را در ضریب ۱٫۷ ضرب می کنیم.

5-5) کنترل ابعاد طرح خمیری: (بند ۱۰-۳-۷ آیین نامه ایران)

نسبت پهنا به ضخامت در بال های نیمرخ های نورد شده و مقاطع ساخته شده مشابه با جان تک که تحت اثر فشار حاصل از دوران زاویه ای در مفصل خمیری قرار می گیرند نباید از مقدار زیر تجاوز کند: (بند ۱۰-۳-۷ آیین نامه ایران)

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{420}{\sqrt{F_y}} \quad \text{کنترل بال فشاری:} \quad b_f \leftarrow \text{عرض بال}$$

$$t_f \leftarrow \text{ضخامت بال}$$

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{1590}{\sqrt{F_y}} \quad \text{در مقاطع Box:}$$

نسبت پهنا به ضخامت در بال های تحت فشار در تیرهای با مقطع قوطی شکل و ورق های تقویتی نباید از مقدار $\frac{1590}{\sqrt{F_y}}$ تجاوز کند. (رابطه ۱۰-۳-۷ آیین نامه ایران)

نسبت ارتفاع به ضخامت در جان اعضایی که تحت اثر خمش خمیری قرار دارند نباید از مقداری که از رابطه (۱۰-۳-۷) یا (۱۰-۳-۸) بدست می آید بیشتر شود:

وقتی که $\frac{P}{p_y} \leq 0.27$ است:

$$\frac{d}{t} = \frac{3450}{\sqrt{F_y}} \left[1 - 1.4 \frac{P}{P_y} \right] \quad (\text{رابطه } ۷-۳-۱۰ \text{ آیین نامه ایران})$$

وقتی که $\frac{P}{p_y} > 0.27$ است:

$$\frac{d}{t} = \frac{2150}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{رابطه } ۸-۳-۱۰ \text{ آیین نامه ایران})$$

6-5) کنترل خیز:

در تیرهای با دهانه بزرگ خیز تیر عامل تعیین کننده طراحی است.

تیرها و شاهتیرهایی که سقف های گچ کاری شده را تحمل می کنند باید طوری محاسبه شوند که تغییر مکان حداکثر نظیر بار مرده و زنده از $\frac{1}{240}$ طول دهانه و تغییر مکان نظیر بار زنده از $\frac{1}{360}$ طول دهانه بیشتر نشود:

$$\Delta_{\max} (\text{مجاز}) \leq \Delta_{\max} (\text{موجود}) \quad (\text{بند } ۳-۹-۱-۱۰ \text{ آیین نامه ایران})$$

در حالت کلی حداکثر خیز را در یک قطعه ارتجاعی می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\Delta_{\max} = \beta \frac{w \cdot L^4}{EI}$$

$w \leftarrow$ شدت بار
 $L \leftarrow$ طول دهانه تیر
 $E \leftarrow$ مدول ارتجاعی تیر
 $I \leftarrow$ ممان اینرسی مقطع

β : ضریبی است که بستگی به درجه گیرداری دو سر تیر و نوع توزیع بار روی تیر دارد. برای تیرهای دو سر ساده $\beta = \frac{5}{384}$ است و برای سایر انواع تیرها β را از کتب راهنما می توان به دست آورد.

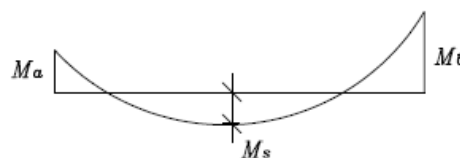
اگر تیر دو سر ساده با بار گسترده یکنواخت مورد نظر باشد رابطه خیز به صورت زیر است:

$$\Delta_{\max} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384EI}$$

نکته: هرگاه طول دهانه بیش از ۶m باشد، باید اثر وزن تیر نیز اعمال گردد.

نکته: برای تیرهای یکسره خیز وسط دهانه تیر تحت اثر بار گسترده یکنواخت و دو لنگر خمشی غیر یکسان در دو انتهای تیر از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\Delta = \frac{5L^2}{48EI} [M_s - 0.1(M_a + M_b)]$$



در جدول صفحه بعد مقدار خیز بر طبق رابطه بالا بر حسب $\frac{L}{d}$ درج شده است:

جدول مقدار خیز بر طبق رابطه $\Delta_{max} = \frac{5 \cdot w \cdot L^4}{384EI}$

L/d	L/d	L/d فولاد اعلاء f=1400	L/d فولاد اعلاء f=2200
$L/360$	$28000/f$	۲۰	۱۲,۷
$L/300$	$33600/f$	۲۴	۱۵,۳
$L/240$	$42000/f$	۳۰	۱۹,۱
$L/200$	$50400/f$	۳۶	۲۲,۹

ملحقات ضوابط AISC محدودیت های زیر را توصیه می کند:

$$\frac{L}{d} \leq \frac{55000}{f_b}$$

۱- تیرها و شاهتیرهایی که تحت ضربه و بالرزش قرار نداشته باشند:

$$\text{در صورت فشرده بودن تیر } \frac{L}{d} \leq \frac{36400}{f_b} \text{ است.}$$

۲- در تیرهایی که تحت اثر ضربه با ارتعاش هستند باید نسبت طول به عمق مقطع از ۲۰ کمتر باشد.

$$\frac{L}{d} \leq 20$$

(بند ۱-۱۳-۲ AISC)

$$۳- \text{ برای لایه های سقف که شیب سقف کمتر از } ۲۵\% \text{ باشد نسبت } \frac{L}{d} \leq \frac{55000}{f_b} \text{ و در صورت فشرده بودن } \frac{L}{d} \leq \frac{45500}{f_b}$$

باید برقرار باشد. (f_b بایستی محاسبه شود)

7-5) کنترل برش:

اگر $\frac{h}{t_w} \leq \frac{3185}{\sqrt{F_y}}$ باشد برای سطح مقطعی که از حاصلضرب ارتفاع کلی نیمرخ در ضخامت جان بدست می آید تنش برشی

مجاز عبارت است از: (بند ۱۰-۱-۲-۴ آیین نامه ایران)

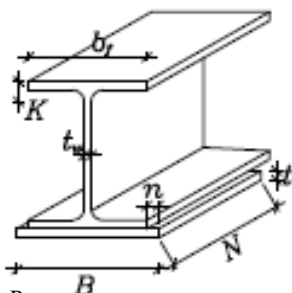
$$F_v = 0.4F_y \longrightarrow f_v = \frac{V}{A_w} = \frac{V}{d \cdot t_w} \leq 0.4F_y$$

(رابطه ۱۰-۲-۱۳ آیین نامه ایران)

8-5) طراحی ورق های زیرسری:

مراحل گام به گام طراحی در تکیه گاه:

۱- محاسبه N: (طول صفحه)



$$\frac{R}{(N + K)t_w} \leq 0.75F_y \rightarrow N = \dots$$

$$K = \frac{h - h_1}{2}$$

K: ناحیه انحنای تیر

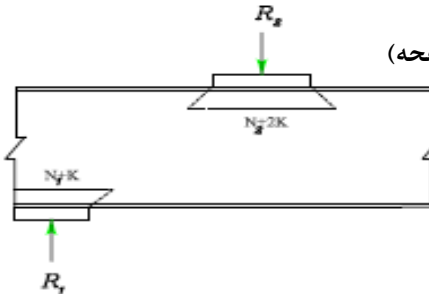
۲- محاسبه B: (عرض صفحه)

$$q = \frac{R}{N \times B} \leq \text{تنش فشاری مجاز مصالح} \rightarrow B = \dots$$

R: عکس العمل تکیه گاه

$$n = \frac{B - b_f}{2} \rightarrow t \geq 2n \sqrt{\frac{q}{F_y}}$$

۳- محاسبه t: (ضخامت صفحه)



توضیح:

روش ارتجاعی

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R_2}{(N_2 + 2K)t_w} \leq 0.75F_y \\ \frac{R_1}{(N_1 + K)t_w} \leq 0.75F_y \end{array} \right.$$

(رابطه ۱-۱۰-۱ AISC) اگر بار در مقطع میانی تیر اثر کند

(رابطه ۹-۱۰-۱ AISC) اگر عکس العمل انتهایی تیر مدنظر باشد

9-5) طراحی اعضاء تحت خمش دو محوره:

برای طراحی این اعضاء ابتدا نسبت $\frac{S_x}{S_y}$ را از پروفیل دلخواه انتخاب کرده و در رابطه زیر (I) قرار می دهیم و S_x را به دست می آوریم. با S_x به دست آمده پروفیل انتخاب می کنیم و رابطه اصلی خمش دو محوره را کنترل می کنیم.

رابطه (I):
$$S_x \geq \frac{M_x}{F_{bx}} + \frac{M_y}{F_{by}} \times \frac{S_x}{S_y}$$

رابطه اصلی:
$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \rightarrow \frac{M_x}{S_x \cdot F_{bx}} + \frac{M_y}{S_y \cdot F_{by}} \leq 1.0$$

جدول مقادیر تقریبی $\frac{S_x}{S_y}$ در نیمرخ های مختلف

نیمرخ INP		نیمرخ IPE		نیمرخ IPB	
نمره نیمرخ	$\frac{S_x}{S_y}$	نمره نیمرخ	$\frac{S_x}{S_y}$	نمره نیمرخ	$\frac{S_x}{S_y}$
نمره ۸ الی ۱۴	۷	نمره ۱۰ الی ۱۴	۶	نمره ۱۰ الی ۳۲	۳
نمره ۱۶ الی ۲۶	۸	نمره ۱۶ الی ۲۲	۶/۵	نمره ۳۴ و ۳۶	۳/۵
نمره ۲۸ الی ۳۲	۹	نمره ۲۴ الی ۳۶	۷	نمره ۴۰ و ۴۵	۴
نمره ۳۴ الی ۴۰	۹/۵	نمره ۴۰ الی ۴۵	۸		
نمره ۴۲/۵ الی ۵۵	۱۰	نمره ۵۰ الی ۵۵	۹		

10-5) گمانش جانبی تیر ها :

مهار جانبی بال فشاری به منظور جلوگیری از گمانش جانبی تیر ها در فواصل معین قرار داده می شود که تنش مجاز خمشی F_b بر حسب فواصل مهارها تعیین می شود : همواره باید سعی شود از کاربرد مهارهای مشکوک خودداری شود در حالتی که به مهار بودن مهار مطمئن نیستیم مهار باید باری برابر $(A_f \cdot f_b) \approx 0.03$ را تحمل کند .

$A_f \rightarrow$ سطح بال فشاری تیر

$f_b \rightarrow$ تنش موجود خمشی تیر

11-5) تنش مجاز خمشی F_b :

حالت اول : اگر فواصل مهار جانبی بال فشاری از هر یک از دو مقدار زیر کمتر باشد .

$$\left\{ \begin{array}{ll} L_c = \frac{635 \cdot b_f}{\sqrt{F_y}} & \text{(رابطه ۱۰-۱-۱ آیین نامه ایران) (کنترل گمانش بال)} \\ L_u = \frac{14 \times 10^5}{\left(\frac{d}{A_f}\right) \cdot F_y} & \text{(رابطه ۱۰-۱-۲ آیین نامه ایران) (کنترل ناپایداری پیچشی)} \end{array} \right.$$

$$L_b < L_c, L_u \rightarrow F_b = 0.66 F_y \quad \text{(رابطه ۱۰-۲-۱ آیین نامه ایران)}$$

نکته : مقطع فشرده علاوه بر شرط بالا بایستی سایر شرایط ذکر شده برای مقطع فشرده در فصل قبل را دارا باشد .

$A_f \leftarrow$ سطح بال فشاری

$b_f \leftarrow$ عرض بال فشاری

$d \leftarrow$ ارتفاع پروفیل

حالت دوم :

اگر $L_c < L_b < L_u \rightarrow F_b = 0.6 F_y$ (رابطه ۱۰-۲-۲ آیین نامه ایران)

حالت سوم : چنانچه فواصل مهار جانبی بال فشاری از L_u, L_c کمتر نباشد در این صورت تنش مجاز از بزرگترین مقدار رابطه الف و ب انتخاب می شود.

$$F_b = \text{Max} \begin{cases} \text{الف} \leq 0.6 F_y \\ \text{ب} \leq 0.6 F_y \end{cases} \quad \leftarrow L_b > L_c, L_u$$

الف) $F_b = \frac{8.4 \times 10^5}{L \cdot d} \cdot C_b \leq 0.6 F_y$ (رابطه ۱۰-۲-۵ آیین نامه ایران)

$C_b \leftarrow$ ضریب تشدید

$L \leftarrow$ فواصل مهار جانبی بال فشاری

ب)
$$\textcircled{1} \text{ اگر } \frac{L}{r_T} \leq \sqrt{\frac{72 \times 10^5 \cdot C_b}{F_y}} \rightarrow F_b = 0.6F_y \quad (\text{رابطه ۱-۲-۱۰-۱ قسمت پ ایران})$$

$$\textcircled{2} \text{ اگر } \sqrt{\frac{72 \times 10^5 C_b}{F_y}} \leq \frac{L}{r_T} \leq \sqrt{\frac{360 \times 10^5 C_b}{F_y}} \quad (\text{رابطه ۳-۲-۱۰ ایران})$$

$$\rightarrow F_b = \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y \left(\frac{L}{r_t} \right)^2}{1075 \times 10^5 C_b} \right] F_y \leq 0.6F_y$$

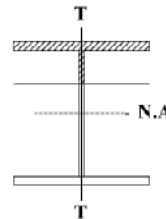
$$\textcircled{3} \text{ اگر } \frac{L}{r_T} \geq \sqrt{\frac{360 \times 10^5 C_b}{F_y}} \rightarrow F_y = \frac{120 \times 10^5 C_b}{\left[\frac{L}{r_t} \right]^2} \leq 0.6F_y \quad (\text{رابطه ۴-۲-۱۰ ایران})$$

: r_T

شعاع ژیراسیون مقطعی شامل مجموع بال فشاری و $\frac{1}{3}$ منطقه فشاری جان می باشد که نسبت به محور مار بر جان تیر محاسبه می شود (cm). r_T را می توان مساوی $1.2r_y$ در نظر گرفت که r_y شعاع ژیراسیون مقطع نسبت به محور ضعیف است. (بند ۱-۲-۱۰-۱ قسمت پ) آیین نامه ایران

$$r_T = \sqrt{\frac{I_y / 2}{A_f + \frac{1}{6} A_w}}$$

(برای پروفیل های نورد شده)



I_t : ممان اینرسی قسمت ها هاشور خورده حول محور T

A : مساحت هاشور خورده (بال فشاری و $\frac{1}{3}$ جان فشاری)

در حالت کلی: $r_T = \sqrt{\frac{I_t}{A}}$

نکته ۱: از رابطه (الف) در تعیین تنش مجاز زمانی می توان استفاده کرد که بتوان بال فشاری را مستطیل شکل دانست به طوری که سطح آن حداقل برابر سطح بال کششی باشد.

نکته ۲: از رابطه (ب) زمانی می توان استفاده کرد که پروفیل حتما دارای یک محور تقارن بارگذاری باشد.

نکته ۳: برای تعیین تنش مجاز در حالت سوم ابتدا از رابطه (الف) استفاده می کنیم اگر به $0.6F_y$ رسید عملیات متوقف می شود.

نکته ۴: در پروفیل های نورد شده ما دنبال Max هستیم و رابطه اول جوابگو است.

: C_b

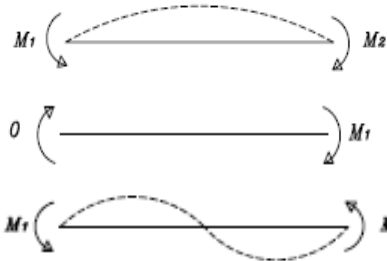
ضریب تشدید تنش می باشد که از رابطه روبروی می شود:

$$C_b = 1.75 + 1.05 \frac{M_1}{M_2} + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$$

(رابطه ۶-۲-۱۰ آیین نامه ایران)

به ترتیب لنگر خمشی حداقل و حداکثر تیر در محل تکیه گاه های جانبی می باشند و نسبت $\frac{M_1}{M_2}$ زمانی مثبت است که سبب ایجاد دو قوس در منحنی تغییر شکل تیر شود و زمانی منفی است که سبب ایجاد یک قوس می گردد، در صورت این رابطه یعنی $\left| \frac{M_1}{M_2} \right| \leq 1$ برقرار است.

x: نشان دهنده مهار جانبی



$$\frac{M_1}{M_2} < 0 \rightarrow C_b \leq 1.75$$

$$\frac{M_1}{M_2} = 0 \rightarrow C_b = 1.75$$

$$\frac{M_1}{M_2} > 0 \rightarrow 1.75 \leq C_b \leq 2.3$$

نکته ۱: اگر نگر خمشی حداکثر در مقطعی از قطعه خمشی که بین دو مقطع مهار شده جانبی قطعه است بزرگ تر از M_2, M_1 باشد مقدار $C_b = 1$ است.

نکته ۲: چنانچه مقدار $C_b = 1$ در نظر گرفته شود، در جهت ضریب اطمینان خواهد بود.

نکته ۳: برای حل مسائل، ابتدا با رسم دیاگرام ممان و فواصل مهارها، منطقه بحرانی را می یابیم، منطقه ای است که در آن C_b کمترین و L (فواصل مهار) دارای بیشترین مقدار باشد و ممان بیشتری نسبت به سایر مناطق داشته باشد. برای منطقه بحرانی طراحی را انجام می دهیم و برای سایر نواحی کنترل می کنیم.

جدول ۱: آیین نامه ایران

حداکثر نسبت پهنای آزاد به ضخامت		پهنا به ضخامت	عضو تحت تنش	
مقاطع غیر فشرده	مقاطع فشرده			
$\frac{795}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{545}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	بالهای تیر نرد شده I و ناودانی در خمش	
$\frac{795}{\sqrt{F_y/K_c}}$ *	$\frac{545}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	بالهای تیر مرکب I (با اتصال جوش) در خمش	
$\frac{635}{\sqrt{F_y}}$	کاربرد ندارد.	$\frac{b}{t}$	عضو فشاری تک نبشی یا جفت نبشی با اتصال و لقمه هایی بین دو نیمرخ	
$\frac{795}{\sqrt{F_y}}$	کاربرد ندارد.	$\frac{b}{t}$	بالهای برجسته در عضو فشاری جفت نبشی در تماس سراسری با یکدیگر، تسمه ها یا نبشیها که بطور برجسته بر تیر یا ستون قرار گیرند، مقاطع تقویتی در تیرهای مرکب	
$\frac{1065}{\sqrt{F_y}}$	کاربرد ندارد.	$\frac{d}{t}$	تیغه (جان) نیمرخ سپری	
$\frac{2655}{\sqrt{F_y}}$	کاربرد ندارد.	$\frac{b}{t}$	پهنای آزاد در ورقهای تقویتی سوراخدار	
$\frac{1995}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{1590}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{b}{t}$	ورقهای تقویتی روی بال تیر با دو خط اتصال در دو لبه موازی، بالهای مقطع قوطی شکل (مربع یا مستطیل) با ضخامت ثابت جدار در خمش یا فشار	
$\frac{2120}{\sqrt{F_y}}$	کاربرد ندارد.	$\frac{d}{t}$ یا $\frac{b}{t}$	تمام عناصر دریگری که در دو لبه تحت اثر فشار یکنواخت نگهداری شده باشند.	
	$\frac{5365}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{d}{t}$	جان مقاطع تحت اثر فشار حاصل از خمش	
$\frac{6370}{\sqrt{F_b}}$		$\frac{h}{t_w}$		
	برای حالت: $\frac{f_a}{F_y} \leq 0.16$ $\frac{5365}{\sqrt{F_y}} (1 - 3.74 \frac{f_a}{F_y})$ برای حالت: $\frac{f_a}{F_y} > 0.16$ $\frac{2155}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{d}{t_w}$	جان مقاطع تحت اثر مشترک فشار حاصل از خمش و فشار محوری	
$\frac{6370}{\sqrt{F_b}}$		$\frac{d}{t_w}$		
	$\frac{232 \cdot 10^3}{F_y}$	D/t	تحت فشار محوری	مقاطع دایره ای تو خالی (لوله شکل)
	$\frac{232 \cdot 10^3}{F_y}$	d/t	تحت خمش	

12-5) برگه طراحی تیر فلزی:

برگه طراحی تیر فلزی (روش تنش مجاز)							
تیب تیر:		شماره تیر در تحلیل:			طبقه:		
نیروهای طراحی		$M_{\max} (t.m)$	$V_{\max} (t)$	$L(cm) =$			
					$F_y = 2400 kg/cm^2$		
طراحی خمشی							
$F'_b = 0.66 F_y \Rightarrow w_{req} = \frac{M_{\max}}{F'_b} =$							
مشخصات مقطع	$w_x (cm^3)$	$b_f (cm)$	$t_f (cm)$	$d (cm)$	$t_w (cm)$	$A_w (cm^2)$	$A_f (cm^2)$
$L_c = \min \left\{ \frac{635 b_f}{\sqrt{F_y}}, \frac{14 \cdot 10^5}{(d/A_f) F_y} \right\} =$				$L_d =$			
$L_d \leq L_c$ مهار جانبی شده				$L_d > L_c$ مهار جانبی نشده			
فشرده	$\lambda = \frac{L_b}{r_T} =$			$\lambda_1 = \sqrt{\frac{72 \cdot 10^5 C_b}{F_y}} =$			
غیر فشرده	$C_b = 1.75 + 1.05(M_1/M_2) + 0.3(M_1/M_2) =$			$\lambda_2 = \sqrt{\frac{360 \cdot 10^5 C_b}{F_y}} =$			
	$\begin{cases} \lambda \leq \lambda_1 \Rightarrow F_{b1} = 0.6 F_y \\ \lambda_1 < \lambda < \lambda_2 \Rightarrow F_{b1} = [2/3 - \lambda^2 F_y / 1075 \cdot 10^5 C_b] F_y = \\ \lambda > \lambda_2 \Rightarrow F_{b1} = 120 \cdot 10^5 C_b / \lambda^2 \end{cases}$						
		$F_{b2} = \frac{840000 C_b}{(L_b d / A_f)} \leq 0.6 F_y =$					
		$F_b = \text{Max}\{F_{b1}, F_{b2}\} =$ (kg/cm ²)					
$F_b (kg/cm^2)$		$F_b (ETABS) (kg/cm^2)$		$f_b (kg/cm^2)$		$f_b \leq F_b$	
						O.K.	
طراحی برشی							
$\frac{h}{t_w}$	$\frac{h}{t_w} \leq \frac{3185}{\sqrt{F_y}} = 65.01$	f_v (kg/cm ²)	$F_v = 0.4 F_y$ (kg/cm ²)	$f_v \leq F_v$			
	O.K.			O.K.			
کنترل تغییر شکل (cm)							
$\delta_{all} (D + L) = L/240$	$\delta_{\max} (D + L)$	$\delta_{all} (L) = L/360$	$\delta_{\max} (L)$	$\delta_{\max} \leq \delta_{all}$			
				O.K.			

۶

مباحث تکمیلی طرح تیرها

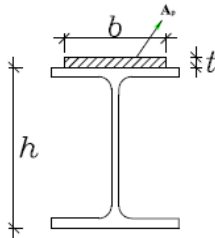
1-6) طرح تیر با ورق تقویت:

دلایل تقویت تیر:

- ۱) موجب صرفه جویی اقتصادی می شود.
- ۲) در صورت نبودن پروفیل مورد نظر در کارگاه، بسیار مناسب است.

دو راه برای تعیین ابعاد ورق تقویت ارائه شده است:

الف) روابط تقریبی برای حدس ورق تقویت:



$$A_p = 1.2 \frac{S - S_0}{h}$$

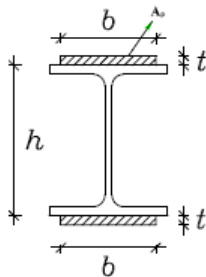
در صورت استفاده از یک ورق

$$b \times t \geq A_p \quad \text{تعیین } b, t \text{ با دقت در شرایط اجرایی}$$

S ← اساس مقطع لازم

S_0 ← اساس مقطع پروفیل موجود

h ← ارتفاع پروفیل



$$A_p = \frac{S - 0.9S_0}{h}$$

در صورت استفاده از دو ورق

A_p : در این فرمول مساحت دو ورق تقویت بالا و پایین است.

انتخاب b, t (عرض و ضخامت) با دقت به شرایط اجرایی $2 \times b \times t \geq A_p \rightarrow$

لازم $S \geq S_0$ نیمرخ ها و ورق ها: کنترل دقیق

نکته: عرض ورق تقویت بایستی به گونه ای انتخاب شود که به اندازه یک خط جوش در طرفین، از عرض بیشتر و یا کمتر باشد.

برای تعیین طول تقویت، رابطه تقریبی زیر برای تیر ساده با بار گسترده ارائه شده است:

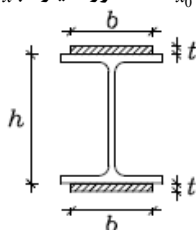
$$L' = L \sqrt{\frac{S - S_0}{S}}$$

L ← طول کل تیر S_0 ← اساس مقطع پروفیل

L' ← طول نظری تقویت S ← اساس مقطع لازم

ب) روابط دقیق برای تعیین ورق تقویت:

ورق ها $(S_x) +$ پروفیل $(S_{x_0}) =$ مورد نیاز (S_x)



در این روش با فرض معقول b یا t ، دیگری را از رابطه زیر بدست می آوریم:

$$S \text{ مورد نیاز} = \frac{I}{C} = \frac{1}{C} [I_x + \frac{b}{12} ((h + 2t)^3 - h^3)] \geq S \longrightarrow \text{را بدست می آید } b, t$$

برای محاسبه ی طول ورق تقویت ، قابل تحمل پروفیل را بدست آورده و از دیاگرام لنگر خمشی ، مسافتی که ورق تقویت نیاز دارد ، محاسبه می کنیم .

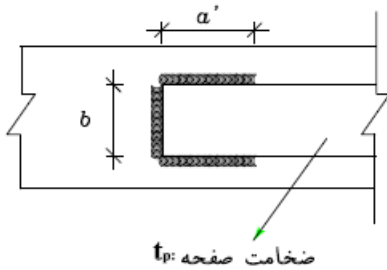
تنش مجاز خمشی $(F_b \times \text{پروفیل}) = M = S_x$ ممان قابل تحمل پروفیل

به این ترتیب طول نظری تقویت محاسبه می شود .

چند نکته :

(۱) محاسبه طول عملی ورق تقویت : (بند ۱۰-۱-۱۲ ، آیین نامه ایران)

طول نظری $\geq 2a' +$ طول عملی تقویت



- ۱) جوش ورق به بال پروفیل از سه طرف صورت گیرد
- 1) $a' = b$ if $\left\{ \begin{array}{l} \text{اندازه جوش} \geq \frac{3}{4}(t_p) \quad (2) \end{array} \right.$
- ۲) جوش ورق به بال پروفیل از سه طرف صورت گیرد
- 2) $a' = 1.5b$ if $\left\{ \begin{array}{l} \text{اندازه جوش} < \frac{3}{4}(t_p) \quad (2) \end{array} \right.$
- ۳) ورق از دو ضلع جانبی جوش شده باشد
- 3) $a' = 2b$ if

با تعیین مقدار a' و اضافه کردن آن به دو طرف ورق تقویت ، طول عملی تسمه تعیین می شود .

(۲) مجموع سطح مقطع های ورق های تقویتی در تیرهای مرکب با اتصال پیچ و یا پرچ نباید از ۷۰ درصد سطح مقطع کل بال تجاوز کند . البته این جمله را آیین نامه در مورد اتصال جوش نیز پذیرفته است .

$$A_p \leq 0.7 A_f \quad (\text{بند ۱۰-۱-۱۲ ، آیین نامه ایران})$$

(۳) کنترل کماتش موضعی ورق حتماً بایستی انجام گیرد :

$$\left(\frac{b}{t} \right)_{Pl} = \frac{1590}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{جدول ۱- آیین نامه ایران}) \quad \text{که البته در اکثر موارد رابطه روبرو برقرار است .}$$

2-6) تیر سراسری :

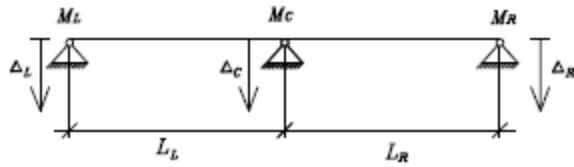
یاد آوری :

قضیه سه لنگر : این قضیه رابطه بین لنگرها و خیزهای سه نقطه از عضو خمشی برقرار می کند . از این قضیه برای تحلیل سازه های نامعین استفاده می شود . لازم به ذکر است که رابطه سه لنگر را باید به شمار درجه نامعینی سازه به کار گرفت . به این ترتیب با حل همزمان معاملات ایجاد شده ، لنگرها خمشی مجهول پیدا می شوند :

$$\left[\frac{M.L}{I} \right]_L + 2M_c \left[\frac{L}{I} \right]_L + \left[\frac{L}{I} \right]_R + \left[\frac{M.L}{I} \right]_R =$$

$$-6 \left[\frac{S \cdot \bar{x}}{I.L} \right]_L - 6 \left[\frac{S \cdot \bar{x}}{I.L} \right]_R + 6E \left[- \left(\frac{\Delta}{L} \right)_L + \Delta C \left(\frac{1}{L_L} + \frac{1}{L_R} \right) - \left(\frac{\Delta}{L} \right)_R \right]$$

رابطه سه لنگر :



- S_R ← مساحت نمودار ممان در قسمت راست
- S_L ← مساحت نمودار ممان در سمت چپ
- \bar{x}_R ← فاصله مرکز سطح ممان در قسمت راست تا تکیه گاه کناری
- \bar{x}_L ← فاصله مرکز سطح نمودار ممان در قسمت چپ تا تکیه گاه کناری
- Δ_L ← نشست تکیه گاه چپ
- Δ_R ← نشست تکیه گاه راست
- Δ_C ← نشست تکیه گاه وسط

نکته: در صورتی که تکیه گاه گیردار باشد، یک دهانه فرضی باید اضافه نشود و یک رابطه اضافی نوشته شود.

باز توزیع لنگر:

شرایط: در صورتی از عملیات باز توزیع لنگر استفاده می شود که اولاً سازه نامعین و ثانیاً مقطع فشرده باشد.

ضوابط فشردگی:

(۱) اتصال بال به جان پیوسته باشد.

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{545}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{جدول آیین نامه ایران}) \quad (۲)$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{5365}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{جدول آیین نامه ایران}) \quad (۳)$$

(۴) فواصل مهار جانبی بال فشاری از L_u, L_c کمتر باشد.

$$L_c = \frac{635 \cdot b_f}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{رابطه } ۱۰-۱-۱, \text{ آیین نامه ایران})$$

$$L_u = \frac{14 \times 10^5}{\left[\frac{d}{A_f} \right] F_y} \quad (\text{رابطه } ۱۰-۱-۲, \text{ آیین نامه ایران})$$

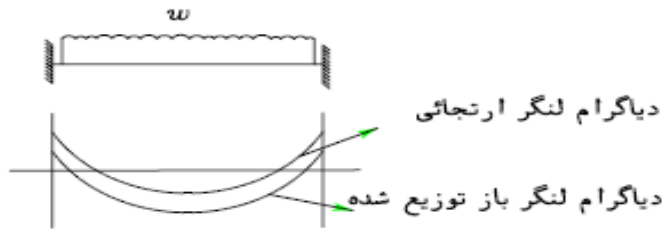
نکته: باز توزیع لنگر عبارت است از رسیدن لنگر از نواحی بیشتر به نواحی کمتر.

اعضایی که شرایط مقطع فشرده با نگهداری جانبی را دارند و در تکیه گاه مانند تیر سراسری ادامه می یابند، یا با اتصال صلب به ستون متصل اند و به صورت عضوی از قاب صلب کار می کنند، در حالتی که لنگر حداکثر در محل تکیه گاه بوجود آید، می توان آنها را برای تحمل ۰٫۹ لنگر منفی مربوط به بارهای قائم محاسبه کرد به شرطی که لنگر مثبت میان دهانه را به مقدار ۰٫۱ میانگین لنگرهای منفی دو سر، افزایش داد (بند ۱۰-۱-۲-۱، ایران)

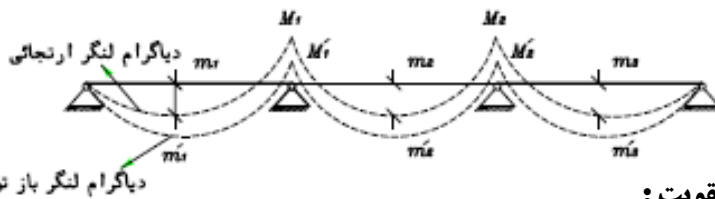
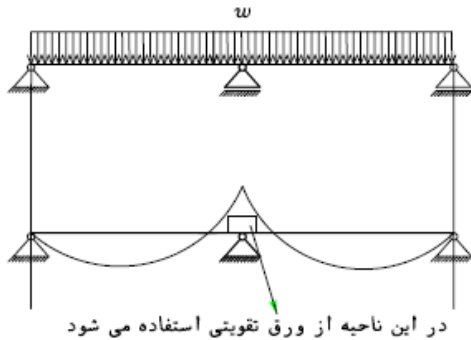
نحوه باز توزیع لنگر:

(لنگر منفی روی تکیه گاه) = ۰٫۹ = لنگر تکیه گاه باز توزیع شده

(متوسط لنگرهای منفی دو سر دهانه) + (۰٫۱) = لنگر مثبت وسط دهانه = لنگر وسط دهانه باز توزیع شده



نکته: یکی از مواردی که از ورق تقویت زیاد استفاده می شود در تیرهای سراسری است، زیرا شیب لنگر منفی زیاد و طول ورق تقویت کاهش می یابد و بهتر است تیر برای لنگر مثبت طرح و برای لنگر منفی تقویت شود و در طول کمی به ورق تقویت نیاز داریم.



$$\begin{cases} M'_1 = 0.9M_1 \\ M'_2 = 0.9M_2 \\ m'_1 = m_1 + 0.1 \left(\frac{0 + M_1}{2} \right) \\ m'_2 = m_2 + 0.1 \left(\frac{M_1 + M_2}{2} \right) \\ m'_3 = m_3 + 0.1 \left(\frac{M_2 + 0}{2} \right) \end{cases}$$

مراحل گام به گام طراحی تیر سراسری با ورق تقویت:

- ۱- با فرض فشردگی مقطع، لنگرهای باز توزیع شده را محاسبه می کنیم.
- ۲- طراحی تیر با لنگر مثبت (لنگر کمتر).
- ۳- طراحی تقویت تیر، برای آنکه بتواند M^- را تحمل کند. (تعیین ضخامت و عرض ورق تقویت)
- ۴- تعیین طول نظری ورق تقویت براساس ممان قابل تحمل پروفیل.
- ۵- بدست آوردن طول عملی.
- ۶- انجام کنترل های روبرو:

۱) مجموع سطح مقطع های ورق تقویتی در تیرهای مرکب با اتصال پیچ و یا پرچ نباید از ۷۰ درصد سطح مقطع کل بال تجاوز کند.

$$A_p \leq 0.7 A_f$$

(بند ۱۰-۱-۱۲، آیین نامه ایران)

$$\left(\frac{b}{t} \right)_{Pl} = \frac{1590}{\sqrt{F_y}}$$

(جدول ۱، آیین نامه ایران)

(۲)

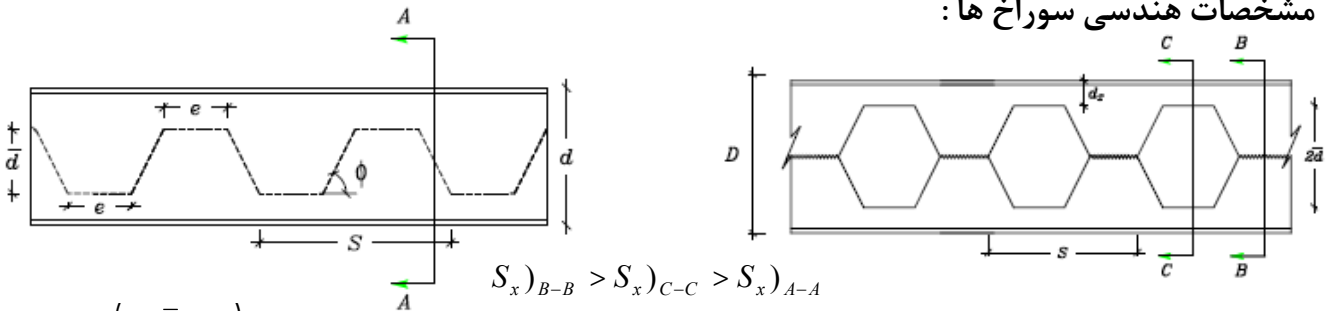
۷- کنترل ۴ شرط فشردگی مقطع

۸- اگر شرایط فشردگی صدق نکرد، باید از دیگرام لنگر باز توزیع نشده مسئله را حل کنیم که مسلماً ابعاد ورق تقویت افزایش می یابد. (نکته: برای تعیین طول ورق تقویت، بهتر است از ابتدا از دیگرام لنگر باز توزیع نشده استفاده کنیم.)

3-6) تیر لانه زنبوری:

از نیمرخ های گرم کارخانه ای با ایجاد یک الگوی برش در جان تیر و اتصال دو قسمت بریده نشده به یکدیگر تیر لانه زنبوری بدست می آید. تیر جدید دارای ارتفاع بیشتر از تیر نورد شده اولیه بوده و همین افزایش ارتفاع موجب افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت خمشی تیر می شود، بدون آنکه تغییر قابل ملاحظه ای در وزن تیر ایجاد گردد.

مشخصات هندسی سوراخ ها:



$$S_x)_{B-B} > S_x)_{C-C} > S_x)_{A-A}$$

$$S = 2(e + \bar{d} \cot \phi)$$

$$D = d + \bar{d}$$

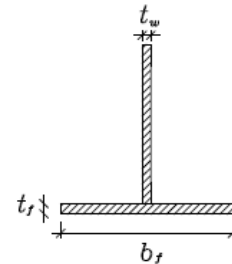
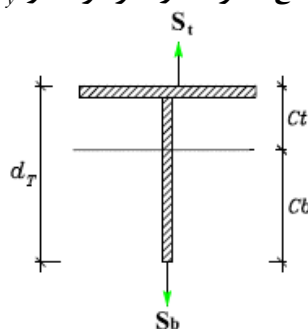
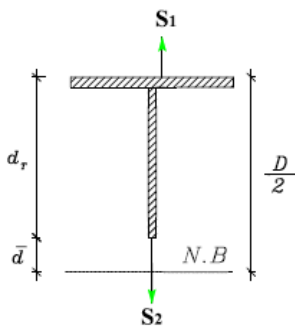
$$d_r = \frac{D - 2\bar{d}}{2} = \frac{d - \bar{d}}{2}$$

d ← ارتفاع اولیه پروفیل

D ← ارتفاع لانه زنبوری

d_r ← ارتفاع مقطع سپری شکل

نکته: تیر لانه زنبوری را نمی توان به عنوان مقطع فشرده در نظر گرفت و $F_b = 0.6F_y$.



(مقطع سپری شکل)

(مقطع تیر زنبوری در محل سوراخ)

I_g : ممان اینرسی مقطع زنبوری در محل سوراخ حول محور خنثی

I_t : ممان اینرسی مقطع سپری شکل حول محور خنثی

$$I_g = 2(I_t + A_t(\frac{D}{2} - C_t)^2)$$

S_1 : اساس مقطع تیر زنبوری در تار بالا

$$S_1 = \frac{I_g}{D/2}$$

S_2 : اساس مقطع قسمت تیر زنبوری در تار پایین

$$S_2 = \frac{I_g}{d}$$

S_t : اساس مقطع قسمت سپری شکل در تار بالا

$$S_t = \frac{I_t}{C_t}$$

S_b : اساس مقطع قسمت سپری شکل در تار پایین

$$S_b = \frac{I_t}{C_b}$$

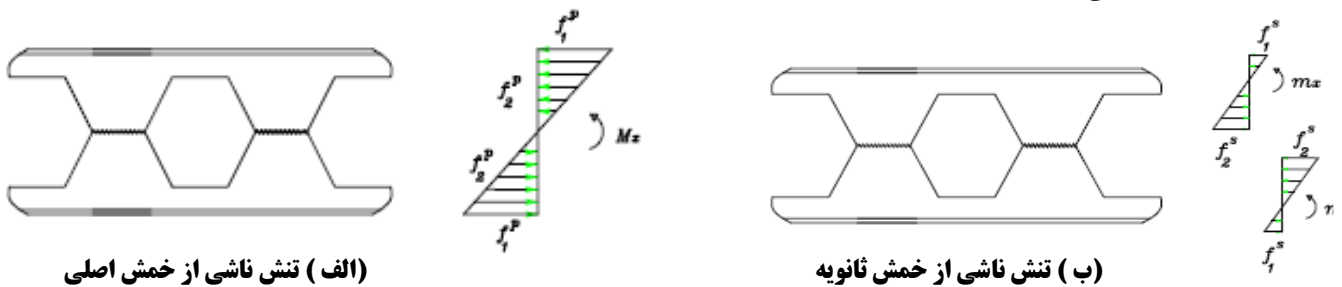
A_t : مساحت قسمت سپری

C_t : فاصله از تار خنثی تا بالاترین تار مقطع سپری

C_b : فاصله از تار خنثی تا پایین ترین تار مقطع سپری

معیارهای طراحی:

(۱) معیار خمش:



(الف) تنش ناشی از خمش اصلی

(ب) تنش ناشی از خمش ثانویه

$$f_1^P = \frac{M_x}{S_1} \quad f_1^S = \frac{m_x}{S_t} \quad m_x = \frac{V_x \cdot e}{2}$$

$$f_2^P = \frac{M_x}{S_2} \quad f_2^S = \frac{m_x}{S_b}$$

f_1^P, f_2^P : تنش های محوری ناشی از خمشی اصلی در تارهای بالایی و انتهایی مقطع زنبوری.
 f_1^S, f_2^S : تنش های محوری ناشی از خمشی ثانویه در تارهای بالایی و انتهایی شکل T.
 m_x : لنگر ثانویه سپری شکل.

$$\text{کنترل: } f_1 = |f_1^P| + |f_1^S| = \left| \frac{M_x}{S_1} \right| + \left| \frac{m_x}{S_t} \right|$$

$$\text{کنترل: } f_2 = |f_2^P| + |f_2^S| = \left| \frac{M_x}{S_2} \right| + \left| \frac{m_x}{S_b} \right|$$

مقادیر f_1, f_2 باید از تنش های مجاز خمش در فشار و کشش کمتر باشند در غیر این صورت سوراخ از لحاظ خمش پاسخگو نبوده و باید پر گردد.

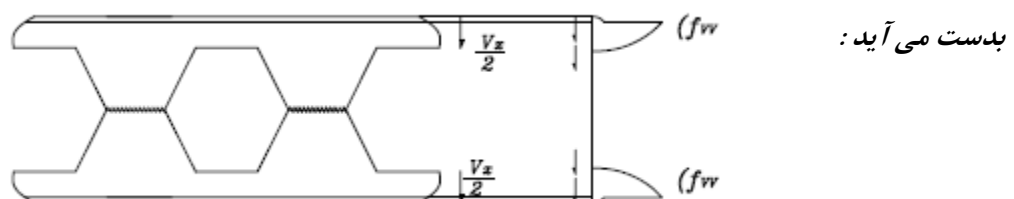
(۲) معیار کمانش موضعی اجزای سپری شکل:

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{795}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{جدول ۱ - آیین نامه ایران})$$

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{1065}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{جدول ۱ - آیین نامه ایران})$$

(۳) معیار برش قائم:

توزیع تنش برشی در مقطع به صورت سهمی بوده و مقدار حداکثر آن در محل محور خنثی می باشد که از رابطه زیر



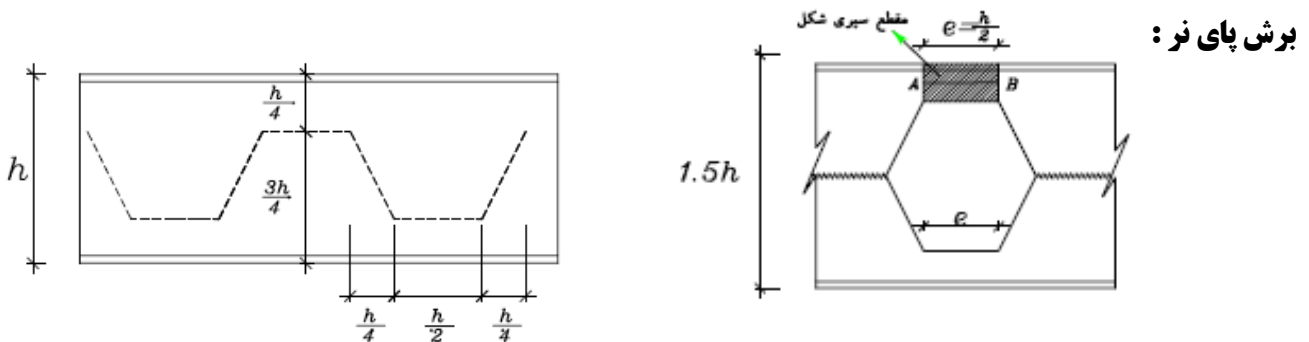
$$(f_{vw})_{Max} = \frac{V_x}{I_t \cdot t_w} \times \bar{Q} < F_v = 0.4F_y$$

\$I_t\$: ممان اینرسی مقطع سپری شکل حول محور خنثی

\$\bar{Q}\$ لنگر سطح حداکثر مقطع سپری است، در صورتیکه رابطه فوق ارضا نشود، باید مقطع سوراخ پر شود که در صورت پر شدن سوراخ تنش برشی در مقطع با جان پر به صورت زیر کنترل می شود:

$$f_v = \frac{V_x}{D \cdot t_w} < 0.4F_y$$

\$t_w\$ ← ضخامت جان
\$D\$ ← ارتفاع تیر زنبوری



از آنجا که انجام کنترل های ارائه شده در صفحات قبل در حل مسائل امتحانی وقت گیر و طولانی است لذا مراحل گام به گام طراحی تیرهای لانه زنبوری را به صورت زیر ارائه می دهیم:

۱) رسم دیاگرام برش و خمش تیر.

۲) طرح پروفیل زنبوری بر اساس ممان ماکزیمم.

$$S_g \geq \frac{M_{max}}{0.6F_y} \Rightarrow USE \quad CPE \dots$$

۳) تعیین معادلات نیروی برشی و لنگر خمشی در طول تیر.

۴) کنترل برش در تیر:

$$\frac{V}{A} \leq 0.4 \cdot F_y \rightarrow x > \dots$$

$$A = 2 \left(\frac{h}{4} \right) (t_w)$$

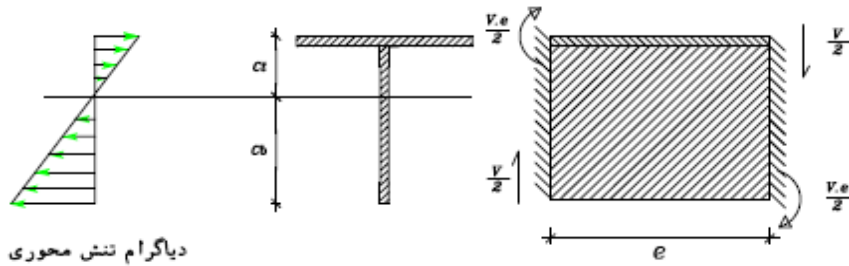
با کنترل این رابطه ناحیه ای که برش جوابگو نیست و بایستی با ورق سوراخ های تیر لانه زنبوری را پر کرد مشخص می شود.

۵) کنترل خمش اولیه و ثانویه:

$$S_1 = \frac{I_g}{D/2}, S_t = \frac{I_t}{C_t}$$

$$f_1^P = \frac{M_x}{S_1}, f_2^S = \frac{m_x}{S_t}$$

برای راحتی کار نسبت به حالت قبل، کنترل خمش اولیه و ثانویه را فقط در دورترین تار مقطع انجام می دهیم (بالاترین یا پایین ترین تار مقطع زنبوری)

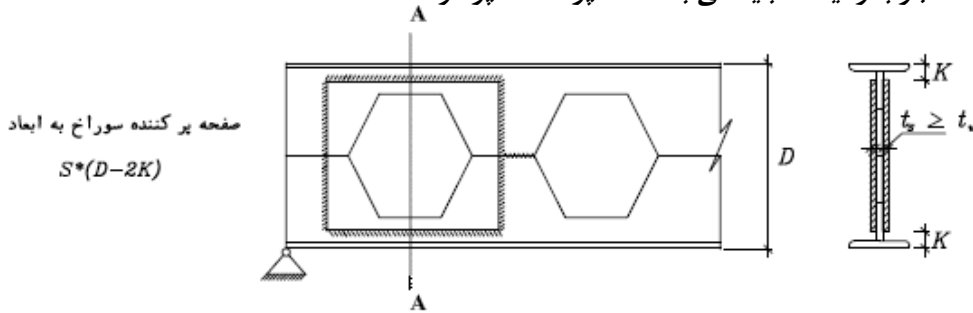


دیگرام تنش محوری

$$e = \frac{h}{2}, \quad m_x = \frac{V \cdot e}{2} = \frac{V \cdot h}{4} \rightarrow f_1^S = \frac{m_x \cdot C_t}{I_t} = \frac{\frac{V \cdot h}{4}}{\frac{I_t}{C_t}} = \frac{V \cdot h}{4S_t}$$

$$f_1^P + f_1^S \leq F_b \Rightarrow \frac{M_x}{S_1} + \frac{V \cdot h}{4S_t} \leq 0.6F_y \rightarrow \dots < x < \dots$$

6) با توجه به محدوده ی x که کنترل برش و خمش تعیین می شود، در صورت برقرار نبودن هر یک از روابط برش یا خمش، ناحیه ای که جوابگو نیست بایستی با صفحه پرکننده پر شود.



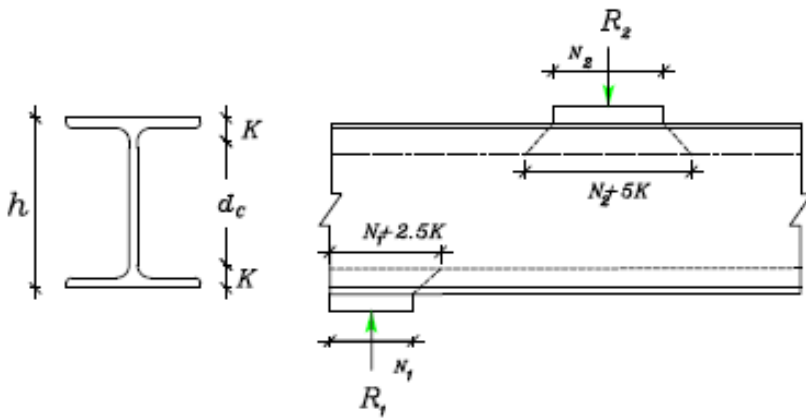
صفحه پرکننده سوراخ به ابعاد $S \cdot (D - 2K)$

3-6) مسائل ویژه در طرح تیر:

(بند ۱۰-۱-۸-۱، آیین نامه ایران)

۱) کنترل جاری شدن موضعی جان:

توصیه: $N \geq K$



$R \leftarrow$ بار متمرکز یا عکس العمل تکیه گاه

$d_c \leftarrow$ ناحیه صاف جان تیر

$K \leftarrow$ ناحیه انحنای جان تیر

در تیرها و شاه تیرهای مرکب (با اتصال جوشی) باید روابط زیر برقرار شوند:

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_1}{(N_1 + 2.5K)t_w} &\leq 0.66F_y && \text{(رابطه ۱۰-۸-۳، آیین نامه ایران)} \\ \frac{R_2}{(N_2 + 5K)t_w} &\leq 0.66F_y && \text{(رابطه ۱۰-۸-۲، آیین نامه ایران)} \end{aligned} \right\} \text{روش حد خمیری}$$

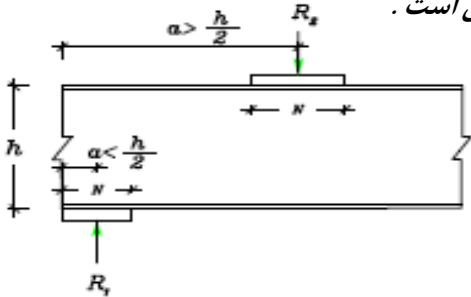
روش ارتجاعی

$$\frac{R_1}{(N_1 + K)t_w} \leq 0.75F_y \quad (\text{رابطه ۱-۱۰-۹، AISC})$$

$$\frac{R_2}{(N_2 + 2K)t_w} \leq 0.75F_y \quad (\text{رابطه ۱-۱۰-۸، AISC})$$

نکته: از روابط حد خمیری برای کنترل جاری شدن موضعی جان و از روابط روش ارتجاعی برای طراحی زیر سری ها استفاده می شود.

نکته: اگر روابط موفق برقرار نشود، بقیه قطعات فشاری تقویتی ضروری است.



۲) کنترل لهیدگی در جان تیر:

وقتی که نیروی فشاری از مقادیر زیر تجاوز کند، باید قطعات تقویتی فشاری در روی جان اعضایی که تحت اثر بار های متمرکز هستند قرار داده شود.

۱- اگر بار متمرکز در فاصله ی بیش از $\frac{h}{2}$ عضو وارد شود:

$$R_2 = 566 \cdot t_w^2 \left[1 + 3 \left[\frac{N}{h} \right] \left[\frac{t_w}{t_f} \right]^{1.5} \right] \sqrt{F_{yw} \cdot \frac{t_f}{t_w}} \quad (\text{رابطه ۱۰-۸-۴، آیین نامه ایران})$$

۲- اگر بار متمرکز در فاصله کمتر از $\frac{h}{2}$ انتهای عضو وارد شود:

$$R_1 = 285 \cdot t_w^2 \left[1 + 3 \left[\frac{N}{h} \right] \left[\frac{t_w}{t_f} \right]^{1.5} \right] \sqrt{F_{yw} \cdot \frac{t_f}{t_w}} \quad (\text{رابطه ۱۰-۸-۵، آیین نامه ایران})$$

حد جاری شدن فولاد جان تیر $F_{yw} \rightarrow$

نکته: اگر قطعات تقویتی گذارده شده حداقل تا نصف ارتفاع جان ادامه یابد بررسی روابط صفحه قبل لازم نخواهد بود.

۳) کنترل کمانش توأم با انتقال جانبی در جان تیر:

بقیه قطعات تقویتی فشاری در جان تیرهایی که از حرکت جانبی بال توسط مهار جلوگیری نشده و تحت اثر

بارهای متمرکز فشاری از حدود زیر بیشتر شود:

۱- اگر بال بار گذاری شده در مقابل دوران زاویه ای نگهداری شده و نسبت $\frac{d_c \cdot b_f}{L \cdot t_w}$ کمتر از ۲.۳ باشد:

$$R = \frac{480 \times 10^3 \cdot t_w^3}{h} \left[1 + 0.4 \left[\frac{d_c / t_w}{L / b_f} \right]^3 \right] \quad (\text{در رابطه ۱۰-۸-۶، آیین نامه ایران})$$

۲- اگر بال بار گذاری شده در مقابل دوران زاویه ای نگهداری نشده باشد و نسبت $\frac{d_c \cdot b_f}{L \cdot t_w}$ کمتر از ۱.۷ باشد:

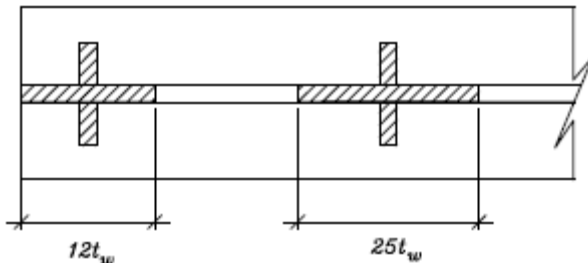
$$R = \frac{480 \times 10^3 \cdot t_w^3}{h} \left[0.4 \left[\frac{d_c / t_w}{L / b_f} \right]^3 \right] \quad (\text{رابطه } 10 - 8 - 7, \text{ آیین نامه ایران})$$

L ← بزرگ ترین طول بدون تکیه گاه جانبی در هر یک از بال ها در محل بار متمرکز

d_c ← ناحیه صاف جان ، t_w ← ضخامت جان ، b_f ← عرض بال

در صورتی که نسبت $\frac{d_c \cdot b_f}{L \cdot t_w}$ از مقدار ۲.۳ و یا ۱.۷ (بسته به حالت مورد بحث) بزرگ تر باشد، احتیاجی به بررسی روابط نیست. برای بالی که تحت اثر بار گسترده هموار قرار گیرد نیز احتیاجی به این بررسی نمی باشد.

۴) بقیه قطعات تقویتی در بارها متمرکز:



اگر قطعه تقویتی نیاز باشد، این قطعات باید به ستون فرضی با بار محوری محاسبه شوند و طول مؤثر ستون فرضی $0.75h$ است. سطح مقطع این ستون عبارت است از سطح مقطع جفت قطع تقویتی به اضافه نواری از جان که پهنای آن در قطعات تقویتی میانی $25t_w$ و در قطعات انتهایی $12t_w$ است. h در اینجا ارتفاع آزاد جان بین دو بال است.

در حالتی که در اتصال انتهایی تیر یا شاهتیر با ستون، برای انتقال لنگر، بال یا ورق اتصال بال تیر به بال ستونی با نیمرخ I, H جوش شود، یک جفت قطعه تقویتی باید در جان ستون قرار گیرد که سطح مقطع آن از رابطه زیر کمتر نشود.

$$A_{st} = \frac{P_{bf} - F_{yc} \cdot t_{wc} (t_b + 5K)}{F_{yst}} \quad (\text{رابطه } 10 - 8 - 9, \text{ آیین نامه ایران})$$

F_{yc} ← تنش جاری شدن ستون

F_{yst} ← تنش جاری شدن سخت کننده

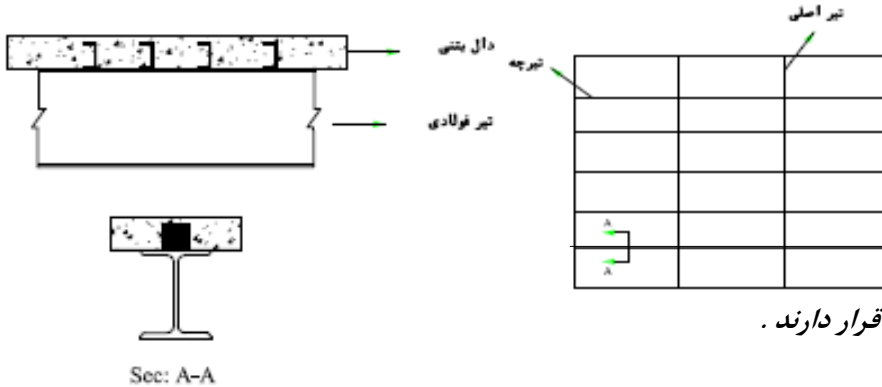
t_b ← ضخامت بال تیر یا ورق اتصال

برای توضیح بیشتر به قسمت طراحی سخت کننده در اتصال صلب و طراحی ورق های اتکایی در تیر ورق ها مراجعه شود.

تیرهای مختلط

۷

همکاری دال بتنی و تیر فولادی در باربری سازه را مقطع مرکب می گویند. این در صورتی است که از برش گیرها برای تحمل نیروی برشی بین سطح فولادی و بتنی که از اختلاف لنگر حاصل می شود، استفاده کنیم. در این سیستم دال بتنی در باربری سازه مؤثر است.

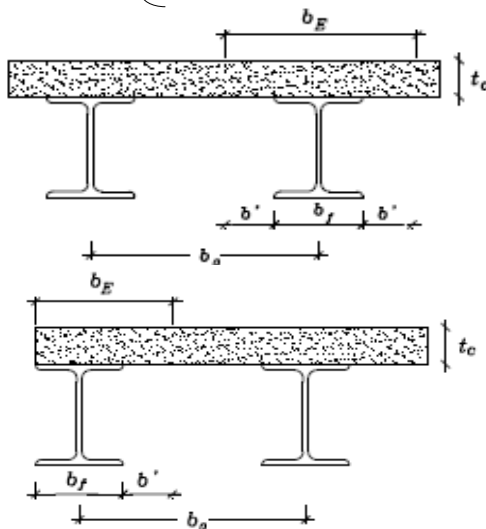


برش گیرها متناسب با عرض تیر بال قرار دارند.

(1-7) عرض مؤثر دال بتنی :

$$b_E = b_f + \begin{cases} b' & \text{در تیر کناری} \\ 2b' & \text{در تیر میانی} \end{cases}$$

L : طول دهانه تیر



$$b_E = \min \begin{cases} L/4 \\ b_0 \\ b_f + 16 \cdot t_c \end{cases} \quad (\text{بند ۱-۱۱-۱، AISC})$$

(برای تیر میانی)

$$b_E = \min \begin{cases} \frac{L}{12} + b_f \\ \frac{1}{2}(b_0 + b_f) \\ b_f + 6 \cdot t_c \end{cases} \quad (\text{بند ۱-۱۱-۱، AISC})$$

(برای تیر کناری)

برای مشاهده روابط ارائه شده برای عرض مؤثر دال در آیین نامه ایران به بند ۱۰ - ۱ - ۲ - ۷، قسمت الف مراجعه شود.

(2-7) محاسبه مشخصات مقطع :

$$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ bar}$$

$$E_c = W^{1.5} (0.136) \sqrt{f'_c} \text{ bar} \xrightarrow{W=2300 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{M}^3} \right)} E_c = 15000 \sqrt{f'_c}$$

$$W = 2300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad (\text{وزن مخصوص بتن معمولی})$$

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

طبق توصیه آیین نامه n بهتر است عدد صحیحی انتخاب شود که معمولاً بین ۹ تا ۱۰ است.

نکته: اگر از تیر لانه زنبوری بخواهیم استفاده کنیم، بخاطر برش بالایی که در این تیرهای کامپوزیت وجود دارد،

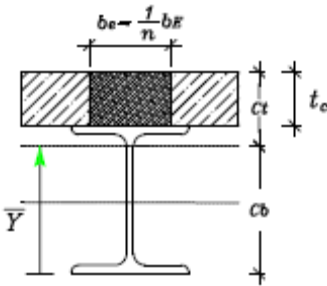
باید تمام سوراخهای آنرا پر کنیم.

3-7 محاسبات تیر های مرکب در دو حالت متفاوت:

۱) اجرای با شمع بندی:

در این شرایط روش تیر را با استفاده از شمع تقویت می کنیم و فرض می کنیم سازه در حین ساخت هیچ باری را تحمل نمی کند و همه بارها توسط شمع ها تحمل می شود و پس از گیرش بتن، شمع ها را خارج می کنیم.

در این حالت کنترل ها فقط بعد از گیرش بتن است که شامل بار مرده و زنده است.



مقطع بتنی را به مقطع فولادی معادل تبدیل می کنیم و داریم:

$$\bar{Y} = \frac{\sum A_i \cdot Y_i}{\sum A_i} \rightarrow \bar{Y} = \dots$$

$$I) \text{ تار خنثی} = \sum I_0 + \sum A \cdot d^2$$

\bar{Y} ← محل محور خنثی مقطع مرکب

I ← ممان اینرسی مقطع مرکب

W_t ← اساس مقطع نسبت به تار بالا

W_b ← اساس مقطع نسبت به تار پایین

C_t ← فاصله از تار خنثی تا بالاترین تار

C_b ← فاصله از تار خنثی تا پایین ترین تار

$$\left[\begin{array}{l} W_t = \frac{I}{C_t} \\ W_b = \frac{I}{C_b} \end{array} \right.$$

کنترل لازم بعد از گیرش بتن:

$$M = M_D + M_L$$

$$\left[\begin{array}{l} f_t = \frac{M_D + M_L}{nW_t} = \dots \leq \text{تنش مجاز بتن} \\ f_b = \frac{M_D + M_L}{W_b} = \dots \leq \text{تنش مجاز فولاد} \end{array} \right.$$

نکته ۱: در این حالت بارها پیش بینی نشده نداریم.

نکته ۲: چون بین بتن و فولاد درگیری کامل برقرار است، فواصل مهار جانبی بال فشاری صفر است و تنش مجاز فولاد $F_b = 0.66F_y$ است. (برای توضیح بیشتر به فصل قطعات خمشی مراجعه شود)

نکته ۳: اگر تار خنثی در مقطع بتنی قرار گیرد، از آنجا که بتن در کشش می خورد و بی اثر است محل تار عوض شود که با استفاده از رابطه صفحه بعد می توان موقعیت جدید تار خنثی را تعیین کرد؛ در موقعیت جدید تار خنثی نیز، باز بخشی از بتن در کشش می باشد که می توان مجدداً موقعیت جدید \bar{Y} را تعیین کرد. (سعی و خطا)

$$\begin{cases} Q_t = \frac{b_e (d + t_s - \bar{Y})^2}{2} \\ Q_b = A_s \left(\bar{Y} - \frac{d}{2} \right) \end{cases} \Rightarrow Q_t = Q_b \rightarrow \bar{Y} = \dots$$

$A_s \leftarrow$ مساحت پروفیل $d \leftarrow$ ارتفاع پروفیل $t_s \leftarrow$ ضخامت دال بتنی

نکته ۴: گاهی اوقات تیر را ضعیف تر انتخاب می کنند و از یک صفحه فلزی کششی استفاده می شود تا طراحی اقتصادی تر شود.

(۲) اجرایی بدون شمع بندی:

(۱) قبل از گیرش بتن: که فولاد بایستی به تنهایی وزن خود وزن بتن، وزن قالب بندی و بارهای پیش بینی نشده را تحمل کند.

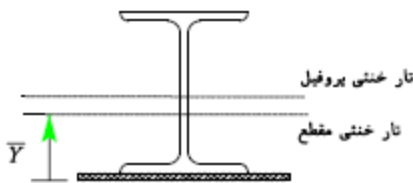
$$D_1 = (\dots + \underbrace{\text{وزن بتن} + \text{وزن فولاد}}_{\text{بارهای پیش بینی نشده}})$$

(۲) بعد از گیرش بتن: بایستی بارهای D_1, D_2, L توسط مقطع مرکب تحمل شود
 D_1 در این مرحله با قبل از گیرش متفاوت است زیرا بار (...)
 حذف می شود.

در این روش دو سری کنترل انجام می شود:

$$\begin{cases} D_1 \\ D_2 \rightarrow D_1 \text{ (بار کف سازی هاست)} \\ L \rightarrow \text{بار زنده} \end{cases}$$

کنترل های قبل از گیرش بتن:



$$\bar{Y} = \dots$$

$$I) \text{ تار خنثی} = \dots$$

$$\text{مقطع مرکب (پروفیل + ورق)} \begin{cases} W_{sb} = \frac{I}{C_b} \\ W_{st} = \frac{I}{C_t} \end{cases}$$

$W_{sb} \leftarrow$ اساس مقطع پروفیل (مقطع فولادی) نسبت به تار پایین

$W_{st} \leftarrow$ اساس مقطع پروفیل نسبت به تار بالا

کنترل تنش در مقطع فولادی قبل از گیرش بتن:

$$\begin{cases} f_{st} = \frac{M_{D_1}}{W_{st}} \leq \text{تنش فولاد} \\ f_{sb} = \frac{M_{D_1}}{W_{sb}} \leq \text{تنش فولاد} \end{cases}$$

$M_{D_1} \leftarrow$ ممان حاصل از بار مرده D_1 قبل از گیرش بتن.

نکته: اگر از ورق تقویتی استفاده نگردد، $W_{st} = W_t$ خواهد بود.

از آنجا که فواصل مهار جانبی فشاری قبل از گیرش صفر نیست پس تنش مجاز رابطه (الف) تعیین می شود:

(رابطه ۱۰-۲-۵، آیین نامه ایران)

$$F_b = \frac{8.4 \times 10^5}{L \cdot d} C_b \leq 0.6 F_y$$

$$A_f$$

نکته: در طراحی، کنترل های قبل از گیرش بسیار تعیین کننده در نمره پروفیل است. و برای حدس اولیه مورد

استفاده قرار می گیرد. زیرا در صورت عدم وجود مهار جانبی در طول تیر، تنش مجاز به شدت کاهش می یابد.

نکته: همان طور که قبلاً ذکر شد می توان از یک صفحه فلزی جهت تقویت بال کششی تیر استفاده کرد.

کنترل های بعد از گیرش بتن:

در این قسمت ابتدا مانند اجرای با شمع بندی W_t, W_b, I را برای مقطع مرکب محاسبه می کنیم و کنترل های زیر را انجام می دهیم.

$$(M_{D_1} + M_{D_2})$$

۱) کنترل در تیر فولادی $\rightarrow f_b = \frac{M_D + M_L}{W_b} \leq (0.66 F_y)$ تنش کششی فولاد

۲) کنترل بتن $\rightarrow f_c = \frac{M_{D_2} + M_L}{n W_t} \leq (0.45 f'_c)$ تنش فشاری بتن

M_{D_1} : لنگر ناشی از بار مرده بدون بارهای پیش بینی نشده

M_{D_2} : لنگر ناشی از بارهای مرده کفسازی

W_b : اساس مقطع نسبت به تار پایین (بتن + ورق + پروفیل)

از بین دو رابطه زیر یکی را کنترل می کنیم زیرا یکسان هستند.

کنترل: $f_{sb} = \frac{M_{D_1}}{W_{sb}} + \frac{M_{D_2} + M_L}{W_b} \leq 0.9 F_y$ اساس مقطع نسبت به تار پایین (ورق + پروفیل)

ضابطه آیین نامه: $\frac{W_b}{W_{sb}} \leq 1.35 + 0.35 \frac{M_{D_2} + M_L}{M_{D_1}}$

نکته: M_{D_1} قبل از گیرش بتن متفاوت است زیرا بعد از گیرش بارهای پیش بینی نشده مثل وزن بتن انباشته و...

حذف می شود.

نکته: بعد از گیرش بتن فواصل مهار جانبی صفر است و تنش مجاز فولاد $F_b = 0.66 F_y$ است.

(4-7) کنترل خیز:

ماکزیمم خیز تیر دو سر مفصل با بار گسترده:

$$\Delta_{\max} = \frac{5 q L^4}{384 E I}$$

الف) با شمع بندی :

$$\begin{cases} q = q_{D+L} \\ I = \text{پروفیل} \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} \Delta_{D+L} \leq \frac{L}{240} \\ \Delta_L \leq \frac{L}{360} \end{cases}$$

ب) بدون شمع بندی :

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{D_1} &= \begin{cases} q = q_{D_1} \\ I = \text{پروفیل} \end{cases} \\ \Delta_{D_2} &= \begin{cases} q = q_{D_2} \\ I = \text{کامپوزیت} \end{cases} \\ \Delta_L &= \begin{cases} q = q_L \\ I = \text{کامپوزیت} \end{cases} \longrightarrow \Delta_L \leq \frac{L}{360} \rightarrow O.K \end{aligned} \right\} \rightarrow \Delta_{D+L} = (\Delta_{D_1} + \Delta_{D_2} + \Delta_L) \leq \frac{L}{240} \Rightarrow O.K$$

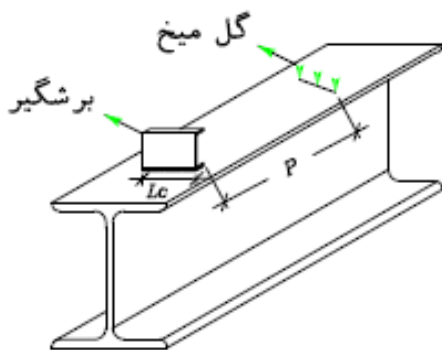
5-7) طرح برشگیرها :

۱) طرح برشگیر بر اساس بارهای وارده :

طبیعتاً تراکم برشگیری ها در نزدیکی تکیه گاه بیشتر است ، ولی آیین نامه اجازه نمی دهد که برشگیرها را در تمام سطح به طور یکسان قرار دهیم . (با فواصل یکسان)

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} \rightarrow \tau \times t \times P = \text{نیروی برشی هر برشگیر}$$

$$\Rightarrow \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} \times t \times P \leq q \quad (\text{ظرفیت برشی هر برشگیر}) \quad \rightarrow P \leq \frac{q}{\frac{V \cdot Q}{I}}$$



- \$P \leftarrow\$ فاصله دو برشگیر
- \$V \leftarrow\$ مقدار برش در مقطع
- \$I \leftarrow\$ ممان اینرسی مقطع مرکب
- \$Q \leftarrow\$ گشتاور اول سطح مقطع بتنی که به صورت فولاد معادل شده است .
- \$t \leftarrow\$ فصل مشترک پروفیل و مقطع
- \$q \leftarrow\$ مقادیر مجاز ظرفیت هر برشگیر در آیین نامه ارائه شده است .
- \$L_C \leftarrow\$ طول هر برشگیر (cm)

۲) طرح برشگیر به روش مقاومت نهایی :

برش افقی در محل تماس تیر فولادی و دال بتنی باید توسط برشگیرها که بر بال فوقانی تیر فولادی جوش شده و داخل بتن فرو رفته اند ، حمل گردد ، برای عملکرد مختلط کامل با بتنی که تحت فشار خمشی می باشد ، برش افقی کل که باید بین نقطه حداکثر لنگر خمشی و نقطه لنگر صفر حمل گردد ، مساوی کوچکترین مقدار به دست آمده از رابطه زیر در نظر گرفته می شود : (بند ۱۰ - ۱ - ۲ - ۷ ، قسمت ت) ، آیین نامه ایران)

$$V_h = 0.85 f'_c \cdot \frac{A_C}{2} + F_{yr} \frac{A'_S}{2} \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۲ - ۱۷ ، آیین نامه ایران})$$

$$V_h = F_Y \frac{A_S}{2} \quad (\text{رابطه ۱۰ - ۲ - ۱۸ ، آیین نامه ایران})$$

f'_C ← مقاومت فشاری بتن

A_C ← مساحت واقعی سطح مؤثر بتنی

A_S ← سطح مقطع تیر فولاد

A'_S ← سطح مقطع فولاد فشاری موجود در ناحیه عرض مؤثر که در محاسبات مشخصات هندسی مقطع منظور شده است.

F_{yr} ← تنش تسلیم حداقل مقرر میلگردهای A'_S

در تیرهای مختلط پیوسته که در آن میلگرد های طولی در نواحی لنگر منفی به صورت مختلط با تیر فولادی عمل نمایند، کل نیروی برشی افقی که باید توسط برشگیرها در حد فواصل تکیه گاه داخلی و نقطه عطف مجاور حمل گردد از رابطه زیر بدست می آید: (بند ۱ - ۲ - ۷، قسمت ت)، آیین نامه ایران)

$$V_h = F_{yr} \frac{A_{Sr}}{2} \quad (\text{رابطه } 10 - 2 - 19, \text{ آیین نامه ایران})$$

A_{Sr} ← سطح مقطع کل میلگردهای طولی واقع در عرض مؤثر در روی تکیه گاه داخلی (محل ممان منفی ماکزیمم)

F_{yr} ← تنش تسلیم حداقل مقرر میلگردهای طولی

برای عملکرد مختلط کامل، تعداد برشگیرها در هر طرف نقطه حداکثر لنگر خمشی که برای مقاومت در مقابل برش افقی طراحی می شوند، از رابطه زیر محاسبه می شود: (بند ۱۰ - ۱ - ۲ - ۷، قسمت ت)، آیین نامه ایران)

$$n = \frac{V_h}{q} \quad (\text{رابطه } 10 - 2 - 20, \text{ آیین نامه ایران})$$

V_h ← نیروی برشی افقی که طبق روابط صفحه قبل بدست می آید.

q ← نیروی برشی مقاوم مجاز یک برشگیر طبق جدول ارائه شده است.

n : تعداد برشگیر در هر طرف نقطه حداکثر لنگر

P : فاصله برشگیرها از یکدیگر

6-7) تعیین مقدار q از جدول آیین نامه:

جدول ۱ - الف - نیروی برشی افقی مجاز (q) برای یک برشگیر بر حسب تن*

مقاومت فشاری بتن f'_C (Kg/cm^2)			نوع برشگیر**
۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	
۲,۲	۲,۵	۲,۷	گلمیخ سر پهن یا قلاب شده به قطر ۱,۳ و طول ۵,۰ سانتیمتر
۳,۵	۳,۹	۴,۲	گلمیخ سر پهن یا قلاب شده به قطر ۱,۶ و طول ۶,۵ سانتیمتر
۵	۵,۶	۶	گلمیخ سر پهن یا قلاب شده به قطر ۲,۰ و طول ۷,۵ سانتیمتر
۶,۸	۷,۶	۸,۲	گلمیخ سر پهن یا قلاب شده به قطر ۲,۲ و طول ۹,۰ سانتیمتر
۰,۷۳ W	۰,۸۴ W	۰,۸۹ W	ناودانی 80***
۰,۷۸ W	۰,۸۹ W	۰,۹۵ W	ناودانی 100***
۰,۸۳ W	۰,۹۵ W	۱,۰ W	ناودانی 120***

* مقادیر جدول فقط برای بتن با وزن مخصوص معمولی طبق ASTM 33 قابل استفاده است.

** برای گلمیخها بلندتر از مقادیر ذکر شده، می توان از مقادیر نیروی برشی افقی ارائه شده استفاده کرد.

*** W طول ناودانی به سانتیمتر است.

(جدول ۱-۱۱-۴، آیین نامه AISC)

بار مجاز q بر حسب KN (بتن متعارف)			نوع برشگیر
f'_c bar مقاومت فشاری استوانه بتنی			
۲۸۰	۲۴۰	۲۱۰	
۲۵	۲۲	۲۰	گل میخ به قطر 12 mm و طول 5 cm
۴۳	۳۸	۳۵	گل میخ به قطر 12 mm و طول 5 cm
۶۵	۶۰	۵۵	گل میخ به قطر 12 mm و طول 5 cm
۸۰	۷۵	۶۵	گل میخ به قطر 12 mm و طول 5 cm
۱۳۵ W	۱۲۵ W	۱۲۰ W	ناودانی UNP 8
۱۴۰ W	۱۳۰ W	۱۲۵ W	ناودانی UNP 10
۱۵۵ W	۱۴۵ W	۱۳۵ W	ناودانی UNP 12

W - طول ناودانی

چند نکته :

- ۱ - فاصله برشگیرها نباید از 8 برابر ضخامت دال بتنی بیشتر شود (گل میخ ها) (بند ۱۰ - ۱ - ۲ - ۷، قسمت ت)، ایران)
- ۲ - حداقل فاصله مرکز به مرکز گل میخ های برشگیر در امتداد محور تیر مساوی 6 برابر قطر و در امتداد عرضی، مساوی 4 برابر قطر است. (بند ۱۰ - ۱ - ۲ - ۷، قسمت ت)، ایران)
- ۳ - بار D_1 در حالت بدون شمع بندی، قبل و بعد از گیرش به دلیل یک سری از بارهای پیش بینی نشده (مثل بتن انباشته روی سقف و افرادی که بتن را پخش و ویبر می کنند و...) متفاوت است.
- ۴ - معمولاً اجرای با شمع بندی موجب کاهش نمره پروفیل نسبت به حالت بدون شمع بندی می شود.
- ۵ - کنترل خیز: از آنجا که عملکرد دال بتنی به تیر فولادی کمک می کند، نمره پروفیل نسبت به حالت عادی کاهش یافته و خیز حتماً بایستی کنترل شود.
- ۶ - عملکرد مقطع مرکب در ناحیه لنگر مثبت قابل استفاده است و برای منفی مناسب نیست، چون بتن در کشش ضعیف است ترک می خورد.
- ۷ - به عنوان توصیه در طرح برشگیرها، برای تیرهای کوتاه V را ممان عکس العمل تکیه گاه قرار می دهیم، که جهت ضریب اطمینان است ولی برای تیرهای با دهانه زیاد، بهتر است دیاگرام برش را به صورت پلکانی تبدیل کرده و در قسمت جداگانه برشگیر را طرح کنیم استفاده از عکس العمل تکیه گاه در تیرهای با دهانه زیاد، غیر اقتصادی است.
- ۸ - اگر از شمع بندی استفاده شود، تیر در ابتدا خیزی ندارد و بعد از برداشتن شمع، خیز به تیر وارد می شود و کنترل خیز مانند حالت عادی است و از I تیر مرکب استفاده می کنیم.
- ۹ - در حالت بدون شمع بندی ابتدا I تیر تنها را کنترل کرده و در مرحله دوم بار D_2 و بار زنده وارد مسئله می شوند، که مجدداً I تیر مرکب مورد استفاده قرار می گیرد. دو رابطه با هم مقایسه و جمع دو حالت را وارد محاسبه می کنیم.

7-7) برگه طراحی تیر مختلط :

(بدون شمع بندی)		Composit تیرهای	
	نام پروژه :		طبقه :
	محاسب :		محور :
	تاریخ :	انتها :	ابتدا :
از :	صفحه :		تیب تیر :
مشخصات مصالح مصرفی			
$F_y = 2400$	$f_c =$	$L =$	$b =$
$E_s =$	$E_c =$	$n =$	$t_c =$
تعیین لنگرهای طراحی و کنترل کفایت پروفیل			
$LL = (Kg/m^2)$	$D_2 =$ معادل + کفسازی	(Kg/m^2)	$D_1 = (Kg/m^2)$
$q_1 = LL \times b =$ (Kg/m)		$ML = q_1 \cdot L^2 / 8 =$ (T.m)	
$q_{D2} = D_2 \times b =$ (Kg/m)		$MD_2 = q_{D2} \cdot L^2 / 8 =$ (T.m)	
$q_{D1} = D_1 \times b + W_{pro} + 0.04b =$		$MD_2 = q_{D1} \cdot L^2 / 8 =$ (T.m)	
$USE : IPE 200 (d = , b = , t_w = , t_f = , G = , A = , I_x = , S_x =)$			
$f_{st} = MD_1 / S_x =$		$F_b = (840000 / (L \cdot d / A_f)) \times C_b =$	
$f_{st} \leq F_b$		O.K	
کنترل های قبل از گیرش بتن			
$b_e = \text{Min} \begin{cases} L/4 = \\ b_o = \\ b_f + 16 t_c = \end{cases} \longrightarrow b_e = b_e / n =$			
$Y =$	$Q_t = Q_b$	$\longrightarrow Y' =$	$I =$
$W_b = I / C_b =$		$W_t = I / C_t =$	

کنترل های بعد از گیرش بتن

$$\begin{cases} f_b = (M_D + M_L) / W_b = \leq 0.66 F_y = \\ f_c = (M_{D2} + M_L) / n \cdot W_b = \leq 0.45 f'_c = \\ f_{sb} = M_{D1} / W_{sb} + (M_{D2} + M_L) / W_b = \leq 0.9 F_y = \end{cases}$$

کنترل خیز

$$\begin{cases} \Delta L = (5/384) \cdot (q_L \times L^4) / E \cdot I_{comp} = \leq L/360 = \\ \Delta D1 = (5/384) \cdot (q_{D1} \times L^4) / E \cdot I_{pro} = \\ \Delta D2 = (5/384) \cdot (q_{D2} \times L^4) / E \cdot I_{comp} = \\ \Delta D2 + \Delta D1 + \Delta L = \leq L/240 = \end{cases}$$

طراحی برشگیرها

$$V_h = \min \begin{cases} (0.85 \times f'_c \times A_c) / 2 = \\ A_s \cdot F_y / 2 = \end{cases}$$

فرض UNP :

$$q = 0.75 \cdot w = \text{Ton}$$

$$w = \text{cm} \quad \text{طول UNP} :$$

$$N = V_h / q =$$

تعداد UNP در طول دهانه : N =

$$P = L / N =$$

8-7) برگه طراحی تیرچه کرومیت:

برگه طراحی تیرچه کرومیت					
تیب تیرچه:					
$F_y (kg/cm^2)$	تنش تسلیم فولاد	کنترل خمش مقطع قبل از گیرش بتن			
$f_c (kg/cm^2)$	مقاومت فشاری بتن	$Y (cm)$	$I (cm^4)$	$S_{ts} = I/Y$	
$DL (kg/m^2)$	بار مرده اضافی				
$LL (kg/m^2)$	بار زنده	$W_{D1} (t/m)$	$M_{D1} (t.m)$	$f_{bc} (kg/m^2)$	$F_{bc} (kg/m^2)$ $f_{bc} \leq F_{bc}$
$b_E (m)$	عرض بار گیر				O.K.
$t_c (cm)$	ضخامت بتن	کنترل خمش مقطع پس از گیرش بتن			
$L (m)$	طول دهانه	$b_e (cm)$	$Y (cm)$	$I_c (cm^4)$	$S_{tc} = I_c/Y$
مشخصات نبشی فوقانی					
$A (cm^2)$	سطح	$W_{D2} (t/m)$	$M_{D2} (t.m)$	$W_L (t/m)$	
$I_1 (cm^4)$	ممان اینرسی				
$e (cm)$	خروج از مرکز	$M_D = M_{D1} + M_{D2}$			$M_L (t.m)$
$W (kg/m)$	وزن				
مشخصات بال تحتانی		$f_{bt} = (M_D + M_L)/S_{tc}$		$F_{bt} (kg/m^2)$	$f_{bt} \leq F_{bt}$
$b (cm)$	عرض				O.K.
$t (cm)$	ضخامت	ترکیب تنش ها در دو مرحله بار گذاری			
$x (cm)$	فاصله بال فوقانی تا روی بتن	$m = S_{tc}/S_{te}$	$k = 1.35 + 0.35(M_{D2} + M_L)/M_{D1}$	$m \leq k$	
$d (cm)$	فاصله بال فوقانی تا بال تحتانی			O.K.	
کنترل برش					
$E_s (kg/cm^2)$	ضریب ارتجاعی فولاد	$V = (W_{D1} + W_{D2} + W_L) \cdot L/2$		$V_r (ton)$	$V \leq V_r$
$E_c (kg/cm^2)$	ضریب ارتجاعی بتن				
$A_s (cm^2)$	سطح مقطع میلگرد جان				O.K.
کنترل خیز					
		$\delta_{D+L} (cm)$	$\delta_{all}(D+L) = L/240$	$\delta_{max} \leq \delta_{all}$	
				O.K.	
		$\delta_L (cm)$	$\delta_{all}(L) = L/360$	$\delta_{max} \leq \delta_{all}$	
				O.K.	

تیر ستون

۸

در سازه های واقعی اکثر ستون ها علاوه بر نیروی محوری، لنگر انتهایی یا بار جانبی وارد بر خود را نیز تحمل نماید که اصطلاحاً به چنین اعضایی که هم نیروی محوری و هم ممان خمشی را باید تحمل نمایند، تیر ستون می گویند. ضوابط طراحی به روش آیین نامه ایران: (بند ۱۰-۱-۶-۱، آیین نامه ایران) این آیین نامه با در نظر گرفتن تغییرات لنگر حاصل از بار های جانبی برای طراحی این نوع قطعات دو فرمول میانگین که بر طبق آنها پایداری و عدم جاری شدن قطعه را کنترل می کند ارائه می دهد.

(1-8) فرمول اول: اگر $\frac{f_a}{F_a} > 0.15$ باشد:

$$(الف) \quad \text{رابطه میانگین عدم جاری شدن} : \frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

(رابطه ۱۰-۶-۲، آیین نامه ایران)

$$(ب) \quad \text{رابطه میانگین پایداری} : \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right)} \cdot \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{C_{my}}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right)} \cdot \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

(رابطه ۱۰-۶-۱، آیین نامه ایران)

نکته: در رابطه (ب)، برای تعیین F_{bx} و $C_b = 1$ قرار می دهیم، چون C_m در رابطه وجود دارد.

(2-8) فرمول دوم: اگر $\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$ باشد:

$$\frac{f_a}{F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

(رابطه ۱۰-۶-۳، آیین نامه ایران)

تنش موجود و مجاز فشاری: f_a, F_a

تنش موجود و مجاز خمشی حول x: f_{bx}, F_{bx}

تنش موجود و مجاز خمشی حول y: f_{by}, F_{by}

تنش اولر که بر ضریب اطمینان تقسیم شده که مقدار آن عبارت است از:

$$F'_e(x, y) = \frac{12 \cdot \pi^2 \cdot E}{23 \cdot \lambda^2(x, y)} = \frac{105 \times 10^5}{\lambda^2(x, y)}$$

(بند ۱۰-۶-۱، آیین نامه ایران)

(3-8) تعیین C_m : (بند ۱۰-۶-۱-۱، آیین نامه ایران)

۱- اگر عضو قسمتی از قاب با انتقال جانبی باشد، این ضریب برابر ۰٫۸۵ بود.

۲- اگر عضو قسمتی از قاب بدون انتقال جانبی باشد:

(الف) اگر قطعه مستقیماً تحت اثر بار خارجی نباشد:

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$$

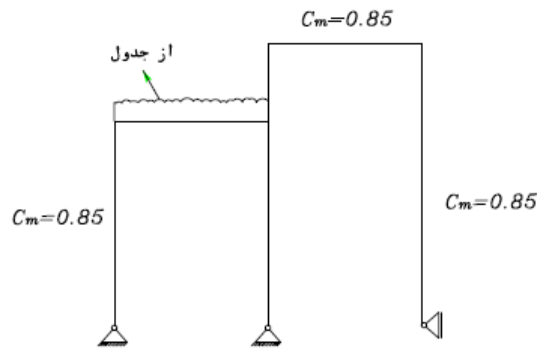
(ب) اگر قطعه مستقیماً تحت اثر تأثیر باز خارجی باشد، در این صورت مقدار C_m از جدول زیر محاسبه می شود:

(جدول c ۱-۶-۱، AISC)

	Case	ψ	$C_m = 1 + \Psi a$
۱		۰	۱,۰
۲		-۰,۳	$1 - 0.3 \frac{f_a}{F'_e}$
۳		-۰,۴	$1 - 0.4 \frac{f_a}{F'_e}$
۴		-۰,۲	$1 - 0.2 \frac{f_a}{F'_e}$
۵		-۰,۴	$1 - 0.4 \frac{f_a}{F'_e}$
۶		-۰,۶	$1 - 0.6 \frac{f_a}{F'_e}$

نکته: اگر بار گذاری روی تیر ستون منطبق بر جدول بالا نباشد، باز هم می توان با تقریب از روابط جدول استفاده کرد.

مثال:



تبصره: در صورتی که قطعه تحت تأثیر بار ثقلی و جانبی توأم قرار گیرد، تنش های مجاز به میزان $\frac{1}{3}$ افزایش می یابد، افزایش ۱,۳۳ در تنش مجاز معادل ضریب ۰,۷۵ به تنش های موجود است. یعنی:

$$\text{تنش مجاز} \leq \text{تنش موجود} \times ۰,۷۵ \quad (\text{بند ۱۰-۵-۱، آیین نامه ایران})$$

نکته: در محاسبات اجرایی در تعیین C_m برای اعضایی که در انتهای آنها لنگر وجود ندارد $C_m = 1$ و برای اعضایی که انتهای آنها لنگر وجود دارد $C_m = 0.85$ در نظر گرفته شود. (بند ۱۰-۶-۱، آیین نامه ایران)

4-8) انتخاب مقطع اولیه تیر ستون:

$$P_{eq} \geq P + M_x \cdot \frac{A}{S_x} \cdot \frac{F_a}{F_{bx}} + M_y \cdot \frac{A}{S_y} \cdot \frac{F_a}{F_{by}}$$

S_y, S_x برای تعیین P_{eq} برای پروفیل فرضی است.

$$انتخاب پروفیل : A \geq \frac{P_{eq}}{F_a}$$

فرضیات:

$$F_a = 1000 \text{ bar} \quad - 1$$

$$F_{bx} = 0.6 \cdot F_y \quad - 2$$

$$F_{by} = 0.75 \cdot F_y \quad - 3$$

5-8) مراحل گام به گام طراحی تیر ستون ها:

مرحله ۱: ترسیم دیاگرام نیروی محوری و ممان خمشی برای بار ثقلی و بار جانبی به طور جداگانه

مرحله ۲: تعیین P_{eq}

$$A \geq \frac{P_{eq}}{F_a}$$

مرحله ۳: تعیین نوع پروفیل

مرحله ۴: کنترل فشاری تیر ستون:

$$\left(\begin{array}{l} \lambda_x = \frac{KL}{r} \\ \lambda_y = \frac{KL}{r} \end{array} \right)_x \rightarrow \lambda_{\max} = \text{Max}\{\lambda_x, \lambda_y\} \rightarrow \text{تعیین } F_a \rightarrow$$

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

مرحله ۵: کنترل خمشی تیر ستون:

(۱) کنترل فشردگی

(۲) تعیین F_{by}, F_{bx}

(۳) تعیین f_{by}, f_{bx}

(۴) کنترل اینک: $f_{by} \leq F_{by}$, $f_{bx} \leq F_{bx}$

(۵) تعیین F'_{ey}, F'_{ex}

(۶) تعیین C_{my}, C_{mx}

فرمول اول

صفحه 63.

مرحله ۶: تعیین نسبت $\frac{f_a}{F_a}$ و مقایسه با 0.15 برای تعیین رابطه کنترلی

فرمول دوم

نکته: اگر یک عضو خرابی دارای تغییرات نیروی محوری باشد، مقدار K برای صفحه عمود بر خرپا برابر

است با:

$$K: \text{ضریب طول مؤثر} = 0.75 + 0.25 \frac{f_{\min}}{f_{\max}} \quad (\text{در عضو عمود بر صفحه})$$

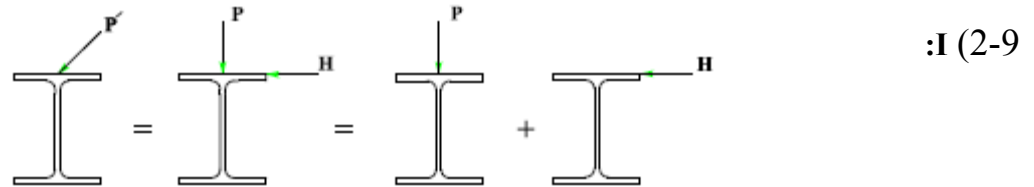
۹

پیچش

لنگر پیچشی به اعضای سازه هایی نظیر ساختمان های معمولی و پل ها معمولاً به صورت مستقیم وارد نمی شود و معمولاً در اثر بارهای خارج از مرکز در اعضای این سازه های پدید می آید. هرچند لنگر پیچشی در بسیاری موارد تنها بار وارده به اعضای ساختمان های معمولی نیست، ولی چنانچه تنش های حاصل از آن به طور مناسب شناسایی و کنترل نشود، ممکن است باعث بروز خرابی در سازه شود.

1-9) راه حل ساده برای طراحی مقاطع خمشی توأم با پیچش:

در این روش لنگر پیچشی اعمالی به تیر را به زوج نیرو در بال های مقطع I شکل تبدیل میکنیم (پیچش را به خمش تبدیل می کنیم) بنابراین هر یک از بال ها تحت تأثیر نیرویی قرار گرفت که خمش حول محور قوی بال را ایجاد می کند و در نهایت با توجه به اینکه کدامیک از حالات زیر رخ می دهد، رابطه مربوط را کنترل می کنیم:



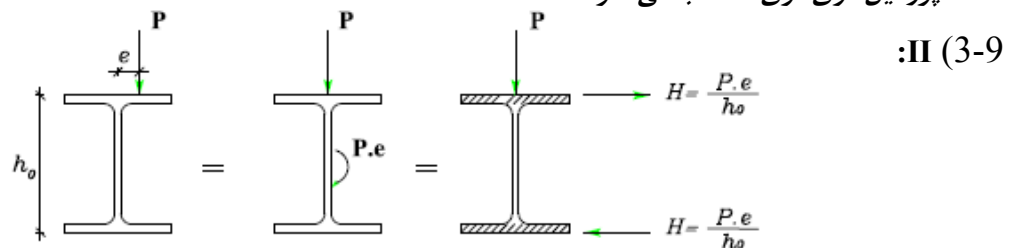
$$Contorol : \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

$$\begin{cases} f_{bx} = \frac{M_x}{S_x} \\ f_{by} = \frac{M_y}{S_y/2} \end{cases}$$

نکته: در محاسبه f_{by} به اندازه نصف جان تیر با خطا مواجه شده ایم.

F_{by} را می توان $0.75F_y$ و یا $0.6F_y$ در نظر گرفت ولی توصیه می شود در حل مسائل $f_{by} = 0.75F_y$ در نظر گرفته شود.

نکته: تبدیل پیچش به خمشی سبب می شود که بار H را فقط به بال وارد کنیم و این روش محافظه کارانه است و پروفیل قوی تری انتخاب می شود.



فاصله از وسط بال تا وسط بال پروفیل $h_0 \rightarrow$

$$h_0 = h - t_f$$

$$Contorol : \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

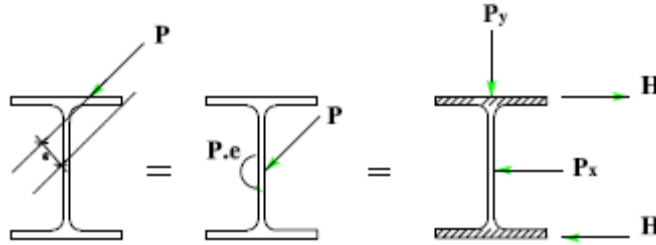
$$\begin{cases} f_{bx} = \frac{M_x}{S_x} \\ f_{by} = \frac{M_y}{S_y/2} \end{cases} \begin{cases} F_{bx} = \begin{cases} 0.66F_y \\ 0.6F_y \\ \text{کمتر} < 0.6F \end{cases} \\ F_{by} = \begin{cases} 0.75F_y \\ 0.6F_y \end{cases} \end{cases}$$

نکته: تنش هادر بالا و پایین مقطع اثری روی یکدیگر ندارند و ما به دنبال نقطه بحرانی هستیم که تنش ماکزیمم دارد.

M_x ← لنگری که بار P ایجاد می کند.

M_y ← لنگری که بار H ایجاد می کند.

III (4-9):



$$H = \frac{P \cdot e}{h_0}$$

$$h_0 = h - t_f$$

$$Control: \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} + \frac{f'_{by}}{F'_{by}} \leq 1.0$$

$$\left[\begin{array}{l} f_{bx} = \frac{M_x}{S_x} \\ f_{by} = \frac{M_y}{S_y} \\ f'_{by} = \frac{M'_y}{S_y/2} \end{array} \right] \left[\begin{array}{l} F_{bx} \begin{cases} 0.66F_y \\ 0.6F_y \\ 0.6F_y < \text{کمتر} \end{cases} \\ F_{by} = 0.75F_y \\ F'_{by} = \begin{cases} 0.75F_y \\ 0.6F_y \end{cases} \end{array} \right]$$

M_x ← لنگری که بار P_y تولید می کند.

M_y ← لنگری که بار P_x تولید می کند.

M'_y ← لنگری که بار H تولید می کند.

نکته: در پیچش اتصال بال به جان را منقطع فرض می کنیم.

پیچ و پرچ

۱۰

1-10) حداقل بار دوام پیچ ها :

هرگاه پیچ با مقاومت بالایی نصب گردد ، اساسی ترین الزامی که در نصب آن وجود دارد ، ایجاد پیش تنیدگی کافی در پیچ می باشد . میزان این پیش تنیدگی به مقدار حداکثر باید به نحوی باشد که تغییر شکل و گسیختگی پیچ را سبب نگردد . منحنی تنش- کرنش پیچهای با مقاومت بالا دارای پله خمیری معینی نبوده و لذا در این پیچ ها به جای تنش تسلیم از بار قراردادی جاری شدن استفاده می شود . بار قراردادی جاری شدن عبارت است از نیرویی که از حاصلضرب تنش تسلیم در سطح تحت کشش پیچ (AS) بدست می آید .

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left[D - \frac{0.9743}{n} \right]^2$$

بار دوام (حداقل نیروی پیش تنیدگی) پیچ ها از جدول زیر معین می شود (ضوابط AISC):

(جدول ۱-۲۳-۵ ، AISC)

ابعاد اسمی پیچ (in)	پیچ های A325 یا مشابه (ton)	پیچ های A490 یا مشابه (ton)
1/2	۵,۳	۶,۷
5/8	۸,۵	۱۰,۷
3/4	۱۲,۵	۱۵,۶
7/8	۱۷,۵	۲۱,۸
1	۲۲,۷	۲۸,۵
9/8	۲۴,۹	۳۵,۶
5/4	۳۱,۶	۴۵,۴
11/8	۳۷,۸	۵۳,۸
3/2	۴۵,۸	۶۵,۸

بار دوام برای پیچ های بر مقاومت در ضوابط ایران برابر است با :

$$T_i = 0.55F_u \cdot A_b$$

(جدول ۱۱ ، آیین نامه ایران)

T_i : بار دوام

A_b : سطح مقطع اسمی پیچ

F_u : تنش نهایی مصالح پیچ

2-10) تنش های مجاز برشی :

در حالت کلی تنش برشی اسمی مجاز F_v چه برای اتصالات اصطکاکی و چه معمولی با رابطه زیر بیان میشود :

$$F_v = \beta_1 \times \beta_2 \times \beta_3 \times (F_v \text{ مبنا })$$

β_1 : ضریب احتمال لغزش

β_2 : ضریب وضعیت نصب پیچ

β_3 : ضریب مربوط به اندازه و شکل سوراخ پیچ

(3-10) تعیین مقادیر عددی ضرایب $\beta_1, \beta_2, \beta_3$:

مینا $(F_V = F_V) \rightarrow \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 1$

(الف) در اتصالات برشی داریم:

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.59 & \text{احتمال لغزش 5\%} \\ 0.68 & \text{احتمال لغزش 10\%} \end{cases}$$

(ب) در اتصالات اصطکاکی داریم:

$$\beta_2 = \begin{cases} 1.0 & \text{روش پیچاندن مناسب مهره} \\ 0.85 & \text{روش آچار مدرج} \\ 1.0 & \text{روش واشر مخصوص} \end{cases} \quad \beta_3 = \begin{cases} 1.0 & \text{برای سوراخ های دایره} \\ 0.85 & \text{برای سوراخ های کشیده} \end{cases}$$

(4-10) تنش های قراردادی:

$$f_v = \frac{P}{m(\frac{\pi}{4} D^2)} \leq F_v \quad (\text{تنش برشی مجاز}) \quad P = \frac{T}{n}$$

m : تعداد سطوح برش

t : ضخامت ورق

D : قطر محاسباتی پیچ

P : بار یک پیچ

T : نیروی کششی اتصال

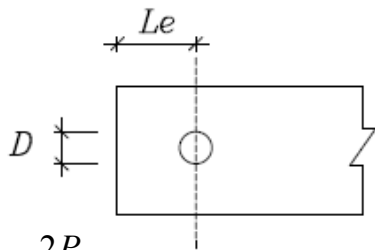
n : تعداد پیچ ها

$$f_t = \frac{P}{\pi \cdot D^2} \leq F_t \quad (\text{تنش مجاز کششی}) \quad (\text{تنش کششی})$$

$$f_p = \frac{P}{D \cdot t} \leq F_p \quad (\text{تنش مجاز فشاری}) \quad (\text{تنش فشاری})$$

(5-10) فواصل پیچ ها:

(الف) اتصالات برشی:



$$Le_1 \geq \frac{2P}{F_u \cdot t}$$

(بند ۱۰-۷-۵، آیین نامه ایران)

P : نیروی منتقل شده توسط وسیله اتصال به عضو مورد نظر D : قطر محاسباتی پیچ

Le : فاصله حداقل بین مرکز آخرین پیچ تا لبه ورق

F_u : حداقل مقاومت نهایی کششی قطعه

t : ضخامت قطعه متصل شونده

جدول تعیین تنش مجاز:

توضیح: برای مشاهده جداول تنش مجاز در AISC، به جدول ۱-۲-۵-۱، در آئین نامه AISC مراجعه شود:

(جدول تنش مجاز در آیین نامه های مختلف)

انصال معمولی	انصال استپلاکی		گنش مجاز f_t	بر طبق نشریه	نوع انصال
	انصال استپلاکی	برش مجاز F_u (bar)			
۱۵۰ ۰/۱۶ Fy ۹۳۰			۱۴۰۰ ۰/۱۷۵ Fy ۱۶۰۰	نشریه ۷۲ فولاد ایران AISC AASHTO AREA	پرچ در پرچ کاری گرم A502 درجه یک
۱۴۰ ۰/۱۶ Fy ۱۳۸۰		۷۶۰-۹۳۰***	۱۸۹۰ ۰/۱۷۵ Fy ۲۰۰۰	نشریه ۷۲ فولاد ایران AISC AASHTO AREA	پرچ در پرچ کاری گرم A502 درجه دو
۷۰۰ ۰/۱۷ Fy ۷۰۰			۱۴۰۰* ۰/۲۲۲ Fu ۱۳۸۰	نشریه ۷۲ فولاد ایران AISC AASHTO AREA	پیچهای خام A337
۱۵۰ ۰/۱۶ Fu ۱۵۰۰ (0.17Fu)**	۱۵۰ ۰/۱۵ Fu ۱۲۰۰ (-)** ۹۳۰ (-)** ۱۳۸۰ (-)**		۲۸۰۰ ۰/۲۸ Fu ۲۰۵۰ (0.33Fu)** ۲۵۰۰ (-)** ۲۵۰۰ (-)**	نشریه ۷۲ فولاد ایران AISC AASHTO AREA	پیچهای A325 و A449 (هرگاه سطح برش از قسمت دندانه دار نگردد)
۱۵۰ ۰/۲۸ Fu ۲۰۵۰ (0.22Fu)**	۱۵۰ ۰/۱۵ Fu ۱۲۰۰ (-)** ۱۳۸۰ (-)**		۲۸۰۰ ۰/۲۸ Fu ۲۰۵۰ (0.33Fu)** ۲۵۰۰ (-)** ۲۵۰۰ (-)**	نشریه ۷۲ فولاد ایران AISC AASHTO AREA	پیچهای A325 و A449 (هرگاه سطح برش از قسمت دندانه دار نگردد)
۱۵۷۵ ۰/۲ Fu ۱۹۲۰	۱۴۰۰ ۰/۱۵ Fu ۱۵۰۰ (-)** ۱۲۴۰ ۱۸۹۰		۲۷۸۰ ۰/۲۸ Fu ۲۷۰۰ ۲۳۰۰ ۲۲۸۰	نشریه ۷۲ فولاد ایران AISC AASHTO AREA	پیچهای A490 (هرگاه سطح برش از قسمت دندانه دار نگردد)
۲۲۴۰ ۰/۲۸ Fu ۲۷۵۰ ۲۰۰۰	۱۴۰۰ ۰/۱۵ Fu ۱۵۰۰ (-)** ۱۸۹۰		۲۷۸۰ ۰/۲۸ Fu ۲۷۰۰ ۲۳۰۰ ۲۲۸۰	نشریه ۷۲ فولاد ایران AISC AASHTO AREA	پیچهای A490 (هرگاه سطح برش از قسمت دندانه دار نگردد)

*در فولاد ایران مقدار F_u برابر A337 برای F_u برابر 4200 bar و برای A325 برابر 8250 bar و 7250 bar
 ($D > 25 \text{ mm}$) و برای A490 برابر 10000 bar بگنجد.
 **مقدار داخل پرانتز مربوط به پیچهای A449 است.
 *** رقم ۷۶۰ برای پرچهای کوبیده شده دستی و رقم ۹۳۰ برای پرچهای کوبیده شده ماشینی در نظر گرفته شده است.

(جدول ۶-۱ آیین نامه ایران)
 تنشهای مجاز در انواع وسایل (Kg/cm^2) *

انصال برشی *** (انکابی)	تنش برشی مجاز (F_t)				نوع وسیله انصال
	انصال استپلاکی**		تنش مجاز کشی (F_t)		
	سورخ بزرگ شده	سورخ استاندارد	سورخ بزرگ شده	سورخ استاندارد	
0.6 Fy			0.75 Fy		پرچ
0.22Fu (b)			0.33Fu (a)	****	پیچ معمولی
0.17Fu			0.33Fu (a)		قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده می گذرد.
0.22Fu			0.33Fu (a)		قطعه دندانه شده طبق مشخصات تعیین شده در حالتی که سطح برش از قسمت دندانه شده نمی گذرد.
0.2 Fu	0.09 Fu	0.1 Fu	0.12 Fu	0.15 Fu	پیچ بر مقاومت که سطح برش از برش قسمت دندانه شده می گذرد.
0.2 Fu	0.09 Fu	0.1 Fu	0.12 Fu	0.15 Fu	پیچ بر مقاومت که سطح برش از برش قسمت دندانه شده نمی گذرد.

در این جدول (a) بار استاتیکی، (b) قرار گرفتن دندانه ها در سطح برش مجاز و (d) برای پیچهای A325 و A490 و یا مشابه تحت اثر خستگی.
 ** با ضریب استپلاک 0.33 برای وضعیتی که سطوح تماس تمیز با فلز ناشی از اعمال نورد کارخانه ای باشد.
 *** وقتی که فاصله اولین و آخرین پیچ در امتداد نیرو از ۱۲۵۰ میلیمتر تجاوز نکند این تنشهای مجاز را باید ۲۰٪ کاهش داد.
 **** تنش نهایی مصالح پیچ و F_y تنش جاری شدن مصالح پیچها می باشد. به عنوان مثال F_u برای پیچهای معمولی A307 برابر 4200، برای پیچهای A325 با قطری مساوی و یا کمتر از ۲۵ میلیمتر مساوی 8250 و قطر بزرگتر از ۲۵ میلیمتر مساوی 7250 و برای پیچ A490 مساوی 10000 می باشد.

از جدول $Le_2 \longrightarrow$

$$Le = \text{Max}\{Le_1, Le_2\}$$

نکته: فاصله مرکز به مرکز سوراخ ها از ماکزیمم مقدار دو رابطه بدست می آید:

$$S = \text{Max}\left\{\frac{2P}{F_u \cdot t} + \frac{D}{2}, 3D\right\} \quad (\text{بند ۱۰-۷-۵، آیین نامه ایران})$$

F_u : حداقل مقاومت نهایی کششی قطعه

(ب) اتصالات اصطکاکی:

برای این حالت L_e مستقیماً از جدول برداشت می شود.

نکته: هرگاه نوع برش ذکر نشود، حالت بحرانی تر و یا قیچی را در نظر می گیریم.

جدول فاصله مرکز پیچ از لبه ورق:

جدول (۱-۱۶-۱-۵، AISC)

اگر لبه ورق با نورد یا شعله بریده شود * mm	اگر لبه ورق قیچی شده باشد mm	قطر پیچ یا پرچ	
		mm	in
۲۰	۲۲	۱۲	1/2
۲۲	۲۸	۱۵	5/8
۲۵	۳۰	۲۰	3/4
۲۸	۳۸**	۲۲	7/8
۳۲	۴۵**	۲۵	1
۳۸	۵۰	۲۸	9/8
۴۲	۵۷	۳۰	5/4
۱.۲۵D	۱.۷۵D	>۳۰	5/4

* اگر سوراخی در جایی باشد که تنش قطعه $f \leq 0.25F_u$ باشد، این مقادیر را ۳ mm کاهش می دهیم.

** برای نبشی اتصال تیرها این مقدار را ۳۰ mm بگیرد.

(جدول ۹، ایران)

حداقل فاصله مرکز سوراخ استاندارد تا لبه

لبه نورد شده ورق، نیمرخ، تسمه و نیز لبه بریده شده با شعله یا اره	لبه بریده شده با قیچی	قطر اسمی پیچ یا پرچ
1.35 d	1.75 d	d

نکته ۱: حداکثر فاصله از مرکز هر پیچ و یا پرچ تا نزدیکترین لبه قطعات در تماس ۱۲ برابر ضخامت قطعه متصل شونده می باشد ولی نباید از ۱۵ سانتی متر تجاوز کند. (بند ۱۰-۱-۷-۳، قسمت د، ایران)

$$L = \text{Min} \begin{cases} 12.t \\ 15\text{cm} \end{cases} \quad t: \text{ضخامت ورق}$$

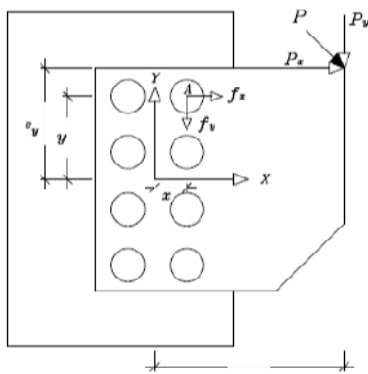
نکته ۲: برای سوراخ های استاندارد یا سوراخ های لوبیایی کوتاه که دو یا چند پیچ در خط نیرو داشته باشند:

$$F_p = 1.2F_u \quad (\text{رابطه ۱۰-۷-۱، آیین نامه ایران})$$

که F_p تنش مجاز تماسی در فشار است.

نکته ۳: فواصل مرکز به مرکز پیچ ها یا پرچ ها نباید از $2\frac{2}{3}D$ و بهتر از آن از $3D$ کمتر گرفته شود. در صورتی که مقادیر حداقل آیین نامه در تعیین فواصل پیچها و یا فاصله پیچ ها از لبه ورق کمتر از مقادیر محاسباتی شود، مقدار محاسباتی ملاک عمل خواهد بود. (بند ۱۰-۷-۳، قسمت ح، آیین نامه ایران)

نکته ۴: آزمایشات نشان می دهد که هر گاه $\frac{Le}{D} \leq 3$ باشد، در صورت احتمال خرابی اتصال، این خرابی با باریکی سوراخ شروع می شود و در حالی که اگر $\frac{Le}{D} > 3$ باشد، سوراخ پیچ یا پرچ تغییر شکل داده و دراز می شود، برطبق ضوابط AISC به منظور جلوگیری از تغییر شکل سوراخ می بایستی $f_p \leq 1.5F_u$ باشد. در چنین حالتی $\frac{Le}{D} = 2.65$ خواهد شد.



(6-10) اثر توام برش و پیچش: (برش با خروج از مرکزیت)

$$T = P_x \cdot e_y + P_y \cdot e_x$$

P_x : مولفه افقی برش

P_y : مولفه عمودی برش

e_x : فاصله افقی نقطه اثر نیرو تا مرکز ثقل پیچ ها

e_y : فاصله عمودی نقطه اثر نیرو تا مرکز ثقل پیچ ها

T : کوپل پیچشی ناشی از خروج از مرکزیت

A : مساحت یک پیچ

(x, y) : مختصات پیچ بحرانی نسبت به مرکز ثقل پیچ ها

$\sum x^2 + \sum y^2$: مجموع مجذور فواصل افقی و عمودی پیچ ها از مرکز ثقل پیچ ها

I_p : ممان اینرسی پیچشی

اثر برش

$$\begin{cases} f_{sx} = \frac{P_x}{A} \\ f_{sy} = \frac{P_y}{A} \end{cases}$$

اثر پیچش

$$\begin{cases} f_x = \frac{T \cdot Y}{A(\sum x^2 + \sum y^2)} \\ f_y = \frac{T \cdot X}{A(\sum x^2 + \sum y^2)} \end{cases}$$

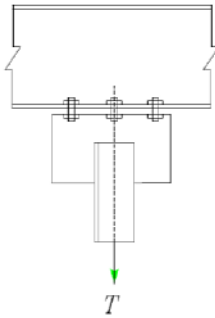
$$I_p = A(\sum x^2 + \sum y^2)$$

مجموع تنش

$$\begin{cases} f_x = \pm f_{sx} \pm f_x \\ f_y = \pm f_{sy} \pm f_y \end{cases}$$

$$f_r = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq \text{تنش برشی مجاز}$$

نکته: پیچی بحرانی است که اولاً فاصله بیشتری از مرکز ثقل پیچ ها دارد و ثانیاً مولفه های حاصل از برش و پیچش آن در یک جهت هستند. مانند پیچ A در شکل صفحه قبل.



(7-10) طرح اتصالات پیچی تحت کشش:

$$f_t = \frac{T}{\sum A} \leq F_t$$

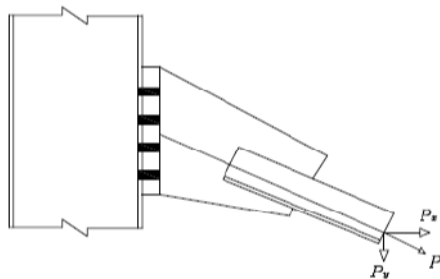
یک چنین حالتی زمانی رخ می دهد که خط اثر نیرو عمود بر سطحی باشد که قطعه به آن سطح متصل می شود و اگر خط اثر نیرو عمود بر سطح اتصال نباشد، در این صورت پیچ یا پرچ اتصال تحت اثر توام کشش و برش است.

در اتصال برشی F_t از جدول تنش های مجاز تعیین می شود و اگر اتصال اصطکاکی باشد، $F_t = \frac{T_t}{A_b}$ که T_t بار دوام پیچ است که از جدول تعیین می شود و A_b مساحت پیچ.

ضمناً نیروی T حتماً بایستی از مرکز ثقل پیچ ها بگذرد.

(8-10) اثر توام کشش و برش:

راستای نیروی P از مرکز ثقل پیچ ها می گذرد.



P_x : نیروی کششی در پیچ

P_y : نیروی برشی در پیچ

$$f_v = \frac{P_y}{\sum A} \quad \text{اگر تنها تنش برشی داشتیم} \quad \longrightarrow f_v \leq F_v \quad \longrightarrow \frac{f_v}{F_v} \leq 1$$

$$f_t = \frac{P_x}{\sum A} \quad \text{اگر تنها تنش کششی داشتیم} \quad \longrightarrow f_t \leq F_t \quad \longrightarrow \frac{f_t}{F_t} \leq 1$$

$$AISC \quad \text{بند ۱-۶-۳} \quad \longrightarrow \quad \frac{f_v}{F_v} + \frac{f_t}{F_t} \leq C \quad (AISC)$$

الف) اتصالات برشی:

$$C = 1.25 \rightarrow f \leq \left[1.25F_t - \frac{F_t}{F_v} f_v \right] = F'_t$$

F'_t : تنش مجاز کششی کاهش یافته به دلیل برش

$\frac{F_t}{F_v}$	{	۱,۸	اگر از قسمت دندانه دار بگذرد
		۱,۴	اگر از قسمت دندانه دار نگذرد

به جای محاسبه F'_t از رابطه بالا می توان مقادیر آماده آن را از جدول صفحه بعد برداشت نموده:

(جدول تعیین تنش های مجاز کششی F_t' بر طبق ضوابط AISC)

نوع پیچ	بر حسب
پیچهای A307	$F_t' = 1790 - 1.8f_v \leq 1380$
پیچهای A325 هرگاه سطح برش بر قسمت دندانه دار بگذرد	$F_t' = 3790 - 1.8f_v \leq 3050$
پیچهای A325 هرگاه سطح برش بر قسمت دندانه دار نگذرد	$F_t' = 3790 - 1.4f_v \leq 3050$
پیچهای A490 هرگاه سطح برش بر قسمت دندانه دار بگذرد	$F_t' = 4690 - 1.8f_v \leq 3700$
پیچهای A490 هرگاه سطح برش بر قسمت دندانه دار نگذرد	$F_t' = 4690 - 1.4f_v \leq 3700$

(ب) اتصالات اصطکاکی :

$$C = 1 \rightarrow \frac{f_v}{F_v} + \frac{f_t}{F_{tP}} \leq 1 \quad F_{tP} = \frac{T_i}{A_b}$$

$$\Rightarrow f_v \leq F_v \left[1 - \frac{f_t \cdot A_b}{T_i} \right] = F_v'$$

T_i : بار دوام پیچ (از جدول)

A_b : مساحت اسمی پیچ

F_{tP} : تنش حاصل از بار بیش تنیدگی

برای پیچهای پر مقاومت که در اتصال اصطکاکی مورد استفاده قرار می گیرند ، باید تنش مجاز در ضریب کاهش

$$\left(1 - \frac{f_t \cdot A_b}{T_i} \right) \text{ ضرب شود. (بند ۱۰ - ۱ - ۷ - ۳ ، قسمت ج ، ایران)}$$

با قرار دادن مقدار F_v در رابطه اخیر ، F_v' (تنش مجاز برشی کاهش یافته به دلیل کشش) بدست می آید:

AISC	{	$F_v' \leq 1200 \left(1 - \frac{f_t \cdot A_b}{T_i} \right)$	→	A325
		$F_v' \leq 1500 \left(1 - \frac{f_t \cdot A_b}{T_i} \right)$	→	A490
ایران	{	$F_v' \leq 0.15F_u \left(1 - \frac{f_t \cdot A_b}{T_i} \right)$	→	A325
		$F_v' \leq 0.15F_u \left(1 - \frac{f_t \cdot A_b}{T_i} \right)$	→	A490

کنترل های لازم:

تنش های موجود باید در دو حالت مجزا و ترکیبی کنترل شوند ، یعنی داریم:

اتصال برشی :

$$\text{تنش موجود} \begin{cases} f_v = \dots\dots \\ f_t = \dots\dots \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f_v \leq F_v \\ f_t \leq F_t \end{array} \right. \quad \text{کنترل در حالت مجزا}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{f_v}{F_v} + \frac{f_t}{F_t} \leq 1.25 \\ f_t \leq F'_t \end{array} \right. \quad \text{یا} \quad \text{کنترل در حالت ترکیبی}$$

اتصال اصطکاکی :

$$\left\{ \begin{array}{l} f_v = \dots\dots \\ f_t = \dots\dots \end{array} \right. \quad \text{تنش موجود}$$

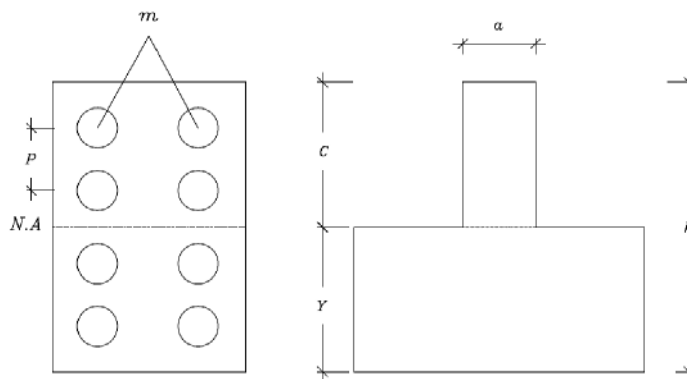
$$\left\{ \begin{array}{l} f_v \leq F_v \\ f_t \leq F_t \end{array} \right. \quad \text{کنترل در حالت مجزا}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{f_v}{F_v} + \frac{f_t}{F_{tp}} \leq 1.0 \\ f_t \leq F'_{vt} \end{array} \right. \quad \text{یا} \quad \text{کنترل در حالت ترکیبی}$$

نکته : در حالت ترکیبی بهتر است، کنترل رابطه اصلی صورت گیرد .

(9-10) اتصالات پیچی تحت اثر خمش : (بحث ارائه شده در رابطه با اتصال برشی است)

الف) روابط تقریبی :



$$\left\{ \begin{array}{l} a = m \cdot \frac{A}{P} \\ c = \frac{\sqrt{b} \cdot h}{\sqrt{a} + \sqrt{b}} \end{array} \right.$$

m ← تعداد پیچ ها در هر ردیف

A ← مساحت هر پیچ

P ← فاصله پیچ ها از یکدیگر

ب) روابط دقیق :

P ← فواصل پیچ ها

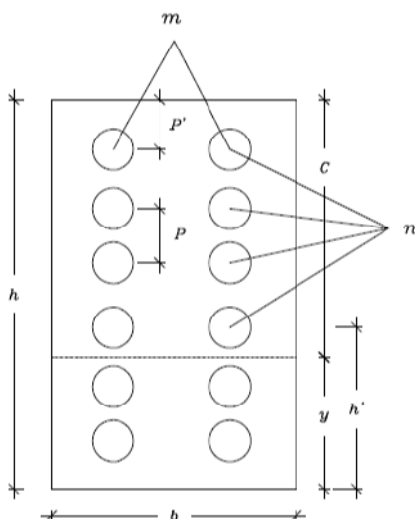
P' ← فاصله دورترین پیچ کششی نسبت به تار خنثی تا بالای قطعه

h' ← فاصله اولین پیچ موجود در بالای محور خنثی تا تار فشاری انتهایی

b ← پهناى ناحیه فشاری

y ← ارتفاع محور خنثی

m ← تعداد پیچ ها در یک ردیف



n ← تعداد پیچ ها در یک ستون در بالای محور خنثی

A ← مساحت هر پیچ

C ← فاصله دورترین تار کششی تا تار خنثی

h ← ارتفاع کل

$$C = h - y - p'$$

10-10) مراحل گام به گام:

(۱) حدس اولیه y :

$$y = \left(\frac{1}{6} \approx \frac{1}{7} \right)$$

(۲) y را از رابطه روبرو محاسبه می کنیم:

$$b \frac{y^2}{2} = mn \cdot A \left(h' - y + P \frac{n-1}{2} \right) \Rightarrow y = \dots$$

(۳) y محاسبه شده را با y فرضی مقایسه می کنیم و در صورت لزوم محاسبات را تکرار می کنیم.

(۴) ممان اینرسی مقطع را محاسبه می کنیم:

$$I = \frac{by^3}{3} + \frac{m \cdot n \cdot A \cdot P^2 (n^2 - 1)}{12} + m \cdot n \cdot A \left(\frac{n-1}{2} P + h' - y \right)^2$$

$$C = h - y - p' \quad (5)$$

$$f_t = \frac{Mc}{I}, \quad f_t \leq F_t \quad (6)$$

کنترل های لازم:

$$f_t = \frac{Mc}{I} \leq F_t$$

الف) اگر اتصال فقط تحت اثر خمش باشد:

ب) اگر اتصال فقط تحت اثر خمش و برش باشد:

$$\left[\begin{array}{l} f_t = \frac{Mc}{I} \\ f_v = \frac{V}{\sum A} \end{array} \right. \longrightarrow \frac{f_v}{F_v} + \frac{f_t}{F_t} \leq 1.25$$

ج) اگر اتصال تحت اثر خمش و کشش باشد:

$$\left[\begin{array}{l} f_t)_T = \frac{T}{\sum A} \\ f_t)_M = \frac{Mc}{I} \end{array} \right. \longrightarrow f_t = f_t)_T + f_t)_M \leq F_t$$

نکته: برای حدس اولیه مقدار پیچ در یک اتصال از رابطه تقریبی زیر استفاده می شود:

$$n \approx \sqrt{\frac{6 \cdot M}{m' \cdot R \cdot p}}$$

M ← لنگر وارده

P ← فاصله دو پیچ

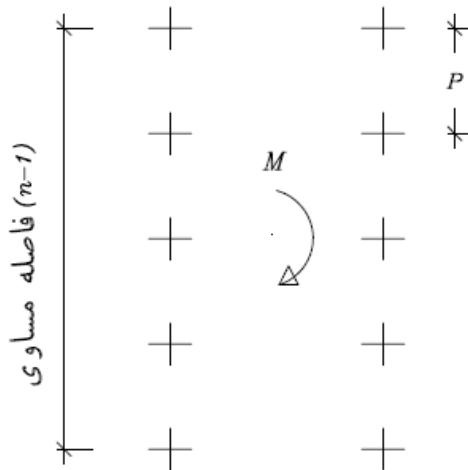
R ← ظرفیت باربری مجاز هر پیچ

m' ← تعداد ردیف پیچ ها در اتصال (در شکل $m'=2$)

۵) اگر اتصال تحت اثر خمش و کشش و برش باشد:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_v = \frac{V}{\sum A} \\ f_t)_T = \frac{T}{\sum A} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} f_v = \frac{V}{\sum A} \\ f_t = f_t)_T + f_t)_M \end{array} \right. \Rightarrow \frac{f_v}{F_v} + \frac{f_t}{F_t} \leq 1.25 \\ f_t)_M = \frac{M.C}{I} \end{array} \right.$$

۵) اگر علاوه بر قسمت (د) اتصال تحت پیچش هم باشد f_v برآیند تنش های برشی وارده بر پیچ (f_r) خواهد بود.



جوش

۱۱

1-11) جدول تعیین حداقل ضخامت مؤثر جوش لب با نفوذ غیر کامل: (بند ۱۰ - ۱ - ۷ - ۲، آیین نامه ایران)
جدول ۲ - حداقل ضخامت گلوگاه جوش لب

حداقل گلوگاه جوش	ضخامت قطعه ضخیمتر
۳ میلیمتر	تا ۶ میلیمتر
۴,۵ میلیمتر	۶ تا ۱۲ میلیمتر
۶ میلیمتر	۱۲ تا ۲۰ میلیمتر
۸ میلیمتر	۲۰ تا ۲۸ میلیمتر
۱۰ میلیمتر	۲۸ تا ۵۷ میلیمتر
۱۲ میلیمتر	۵۷ تا ۱۵۲ میلیمتر
۱۶ میلیمتر	بالاتر از ۱۵۲ میلیمتر

2-11) جدول تعیین حداقل بعد جوش لب با نفوذ غیر کامل بر مبنای آیین نامه اتصالات ایران ، نشریه شماره ۲۶۴:

جدول ۱ - ۲ حداقل بعد گلوی جوش برای جوش های شیاری با نفوذ نسبی

حداقل اندازه جوش* (mm)	
۲	۳ تا ۴
۳	بزرگتر از ۴ تا ۷
۵	بزرگتر از ۷ تا ۱۲
۶	بزرگتر از ۱۲ تا ۲۰
۸	بزرگتر از ۲۰ تا ۳۸
۱۰	بزرگتر از ۳۸ تا ۵۸
۱۳	بزرگتر از ۵۸ تا ۱۵۰
۱۶	بزرگتر از ۱۵۰

*حداقل اندازه جوش لازم نیست از ضخامت قطعه نازکتر بیشتر شود.

3-11) جدول تعیین حداقل اندازه جوش گوشه: (بند ۱۰-۱-۷-۲، آیین نامه ایران)

جدول ۳ - حداقل بعد جوش گوشه

حداقل بعد جوش گوشه	ضخامت قطعه ضخیمتر متصل شونده
۳ میلیمتر	تا ۷ میلیمتر
۵ میلیمتر	۷ تا ۱۲ میلیمتر
۷ میلیمتر	۱۲ تا ۲۰ میلیمتر
۸ میلیمتر	بیش از ۲۰ میلیمتر

4-11) جدول تعیین حداقل بعد جوش گوشه بر مبنای آیین نامه اتصالات ایران، نشریه شماره ۲۶۴:

جدول ۱-۱ - حداقل اندازه جوش گوشه

حداقل اندازه جوش گوشه** (mm)	ضخامت فلز پایه (T) * (mm)
۳ ***	$T \leq 7$
۵	$7 < T \leq 12$
۶	$12 < T \leq 20$
۸	$20 < T$

* برای فرایند غیر کم هیدروژن و بدون پیش گرمایش، T مساوی قطعه ضخیم تر خواهد بود.
 برای فرایند غیر کم هیدروژن با استفاده از تدابیر پیش گرمایش، و همچنین برای فرایند کم هیدروژن، T مساوی ضخامت قطعه نازکتر است. در این حالت شرط مربوط به حصول جوش با یک بار عبور نیز اعمال نمی گردد.

** اندازه جوش لازم نیست از ضخامت ورق نازکتر، بزرگتر شود.

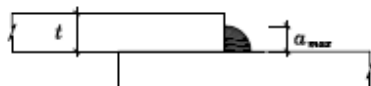
*** در سازه تحت بار دینامیکی، حداقل اندازه جوش ۵ میلی متر می باشد.

تذکر: برای مشاهده جداول فوق در AISC، به جداول ۱-۱۷-۲، الف و ۱-۱۷-۲، ب آیین نامه AISC مراجعه شود.

5-11) * ضوابط حداکثر اندازه جوش گوشه: (بند ۱۰-۱-۷-۲، قسمت ب، آیین نامه ایران)

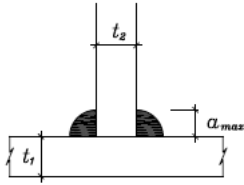


$$t < 7mm \rightarrow a_{max} = t$$



$$t \geq 7mm \rightarrow a_{max} = \text{Max} \begin{cases} 7mm \\ t - 1.5mm \end{cases}$$

وقتی جوش از بعدی غیر از ضخامت ورق باشد داریم:

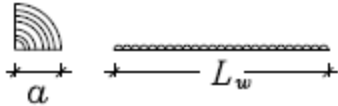


$$a_{\max} = \text{Min} \begin{cases} 0.75 \cdot t_2 \\ 1.5 \cdot t_1 \end{cases}$$

اگر ورق از یک طرف جوش شود از ضریب ۱,۰ و اگر از دو طرف جوش شود از ضریب ۰,۷۰ استفاده می شود.

(6-11) * حداقل طول مؤثر جوش گوشه: (بند ۱۰-۱-۷-۲، قسمت ب، آیین نامه ایران)

حداقل طول جوش گوشه:



$$L_w = \max \begin{cases} 4a \\ 4cm \end{cases}$$

a: بعد جوش

L_w: طول جوش

نکته ۱: اگر ضابطه موفق رعایت نشد فقط $\frac{1}{4}$ از طول جوش محاسباتی است.

if $L < 4a \rightarrow L' = \frac{L}{4}$ (طول محاسباتی : L')

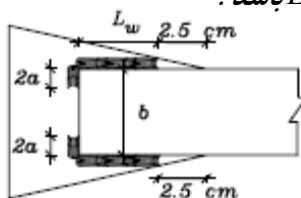
نکته ۲: در فاصله 2.5 cm از لبه ورق، جوشکاری باید متوقف شود.

نکته ۳: طول جوش حداقل به اندازه عرض صفحه باشد.

نکته ۴: طول برگشت جوش 2a باشد و اگر بیشتر بوده در محاسبات وارد می شود.

نکته ۵: فاصله عمودی بین خطوط جوش در اتصالات انتهایی به 20 cm محدود می شود.

نکته ۶: از جوش گوشه مقطع در صورتی می توان استفاده کرد $L_w \geq 4cm, L_w \geq 4a$ باشد.

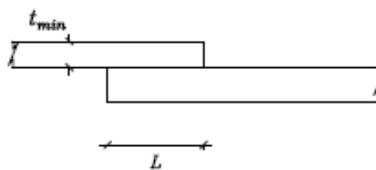


$$L_w \geq b$$

$$b \leq 20cm$$

- حداقل روی هم آمدگی قطعات در روی هم را به ۰ برابر ضخامت ورق نازکتر و همچنین 2.5 cm محدود می شود.

$$L > \text{Max} \begin{cases} 2.5cm \\ 5.t_{\min} \end{cases}$$



t_{\min} ← ضخامت ورق نازکتر

L ← حداقل طول روی هم آمدگی

(7-11) * سطح مؤثر جوش: (بند ۱۰-۱-۷-۲، قسمت الف و ب، آیین نامه ایران)

سطح مؤثر جوش ها از حاصلضرب ضخامت مؤثر جوش (t_e) در طول جوش به دست می آید:

$$A_w = L_w \cdot t_e$$

(8-11) * ضخامت مؤثر جوش لب: (بند ۱۰-۱-۷-۲، قسمت الف، آیین نامه ایران)

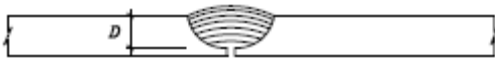


الف) جوش لب با نفوذ کامل:

$$t_e = t_{\min}$$

اندازه مؤثر (ضخامت مؤثر) جوش لب با نفوذ کامل برابر با ضخامت ورق نازک است.

(ب) جوش لب با نفوذ غیر کامل: (بند ۱۰-۱-۷-۲، قسمت الف، آیین نامه ایران)



- جوش با نفوذ غیر کامل لاله ای:

$$t_e = D$$

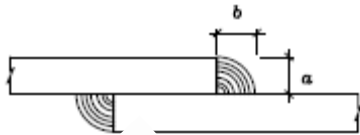
- جوش با نفوذ غیر کامل جناغی:



$$\text{if } \begin{cases} \alpha \geq 60^\circ \rightarrow t_e = D \\ 45^\circ < \alpha < 60^\circ \rightarrow t_e = D - 3\text{mm} \end{cases}$$

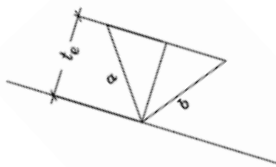
ضخامت مؤثر جوش لب با نفوذ نسبی به جدول صفحه ۷۸ و شکل های بالا محدود می شود.

(9-11) * ضخامت مؤثر جوش گوشه: (بند ۱۰-۷-۲، قسمت ب، آیین نامه ایران)



کمترین فاصله بین ریشه جوش و سطح خارجی جوش است.

$$\text{if } \begin{cases} a = b \rightarrow t_e = \frac{a}{\sqrt{2}} = 0.707a \\ a \neq b \rightarrow t_e = \frac{a \cdot b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \end{cases}$$



(10-11) * ارزش جوش: نیروی است که هر سانتی متر جوش تحمل می کند: (R_w)

$$R_w = \text{تنش مجاز جوش} \times t_e \times 1\text{cm}$$

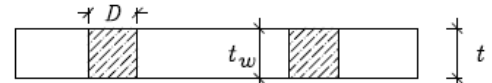
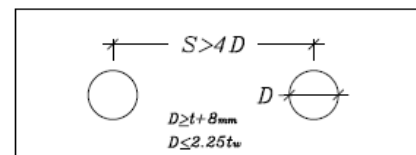
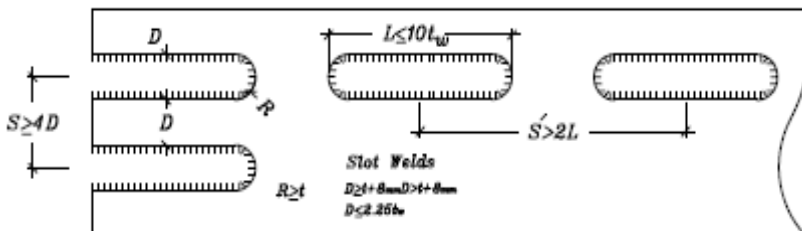
(11-11) * نیروی جوش: از حاصلضرب ارزش در طول جوش، نیروی جوش بدست می آید:

$$F \leq R_w \cdot L_w$$

(12-11) * جوش انگشانه و کام: (بند ۱۰-۷-۲، قسمت پ، آیین نامه ایران)

از این جوش می توان در اتصالات روی هم به منظور جوش تکمیلی و یا جلوگیری از کمناش بر طبق مشخصات شکل زیر استفاده کرد:

نکته: سطح مؤثر جوش انگشانه و کام برابر با سطح انگشانه و کام خواهد بود.



تذکر: برای مشاهده این قسمت در AISC، به بند ۱-۱۷-۹ آیین نامه AISC مراجعه شود.

* (13-11) تنش مجاز :

الف) جوش گوشه در هر امتدادی که قرار گیرد ، صرفاً به منظور انتقال برشی در خود طرح می شود .
ب) جوش گوشه لب دقیقاً همان تنشی را منتقل می کند که در قطعات مورد اتصال وجود دارد .

اگر فولاد نرمه و الکتروود هم از نوع معمولی باشند ، تنش های مجاز به صورت زیر است :

تنشهای مجاز جوش در صورت مصرف الکتروودهای معمولی

۹۲۰ bar	برش در جوش گوشه
۹۰۰ bar	برش در جوش لب انگشتانه و کام
۱۱۰۰ bar	کشش در جوش لب
۱۴۰۰ bar	فشار در جوش لب

در صورتیکه از الکتروود های $E 80$, $E 70$, $E 60$ استفاده می شود ، تنش های مجاز طبق جدول زیر تعیین می شود .

(جدول ۴ ، بند ۱۰ - ۷ - ۲ ، قسمت ت ، آیین نامه ایران)

تنش مجاز جوش *

تنش مجاز	نوع تنش	نوع جوش
متناسب با فلز مادر **	کششی یا فشاری ، در امتداد عمود بر مقطع موثر	جوش لب با نفوذ کامل و لبه آماده شده
متناسب با فلز مادر **	کششی یا فشاری ، موازی با محور جوش	
۰,۳ × مقاومت نهایی کششی فلز جوش	برشی ، در مقطع موثر	
متناسب با فلز مادر **	فشاری ، در امتداد عمود بر مقطع موثر	جوش لب با نفوذ نسبی
متناسب با فلز مادر **	کششی یا فشاری ، موازی با محور جوش	
۰,۳ × مقاومت نهایی کششی فلز جوش (تنش کششی در فلز مادر نباید از ۰,۶ حد جاری شدن فلز مادر بیشتر باشد)	کششی ، در امتداد عمود بر مقطع موثر	
۰,۳ × مقاومت نهایی کششی فلز جوش	برشی ، موازی با محور جوش	
۰,۳ × مقاومت نهایی کششی فلز جوش	برشی ، در مقطع موثر	جوش گوشه
متناسب با فلز مادر **	کششی یا فشاری ، موازی با محور جوش	
۰,۳ × مقاومت نهایی کششی فلز جوش	برشی ، موازی سطح برش شونده (روی مقطع موثر)	جوش انگشتانه و کام

* این تنشها باید در ضرایب مذکور در بند ۱۰-۱-۷-۲، ت ضرب شوند.
 ** فلز جوش (الکتروود مصرفی) باید با فلز مادر سازگار باشد و محدودیت مقاومت الکتروود مطابق بامقادیر زیر تأمین گردد.

حد جاری شدن فلز مادر (F_y)	مقاومت نهایی کششی فلز الکتروود (F_{uc})
تا $2950 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$	$4200 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \rightarrow E60$
تا $3680 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$	$4900 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \rightarrow E70$
تا $4570 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right)$	$5600 \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) \rightarrow E80$

تذکر: برای مشاهده تنش های مجاز در جوش ها به جدول ۱-۵-۳، آیین نامه AISC مراجعه شود.

تنش مجاز محاسباتی جوشی با اعمال ضرایب زیر در مقابل جدول ۴ به دست می آید:

(بند ۱۰-۱-۷-۲ قسمت آیین نامه ایران)

$\phi = 1$

۱- در صورت انجام آزمایش های غیر مخرب نظیر رادیوگرافی و التراسونیک:

۲- در صورت انجام جوش در کارخانه (و یا شرایط مشابه) و بازرسی چشمی توسط افراد مجرب:

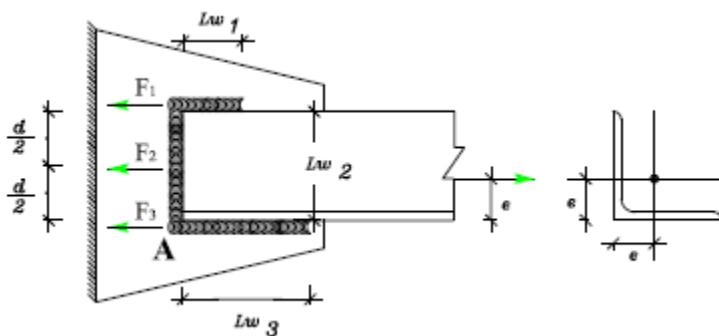
$\phi = 0.85$

۳- در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی جوش توسط افراد مجرب:

$\phi = 0.75$

14-11) * طراحی اتصال متعادل:

طرح اتصال نامتقارن برای این است که خروج از مرکزیت در جوش از بین برود و تنش ها یکنواخت گردد.



15-11) مراحل گام به گام طراحی اتصال متعادل:

(1) با توجه به نوع الکتروود R_w تعیین شود.

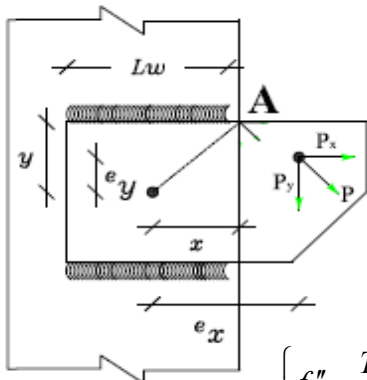
(2) $F_2 = R_w \cdot L_{w2}$

$$\sum M_A = 0 \rightarrow F_1 = \frac{P \cdot e}{d} - \frac{F_2}{2} \quad (3)$$

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F_3 = P \times \left(1 - \frac{e}{d}\right) - \frac{F_2}{2} \quad (4)$$

$$L_{w3} = \frac{F_3}{R_w}, L_{w1} = \frac{F_1}{R_w} \quad (5)$$

(16-11) * برش با خروج از مرکزیت: (برش و پیچش)



تنش ها یکنواخت است
 برش مستقیم $\begin{cases} f'_x = \frac{P_x}{A_w} \\ f'_y = \frac{P_y}{A_w} \end{cases} \rightarrow$

$$T = P_x \cdot e_y + P_y \cdot e_x$$

برش حاصل از پیچش $\begin{cases} f''_x = \frac{T \cdot y}{I_p} \\ f''_y = \frac{T \cdot x}{I_p} \end{cases}$ و $I_p = I_x + I_y$

$$f_r = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(f'_x + f''_x)^2 + (f'_y + f''_y)^2} \leq F_v$$

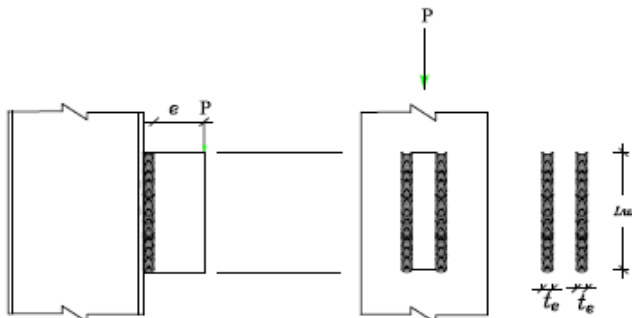
نقطه ای بحرانی است که اولاً تنش های ناشی از پیچش بیشتر باشند و ثانیاً تنش های برشی حاصل از پیچش با برش مستقیم هم جهت باشند. (در این شکل نقطه A بحرانی است).

در حل مسائل با فرض $t_e = 1$ و استفاده از جدول صفحه 85 I_p را محاسبه کرده و $f_r(1)$ را بدست می آوریم:

$$\frac{f_r(1)}{t_e} \leq \text{تنش مجاز} \rightarrow f_r(1) \leq t_e \times \text{تنش مجاز} \rightarrow f_r(1) \leq R_w$$

از این رابطه هم برای تعیین t_e و هم جهت کنترل رابطه استفاده کرد.

(17-11) * جوش تحت اثر برش و لنگر خمشی:



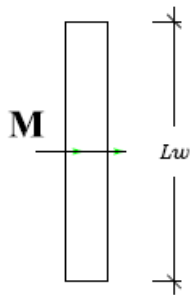
جوش گوشه وقتی تحت خمشی قرار می گیرد، در واقع در جوش برش ایجاد می شود.

$$\left\{ \begin{aligned} f'_y &= \frac{P}{A} = \frac{P}{2 \cdot t_e \cdot L_w} \Rightarrow \\ f'_x &= \frac{M}{S} = \frac{P \cdot e}{2 \times \frac{t_e \cdot L_w^2}{6}} \Rightarrow \end{aligned} \right. \quad f_r = \sqrt{f_y'^2 + f_x'^2} \leq F_v$$

در اینجا نیز برای حل مسائل، $t_e = 1$ فرض کرده را S_x از جدول صفحه بعد به دست می آوریم:

$$\frac{f_r(1)}{t_e} \leq F_v \rightarrow t_e \geq \frac{f_r(1)}{F_v} \rightarrow a = \dots, a_{\min} \leq a \leq a_{\max}$$

(18-11) * رابطه برای طراحی یک خط جوش تحت خمشی:





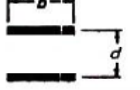
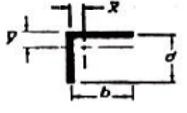
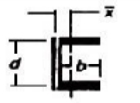
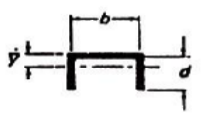
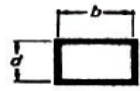
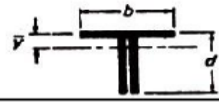
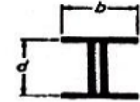

$$f_r = \frac{M}{S} = \frac{M}{\frac{L_w^2 \cdot t_e}{6}} \leq F_v \xrightarrow{t_e \times F_v = R_w} R_w \geq \frac{6M}{L_w^2}$$

$$\rightarrow L_w \geq \sqrt{\frac{6M}{R_w}}$$

این یک رابطه تقریبی است برای یک ردیف و فقط تحت اثر خمشی است اگر L_w خیلی زیاد شد می توان از ردیف های جوش بیشتری استفاده کرد. با فرض a از بین a_{\min} تا a_{\max} و تعیین t_e و L_w بدست آمده از رابطه بالا، رابطه اصلی را کنترل می کنیم.

محاسبات برای ضخامت واحد « ۱ » است. $t_e = 1cm$

مشخصات جوش هرگاه به مانند مقطعی خطی فرض شود

شکل مقطع b = (عرض) d = (ارتفاع)	اساس مقطع $\frac{I_x}{y}$	لنگر لختی قطبی I_p حول مرکز ثقل (ارتفاع)
1. 	$S = \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{d^3}{12}$
2. 	$S = \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
3. 	$S = bd$	$I_p = \frac{b(3d^2 + b^2)}{6}$
4.  $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$ $\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$	$S = \frac{4bd + d^2}{6}$	$I_p = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
5.  $\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$	$S = bd + \frac{d^2}{6}$	$I_p = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
6.  $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$S = \frac{2bd + d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 6b^2d + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{2d+b}$
7. 	$S = bd + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{(b+d)^3}{6}$
8.  $\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$S = \frac{2bd + d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{b+2d}$
9. 	$S = bd + \frac{d^2}{3}$	$I_p = \frac{b^3 + 3b^2d + d^3}{6}$
10. 	$S = \pi r^2$	$I_p = 2\pi r^3$

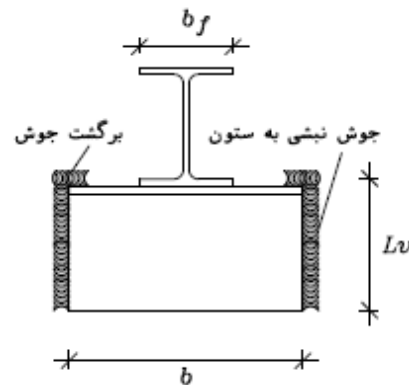
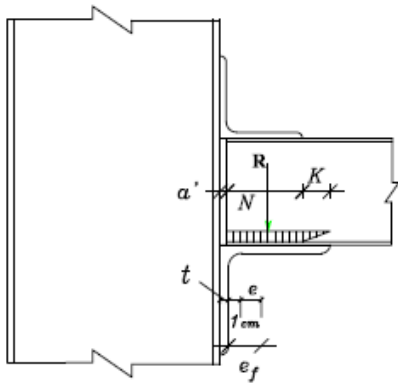
اتصالات

۱۲

1-12) اتصالات ساده ی تیر به ستون :

- ساده تیر به ستون به اتصالی گفته می شود که امکان دوران مقطع تیر در تکیه گاه حتی به کمک تغییر شکل غیر ارتجاعی عناصر اتصال ممکن گردد .
- اتصال ساده ارتجاعی به اتصالی گفته می شود که امکان دوران انتهایی تیر به همراه قطعات اتصال ممکن باشد . (اتصال نبشی نشیمن و اتصال نبشی جان)
- اتصال ساده غیر ارتجاعی ، اتصالی است که هنگام دوران انتهایی تیر ، تکیه گاه بدون تغییر شکل باقی بماند . (اتصال پراکت)

2-12) مراحل گام به گام طراحی اتصال با نبشی نشیمن :



$$a' = 1 - 2cm \text{ (فاصله متناز)}$$

$$N = \frac{R}{0.66F_y \cdot t_{wb}} - 2.5K \geq K$$

مرحله ۱ : طول تکیه گاه تیر با نبشی (از کنترل لهیدگی جان تیر):

$$t_{wb} \leftarrow \text{ضخامت جان تیر}$$

مرحله ۲ :

$$b \geq b_f + 2(1.5)cm$$

طول نبشی نشیمن به اندازه $2 \times 1.5cm$ از b_f تیر بزرگتر انتخاب می شود .

مرحله ۳ : تعیین e_f :

$$\begin{cases} e_f = a' + \frac{N}{2} \\ e_f = e + 1 + t_f \end{cases} \rightarrow e = e_f - 1 - t_f$$

مرحله ۴ : تعیین t_f (ضخامت نبش) و بدست آوردن (L_V)

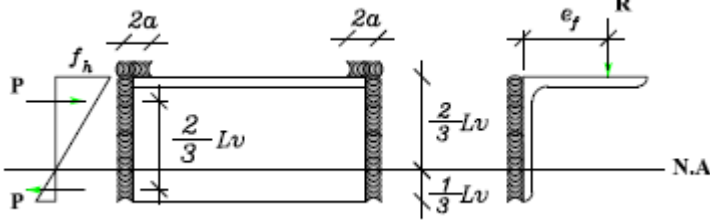
$$\begin{cases} \text{لنگر وارد بر نبشی} \\ \text{اساس مقطع نبشی} \end{cases} \begin{cases} M = R \cdot e \\ S = \frac{b \cdot t^2}{6} \end{cases}$$

$$\rightarrow \frac{M}{S} = \frac{R \cdot e}{\frac{b \cdot t^2}{6}} \leq 0.75F_y \rightarrow t^2 \geq \frac{8R \cdot e}{b \cdot F_y} \rightarrow \text{or, } \frac{R}{b} \leq \frac{F_y \cdot t^2}{8 \cdot e} \Rightarrow \frac{R}{b} \leq \frac{280 \cdot t^2}{e_f - 1 - t}, A = \frac{R}{300 \cdot b}$$

$$\Rightarrow A \leq \frac{t^2}{e_f - 1 - t} \rightarrow t \geq -\frac{A}{2} + \sqrt{\frac{A^2}{4} + A(e_f - 1)}$$

با ضخامت بدست آمده نوع نبشی و (L_V) تعیین می شود.

مرحله ۵: محاسبه ی جوش اتصال:



f_h ← مولفه افقی حامل از خمشی جوش

نکته: جوش اتصال تحت خمش و برش قرار می گیرد.

لنگر وارده = لنگر مقاوم $\frac{R}{2} \cdot e_f = P \left(\frac{2}{3} L_V \right), P = \frac{f_h}{2} \times \frac{2}{3} L_V$

$$\rightarrow \begin{cases} f_h = 2.25 \frac{R \cdot e_f}{L_V^2} \\ f_v = \frac{R/2}{L_V} \end{cases} \rightarrow f_r = \sqrt{f_h^2 + f_v^2} \leq 650 \cdot a \rightarrow \text{الکتروود معمولی}$$

$$\rightarrow a \geq \frac{R}{1300 \cdot L_V^2} \sqrt{L_V^2 + 20.25 \cdot e_f^2}$$

L_V : طول ساق عمودی نبشی

مرحله ۶: کنترل بعد جوش بدست آمده با a_{\max} و a_{\min}

$$\begin{cases} a_{\min} \rightarrow \text{جدول} \\ a_{\max} = t - 1.5 \text{ mm} \end{cases}$$

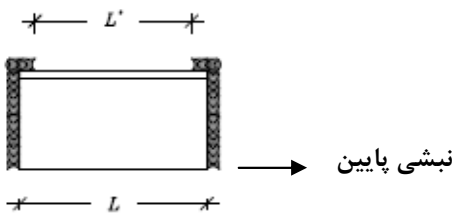
3-12) ظوابط اجرایی:

نکته ۱: نبشی بالا از حرکت بال فوقانی جلوگیری می کند که نبشی $L100 \times 10$, or, $L80 \times 80$ مورد استفاده قرار می گیرد.

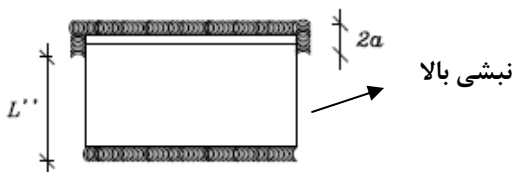
نکته ۲: جوش نبشی نشیمن به ستون جوش کارخانه ای است.

نکته ۳: فاصله L در شکل روبرو جوش نمی شود چون تحمل خمشی را ندارد و فقط برش را تحمل می کند.

نکته ۴: فاصله L' به منظور قرار گیری صحیح تیر جوش نمی شود.



نکته ۵: دو قسمت L'' در شکل پایین به هیچ وجه نبایستی جوش شوند زیرا در صورت جوش این دو ناحیه فرض مفصلی بودن و دوران تکیه گاه نقض می شود.

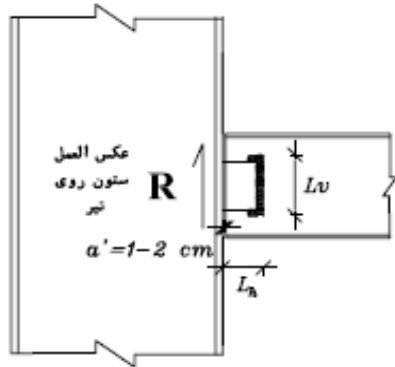


نکته ۶: جوش نبشی بالا به ستون جوش کارگاهی است.

نکته ۷: بال تیر روی نبشی تحتانی جوش اجرایی می گردد، این جوش به منظور استقرار مناسب تیر بوده و غیر محاسباتی است.

4-12) مراحل گام به گام طراحی اتصال با نبشی جان:

1-2: a' : فاصله متناژ: cm



تذکر: جوش نبشی به ستون نبشی به تیر کارخانه ای است.

مرحله 1: تعیین (L_h) : حدس زدن شماره نبشی که معمولاً از نبشی 10 یا 12 استفاده می شود.

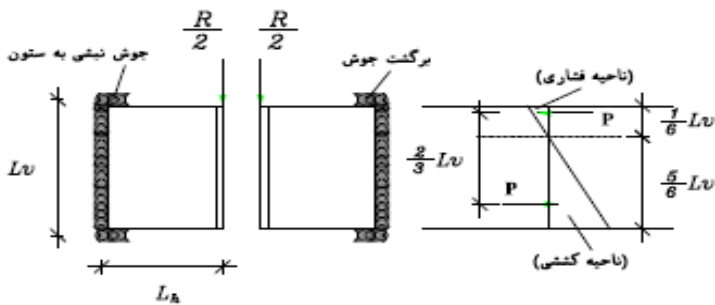
مرحله 2: انتخاب (L_v) : (نبشی بایستی در قسمت صاف جان قرار گیرد).

می توان از یکی از توصیه های روبرو L_v استفاده کنیم.

$$\begin{cases} L_v = h - b_f \\ L_v \leq \frac{2}{3}h \\ MaxL_v = h - 2K \end{cases}$$

h ← ارتفاع تیر

مرحله 3: محاسبه a از جوش نبشی به ستون:



$$\begin{cases} \text{لنگری که از خارج به تیر وارد می شود} & \rightarrow \frac{R}{2} \times L_h \\ \text{لنگر درونی جوش} & \rightarrow P \times \frac{2}{3} L_v \end{cases} \quad \rightarrow \frac{R}{2} L_h = P \times \frac{2}{3} L_v \Rightarrow P = \frac{3}{4} \cdot \frac{R \cdot L_h}{L_v}$$

$$\text{داریم: } P = \frac{1}{2} \left(f_h \times \frac{5}{6} L_v \right) \rightarrow \frac{5}{12} f_h \cdot L_v = \frac{3}{4} \cdot \frac{R \cdot L_h}{L_v}$$

$$\begin{cases} f_h = 1.8 \cdot \frac{R \cdot L_h}{L_v^2} \\ f_r = \frac{R}{2L_v} \end{cases} \rightarrow f_r = \sqrt{f_h^2 + f_v^2} = \frac{R}{2L_v^2} \sqrt{L_v^2 + 12.96L_h^2} \leq 650 \cdot a$$

$$\rightarrow a \geq \frac{R}{1300L_v^2} \sqrt{L_v^2 + 12.96L_h^2}$$

مرحله 4: تعیین a_{max} و a_{min} و بررسی محدودیت جوش:

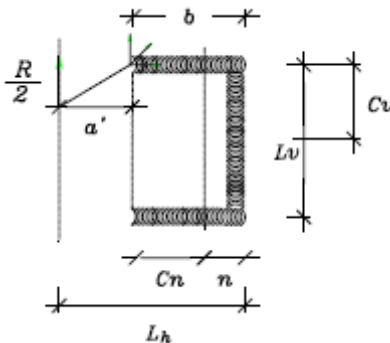
اگر جوش نبشی به ستون و جوش نبشی به جان تیر یکسان باشد بایستی حتماً کنترل رابطه زیر صورت گیرد زیرا بسیار تعیین کننده است.

از جدول a_{min} →

$$a_{max} = \begin{cases} t_{نبش} - 1.5mm \\ 0.75 \times t_{wb} \rightarrow \end{cases}$$

چون جان تیر از دو طرف جوش می شود

نکته ۱: هر چه طول جوش (L_V) کاهش یابد، بعد جوش افزایش می یابد و بالعکس، پس بهترین حالت زمانی رخ می دهد که طول جوشی انتخاب شود که بعد جوش انتخاب آن بین a_{\min} و a_{\max} قرار گیرد، زیرا حالت بهینه است.
 نکته ۲: اگر پروفیل تیر دابل باشد در رابطه بالا به جای ۰٫۷۵ از ۱٫۰ استفاده می کنیم. چون نبشی از یک طرف جوش می شود.



مرحله ۵: کنترل برش در جوش نبشی به تیر:

$$a' = 1 - 2cm$$

$$A_w = 2b + L_V$$

$$T = \frac{R}{2} (L_h - n), b = L_h - a'$$

$$C_n = b - n = L_h - n - a'$$

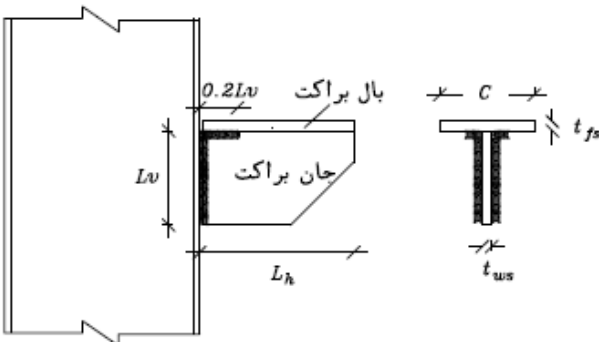
$$n = \frac{b^2}{2b + L_V}, C_V = \frac{L_V}{2}, j = I_P = \frac{(2b + L_V)^3}{12} - \frac{b^2(b + L_V)^2}{2b + L_V} \rightarrow \text{از جدول صفحه 85}$$

$$\left[\begin{aligned} f_h &= \frac{T \cdot C_V}{j} = \frac{R \cdot (L_h - n)}{2} \times \frac{C_V}{j} \\ f_v &= \frac{T \cdot C_n}{j} = \frac{R(L_h - n)}{2} \times \frac{C_n}{j} \end{aligned} \right.$$

تنش حاصل از پیچش نقطه A (نقطه بحرانی)

$$f'_V = \frac{R}{A_w} = \frac{R}{2(2b + L_V)} \rightarrow f_r = \sqrt{f_h^2 + (f_v + f'_V)^2} \leq 650a \rightarrow \left[\begin{aligned} a_{\min} &\rightarrow \text{از جدول} \\ a_{\max} &= t_{\text{نش}} - 1.5mm \\ a_{\text{maz}} &= 0.75 \times t_{wb} \end{aligned} \right.$$

نکته: اگر a کم بود بطوری که a_{\min} و a_{\max} در محدوده ی قرار نگرفت، (L_V) را آنقدر کاهش می دهیم تا a در فاصله آن دو قرار بگیرد، اگر (L_V) آنقدر کم بود که a از a_{\max} بیشتر نشد، (L_V) را زیاد می کنیم تا در حد فاصل a_{\min} و a_{\max} قرار گیرد.



5-12) روش گام به گام طراحی اتصال براکت:

- $t_{fs} \leftarrow$ ضخامت بال براکت
- $t_{ws} \leftarrow$ ضخامت جان براکت
- $t_{ws} \leftarrow$ ضخامت جان تیر
- $t_{fb} \leftarrow$ ضخامت بال تیر

$$\left[\begin{aligned} t_{ws} &\geq t_{wb} \\ t_{ws} &\geq \frac{L_h}{795} \rightarrow \text{(ضابطه کمناش موضعی ورق جان)} \\ &\frac{\sqrt{F_y}}{\sqrt{F_y}} \end{aligned} \right.$$

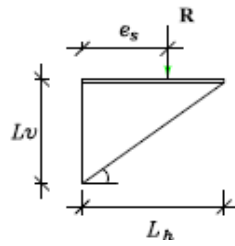
محدودیت ها:

$$t_{fs} \geq \max \begin{cases} t_{fb} \rightarrow \text{بال} \\ t_{ws} \rightarrow \text{جان} \end{cases}$$

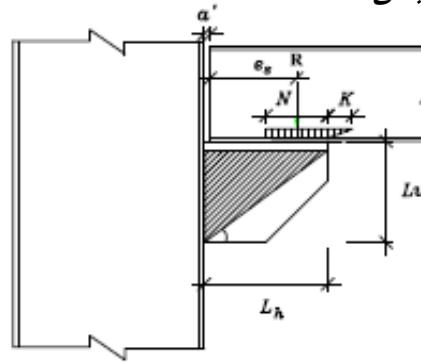
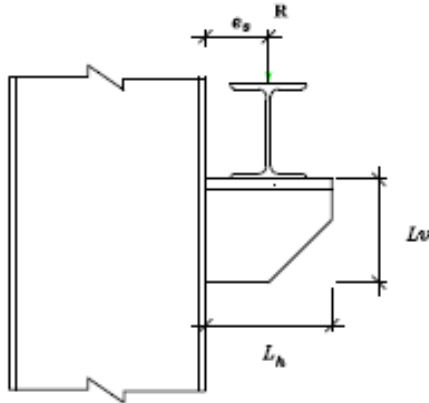
نکته: t_{fs} معمولاً بین 10 تا 12 میلیمتر انتخاب می شود.

نکته : در برکت های مثلثی $\phi \geq 45^\circ$ باشد و رابطه زیر کنترل شود :

$$t_{ws} \geq \frac{R(6.e_s - 2L_h)}{0.6.F_y \cdot L_h^2 \cdot \sin^2 \phi}$$



مرحله ۱ : محاسبه ی N :



$$N = \frac{R}{0.66.F_y \cdot t_{wb}} - 2.5K \geq K \rightarrow N = \dots$$

مرحله ۲ : محاسبه L_h :

$$L_w = N + a' \rightarrow L_h = \dots$$

a' ← فاصله مونتاز

$$e_s = L_h - \frac{N}{2}$$

مرحله ۳ : تعیین e_s :

مرحله ۴ : تعیین t_{ws} با استفاده از محدودیت های ارائه شده در صفحه قبل .

نکته : ضخامت جان برکت بایستی جوابگوی کمانش موضعی و بعد جوش باشد . همچنین در انتخاب t_{ws} باید به t_{fb} توجه شود .

مرحله ۵ : تعیین t_{fs} (معمولاً بین 10 تا 12 میلیمتر)

از محدودیت ارائه شده در صفحه قبل استفاده شود .

مرحله ۶ : تعیین محدودیت جوش گوشه :

از جدول a_{min} →

$a_{max} = 0.75 \cdot t_{ws}$ → زیرا جان برکت از دو طرف به ستون جوش می شود

با تعیین a ، مستقیماً وارد مرحله ۸ می شویم ، در غیر اینصورت برای محاسبه جوش وارد مرحله ۷ می شویم .

مرحله ۷ : محاسبه جوش صفحه قائم برکت به ستون :

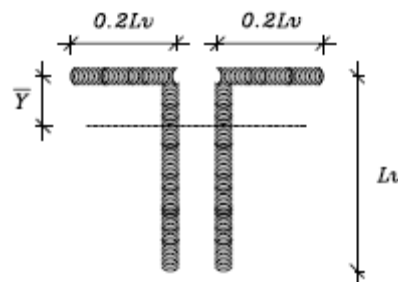
$$\bar{y} = \frac{L_v^2}{2(L_v + 0.2L_v)} = \frac{L_v}{2.4}$$

$$M = R \cdot e_s$$

$$S_w = \frac{2[4 \times 0.2L_v^2 + L_v^2]}{6} = 0.6L_v^2$$

$$A_w = 2(L_v + 0.2L_v) = 2.4L_v$$

$$f_b = \frac{M}{S_w} = \frac{R \cdot e_s}{S_w}, f_s = \frac{R}{A_w} = \frac{R}{2.4L_v}$$



f_s ← تنش قائم جوش ناشی از برش

f_b ← تنش افقی جوش ناشی از خمشی

$$f_r = \sqrt{f_b^2 + f_s^2} = \frac{R}{2.4L_V} \sqrt{L_V^2 + 16 \cdot e_s^2} \leq 650 \cdot a$$

$$\rightarrow a \geq \frac{R}{1560L_V} \sqrt{L_V^2 + 16 \cdot e_s^2}, B = \frac{R}{1560 \cdot a}$$

با حدس زدن L_V می توانیم a (بعد جوش) را تعیین کنیم.

مرحله ۸: تعیین L_V :

با a تعیین شده از گام ۶ می توان تعیین L_V کرد.

$$L_V \geq \sqrt{\frac{B}{2} \left(B + \sqrt{B^2 + 64e_s^2} \right)}, B = \frac{R}{1560 \cdot a}$$

در هر صورت با حدس زدن یکی از دو مقدار a ، L_V دیگری تعیین می شود.

$$: \bar{\Phi} \geq 45^\circ \text{ or } L_V \geq L_h$$

مرحله ۹: کنترل $\bar{\Phi}, L_h, L_V$:

باید

مرحله ۱۰: تعیین c :

$$b_{fb} \leftarrow \text{عرض بال تیر}$$

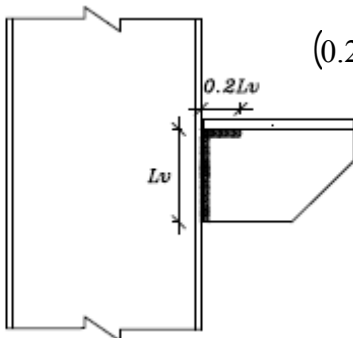
$$b_{fc} \leftarrow \text{عرض بال ستون}$$

$$C \text{ محدودیت های } \left\{ \begin{array}{l} b_{fb} \leq C \leq b_{fc} \\ C \geq N, \frac{L_V}{2} \end{array} \right.$$

در محاسبات عملی معمولاً C بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر است.

6-12 ضابطه اجرایی اتصال براکت:

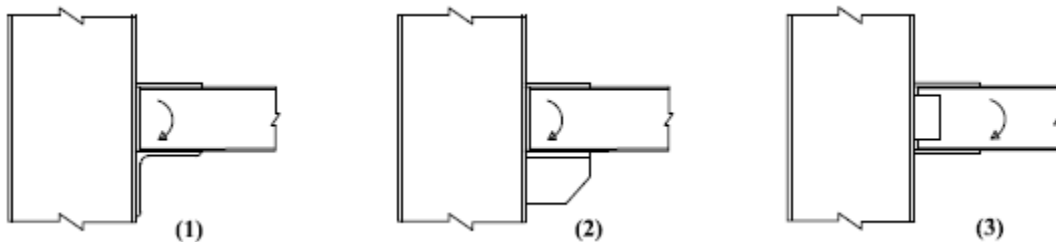
طول جوش جان براکت به بال براکت نباید کمتر از طول جوش بال به ستون باشد. $(0.2L_V)$



7-12 اتصال صلب تیر به ستون:

اتصال صلب تیر به ستون، اتصالی است که بیش از 90٪ لنگر گیر داری را منتقل کند. این اتصال به یکی از سه

صورت زیر طراحی خواهد شد:



در شکل (۱) نبشی نشیمن برای انتقال برش و تسمه فوقانی و بال نبشی تحتانی برای انتقال لنگر طراحی می شود.

در شکل (۲) سگدست برای انتقال برش و تسمه فوقانی و بال سگدست برای انتقال لنگر طراحی می شود.

در شکل (۳) تسمه جان برای انتقال برش و دو تسمه فوقانی و تحتانی برای انتقال لنگر طراحی می شوند.

8-12) مراحل گام به گام طراحی اتصال صلب تیر به ستون :

مرحله ۱ : محاسبه لنگر و برش طراحی :

$$M = \max \left\{ \begin{array}{l} \text{محاسباتی} \\ \text{M (ممان طراحی اتصال)} \\ (50\% \text{ ظرفیت خمشی تیر}) \end{array} \right.$$

$$\text{ظرفیت خمشی تیر} = S_x \cdot F_b \rightarrow F_b = 0.6F_y$$

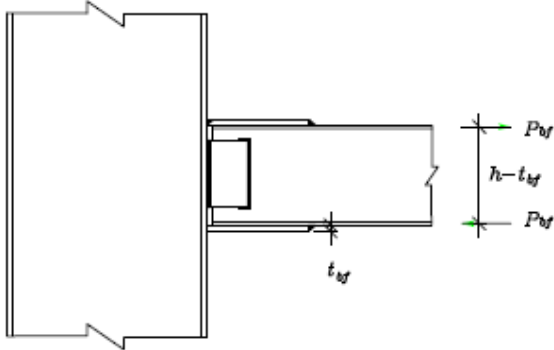
در طراحی اتصال صلب ، عناصر اتصال بال برای انتقال لنگر خمشی در اتصال می شوند و بهتر است این عناصر قادر به تحمل حداقل 50% ظرفیت خمشی تیر نیز باشند .

$$V = \max \left\{ \begin{array}{l} \text{محاسباتی} \\ \text{V (برش طراحی اتصال)} \\ (50\% \text{ ظرفیت خمشی تیر}) \end{array} \right.$$

$$\text{ظرفیت برشی تیر} = F_v \cdot A_w = 0.4F_y \cdot A_w$$

اتصال جان و یا نبشی نشیمن و سگدست برای انتقال برش در اتصال ، طراحی خواهد شد و بهتر است این عناصر قادر به انتقال حداقل 50% ظرفیت برشی تیر باشد .

مرحله ۲ : محاسبه P_{bf} , F : (این گام به بعد مراحل طراحی برای ورق جان و دو تسمه فوقانی و تحتانی شرح داده شده است)



$$F = \frac{M \text{ طرح}}{(h - t_{bf})} , P_{bf} = \frac{M \text{ طرح}}{(h - t_{bf})} \times (\text{ضریب بار})$$

ضریب $\frac{5}{3}$ برای بارگذاری عادی (بارهای قائم)

ضریب $\frac{4}{3}$ برای بارگذاری فوق العاده (بارهای قائم + جانبی)

نکته : P_{bf} ، نیروی محاسبه شده ای است که از بال تیر و یا ورق اتصال خمشی ، به ستون وارد می شود . وقتی که

این نیرو حاصل از بار زنده و یا مرده است در $\frac{5}{3}$ و هنگامی که این نیرو حاصل از بار مرده و زنده به اضافه اثر باد

زلزله است در $\frac{4}{3}$ ضرب می شود . (بند ۱۰ - ۸ - ۱ ، قسمت ب) ، ایران)

مرحله ۳ : محاسبه ی جوش لب مورد نیاز جهت اتصال بال کششی تیر به ستون :

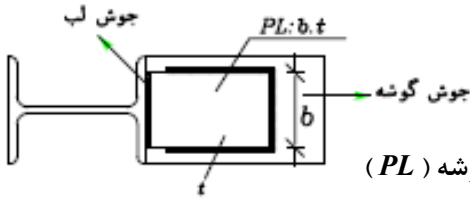
$$\text{سطح جوش لب مورد نیاز} = \frac{F}{\text{تنش (مجاز)}}$$

برای الکتروود معمولی تنش مجاز 1100 bar در نظر گرفته شده است :

نکته : در بیشتر موارد از اتصال تیر به ستون (جوش لب) صرف نظر می شود ، ولی در صورتی که وارد محاسبات

شود و این جوش کافی نباشد ، توسط صفحه اضافی تأمین می شود .

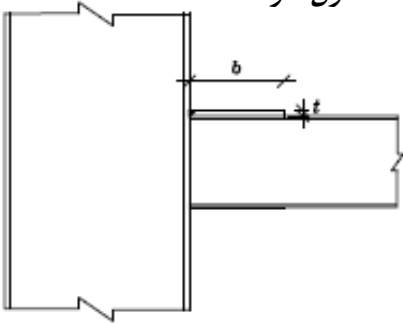
مرحله ۴ : طراحی جوش گوشه گوشه صفحه کششی :



ظرفیت جوش لب (PL) \geq ظرفیت جوش گوشه (PL)

نکته : اگر جوش لب بنا به دلایلی زیاد شد ، جوش گوشه بایستی ظرفیتی بیشتر یا برابر با آن داشته باشد .

با فرض مناسبی برای طول جوش گوشه ، a بدست می آید که بایستی با $a_{max} > a_{min}$ کنترل شود .



مرحله ۵ : ضخامت ورق اتصال بایستی از صلیب کافی برخوردار باشد :

$b \leftarrow$ طول صفحه

$$\frac{b}{t} < 30$$

$t \leftarrow$ ضخامت صفحه

مرحله ۶ : محاسبه جوش لب مورد نیاز جهت اتصال بال فشاری تیر به ستون :

$$\text{سطح مقطع جوش لب مورد نیاز} = \frac{F}{\text{تنش (مجاز)}}$$

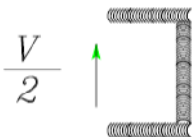
برای الکتروود معمولی تنش مجاز 1400 bar در نظر گرفته شده است .

معمولاً جوش بال به ستون کفایت می کند و نیازی به صفحه فشاری نیست .

مرحله ۷ : اتصال ورق جان (طراحی صفحه جان برای کنترل برش) :

ابتدا با توجه به ناحیه صاف جان L حدس زده شده و ابعاد PL مشخص می شود و با رابطه زیر a بدست می آید که بایستی با $a_{max} > a_{min}$ کنترل شود .

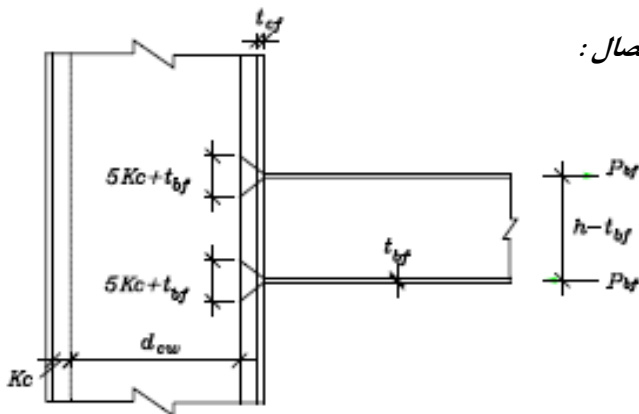
$$2L \times 650 \cdot a \geq V \quad (\text{ طرح }) \Rightarrow a = \dots$$



مرحله ۸ : طرح جوش تحت برش و پیچش ورق به جان تیر :

از کنترل برش و پیچش جوش در مفصل قبل استفاده می شود .

نکته : a بایستی با $a_{max} > a_{min}$ کنترل شود و رابطه $0.75t_{wb}$ تعیین کننده است زیرا جان تیر از دو طرف جوش می شود.



مرحله ۹ : بررسی لزوم سخت کننده در بال فشاری و کششی اتصال :

الف) ناحیه فشاری

$d_{cw} \leftarrow$ ناحیه صاف جان ستون

$t_{cf} \leftarrow$ ضخامت بال ستون

$t_{bf} \leftarrow$ ضخامت بال تیر

$(5K_c + t_{bf}) \leftarrow$ طول ناحیه گسترش تنش در جان ستون

$K_c \leftarrow$ ناحیه انضای ستون

$$1) \text{ کنترل کمانش : } \frac{3400 \cdot t_{cw} \sqrt{F_y}}{P_{bf}} - d_{cw} < 0$$

اگر رابطه برقرار باشد جان فشاری ستون امکان کمانش دارد و به سخت کننده نیاز داریم .

$$۲) A_{st} = \frac{P_{bf}}{F_y} - t_{cw}(t_{bf} + 5K_c) \rightarrow$$

رابطه ضعف جان ستون در برابر لهیدگی

(رابطه ۱۰ - ۸ - ۹ - ، آیین نامه ایران)

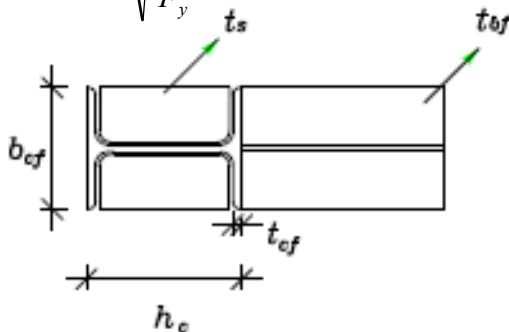
اگر $A_{st} > 0 \rightarrow$ به سخت کننده نیاز داریم
 اگر $A_{st} \leq 0 \rightarrow$ به سخت کننده نیاز نداریم

ب) ناحیه کششی :

زمانی ناحیه کششی ستون نیاز به تقویت از نظر کمانش خواهد داشت که :

$$t_{cf} < 0.4 \sqrt{\frac{P_{bf}}{F_y}}$$

(رابطه ۱۰ - ۸ - ۱ ، آیین نامه ایران)



ابعاد سخت کننده در ناحیه کششی :

b_{cf} ← عرض بال ستون
 h_c ← ارتفاع ستون
 t_{cf} ← ضخامت بال ستون
 t_s ← ضخامت سخت کننده
 t_{bf} ← ضخامت بال تیر
 t_{cw} ← ضخامت جان ستون

$$\left[\begin{aligned} t_{cw} + عرض دو ورق تقویت &\geq \frac{2}{3} b_{cf} \\ (t_s) ضخامت تقویت &> 0.5 t_{bf} \\ طول تقویت &= h_c - 2 t_{cf} \end{aligned} \right.$$

نکته: تقویت ها در کلیه قسمت ها به ستون جوش می شوند .

سخت کننده در ناحیه کششی آیین نامه ای است ولی در ناحیه فشاری محاسباتی است و ممکن است مقدار آیین نامه

ای در قسمت فشاری نیز جوابگو باشد (اکثر موارد) ، اگر جوابگو نبود ، جداگانه طرح می شود .

نکته: از رابطه ۲ بالای صفحه) $2b_s . t_s \geq A_{st}$ در ناحیه فشاری

9-12) طرح لرزه ای اتصال صلب در قاب خمشی معمولی: (ضوابط طراحی)

بر طبق بند ۶ آیین نامه ۲۸۰۰ ایران ، اتصال تیر به ستون قاب های خمشی معمولی باید منطبق بر الزامات قسمت (الف) باشد ، مگر اینکه بتوان نشان داد که اتصال این قاب ها توانایی مقاومت در برابر ترکیب بار ثقلی بعلاوه $0.4R$ برابر نیروی زلزله طرح را که در قسمت (ب) روابط آن آمده است ، را دارا باشد . (R ضریب رفتار بوده و در قاب های معمولی برابر ۶ می باشد) .

آیین نامه AISC کاربرد ورق پیوستگی را برای انتقال نیروها از بال ستون به جان ستون ضروری می داند . تحقیقات

اخیر نشان داده است که اتصال صلب با استفاده از ورق های اتصال دارای شکل پذیری مناسبتری نسبت به اتصال صلب با جوش مستقیم تیر به ستون می باشد .

الف) طرح اتصال برای حداکثر لنگر منتقل شده از سیستم اتصال ، در ترکیب بار بحرانی (روش تنش مجاز) :

۱) لنگر طراحی و برش طراحی :

$$M = 0.75.(M_D + M_L + M_E) \begin{cases} M_D = \text{ممان ناشی از بار مرده} \\ M_L = \text{ممان ناشی از بار زنده} \\ M_E = \text{ممان ناشی از زلزله} \end{cases}$$

نکته : همه ممان ها را با یک علامت قرار می دهیم .

$$V = 0.75.(V_D + V_L + V_E) \begin{cases} V_D = \text{برش ناشی از بار مرده} \\ V_L = \text{برش ناشی از بار زنده} \\ V_E = \text{برش ناشی از زلزله} \end{cases}$$

۲) نیروی فشاری و کششی در بالهای تیر :

$$F_f = \frac{M}{d_b} \quad \text{ارتفاع تیر}$$

طرح ورق اتصال بال کششی :

۳) بدست آوردن ابعاد ورق :

$$f_f = \frac{F_f}{A_{PL}} \leq 0.6F_y \Rightarrow A_{PL} \geq \frac{F_f}{0.6F_y} \rightarrow A_{PL} = t_{PL} \times b_{PL}$$

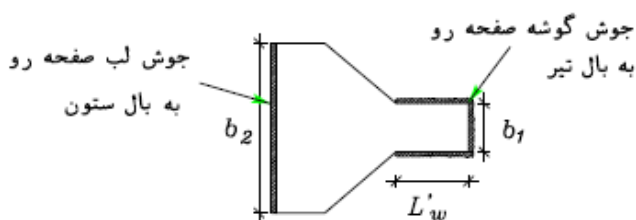
۴) با داشتن t_{PL} ، مقدار برای a ما بین a_{\max} ، a_{\min} انتخاب می کنیم .

$$\begin{cases} a_{\min} \rightarrow \text{از جدول} \\ a_{\max} \rightarrow t_{PL} - 1.5mm \end{cases} \quad \text{(بر اساس حداکثر ضخامت ورق یا ضخامت بال تیر)}$$

۵) طرح جوش گوشه : (نیروی کششی در جوش گوشه برش ایجاد می کند)

$$F_f \leq R_w \cdot L_w \rightarrow L_w \geq \frac{F_f}{650a} \quad L_w: \text{طول جوش گوشه مورد نیاز صفحه بالا به بال تیر}$$

در صورت استفاده از الکتروود معمولی



$$L'_w = \frac{L_w - b_1}{2}$$

۶) طرح جوش لب : (نیروی کششی در جوش لب ، تولید نیروی کششی می کند)

$$f_{tw} = \frac{F_f}{b_2 \times t_w} \leq F_{tw} \quad \text{(تنش مجاز جوش لب در کشش)} \rightarrow b_2 \geq \frac{F_f}{F_{tw} \times t_w}$$

f_{tw} : تنش کششی در جوش لب در اتصال صفح به ستون

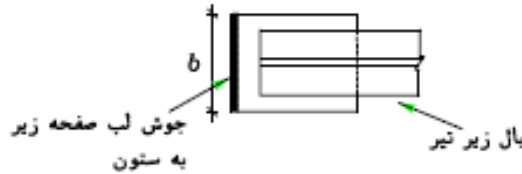
t_w : ضخامت جوش لب

طرح ورق اتصال بال فشاری: (عرض ورق زیر از عرض بال تیر بیشتر است):

۸) مراحل ۳ الی ۶ را برای بال فشاری تکرار کرده و در مرحله ۷ داریم:

$$b \geq \frac{F_f}{F_{pw} \times t_w}$$

تنش مجاز جوش در فشار



طرح اتصال ورق جان تیر به ستون:

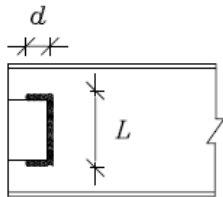
۹) محاسبه عرض ورق با توجه به ناحیه صاف جان تیر: $L < h_1$ (ناحیه صاف جان)

۱۰) محاسبه a : (با توجه به آنکه جوش گوشه ورق به ستون باید تحمل برش را داشته باشد)

$$n \times L \times 650a \geq V_{\text{طرح}} \rightarrow a \geq \frac{V}{n \times L \times 650}$$

n : تعداد ورق های جوش شده به جان تیر

۱۱) فاصله d را حدس زده و مشابه اتصال جوش صفحه به جان تیر در اتصال صلب، اتصال را برای برش و پیچش طرح می کنیم (به شرح صفحه ۹۰ مراجعه شود)



ب) تأمین شکل پذیری اتصال قاب خمشی معمولی (روش تنش مجاز بر اساس روش حدی):

در این حالت: F_y : مقاومت ورق ها
مقاومت معمولی جوش $\times 1,7$: مقاومت مجاز جوش

۱) محاسبه لنگر و برش طرح:

$$M = M_D + M_L + 0.4R \times M_E \begin{cases} M_D = \text{ممان ناشی از بار مرده} \\ M_L = \text{ممان ناشی از بار زنده} \\ M_E = \text{ممان ناشی از زلزله} \end{cases}$$

$$V = V_D + V_L + 0.4R \times V_E \begin{cases} V_D = \text{برش ناشی از بار مرده} \\ V_L = \text{برش ناشی از بار زنده} \\ V_E = \text{برش ناشی از زلزله} \end{cases}$$

۲) نیروی فشاری و کششی در بالهای تیر:

$$F_f = \frac{M}{d_b}$$

d_b : ارتفاع تیر

طرح ورق اتصال بال کششی:

$$f_f = \frac{F_f}{A_{PL}} \leq F_y \Rightarrow A_{PL} \geq \frac{F_f}{F_y} \rightarrow A_{PL} = t_{PL} \times b_{PL}$$

۳) بدست آوردن ابعاد ورق:

۴) با داشتن t_{PL} ، مقدار برای a مابین a_{max} ، a_{min} انتخاب می کنیم .

$$\left\{ \begin{array}{l} a_{min} \rightarrow \text{از جدول} \rightarrow \text{(بر اساس حداکثر ضخامت ورق یا ضخامت بال تیر)} \\ a_{max} \rightarrow t_{PL} - 1.5mm \end{array} \right.$$

۵) طرح جوش گوشه : (نیروی کششی در جوش گوشه برش ایجاد می کند)

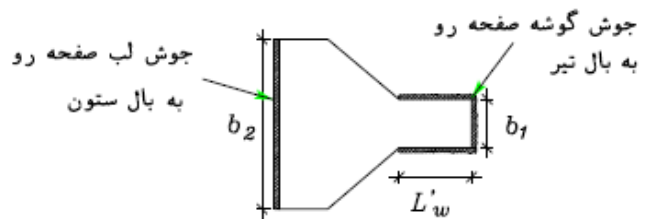
$$L_w \geq \frac{F_f}{1.7 \times 650a} \rightarrow L'_w = \frac{L_w - b_1}{2}$$

در صورت استفاده از الکتروود معمولی

۶) طرح جوش لب : (نیروی کششی در جوش لب ، تولید نیروی کششی می کند)

$$\text{I) } b_2 \geq \frac{F_f}{F_y \times t_w} \quad \text{جوش لب با نفوذ کامل :}$$

$$\text{II) } b_2 \geq \frac{F_f}{1.7 \times F_{tw} \times t_w} \quad \text{جوش لب با نفوذ نسبی :}$$



طرح ورق اتصال بال فشاری : (عرض ورق زیر از عرض بال تیر بیشتر است) :

۷) مراحل ۳ الی ۵ را برای بال فشاری تکرار کرده و در مرحله ۶ داریم :

$$\text{I) } b \geq \frac{F_f}{F_y \times t_w} \quad \text{جوش لب با نفوذ کامل :}$$

$$\text{II) } b \geq \frac{F_f}{1.7 \times F_{pw} \times t_w} \quad \text{جوش لب با نفوذ نسبی :}$$

طرح اتصال ورق جان تیر به ستون :

۸) محاسبه عرض ورق با توجه به ناحیه صاف جان تیر : (ناحیه صاف جان)

$$L < h_1$$

۹) محاسبه a : (با توجه به آنکه جوش گوشه ورق به ستون باید تحمل برش را داشته باشد)

$$n \times L \times 650a \times 1.7 \geq V_{\text{برش}} \rightarrow a \geq \frac{V}{n \times L \times 650 \times 1.7} \quad n: \text{تعداد ورق های جوش شده به جان تیر}$$

۱۰) فاصله l را حدس زده و مشابه اتصال جوش صفحه به جان تیر در اتصال صلب ، اتصال را برای برش و پیچش طرح می کنیم . با این تفاوت که تنش مجاز جوش در عدد ۱۰۷ ضرب می شود . (به شرح صفحه ۸۸ مراجعه شود)

10-12) طرح لرزه ای اتصال صلب در قاب خمشی ویژه (ظوابط طراحی) :

در قاب خمشی ویژه لازم است اولاً اتصال تیر به ستون با رعایت شکل پذیری مورد نظر مطابق قسمت (الف) طرح شود . ثانیاً چشمه اتصال برای برش ، مطابق قسمت (ب) کنترل شود . ثالثاً عدم تشکیل مفصل پلاستیک در ستون به شرح قسمت (ج) نیز کنترل شود . (در این قاب ها ضریب رفتار (R) معادل ۱۰ در نظر گرفته می شود .)

الف (طراحی اتصال :

مقاومت ورق ها : F_y
 مقاوت مجاز معمولی جوش $\times 1.7$: مقاوت جوش ها

$$Z_b = n \times 2Q_b$$

$$M_{PS} = Z_b \cdot F_y$$

$$t_Z = n \cdot t_{wc}$$

(۱) تعداد پروفیل تیر

(۲) M_{PS} : لنگر خمیری تیر

(۳) n : تعداد پروفیل ستون

(۴) t_Z : ضخامت چشمه اتصال

$$V_Z = 0.55 \cdot F_y \cdot d_C \cdot t_Z \cdot \left[1 + \frac{3 \times n \times b_{fc} \times t_{fc}^2}{d_b \times d_C \times t_Z} \right]$$

(۴) ظرفیت برشی جان در چشمه اتصال :

d_b : ارتفاع تیر

t_Z : (ضخامت جان ستون + ورق مضاعف در صورت وجود)

n : تعداد پروفیل ستون

d_C : ارتفاع پروفیل ستون

t_{fc} : ضخامت بال ستون

(۵) لنگر متناظر با مقاومت برشی چشمه اتصال (مجموع لنگر تیرها ناشی از مقاومت برشی چشمه اتصال) :

$$\sum M_{PZ} = V_Z \frac{H \cdot d_b}{H - d_b}$$

H : ارتفاع متوسط طبقه (نصف ارتفاع طبقه بالا + نصف ارتفاع طبقه پایین)

d_b : ارتفاع متوسط تیر های متصل به چشمه اتصال .

$$M = \min(M_{PS}, M_{PZ})$$

(۶) لنگر طراحی :

$$F_f = \frac{M}{d_b}$$

(۷) نیروی کششی و فشاری در بال تیر :

طرح ورق اتصال بال کششی :

$$A_{PL} \geq \frac{F_f}{F_y} \rightarrow A_{PL} = t_{PL} \times b_{PL}$$

(۸) تعیین ابعاد ورق :

(۹) با داشتن t_{PL} مقداری برای a بین a_{max} ، a_{min} بدست می آوریم :

$$\begin{cases} a_{min} \rightarrow \text{از جدول} \\ a_{max} \rightarrow t_{PL} - 1.5mm \end{cases}$$

(۱۰) طرح جوش گوشه ورق بالا به تیر :

$$L_w \geq \frac{F_f}{1.7 \times 650a}$$

در صورت استفاده از الکتروود معمولی

$$L'_w \geq \frac{L_w}{2}$$

(۱۱) در قاب خمشی ویژه فقط طول جوش گوشه ای که موازی جان است منظور می گردد .

(۱۲) طرح جوش لب ورق به ستون :

$$\text{I) } b_2 \geq \frac{F_f}{F_y \times t_w} \quad \text{جوش لب با نفوذ کامل :}$$

$$\text{II) } b_2 \geq \frac{F_f}{1.7 \times F_{tw} \times t_w} \quad \text{جوش لب با نفوذ نسبی:}$$

طرح ورق اتصال بال فشاری: (عرض ورق زیر از عرض بال تیر بیشتر است)

۱۳) مراحل ۸ الی ۱۱ را برای بال فشاری تکرار کرده و در مرحله ۱۲ داریم:

$$\text{I) } b \geq \frac{F_f}{F_y \times t_w} \quad \text{جوش لب با نفوذ کامل:}$$

$$\text{II) } b \geq \frac{F_f}{1.7 \times F_{pw} \times t_w} \quad \text{جوش لب با نفوذ نسبی:}$$

ب) کنترل چشمه اتصال برای برش:

۱) برش چشمه اتصال وابسته به M_1 :

H : ارتفاع متوسط طبقه

d_b : ارتفاع پروفیل تیر

$$\begin{cases} M_1 = M_D + M_L + 1.85M_E \\ V_1 = \frac{M_1(H - d_b)}{H \times d_b} \end{cases}$$

۲) برش چشمه اتصال وابسته به M_2 :

n : تعداد پروفیل تیر

m : تعداد تیرهای وارد بر ستون در گره

$$\begin{cases} M_{PS} = n \cdot Z \cdot F_y \Rightarrow M_2 = 0.8 \sum^m M_{PS} \\ V_2 = \frac{M_2(H - d_b)}{H \times d_b} \end{cases}$$

$$(برش طرح) \quad V = \min(V_1, V_2) \Rightarrow V \leq V_z \quad \longrightarrow \quad O.K \quad (3)$$

نکته: اگر رابطه صادق باشد، چشمه اتصال مشکلی ندارد و به ورق مضاعف نیازی نیست.

ج) کنترل عدم تشکیل مفصل پلاستیک در ستون در هر گره از قاب خمشی:

$$P = P_D + P_L + P_E \quad (1) \quad \text{محاسبه نیروی محوری ستون در طراحی:}$$

$$f_a = \frac{P}{A_c} \quad (2) \quad \text{محاسبه تنش محوری در ستون:}$$

$$Z_c = n \times 2Q \quad (3) \quad \text{تعداد پروفیل ستون}$$

۴) عدم تشکیل مفصل پلاستیک در ستون: (با ایجاد مفصل خمیری در تیر)

j : تعداد ستون های وارد بر گره

k : تعداد تیر های وارد بر گره

$$\sum^j Z_c (F_{yc} - f_a) \geq \sum^k Z_b \cdot F_y$$

F_{yc} : تنش تسلیم ستون

۵) عدم تشکیل مفصل پلاستیک در ستون: (با ایجاد مفصل خمیری در چشمه اتصال)

$$\sum_j Z_{C_j} \cdot (F_{yc} - f_a) \geq 1.25 \sum_k M_{PZ}$$

M_{PZ} : مجموع لنگر ها تیر که متناظر با مقاومت برشی چشمه اتصال

۶) در حالات زیر نیاز به کنترل روابط ۴ و ۵ نیست:

الف) مقطع ستون فشرده باشد و $f_a \leq 0.4F_y$. (تنش محوری ستون در ترکیب بار معمولی)

ب) ستون در طبقه ای قرار داشته باشد که مقاومت برشی آن ۵۰٪ بزرگتر از مقاومت برشی طبقه بالا باشد.

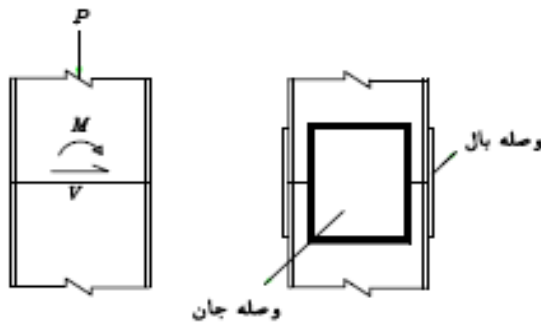
(11-12) وصله ها: (بند ۱۰-۱-۷-۷، آیین نامه ایران)

وصله ستون:

در مواردی که طول تیر یا ستون کمتر از دهانه باشد، قطعه دیگری را به پروفیل اضافه می کنیم و در محل اتصال با وصله به یکدیگر متصل می کنیم. واضح است که تسمه کششی باید نیروی وارده را تحمل کند ولی قسمت عمده نیروی فشاری به کمک تماس مستقیم دو ستون تحمل می شود پس کنترل تسمه کششی برای صد در صد نیرو الزامی است.

اگر دو نیمرخ کاملاً صاف بوده و ستون نیز تنها تحت فشار محوری باشد، برای ۲۵ تا ۵۰ درصد کل نیرو طراحی می شود، ولی اگر ستون تحت نیروی محوری و لنگر خمشی باشد می توان این قطعات را برای ۵۰ تا ۷۵ درصد کل نیرو طراحی کرد.

از آنجا که محل وصله و موقعیت آن و روش های طراحی متفاوت خواهد بود، به عنوان مثال مراحل گام به گام طراحی



وصله ۴ تایی ستون شرح داده شده است:

الف) طراحی وصله بال:

در محل اتصال M, V, P داریم:

۱) دیاگرام توزیع تنش نرمال (تعیین تنش نرمال Max, Min)

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S_x}$$

۲) بدست آوردن تنش در وسط بال سمت راست. (σ')

۳) محاسبه نیرویی که در بال فشاری (بال سمت راست) ایجاد شود. (بال راست ماکزیمم تنش فشاری را داراست)

$$P_f = A_f \times \sigma'$$

(مساحت بال $b_f \times t_f$) $A_f \rightarrow$

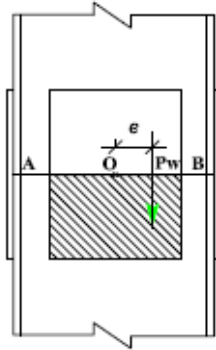
نیروی فشاری بال $P_f \rightarrow$

۴) تعیین نیرویی که وصله تحمل می کند (بسته به شرایط قرارگیری دو ستون روی هم) تعیین تنش مجاز فشاری و بدست آوردن ابعاد وصله .

$$\lambda_{\max} = \frac{KL}{r_{\min}} \xrightarrow{\text{جدول}} F_a = \dots$$

$$\frac{0.5P_f}{A} \leq F_a \rightarrow A \geq \frac{0.5P_f}{F_a} \rightarrow A = \dots \begin{cases} b = \dots \\ t = \dots \end{cases} \quad 0.5t_f: \text{نیروی طراحی وصله}$$

نکته: نیروی طراحی بسته به شرایط اتصال و نیروهای موجود در اتصال، متفاوت خواهد بود. (صفحه قبل)



(ب) طراحی وصله جان:

$$e = \frac{h - 2t_f}{6} \quad (1) \text{ تعیین } e$$

e : خروج از محوریت

در اینجا ابعاد وصله جان حدس زده می شود و در بند ۵ کنترل می شود.

(۲) محاسبه تنش در نقاط B, A

$$P_w = A_w \times \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2}$$

(۳) محاسبه نیرویی که جان تحمل می کند.

σ_A, σ_B : تنش در نقاط A, B

A_w ← مساحت جان

P_w ← نیرویی که جان تحمل می کند

(۴) نیروی تحمل وصله:

نکته: در این مثال نیرویی وصله 50% در نظر گرفته شده است. بسته به شرایط این مقدار متفاوت خواهد بود.

(۵) تنش حداکثر در وصله جان و کنترل آن:

$$\sigma = \frac{1}{2} \left(\frac{P'_w}{A_w} + \frac{P'_w}{S_w} \right) \leq F_a \rightarrow O.K$$

P'_w ← نیروی طراحی وصله جان



به دلیل وجود دو وصله در طرفین جان

A_w ← مساحت وصله که در گام 1 حدس شده است.

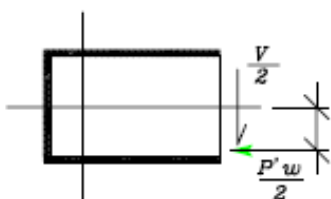
S_w ← اساس مقطع وصله جان

(۶) کنترل برش:

$$f_V = \frac{V}{2A_w} \leq 0.4F_y$$

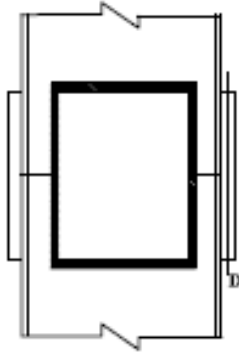
چون دو وصله جان داریم

(12-12) طرح جوش وصله جان:

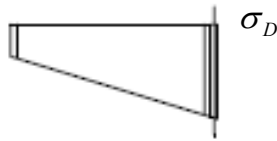


با تعیین a از a_{\min}, a_{\max} و فرض مناسب L_w ، رابطه برش و پیچش را کنترل می کنیم.

13-12 طرح جوش وصله بال :



(۱) تنش در وسط وصله را می یابیم. (σ_D)

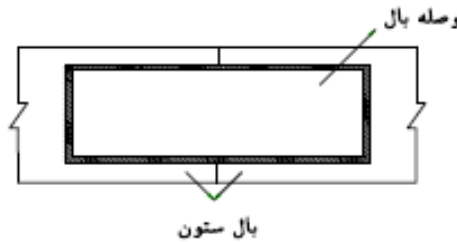


(۲) نیرویی که جوش بایستی تحمل کند بدست می آوریم.

$$P = \sigma_D \times A_{\text{وصله}} \quad (b \times t)$$

$P \leftarrow$ نیرویی که جوش بایستی تحمل کند.

(۳) a را از بین a_{\min} ، a_{\max} انتخاب می کنیم.



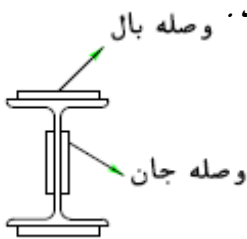
(۴) طول جوش را تعیین می کنیم.

$$P = R_w \cdot L_w \rightarrow L_w = \dots$$

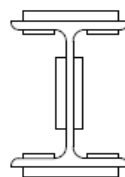
14-12 وصله تیر : (بند ۱۰ - ۱ - ۷ - ۷ ، قسمت الف و ب ، آیین نامه ایران)

جوش های لب با لبه ی آماده شده ، در تیر های نورد شده و تیر های مرکب حداقل باید ظرفیت کامل مقطع کوچک تر وصله شونده را به وجود آورد . انواع دیگر وصله در مقاطع تیر های مرکب و تیر ها باید مقاومت مطمئن برای تنش ها موجود در نقطه وصله را به وجود آورد . در ضوابط جدید AISC ، وصله ها هرگز نباید برای ظرفیتی کمتر از 50% استحکام مؤثر قطعات مورد اتصال طراحی شوند .

در وصله تیرها هر یک از قطعات وصله باید به نوعی طرح شوند که بتوانند کار قطعات مورد وصله را در حالت بدون برش انجام دهند . ورق های اتصال بال و ورق های اتصال جان وظیفه جان تیر را انجام خواهند داد .



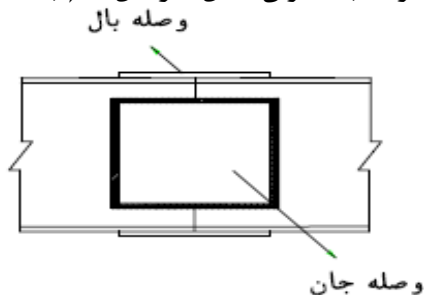
وصله تیر با ۴ ورق



وصله تیر با ۸ ورق

هرگاه ضخامت بال زیاد بوده و نیرویی مورد انتقال بالا ، از ورق اتصال ۸ تایی استفاده می شود .

همانند وصله ستون ، طراحی وصله ها تیر نیز ، حالات متفاوتی را شامل می شود . به عنوان مثال ، مراحل گام به گام طراحی وصله تیر با ۴ ورق بررسی می شود :



(۱) تعیین ظرفیت مقطع :

(۲) تعیین V, M طراحی :

$$M, V = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} M, V \text{ محاسباتی} \\ \text{ظرفیت مقطع } (50\%) \end{array} \right. \quad \text{(طبق ضابطه AISC)}$$

(۳) انتخاب ورق های جان :

$$A_w' = \frac{V}{0.4F_y} \text{ لازم}, \quad h - 2K = \text{ارتفاع ممکن}$$

$A_w' \leftarrow$ مساحت وصله های جان

$$t \geq \frac{A_w'}{2 \times (h - 2K)} \Rightarrow t = \dots$$

با تعیین ضخامت ، عرض ورق نیز با توجه به ضوابط اجرایی تعیین می شود . (b) چون دو ورق در جان داریم

(۴) انتخاب ورق های بال :

درصد ظرفیت مورد نیاز = $\frac{M \text{ موجود}}{M \text{ آخر}}$

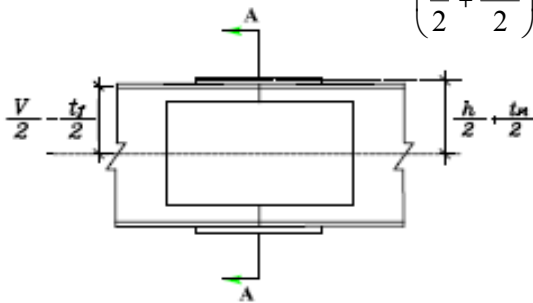
$$A_f \times \text{درصد ظرفیت مورد نیاز} = A \text{ (سطح ورق مورد نیاز)} \Rightarrow \begin{cases} b = \dots \\ t = \dots \end{cases}$$

عرض و ضخامت ورق های بال نیز تعیین می شود .

نکته : البته می توان اثر دورتر بودن ورق های وصله را از تار خنثی نسبت به بال تیر در نظر گرفت و سطح مقطع ورق ها را بر اساس آن تعیین کرد :

$$t_{PL} \leftarrow \text{ضخامت ورق بال}$$

$$A' = A \times \left(\frac{\frac{h}{2} - \frac{t_f}{2}}{\frac{h}{2} + \frac{t_{PL}}{2}} \right) \text{ (سطح وصله لازم اصلاح شده)}$$



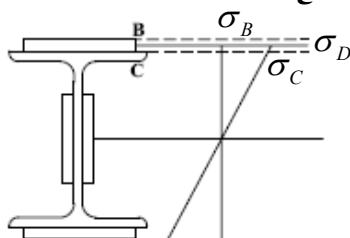
(۵) کنترل وصله در مقطع A-A :

$$f_b = \frac{M \cdot C}{I_{Tot}} \leq F_b$$

$$C = \frac{h}{2} + t_{PL}$$

$M \leftarrow$ ممان طراحی وصله

$I \leftarrow$ ممان اینرسی کل ، شامل ممان اینرسی ورق های بال و ورق های جان در مقطع A - A



(۶) طرح جوش ورق بال :

الف) تنش در وسط ورق وصله ی بال : (σ_D)

$$\sigma_D = \frac{\sigma_B + \sigma_C}{2}$$

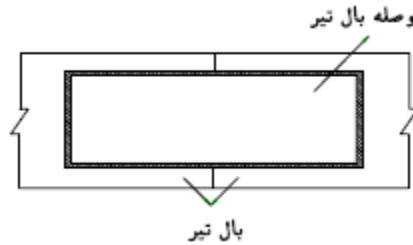
$$F = \sigma_D \times (A \text{ مساحت وصله})$$

(ب) نیرویی که جوش تعیین تحمل می کند :

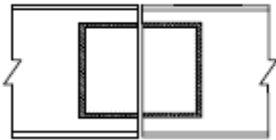
(ج) تعیین a بر اساس a_{\max} , a_{\min} .

$$F = R_w \cdot L_w \rightarrow L_w = \dots$$

(ه) تعیین L_w :



(و) طرح جوش ورق جان :



(الف) تعیین اندازه بعد جوش a از a_{\max} , a_{\min} :

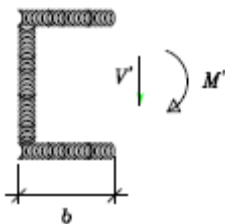
(ب) تعیین برش و ممان هر ورق

$$V' = \frac{V(\text{ طرح })}{2} \text{ هر ورق}$$

$$M' = \frac{1}{2} \times \frac{I_{PL}(\text{ جان})}{I_{Tot}} \times M(\text{ طرح }) \text{ هر ورق}$$

وصله های جان بخشی از لنگر کل وارده به مقطع را می گیرند که مقدارش برابر با نسبت ممان اینرسی ورق های جان به ممان اینرسی مقطع .

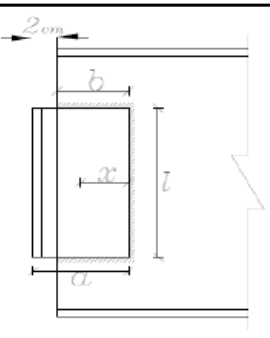
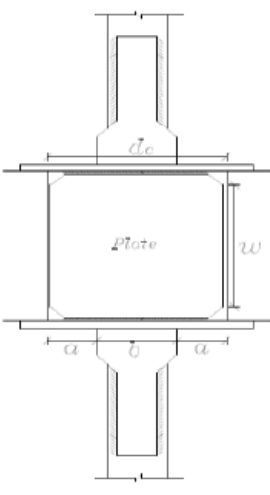
(ج) با فرضی مناسب برای b ، مقطع را برای برش و پیچش کنترل می کنیم .



برکه طراحی اتصال ساده با نشیمن تقویت شده				
CON TYPE		تیپ اتصال:		
$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$				
نیروی طراحی	$R(\text{kgf})$			
مشخصات تیر	t_w			
	k			
	b_f			
	t_f			
$N = \frac{R}{0.66F_y t_w} - 2.5k \geq k$		$N(\text{cm})$	$W = N/2 + 2 \geq 10(\text{cm})$	
$P = 285t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{F_y t_f}{t_w}}$		کنترل لهیدگی جان		
		$P(\text{kgf})$	$R \leq P$	
		O.K.		
$\begin{cases} t_s \geq t_w \\ t_s \geq \frac{W}{(795/\sqrt{F_y})} \\ t_s \geq \frac{R(6e_f - 2W)}{0.6F_y W^2 \sin^2 \phi} \end{cases}$	$e_f = W - N/2$	$t_s(\text{cm})$	$t_b(\text{cm})$	
			$b(\text{cm})$	
	طرح جوش سخت کننده به ستون			
		$D_{\max} = F_y t_s / 3340$		
$f_r = \frac{P}{2.4L^2} \sqrt{16e_f^2 + L^2} \leq 668D$		$D_{\max}(\text{cm})$	$D(\text{cm})$	
			$L(\text{cm})$	

برگه طراحی اتصال ساده نبشی نشیمن انعطاف پذیر	
نام پروژه :	طبقه :
محاسب :	محور :
تاریخ :	انتها :
صفحه :	تیپ :
از :	تیپ تیر موجود :
نیروها	
ترکیبات بارگذاری	
D+L+Sup	
.75(D+L+Sup+Exp)	
.75(D+L+Sup-Exp)	
.75(D+L+Sup+Exn)	
.75(D+L+Sup-Exn)	
.75(D+L+Sup+Eyp)	
.75(D+L+Sup-Eyp)	
.75(D+L+Sup+Eyn)	
.75(D+L+Sup-Eyn)	
$N = (R/66F_y.t_w) - 2.5K = \geq K = 2.05 \rightarrow N =$	
$b = bf + 2 \times 1.5 = \text{cm} \geq 7.5 \text{cm} \rightarrow b = \text{cm}$	
$ef = N/2 + \text{فاصله مونتاژ} = \text{cm}$	
$A = R/300, W = \rightarrow A =$	
$t \geq A/2 + (A^2/2 + A(ef-1))^{1/2} = \rightarrow t =$	
$a = \text{mm}$ $b = \text{mm}$	$t = \text{mm}$
طراحی جوش اتصال	
$a \geq (R/1300.L_v^2) \times (L_v^2 + 20.25ef^2)^{1/2} =$	
الکتروود مصرفی :	
$\rightarrow a = \text{mm}$	
$a_{min} = \text{mm}$	$a_{max} = t - 1.5 =$

برگه طراحی اتصال صلب					
CON TYPE			تیپ اتصال:		
$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$		$M_{\max} (t.m)$	$V_{\max} (t)$	نیروهای طراحی اتصال	
ستون:					
مشخصات ستون	$d_c (cm)$				
	$t_w (cm)$				
	$k_c (cm)$				
مشخصات تیر	$d (cm)$				
	$t_w (cm)$				
	$b_f (cm)$				
	$t_f (cm)$				
	$k (cm)$				
	$W_x (cm^3)$				
طراحی ورق تحانی					
$T = M/d \text{ (kgf)}$	$A_p (cm^2) = T/0.6F_y$	$b_f + 4 \leq b_p \leq b_c$	$b_p (cm)$	$t_p (cm)$	
		$t_p \geq A_p/b_p$			
طرح جوش	$D_{\max} (mm)$	$D (mm)$	$l_w)_B = \frac{(T/2)}{668D}$	$L_p (cm)$	
	$D_{\min} (mm)$				
کنترل تنش کششی	$f_t = \frac{T}{b_p \cdot t_p}$	$F_t \text{ (kg/cm}^2)$	$f_t \leq F_t$	USE	
در جوش لب به لب			O.K.		
طراحی ورق فوقانی					
$T \text{ (kgf)}$	$A_p (cm^2)$	$b_1)_p (cm)$	$t_p (cm)$	$f_t = \frac{T}{b_2)_p \cdot t_p} \leq 1100$	$b_2)_p (cm)$
طرح جوش					
$D_{\max} (mm)$		$D (mm)$	$l_w)_T = \frac{(T/2)}{668D}$		
$D_{\min} (mm)$					
$L_1)_p (cm)$	$5cm \leq L_2)_p \leq 10t_p$		$L_2)_p (cm)$		

ادامه طراحی اتصال صلب				
طرح اتصال برای انتقال برش با استفاده نبشی جان				
l (cm)	طول نبشی	تعیین نبشی	$x \leq \sqrt{\frac{(1336DI^2)^2 - R^2l^2}{36R^2}} =$	<i>USE</i>
کنترل تنش برشی در نبشی	$\tau = \frac{R}{2lt}$	τ (kg/cm ²)	$F_v = 0.4F_y$ (kg/cm ²)	$\tau \leq F_v$
				<i>O.K.</i>
طرح جوش B				
$f_r = \frac{R}{2l^2} \sqrt{36x^2 + l^2} \leq 668D$		f_r (kg/cm)	D_{\min} (mm)	D (mm)
طرح جوش A				
مولفه تنش برشی		$f'_y = \frac{(R/2)}{l+2b}$		
مولفه های تنش پیچشی		$\begin{cases} f'_x = \frac{Tl}{4I_p} \\ f'_y = \frac{T(a-x-2)}{2I_p} \end{cases}$		
$\begin{cases} e_x = a-x \\ T = Re_x \end{cases} \Rightarrow$				
I_p (cm ³)	x (cm)	f'_y (kg/cm)	f'_x (kg/cm)	f'_y (kg/cm)
$f_r = \sqrt{(f'_y + f'_y)^2 + (f'_x)^2} \leq 668D$		f_r (kg/cm)	D_{\min} (mm)	D (mm)
طراحی ورق پیوستگی در داخل ستون				
$\frac{5}{3}(M_D + M_L)$		$\frac{4}{3}(M_D + M_L + M_E)$		$(A_f)_{Beam} \cdot F_y$
P_{bf} (ton)				
کنترل لهیدگی و جاری شدن جان ستون				
1) $t_w \geq \frac{P_{bf}}{2(t_b + 5k_c)F_y}$		2) $\frac{d_c}{t_c} \leq \frac{69000t_c^2 \sqrt{F_y}}{P_{bf}}$		
Check(1)	<i>O.K.</i>	Check(2)	<i>O.K.</i>	
کنترل تشکیل خط تسلیم روی بال				
$P = \frac{t_p F_y}{12} \left[2a + b + 36 \frac{t_c^2}{a} \right]$		P (ton)	P_{bf} (ton)	$P \geq P_{bf}$
				<i>Fail</i>
$A_{st} = \frac{P_{bf} - 2F_{ys}(t_b + 5k_c)t_w}{F_{yst}}$		w (Variable)		t (cm)
		$d_c - 5$		
				

تیر ورق

۱۳

اگر در طراحی تیر نیاز به اساس مقطع زیادی باشد، از پروفیل های استاندارد نمی توان استفاده کرد، در این حالت می توان تیر را از ورق ساخت، اصولاً از تیر ورق برای دهانه های زیادی استفاده می شود.

مراحل گام به گام طراحی تیر ورق ها:

(1-13) ترسیم دیاگرام برش، لنگر خمشی (با توجه به وضعیت بار گذاری تیر ورق)

(2-13) حدس ارتفاع جان (h):

الف) اگر تیر دو سر مفصل باشد (دهانه ساده):

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{L}{12} \leq h \leq \frac{L}{8} & \text{در ساختمان ها} \\ \frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{8} & \text{در پل ها} \end{array} \right.$$

نکته: در ساختمان ها به ازاء هر ۱۵ متر طول تیر ورق به طور تقریبی 1 متر ارتفاع در نظر می گیریم.

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{L}{25} \leq h \leq \frac{L}{15} & \text{ب) اگر تیر سراسری باشد:} \\ \frac{L}{40} \leq h \leq \frac{L}{30} & \text{ج) اگر تیر داخل قاب باشد (اتصال صلب):} \end{array} \right.$$

$$h = \sqrt{\frac{3M \cdot K}{2F_b}}$$

* تعیین ارتفاع اقتصادی تیر ورق:

M : لنگر طراحی تیر ورق و $F_b = 0.6F_y$ است.

در این رابطه K برابر $\sigma \frac{h_w}{t_w}$ می باشد یعنی نسبت ارتفاع جان تیر ورق به ضخامت تیر ورق که مجهول است. به

عنوان حدس اولیه بهتر است $\frac{h_w}{t_w} = 200$ در نظر گرفته شود.

* تعیین وزن واحد طول تیر ورق:

$$G \left(\frac{Kg}{m} \right) = 0.785 A_g \quad (\text{بدون قطعات نسب کننده}) \quad A_g: \text{بحسب } cm^2 \text{ (سطح مقطع تیر ورق)}$$

$$G \left(\frac{Kg}{m} \right) = 2.057 \sqrt[3]{\frac{M^2}{F_b^2 \cdot K}} \quad (\text{تخمین وزن اقتصادی تیر ورق})$$

$M \leftarrow$ ممان ماکزیمم بحسب $(Kg \cdot cm)$

$F_b \leftarrow$ تنش مجاز خمشی که 1440 bar در نظر گرفته می شود.

نکته: ورق های تقویتی را بعنوان ۱۰٪ وزن تیر ورق در نظر می گیریم.

با تعیین وزن تیر ورق، دیاگرام برش و ممان را با بارگذاری جدید اصلاح می کنیم و ارتفاع اقتصادی را با دیاگرام جدید تعیین می کنیم.

3-13) تعیین ضخامت جان (تناسب لازم جهت عدم کمناش جان):

۱) if $\frac{a}{h} < 1.5 \rightarrow \frac{h}{t_w} \leq \frac{16770}{\sqrt{F_y}}$ (رابطه ۱۰ - ۳ - ۲، آیین نامه ایران)

۲) if $\frac{a}{h} > 1.5 \rightarrow \frac{h}{t_w} \leq \frac{985 \times 10^3}{\sqrt{F_y(F_y + 1160)}}$ (رابطه ۱۰ - ۳ - ۱، آیین نامه ایران)

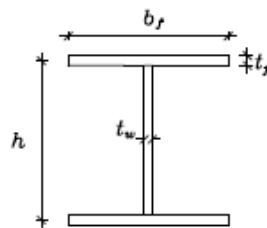
۳) $\frac{h}{t_w} \leq \frac{6370}{\sqrt{F_y}} \rightarrow$ عدم کاهش تنش مجاز

a : فواصل سخت کننده هاست.

بهتر است برای مرحله اول نسبت $\frac{h_w}{t_w}$ در هر رابطه محاسبه شود و t_w برحسب هر دو رابطه تعیین شود، زیرا a در

مرحله اول مشخص نیست.

4-13) تعیین سطح مقطع بال:



$$A_f = \frac{M}{F_b \cdot h} = \frac{A_w}{6}$$

$$A_f = b_f \cdot t_f$$

$$F_b = 0.6F_y \text{ و } A_w = h \cdot t_w$$

5-13) انتخاب ضخامت بال (t_f): (متناسب با عرض بال براساس کنترل کمناش پیچش بال)

$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{795}{\sqrt{F_y}}$ رابطه تخمین اولیه عرض بال (جدول ۱- آیین نامه ایران)	}	$\frac{h}{6} \leq b \leq \frac{h}{2.5}$	براساس ارتفاع تیر ورق
		$\frac{L}{60} \leq b \leq \frac{L}{25}$	براساس طول دهانه تیر ورق

از هر دو رابطه جهت تخمین عرض بال استفاده کرد و با قرار دادن در ضابطه کنترل کمناش پیچشی (t_f) را تعیین کرد.

* رابطه توصیه شده جهت تعیین ابعاد معقول بال تیر ورق: $0.2 \leq \frac{b}{d} \leq 0.3$ (ارتفاع کل تیر ورق: d)

6-13) کنترل خمش و محاسبه تنش های خمشی:

* تعیین تنش مجاز خمشی (F_b)

- چنانچه فواصل مهار جانبی بال فشاری از L_c ، L_u کمتر نباشد، در این صورت تنش مجاز خمشی از بزرگ ترین مقدار رابطه (الف) و (ب) انتخاب می شود. برای تعیین تنش مجاز خمشی به فصل قطعات خمشی مراجعه شود. (صفحه ۳۷)

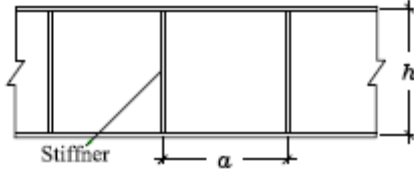
* تعدیل تنش مجاز خمشی:

{	if $\frac{h}{t_w} < \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \rightarrow F' = F_b$	(رابطه ۱۰ - ۳ - ۳، آیین نامه ایران)
	if $\frac{h}{t_w} > \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \rightarrow F' = F_b \left[1 - 0.005 \frac{A_w}{A_f} \left(\frac{h}{t_w} - \frac{6370}{\sqrt{F_b}} \right) \right]$	

هر چه مقدار $\frac{h}{t_w}$ زیاد شود، امکان کمناش قائم جان افزایش می یابد پس تنش مجاز کاهش می یابد.

$$\text{کنترل: } f_b = \frac{M}{S} \leq F'_b$$

تنش موجود با تنش مجاز مقایسه شده و اگر رابطه روبرو برقرار نبود، می توان عرض بال (b_f) که مضاربی از انتخاب می گردد) را افزایش داد تا ممان اینرسی مقطع افزایش یابد و رابطه برقرار شود.



(7-13) بررسی لزوم کاربرد سخت کننده های میانی:

از نظر محاسباتی: کاربرد سخت کننده لازم است. $\rightarrow \frac{h}{t_w} > 260$ اگر

از نظر اجرایی: محدودیت آیین نامه برای سخت کننده به منظور سهولت ساخت و حمل و نصب:

$$\frac{a}{h} < \min \left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{260}{h/t_w} \right]^2 \\ 3 \end{array} \right. \Rightarrow a = ? \text{ cm} \quad (\text{رابطه } 10-2-15, \text{ آیین نامه ایران})$$

از نظر اجرایی، استفاده از سخت کننده ها در هنگام جوشکاری حمل تیر ورق، از تغییر شکل جلوگیری می کنند.

نکته: اگر $\frac{h}{t_w} \leq 260$ و $f_v \leq F_v$ باشد می توان از سخت کننده های میانی استفاده نکرد. سخت کننده ها به برش کمک می کنند.

(8-13) کنترل برش: (با توجه به a بدست آمده از مرحله قبل)

$$\left[\begin{array}{l} F_v = \frac{F_y}{2.89} C_v \leq 0.4F_y \rightarrow \text{در پانل های ابتدایی و انتهایی و سوراخ ها) استفاده نشود. (رابطه } 10-2-14, \text{ آیین نامه ایران)} \\ F_v = \frac{F_y}{2.89} \left[C_v + \frac{1-C_v}{1.15\sqrt{1+(a/h)^2}} \right] \leq 0.4F_y \quad \text{اگر از میدان کششی استفاده شود. (رابطه } 10-3-4, \text{ آیین نامه ایران)} \end{array} \right.$$

توجه: اگر از اثر میدان کششی استفاده می شود، در این حالت جان تیر ورق باید به نحوی طراحی شود که تنش کششی خمشی ناشی از لنگر، موجود در صفحه جان از رابطه بند (9) بیشتر نشود.

* تعیین C_v :

$$\left[\begin{array}{l} \text{کماتش ارتجاعی و } 0.8 < C_v \leq \frac{315 \times 10^4 K_v}{F_y \left(\frac{h}{t_w} \right)^2} \\ \text{کماتش غیر ارتجاعی و } C_v > 0.8 \end{array} \right. \quad (\text{بند } 10-1-2-4, \text{ آیین نامه ایران})$$

برای تعیین C_v از رابطه اول استفاده می کنیم اگر مقدار C_v بزرگ تر از 0.8 نشد از رابطه دوم استفاده می کنیم.

* تعیین K_V :

K_V به کمک یکی از روابط زیر (بسته به مقدار $\frac{a}{h}$) بدست می آید:

$$K_V = 4 + \frac{5.34}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

اگر $\frac{a}{h} < 1$ باشد:

(بند ۱۰-۱-۲-۴، آیین نامه ایران)

$$K_V = 5.34 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$

اگر $\frac{a}{h} > 1$ باشد:

$$f_V = \frac{V_{\max}}{h \cdot t_w} \leq F_V \quad \text{کنترل برش در مقطع}$$

نکته: اگر رابطه $f_V \leq F_V$ برقرار نبود، در این صورت می توان یا ضخامت جان را افزایش دهیم (که اقتصادی نیست) و یا a (فواصل سخت کننده ها) را کاهش دهیم و مجدداً گام ۸ را تکرار کنیم.

9-13) کنترل تنش خمشی جان: (اثر متقابل خمش و برش در یک مقطع)

(رابطه ۱۰-۳-۸، آیین نامه ایران)

$$F_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 0.6F_y \\ \left(0.825 - 0.375 \frac{f_V}{F_V} \right) F_y \end{array} \right.$$

$C: \frac{h_w}{2} \rightarrow$ ارتفاع جان

برای تعیین f_V ، V برش در محل ممان است نه برش ماکزیمم در تکیه گاه.

I : ممان اینرسی کل مقطع

F_V : از رابطه بند ۸ محاسبه می شود

نکته: اگر رابطه برقرار نبود، مقدار a را کاهش می دهیم و از مرحله ۸ تکرار می کنیم و یا اینکه عرض بال را افزایش می دهیم.

10-13) کنترل کمانش قائم جان:

الف) در صورتیکه بال گیر دار نباشد و امکان چرخش وجود داشته باشد:

$$F_{bearing} \leq \left[2 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \right] \frac{703000}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$$

(رابطه ۱۰-۱-۱۱، AISC)

ب) در صورتیکه بال کاملاً گیر دار باشد در امکان چرخش نداشته باشد:

$$F_{bearing} \leq \left[5.5 + \frac{4}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \right] \frac{703000}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$$

(رابطه ۱۰-۱-۱۰، AISC)

نکته: در صورت عدم اطلاع از وضعیت گیر داری بال در چرخش، در جهت اطمینان حالت (الف) در نظر گرفته شود.

* روش محاسبه ی تنش فشاری:

(۱) در صورت عدم وجود سخت کننده زیر بار متمرکز، تنش فشاری زیر بار متمرکز برابر است با:

$$F_{bearing} = \frac{P}{\min(a, h)t_w} \leq F_{bearing}$$

(۲) تنش فشاری ناشی از بار گسترده:

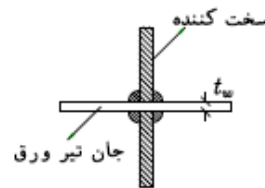
$$F_{bearing} = \frac{q}{t_w} \leq F_{bearing}$$

q: شدت بار

(11-13) محاسبه جوش سخت کننده ها:

$$f_{VS} = h \sqrt{\left[\frac{F_y}{1400} \right]^3} \quad (\text{رابطه ۱۰-۳-۷، آیین نامه ایران})$$

$$\tau_w \frac{f_{VS}}{n}$$



τ_w ← تنش برشی وارد بر هر خط جوش

n ← تعداد خط جوش

با فرض مناسبی برای a، R_w محاسبه می شود و از رابطه زیر در صد جوش منقطع منقطع می آید.

$$\text{درصد جوش منقطع} = \frac{\tau_w}{R_w} \times 100$$

نکته ۱: ضابطه $0.75t_w$ در تعیین بعد جوش بسیار مؤثر است.

نکته ۲: صفحات سخت کننده میانی باید به گونه ای به جان تیر ورق متصل شوند که بتوانند برشی برابر یا بیشتر از f_{VS} را تحمل کنند.

نکته ۳: اگر جوش منقطع استفاده می شود، فاصله خالص بین جوش ها نباید از $16t_w$ و یا 25 cm بیشتر شود. رابطه فوق بر اساس این نکته نوشته شده است. (بند ۱۰-۱-۳-۴، آیین نامه ایران)

نکته ۴: می توان از f_{VS} کاهش یافته در محاسبات استفاده کنیم. (الزامی نیست)

$$f_{VS} (\text{اصلاح شده}) = f_{VS} (\text{قدیمی}) \times \frac{f_V}{F_V}$$

نکته ۵: در نقاطی که تنش برشی ماکزیمم نیست از این رابطه استفاده می کنیم تا طول جوش منقطع را کاهش دهیم.

(12-13) کنترل های چشمه آخر:

$$\frac{\min(a, h)}{t_w} \leq \frac{2920}{\sqrt{f_V}} \rightarrow a = ?$$

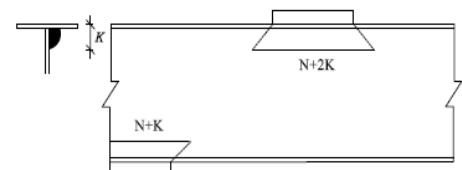
$$f_V = \frac{R}{h \cdot t_w}$$

a در چشمه های انتهایی از سایر چشمه ها کمتر است.

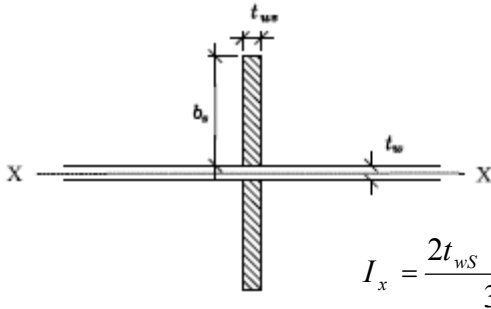
R در تکیه گاه های کناری عکس العمل تکیه گاه که با مقدار برش تکیه گاه برابر است.

تذکر: در تکیه گاه های میانی به جای عکس العمل تکیه گاه باید برش ماکزیمم را در رابطه f_V قرار دهیم.

13-13) ورق های زیر سری در محل بار متمرکز و تکیه گاه ها:

$$\left[\begin{array}{l} \frac{R}{(N+2K)t_w} \leq 0.75F_y; \text{ در محل بار متمرکز (رابطه (۱-۱۰-۸) AISC)} \\ \frac{R}{(N+K)t_w} \leq 0.75F_y; \text{ در تکیه گاه کناری (رابطه (۱-۱۰-۹) AISC)} \end{array} \right.$$


14-13) محاسبه ی ورق های سخت کننده میانی:



$$I_x = \frac{2t_{ws} \times b_s^3}{3}$$

بعنوان مثال وقتی دو سخت کننده داریم:

I_x ← ممان اینرسی ورق های سخت کننده نسبت به محور جان است که بایستی در رابطه زیر صدق کند:

$$I_x \geq \left(\frac{h}{50}\right)^4 \quad (\text{رابطه ۱۰-۳-۵، آیین نامه ایران})$$

سطح کل دو ورق هاشور خورده A_{St} از رابطه زیر بدست می آید:

$$A_{St} = \frac{1-C_V}{2} \left[\frac{a}{h} - \frac{\left(\frac{a}{h}\right)^2}{\sqrt{1+\left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right] \cdot y \cdot D \cdot (h \cdot t_w) \rightarrow A \geq A_{St} \rightarrow y = \frac{F_{yw}}{F_{yst}}$$

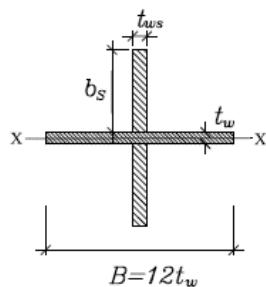
$$D = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{سخت کننده دو طرف} & (\text{رابطه ۱۰-۳-۶، آیین نامه ایران}) \\ 1.8 \rightarrow \text{نبشی در یک طرف} & (\text{بند ۱۰-۱-۳-۴، آیین نامه ایران}) \\ 2.4 \rightarrow \text{سخت کننده در یک طرف} & \end{cases}$$

نکته ۱: عملکرد یک سخت کننده به اندازه نصف عملکرد دو سخت کننده نیست.

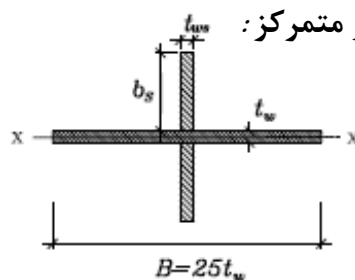
نکته ۲: چون a در چشمه آخر کمتر از a در چشمه های میانی است (گام ۱۲)، بنابراین A_{St} (مساحت سخت کننده های کناری) با مقدار a بدست آمده از (گام ۱۲) محاسبه می شود.

با A_{St} ، ابعاد سخت کننده (b_s, t_{ws}) را تعیین می کنیم و رابطه کماتش را نیز کنترل می کنیم.

$$\frac{b_s}{t_{ws}} \leq \frac{795}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{جدول ۱- آیین نامه ایران})$$



ورق اتکای کناری



ورق اتکای میانی

15-13) محاسبه ورق های اتکایی زیر بار متمرکز:

طراحی ورق های اتکایی در سطح هاشور خورده ، همانند طراحی ستون انجام می شود :

$$A_g = 2b_s \cdot t_s + B \cdot t_w \quad \leftarrow A_g \text{ سطح هاشور خورده}$$

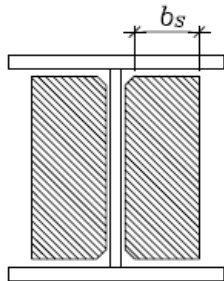
$$I_x = \frac{1}{12} t_s (b_s + t_w)^3 + \frac{1}{12} (B - t_s) t_w^3$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}}, \lambda = \frac{KL}{r} \Big|_x \xrightarrow{K=0.75, L=h} F_a = ?$$

$$f_a = \frac{P}{A_g} \leq F_a \quad \leftarrow P \text{ عکس العمل تکیه گاه یا بار متمرکز (برش نیست)}$$

نکته ۱: در صورتیکه رابطه روبرو برقرار نبود یا ابعاد سخت کننده را زیاد می کنیم و یا در صورت لزوم از سخت کننده های ۴ تایی استفاده می کنیم .

نکته ۲: سخت کننده ها از اعضای فشاری فرعی هستند زیرا خرابی آنها موجب خرابی سازه نمی شود و دائماً تحت تنش قرار ندارند. (F_a درجه ۲ است)



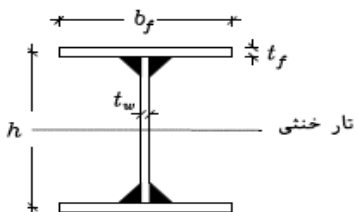
* ضابطه جاری شده تحت فشار

$$\geq \frac{P}{0.9F_y} \text{ مقدار سطحی که در تماس مستقیم با}$$

بال تیر قرار می گیرد ($b_s \times t_s$)

* تناسب عرض صفحه تقویت با ضخامت به منظور جلوگیری از کمانش موضعی :

$$\frac{b_s}{t_s} \leq \frac{795}{\sqrt{F_y}} \quad (\text{جدول ۱ - آیین نامه ایران})$$



(16-13) طراحی جوش بال به جان :

نکته ۱: تنش های برش در دو سطح عمود بر هم با یکدیگر برابر است .

$$\begin{cases} \tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t} \\ Q = Q_f = (b_f \cdot t_f) \left(\frac{h}{2} + \frac{t_f}{2} \right) \\ V_{\max} \rightarrow \text{واکنش تکیه گاه} \end{cases}$$

$$t = t_w \quad \longrightarrow$$

$$I = I_{\text{مقطع}}$$

$$\tau_w = \frac{\tau}{2}$$

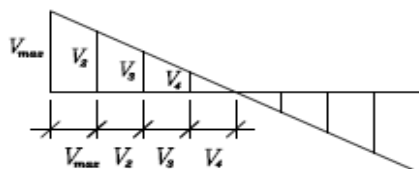
$$R_w = 650a$$

$$a = \begin{cases} \min(\text{جدول}) \\ \max = 0.75t_w \end{cases}$$

$$\text{درصد جوش منقطع} = \frac{\tau_w}{R_w} \times 100$$

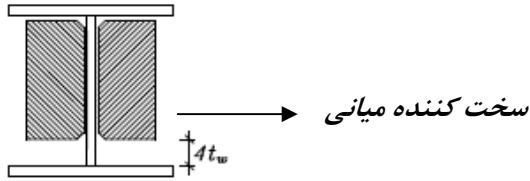
نکته ۲: این طرح جوش مربوط به تکیه گاه است و در سایر فواصل می توانیم این مقدار را کاهش دهیم چون برش

کاهش می یابد .

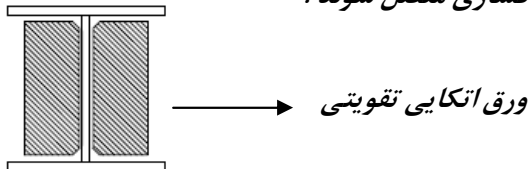


17-13) چند نکته در رابطه با تیر ورق ها:

۱) سخت کننده های میانی را می توان به فاصله ی تا 4 برابر ضخامت جان تیر بال کششی مقطع قرار داد.



۲) ورق های اتکایی تقریبی باید هم به بال کششی و هم به بال فشاری متصل شوند.



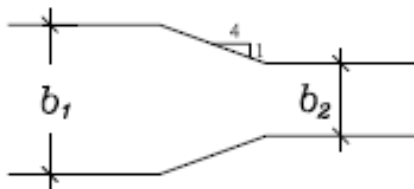
۳) روند تغییر ضخامت ورق بال تیر ورق:

$$\text{تغییر ضخامت ورق بال} \begin{cases} 1.5mm \xrightarrow{\text{if}} t \leq 14mm \\ 3.0mm \xrightarrow{\text{if}} t \leq 38mm \\ 6.0mm \xrightarrow{\text{if}} t > 38mm \end{cases}$$

مجاز نیستیم به یکباره ضخامت را کاهش دهیم و جوش دو ورق بال ضخامت های متفاوت به صورت نفوذی است.

۴) توصیه شده که اگر تیر ورق تحت تنش های خستگی است، بجای تقلیل ضخامت از تقلیل عرض بال استفاده شود. این نکته در مورد ورق های ساختمانی چندان حائز اهمیت نیست.

۵) اگر از تقلیل عرض بال استفاده می شود، بایستی شیب این تقلیل 1:4 تا 1:12 باشد (به صورت پله ای نباشد).



مثلاً کاهش 10 cm عرض بال در طول 40 cm انجام شود.

بادبندها

۱۴

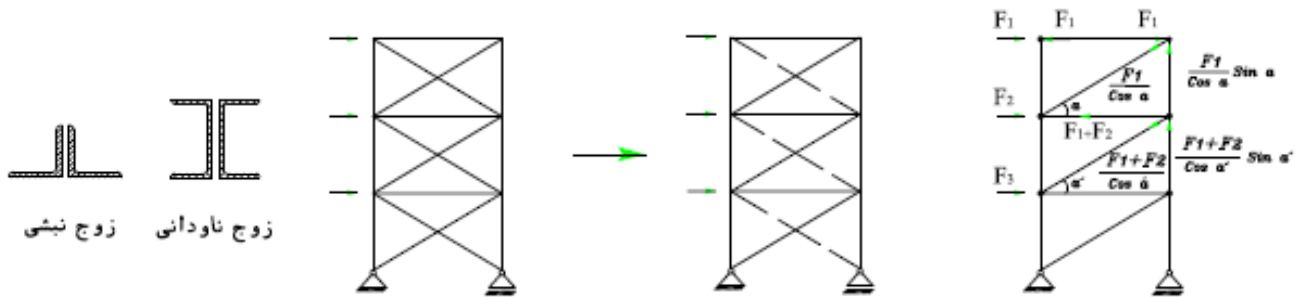
به طور کلی ، مهار بندها (بار بندها) به دو دسته تقسیم می شوند :

- ۱) بادبند هم مرکز یا همگرا (CBF): مثل بادبند به صورت ضربدری ، یک قطری ، خمشی و k شکل .
- ۲) بادبند برون محور یا واگرا (EBF).

1-14) بادبندهای هم محور یا همگرا :

2-14) تحلیل و طراحی مهار بندهای ضربدری :

الف) در این روش فرض بر این است که عنصر فشاری کمانه می کند ، پس عضو فشاری را حذف کرده و سازه معین حاصل شده را تحلیل می کنیم و طراحی را برای اعضای کششی انجام می دهیم و سپس از همین مقاطع برای عضو فشاری نیز استفاده می شود ، عضو را طوری طراحی می کنیم که شعاع ژیراسیون کم شود ، زیرا در کشش فقط نیاز داریم و لاغری اهمیت ندارد .



نیروی داخلی اعضای کششی ، $\frac{F_1}{\cos \alpha}$ ، $\frac{F_1 + F_2}{\cos \alpha'}$ ، بدست می آید .

نکته : در ویرایش اول آیین نامه 2800 ، این روش قابل قبولی بود ، در ویرایش دوم غیر قابل قبول است .

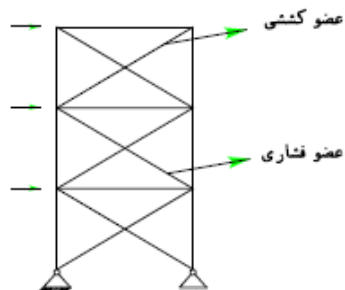
ب) منظور نمودن عضو فشاری و کششی در تحلیل و طراحی :

۱) تحلیل دقیق

۲) تحلیل تقریبی

۱) **تحلیل دقیق :** سازه نامعین را یا به صورت دستی و یا کامپیوتری دقیقاً تحلیل کرده و عضو کششی و فشاری را

کاملاً مجزا طراحی می کنیم .

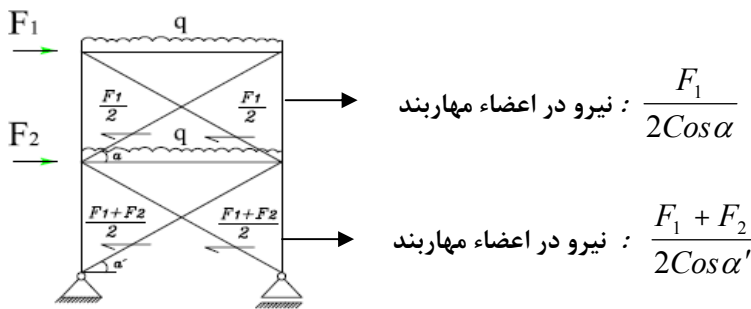


نکته : ترکیب بارهای طراحی به صورت است :

$$\text{ترکیب بارهای طراحی} \begin{cases} D + L & \text{نشانه رفت و برگشتی بودن نیروی زلزله است .} \\ 0.75(D + L \pm E) \end{cases}$$

نکته : اگر بار جانبی نیروی زلزله باشد ، هر عضو مهاربند باید برای حالت بحرانی کشش یا فشار طرح شود.

۲) تحلیل تقریبی : فرض می کنیم برش در هر طبقه را به طور مساوی بین دو مهاربند تقسیم کنیم .



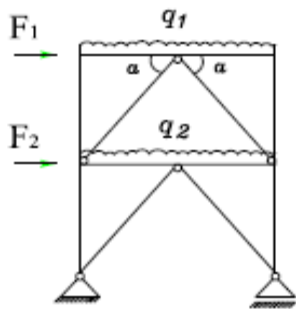
نکته : اگر جهت نیروی زلزله عوض شود ، عضو کشش فشاری می شود و بالعکس . برای حالت بحرانی طرح صورت می گیرد و برای دیگری کنترل می کنیم . (در حالت فشاری وضعیت بحرانی تراست و لاغری تعیین کننده است)

نکته : بار ثقلی بروی اعضاء مهاربند ضربداری اثری ندارد .

نکته : فرض مفصلی بودن اعضاء مهاربندی به شرط آن است که محور مرکز ثقل تمام اعضاء وارد بر گره از یک نقطه عبور می کند .

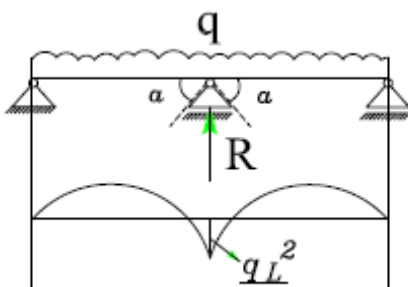
3-14 بادبندی های هشتی و هفتی :

در جایی که به دلیل محدودیت های معماری امکان استفاده از بادبندی ضربداری وجود ندارد ، از بادبند های هشتی استفاده می شود که بار ثقلی نیز یک نیروی فشاری در اعضاء مهاربند ایجاد می کند . پس سازه بایستی ناشی از بارهای ثقلی و جانبی جداگانه تحلیل شود .



الف) تحلیل تحت بار q : (بار ثقلی)

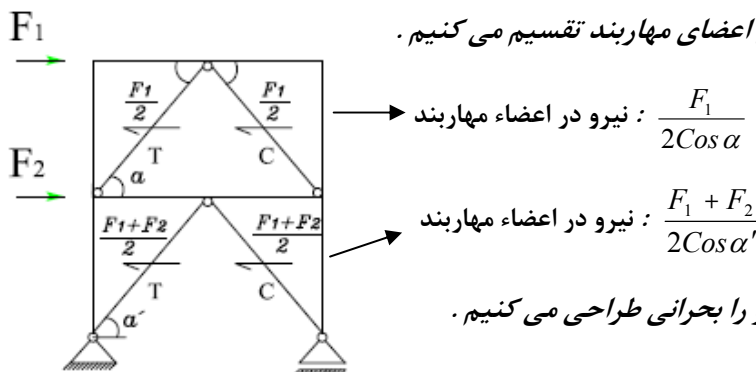
عکس العمل تکیه گاه میانی فرض شده در اعضاء مهاربند فشار ایجاد می کند .



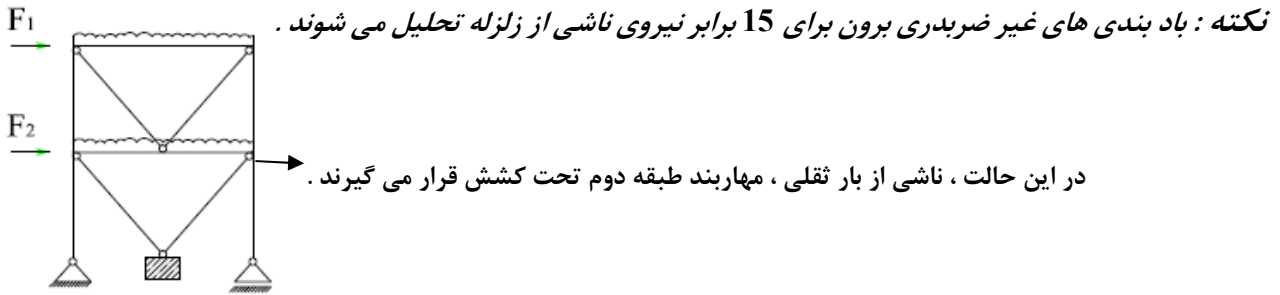
$$\text{نیروی فشاری اعضاء مهاربند به علت بار } q = \frac{R}{2 \sin \alpha}$$

ب) تحلیل برای نیروی های جانبی :

روش تقریبی برش طبقه را به طور مساوی بین اعضاء مهاربند تقسیم می کنیم .



حال با استفاده از ترکیب بارهای موجود ، عضو را بحرانی طراحی می کنیم .



نکته: باد بندی های غیر ضربدری برون برای 15 برابر نیروی ناشی از زلزله تحلیل می شوند.

در این حالت، ناشی از بار ثقلی، مهاربند طبقه دوم تحت کشش قرار می گیرند.

نکته: در سیستم های مهاربندی هفتی و هشتی برون محور و درون محور، مهاربندهایی که در آن اعضاء مهار علاوه بر بار زلزله تحت اثر بار ثقلی نیز دارای نیرو هستند لازمست:

الف) طراحی اعضاء مهاربند برای ترکیب بار بحرانی از ترکیب بار مختلف انجام شود.

ب) تیر های مهاربندی علاوه بر بار ثقلی تحت بار زلزله نیز دارای لنگر بوده و طراحی تیر کف برای ترکیب بار بحرانی از ترکیبات بار مختلف انجام می شود. در این حالت توجه به این نکته ضروری است که چنانچه لنگر های تیر در حالت عدم اجرای مهاربند بحرانی تر باشد لنگر طراحی تیر بر این اساس تعیین و مبنای طراحی قرار می گیرد:

$$\text{ترکیبات بار: } \begin{cases} 1) D + L \\ 2) 0.75(D + L + E) \\ 3) 0.75(D + L - E) \end{cases}$$

14-4) ضوابط کلی طراحی بادبند های همگرا:

۱) طبق بند ۸ - ۲ - الف از پیوست 2 استاندارد 2800، لاغری اعضاء که به صورت فشاری طراحی می شوند نباید از $\frac{6025}{\sqrt{F_y}}$ تجاوز کند. مگر در ساختمان های 2,1 طبقه و سازه های غیر ساختمانی. اگر لاغری جوابگو نباشد، طبق روال فلورچات تنش فشاری مجاز اولیه، F_a ، باید عوض شده و مقدار کوچکتری در نظر گرفته شود.

۲) شیوه اجرایی بادبندهای غیر ضربدری، به صورتی که معمولاً، اعضاء مهار در وسط به هم متصل می شوند، جهت لحاظ نموده این نکته، مقادیر K_x, K_y ، به ترتیب برابر $\frac{1}{2}$ و $\frac{2}{3}$ پیشنهاد می شوند.

۳) بادبندهای غیر ضربدری هم محور برون محور برای 1.5 برابر نیروی ناشی از زلزله طرح می شوند.

۴) طبق بند ۸ - ۲ - ب از پیوست 3 استاندارد 2800، تنش مجاز فشاری جهت محاسبات اعضاء مهاربندی مطابق رابطه زیر کاهش داده شود:

$$F_{as} = \beta.F_a$$

β : ضریب کاهش تنش طبق رابطه روبرو:

$$\beta = \frac{1}{\left[1 + \frac{KL/r}{2C_c}\right]} \quad C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{F_y}}$$

۵) محدودیت های زیر، در بند ۱۰ - ۱ - ۵ - ۴ مبحث 10، ارائه است باید اعمال گردد:

پروفیل ها با گذراندن قطعات لقمه (فیلر) در بین آنها به یکدیگر متصل گردند، فواصل لقمه ها باید طوری باشد که لاغری هر نیمرخ (لاغری حداکثر)، در قسمتی که بین دو لقمه قرار دارد، برابر 0.7 لاغری کل بادبند باشد. (بند ۸ - ۲ - ت از پیوست ۲ استاندارد 2800 ایران)

۶) برطبق آیین نامه در صورتی که مهاربندهای ساختمانی یک طبقه یا دو طبقه بتواند حداقل $0.4R$ برابر نیروی زلزله را تحمل کند، می توان از ضوابط بند 5 صرفنظر کرد.

۷) انواع مهاربند های هم محور که در ساختمان های یک یا دو طبقه بکار می روند، می توانند معیار های لاغری را بر آورده نمایند، به شرطی که مقاومت آنها حداقل مساوی $R_{۰.۸}$ برابر نیروی زلزله آیین نامه ای باشد.

۸) اتصال مهاربندها باید حداقل ۳ مقدار زیر باشد:

الف) مقاومت کششی مهاربند.

ب) ۲.۸ برابر نیروی مهاربند حاصل از زلزله و بار های قائم.

ج) حداکثر نیروی که توسط سیستم به مهاربند اعمال می گردد.

5-14) نحوه محاسبه فواصل لقمه های بادبند:

$$\text{کنترل لاغری عضو} \rightarrow \begin{cases} r_x \\ r_y \end{cases} \rightarrow \begin{cases} K_x \\ K_t \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \lambda_x \\ \lambda_y \end{cases} \Rightarrow \lambda_{\max} \leq \frac{6025}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_{\max} = \frac{K_y L}{r_y} = \frac{\frac{2}{3} L}{r_y} \longrightarrow \lambda' = \frac{1 \times L}{r'_y} \longrightarrow \lambda' \leq 0.7 \lambda_{\max} \Rightarrow \frac{L'}{r'_y} \leq 0.7 \frac{\frac{2}{3} L}{r_y}$$

$$L \leftarrow \text{طول بادبند} \quad \rightarrow L' \leq \frac{7}{15} L \frac{r'_y}{r_y}$$

$L' \leftarrow$ فواصل قید

$r_y \leftarrow$ شعاع ژیراسیون مقطع

$r_{\min} = r'_y \leftarrow$ شعاع ژیراسیون حداقل مقطع

6-14) بادبند های برون محور یا واگرا:

در بادبند های واگرا با پارامتر e نمایش داده می شوند، طول پیوند هستند به طوری رفتار تیرها حالت غیر ارتجایی پیدا می کند و با توجه به خمیری شدن این ناحیه تیرها، قابلیت جذب انرژی این بادبندها زیاد بوده و از این رو برای میرایی نیروی حاصل از زلزله مناسب هستند. در این حالت با توجه به شرایط زیر، عملکرد تیر پیوند می تواند یا خمشی باشد:

if $e < 1.6 \frac{M_s}{V_s} \rightarrow$ تسلیم برشی اتفاق می افتد

استفاده از تیرهای پیوند کوتاه ($e < 1.6 \frac{M_s}{V_s}$) که در برش تسلیم می شوند، بعلت ایجاد حداکثر مقاومت و سختی و ظرفیت جذب انرژی ترجیح داده می شوند.

if $1.6 \frac{M_s}{V_s} < e < 3 \frac{M_s}{V_s} \rightarrow$ تسلیم خمشی و برشی اتفاق می افتد

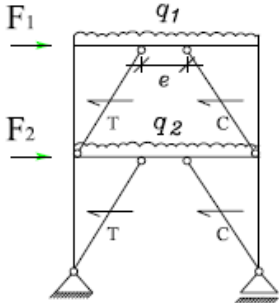
if $e > 3 \frac{M_s}{V_s} \rightarrow$ تسلیم خمشی اتفاق می افتد

چنانچه طول تیر پیوند از $1.6 \frac{M_s}{V_s}$ بیشتر از قابهای EBF که تیر پیوند به ستون متصل است، استفاده شود.

$$\begin{cases} V_s = 0.55 F_y (d \cdot t_w) & \text{برش خمیری} \\ M_s = Z \cdot F_y & \text{لنگر خمیری} \end{cases} \quad (\text{رابطه } ۱۰ - ۳ - ۶، ایران)$$

مقاومت حاکم: $Min \begin{cases} V_s \\ M_s \end{cases}$

در این حالت طرح به روش خمیری است، اعضای مهاربند بر اساس نیروی برش که ناحیه پیوند تحمل می کند طرح می شوند و اگر بار ثقلی داشته باشیم، صرفنظر می کنیم، زیرا چندان اهمیتی در طراحی ما ندارد در صورت وجود نیروی محوری ظرفیت خمشی مقطع کاهش پیدا می یابد و برابر:



$$\begin{cases} M_{rs} = Z(F_y - F_a) \\ F_a \geq 0.15F_y \end{cases}$$

می گردد.

نکته: در این حالت V_s که از طراحی تیر پیوند حاصل می شود نباید در ضریب 1.5 برای طراحی بادبند ضرب شود.

7-14 ضوابط خاص ناحیه پیوند:

- ۱) در هیچ حالتی نباید در طول پیوند، جان تیر دارای سوراخ باشد.
- ۲) استفاده از ورق تقویت جان به علت عدم مشارکت این ورق در رفتار ارتجاعی مناسب نیست.
- ۳) برای جلوگیری از دوران آیین نامه UBS محدودیت های زیر را ارائه داده است:

$$\begin{cases} e \leq 1.6 \frac{M_s}{V_s} \Rightarrow 0.09(rad) \\ e \geq 3 \frac{M_s}{V_s} \Rightarrow 0.03(rad) \end{cases}$$

- ۴) برای جلوگیری از کمانش برش جان از سخت کننده های قائم استفاده شود. برای تیر های با ارتفاع کمتر از ۶۰ cm می توان سخت کننده ها را در یک طرف جان قرار داد. محاسبه آنها به صورت زیر است:

الف) سخت کننده در دو نقطه پیوند:

ارتفاع آنها برابر ارتفاع جان تیر است و حتماً باید در دو طرف اجرا شوند:

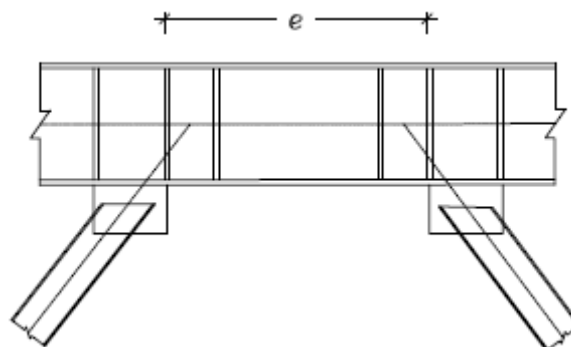
(ضخامت) $t_s \geq \max(0.75t_w, 10mm)$

(عرض) $b_s \geq \frac{b_f}{2} - t_w$

ب) سخت کننده های میانی:

حداقل ضخامت این سخت کننده ها 10 mm و عرض آنها مشابه به سخت کننده هایی انتهایی است.

$$\begin{cases} t_s \geq 10mm \\ b_s \geq \frac{b_f}{2} - t_w \end{cases}$$



فاصله سخت کننده ها به صورت زیر تعیین می شود :

1) $\Delta_m = 0.4R \times \Delta$ تغییر مکان تشدید یافته

2) $\Delta_L = \frac{P.L}{A.E}$ مهاربند ها

3) $\Delta = \Delta_L \cdot \cos \theta$ طبقه

۴) $\theta = \frac{\Delta_m}{h} \longrightarrow \gamma = \frac{L}{e} \times \theta$

if $\gamma < 0.03 \rightarrow a \leq 56t_w - \frac{h}{5}$ ← فواصل سخت کننده های میانی

if $0.03 < \gamma < 0.6 \rightarrow$ از درون یابی بدست می آید ← ارتفاع طبقه

if $\gamma > 0.09 \rightarrow a \leq 38t_w - \frac{d}{5}$ ← دوران طبقه (drift)

Δ_m ← تغییر مکان نسبی هر طبقه (drift)

γ ← دوران طول پیوند

L ← طول دهانه تیر

e ← طول پیوند

d ← ارتفاع پیوند

نکته : اتصال سخت کننده به جان و بال با جوش گوشه انجام می شود و ظرفیت جوش از رابطه زیر بدست می آید :

$$F_w = \begin{cases} A_{st} \times F_y \rightarrow \text{جوش جان} \\ \frac{1}{4} A_{st} \times F_y \rightarrow \text{جوش بال} \end{cases}$$

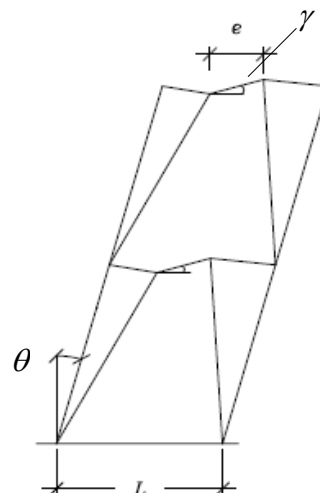
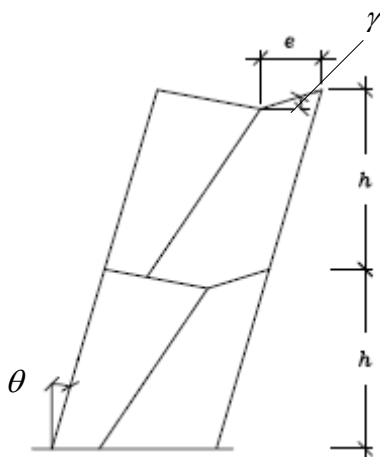
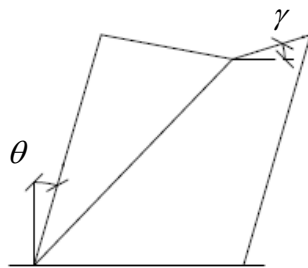
A_{st} : سطح مقطع سخت کننده

F_w : ظرفیت جوش

توصیه :

(۱) زاویه مهار با افق بین ۳۵ تا ۶۰ انتخاب گردد .

(۲) طول اولیه پیوند $L \geq 0.15$ انتخاب گردد . γ



8-14) برگه طراحی بادبندها :

برگه طراحی اعضای مهاربندی (ضربداری)					
بادبند:		شماره بادبند در تحلیل:		طبقه:	
مشخصات مقطع :			نیروی طراحی		
F_y	$r_y (cm)$	$r_x (cm)$	$A (cm^2)$	$L (cm)$	$P(t)$
تنش های مجاز					
F_a (kg/cm^2)	$\lambda_{max} \leq \frac{6025}{\sqrt{F_y}} = 123$	λ_{max}	$\lambda_y = \left(\frac{KL}{r} \right)_y$	$\lambda_x = \left(\frac{KL}{r} \right)_x$	K_x, K_y
	O.K.				
Ratio (ETABS)	Ratio	$(F_a)_s$ (ETABS)	$(F_a)_s$ (kg/cm^2)	$B = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{max}}{2C_c}}$	f_a (kg/cm^2)
$l_1 (cm)$		r_{min}	$\frac{l_1}{r_{min}} \leq 0.7 \lambda_{max}$		
			تعیین فاصله بین لقمه ها l_1		

برگه طراحی اتصال مهاربند(ضربداری)						
طراحی اتصال مهاربند به تیر و ستون						
مقطع بادبند			P_d (ton)		نیروی طراحی	
مقطع تیر			$P_1 = A_{brace} \cdot F_y$	$P_2 = (0.4R)P_{EQ}$	$P_d = \min \{P_1, P_2\}$	
مقطع ستون						
تعیین طول جوش جهت اتصال عضو مهاري به ورق اتصال			$D_{min}(mm)$	$D_{max}(mm)$	D (mm)	L (cm)
طول تیر (cm)	طول ستون (cm)	θ (deg)	$P_{d,x}$ (ton)	$P_{d,y}$ (ton)	M_x (ton.m)	M_y (ton.m)
L_B (cm)	طول صفحه اتصال به تیر	L_C (cm)	طول صفحه اتصال به ستون	$D_{min}(mm)$	$D_{max}(mm)$	D (mm)
کنترل تنش در اتصالات						
تنش	f_v (kg/cm)	f_b (kg/cm)	$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2}$	$R_w = 1.7 \cdot 668D$	$f_r \leq R_w$	
صفحه اتصال به تیر					O.K.	
صفحه اتصال به ستون					O.K.	
کنترل ابعاد صفحه اتصال						
2)کنترل کمانش ورق اتصال				1) کنترل تنش کششی در عرض موثر ویتمور		
l (cm)	kl/r	F_a (kg/cm ²)	$P_{sc} = 1.7F_a \cdot w \cdot t_p$	$P_d \leq P_{sc}$	w (cm)	$P_{st} = F_y \cdot w \cdot t_p$
				O.K.		$P_d \leq P_{st}$
						O.K.
4)کنترل کمانش لبه آزاد ورق اتصال				3)کنترل برش قالبی در کشش		
$\frac{L}{t_p} \leq 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	L (cm)	Check		$P_1 = A_v F_v + A_t F_t$	$P_d \leq P_1$	
		O.K.			O.K.	
5) کنترل ترکیب تنش ها						
تنش	τ_{xy} (kg/cm ²)	σ_x (kg/cm ²)	σ_y (kg/cm ²)	σ_h (kg/cm ²)	$\sigma_h \leq F_y$	USE
صفحه اتصال به تیر					O.K.	
صفحه اتصال به ستون					O.K.	
طراحی ورق اتصال میانی اعضا مهاري بادبند						
P_d (ton)	D (mm)	طول جوش هر طرف تک پروفیل	طول ورق	عرض ورق	USE	

برگه طراحی اعضای مهاربندی (شورون ۷)					
بادبند:		شماره بادبند در تحلیل:		طبقه:	
مشخصات مقطع :			نیروی طراحی (ETABS)		
F_y	$r_y (cm)$	$r_x (cm)$	$A (cm^2)$	$L (cm)$	$P(t)$
تنش های مجاز					
F_a (kg/cm ²)	$\lambda_{max} \leq \frac{6025}{\sqrt{F_y}} = 123$	λ_{max}	$\lambda_y = \left(\frac{KL}{r}\right)_y$	$\lambda_x = \left(\frac{KL}{r}\right)_x$	K_y, K_x
	O.K.				
Ratio (ETABS)	Ratio	$F_a)_s$ (ETABS)	$F_a)_s$ (kg/cm ²)	$B = \frac{1}{1 + \lambda_{max} / 2C_c}$	f_a (kg/cm ²)
کنترل مقطع با ترکیب بار آیین نامه 2800					
Ratio	f_a (kg/cm ²)	$F_a)_s$ (kg/cm ²)	نیروی طراحی	$P_{EQ}(t)$	
			$P = 1.5P_{EQ} = 102.02(ton)$		
$l_1 (cm)$	r_{min}	$\frac{l_1}{r_{min}} \leq 0.7 \lambda_{max}$		تعیین فاصله بین لقمه ها l_1	

برگه طراحی اتصال مهاربند(شورون)						
طراحی اتصال مهاربند به تیر و ستون						
مقطع بادبند		$P_d (ton)$		نیروی طراحی		
مقطع تیر		$P_1 = A_{Brace} \cdot F_y$	$P_2 = (0.4R)P_{EQ}$	$P_d = \min \{P_1, P_2\}$		
مقطع ستون						
تعیین طول جوش جهت اتصال عضو مهاری به ورق اتصال		$D_{min}(mm)$	$D_{max}(mm)$	$D (mm)$	$L (cm)$	
طول تیر (cm)	طول ستون (cm)	$\theta (deg)$	$P_{d,x}(ton)$	$P_{d,y}(ton)$	$M_x (ton.m)$	$M_y (ton.m)$
$L_B (cm)$	طول صفحه اتصال به تیر	$L_C (cm)$	طول صفحه اتصال به ستون	$D_{min}(mm)$	$D_{max}(mm)$	$D (mm)$
کنترل تنش در اتصالات						
تنش	$f_v (kg/cm)$	$f_b (kg/cm)$	$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2}$	$R_w = 1.7 \cdot 668D$	$f_r \leq R_w$	
صفحه اتصال به تیر					O.K.	
صفحه اتصال به ستون					O.K.	
کنترل ابعاد صفحه اتصال						
2) کنترل کمانش ورق اتصال				1) کنترل تنش کششی در عرض موثر ویتور		
$l (cm)$	kl/r	$F_a^a (kg/cm^2)$	$P_{zc} = 1.7F_a \cdot w \cdot t_p$	$P_d \leq P_{sc}$	$w (cm)$	$P_{st} = F_y \cdot w \cdot t_p$
				O.K.		$P_d \leq P_{st}$
						O.K.
4) کنترل کمانش لبه آزاد ورق اتصال				3) کنترل برش قالبی در کشش		
$\frac{L}{t_p} \leq 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$L (cm)$	Check		$P_1 = A_v F_v + A_t F_t$	$P_d \leq P_1$	
		O.K.			O.K.	
5) کنترل ترکیب تنش ها						
تنش	$\tau_{xy} (kg/cm^2)$	$\sigma_x (kg/cm^2)$	$\sigma_y (kg/cm^2)$	$\sigma_h (kg/cm^2)$	$\sigma_h \leq F_y$	USE
صفحه اتصال به تیر					O.K.	
صفحه اتصال به ستون					O.K.	

ادامه برگه طراحی اتصال مهاربند(شورون)						
طراحی اتصال مهاربند به تیر						
مقطع بادبند			نیروی طراحی			
			$P_d (ton)$	$P_1 = A_{brace} \cdot F_y$	$P_2 = (0.4R)P_{EQ}$	$P_d = \min \{P_1, P_2\}$
مقطع تیر						
تعیین طول جوش جهت اتصال			$D_{min}(mm)$	$D_{max}(mm)$	$D(mm)$	$L(cm)$
عضو مهاری به ورق اتصال						
طول تیر (cm)	طول ستون (cm)	$\theta(deg)$	$P_d)_x(ton)$	$M_x(ton.m)$		
طول صفحه اتصال به تیر $L_B(cm)$			$D_{min}(mm)$	$D_{max}(mm)$	$D(mm)$	
کنترل تنش در اتصالات						
تنش	f_v (kg/cm)	f_b (kg/cm)	$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2}$	$R_w = 1.7 \cdot 668D$	$f_r \leq R_w$	
صفحه اتصال به تیر					O.K.	
کنترل ابعاد صفحه اتصال						
2) کنترل کماتش ورق اتصال				1) کنترل تنش کششی در عرض موثر ویتور		
$l(cm)$	kl/r	F_a (kg/cm ²)	$P_{sc} = 1.7F_a \cdot w \cdot t_p$	$P_d \leq P_{sc}$	$w(cm)$	$P_{st} = F_y \cdot w \cdot t_p$
				O.K.		$P_d \leq P_{st}$
						O.K.
4) کنترل کماتش لبه آزاد ورق اتصال				3) کنترل برش قالبی در کشش		
$\frac{L}{t_p} \leq 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$L(cm)$	Check		$P_1 = A_v F_v + A_t F_t$	$P_d \leq P_1$	
		O.K.			O.K.	
5) کنترل ترکیب تنش ها						
تنش	τ_{xy} (kg/cm ²)	σ_x (kg/cm ²)	σ_y (kg/cm ²)	σ_h (kg/cm ²)	$\sigma_h \leq F_y$	
صفحه اتصال به تیر					O.K.	

۱۵

قطعات با لنگر لختی متغیر

قطعه ای با لنگر لختی متغیر خواهد بود که:

- ۱) حداقل دارای یک محور تقارن قائم بر صفحه خمش (در صورتی که تحت خمش قرار گیرند) باشد.
- ۲) سطح مقطع بال ها با یکدیگر برابر و در طول قطعه نیز ثابت باشد.
- ۳) عمق قطعه بر طبق رابطه زیر و به صورت خطی تغییر کند:

$$d = d_0 \left(1 + \gamma \frac{z}{d_L} \right) \quad (1-15)$$

در این رابطه:

d_0 : عمق قطعه در انتهای کوچکتر

d_L : عمق تیر در انتهای بزرگتر

z : فاصله از انتهای کوچکتر

$$\gamma = \frac{d_L - d_0}{d_0} \leq 0.268 \frac{L}{d_0}, 6.0 \quad (2-15)$$

L : فاصله بین دو مقطع مهار شده (اندازه بین مراکز ثقل دو مهار قطعه) است.

۱-۱۵) تنش مجاز کششی قطعات با لنگر لختی متغیر بر اساس مندرجات فصل ۲ معین خواهد شد.

۲-۱۵) تنش مجاز فشاری قطعات با لنگر لختی متغیر، هرگاه در امتداد محور قطعه بار شده باشد و با احتساب سطح مقطع ناخالص آن ها به صورت زیر معین می شود:

الف) هرگاه ضریب لاغری موثر S قطعه، کوچکتر از C_c باشد:

$$\left[C_c = \pi \sqrt{\frac{2E}{F_y}} \right]$$

$$F_{ay} = \frac{\left(1 - \frac{S^2}{2C_c^2} \right) F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3S}{8C_c} - \frac{S^2}{8C_c^3}} \quad (3-15)$$

ب) هرگاه ضریب لاغری موثر S ، بزرگتر از C_c باشد:

$$F_{ay} = \frac{12\pi^2 \cdot E}{23S^2} \quad (4-15)$$

در این روابط $S = \frac{KL}{r_{0y}}$ است هرگاه، کمانش حول محور ضعیف مطرح باشد و $S = \frac{K_\gamma L}{r_{0x}}$ خواهد بود؛ هرگاه

کمانش حول محور قوی مطرح باشد.

K ← ضریب کمانشی برلی قطعه منشوری

K_γ ← ضریب کمانشی برای قطعه با لنگر متغیر (که باید از تحلیل بدست آید).

r_{0x} ← شعاع ژیراسیون محور قوی مقطع در انتهای کوچکتر قطعه (با لنگر لختی متغیر)

r_{0x} ← شعاع ژیراسیون محور ضعیف مقطع در انتهای کوچکتر قطعه.

۳-۱۵) تنش خمشی در تارهای خارجی یک قطعه با لنگر لختی متغیر نباید از مقادیر زیر بیشتر شود.

$$F_{by} = \frac{2}{3} \left[1 - \frac{F_y}{6B\sqrt{F_{sy}^2 + F_{wy}^2}} \right] F_y \leq 0.6F_y \quad (5-15)$$

و اگر $F_{by} \leq \frac{F_y}{3}$ شود، تنش مجاز خمشی از رابطه زیر به دست می آید:

$$F_{by} = B\sqrt{F_{sy}^2 + F_{wy}^2} \quad (6-15)$$

بنابراین روابط زیر را خواهیم داشت:

$$F_{sy} = \frac{8.25 \times 10^5}{h_s \cdot L \cdot d_0} A_f \quad (7-15)$$

$$F_{wy} = \frac{117.2 \times 10^5}{\left(\frac{h_w \cdot L}{r_{T_0}} \right)^2} \quad (8-15)$$

$$h_s = 1 + 0.023\gamma \sqrt{\frac{L \cdot d_0}{A_f}} \quad \text{در روابط فوق:}$$

$$h_w = 1 + 0.00385\gamma \sqrt{\frac{L}{r_{T_0}}}$$

r_{T_0} : شعاع ژیراسیون در انتهای کوچکتر و مربوط به مقطعی متشکل از بال فشاری و $\frac{1}{3}$ جان و حول محور جان

است.

B : به صورت زیر تعیین می شود:

الف: هرگاه در سه بخش از قطعه که با مهار جانبی از هم جدا شده اند و فواصل مهارها (یا طول بخش ها) تقریباً با هم برابر باشد؛ لنگر حداکثر M_2 در بخش میانی قرار گرفته، M_1 لنگر بزرگتر در انتهای یکی از سه بخش (یا در یکی از دو انتهای قطعه) باشد:

$$B = 1 + 0.37 \left(1 + \frac{M_1}{M_2} \right) + 0.5\gamma \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \geq 1.0 \quad (9-15)$$

ب: هرگاه تنش خمشی بزرگتر f_{b2} ؛ در انتهای بزرگتر قطعه متشکل از دو بخش که با مهار جانبی از هم جدا شده اند و دارای طول نسبتاً برابری هستند قرار داشته و f_{b1} تنش خمشی در انتهای بزرگتر باشد:

$$B = 1 + 0.58 \left(1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) - 0.7\gamma \left(1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) \geq 1.0 \quad (10-15)$$

ج: هرگاه تنش خمشی بزرگتر f_{b2} ؛ در انتهای کوچکتر قطعه متشکل از دو بخش که با مهار جانبی از هم جدا شده اند و دارای طول نسبتاً برابری هستند قرار داشته و f_{b1} تنش خمشی در انتهای بزرگتر باشد:

$$B = 1 + 0.55 \left(1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) + 2.2\gamma \left(1 + \frac{f_{b1}}{f_{b2}} \right) \geq 1.0 \quad (11-15)$$

در روابط بالا $\gamma = \frac{d_L - d_0}{d_0}$ و برای بخشی محاسبه خواهند شد که تنش حداکثر خمشی در آن بخش قرار دارد.

د: هرگاه تنش خمشی در انتهای کوچک قطعه برابر صفر باشد:

$$B = \frac{1.75}{1 + 0.25\sqrt{\gamma}} \quad (12-15)$$

در این رابطه $\gamma = \frac{d_L - d_0}{d_0}$ برای قطعه منتهی به تنش خمشی صفر محاسبه خواهد شد.

۴-۱۵) در این مقاطعات تنش مجاز برشی به کمک بند (۶-۶) معین خواهد شد.

۵-۱۵) مقاطعات با لنگر لختی متغیر که تحت اثر لنگر خمشی و نیروی محوری توأم قرار دارند، باید طوری انتخاب شوند که دو رابطه زیر به صورت همزمان صادق باشد:

$$\left(\frac{f_{a0}}{F_{ay}}\right) + \frac{C'_m}{\left(1 + \frac{f_{a0}}{F'_{ey}}\right)} \left(\frac{f_{bL}}{F_{by}}\right) \leq 1.0 \quad (۱۳-۱۵)$$

$$\frac{f_{a0}}{0.6F_y} + \frac{f_b}{F_{by}} \leq 1.0$$

در صورتی که $\frac{f_{a0}}{F_{ay}} \leq 0.15$ باشد، ارضاء شدن تک رابطه نیز کافی است:

$$\frac{f_{a0}}{F_{ay}} + \frac{f_{bL}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (۱۴-۱۵)$$

در این روابط F'_{ey} تنش مجاز آلر و برابر مقدار زیر است:

$$F'_{ey} = \frac{12\pi^2 E}{23 \left(\frac{K_\gamma L_b}{r_{b0}}\right)^2} \quad (۱۵-۱۵)$$

L_b : طول بدون مهار قطعه در صفحه خمشی

r_{b0} : شعاع ژیراسیون در انتهای کوچکتر قطعه

C'_m : ضریبی است که بصورت زیر معین می شود:

الف: اگر دو انتها قطعه به آن یک منحنی خمشی را اعمال کنن و تنشهای خمشی دو انتها تقریباً با هم برابر باشد:

$$C'_m = 1 + 0.1 \left(\frac{f_{a0}}{F'_{ey}}\right) + 0.3 \left(\frac{f_{a0}}{F'_{ey}}\right)^2 \quad (۱۶-۱۵)$$

ب: اگر تنش خمشی در انتهای کوچکتر تقریباً برابر صفر باشد:

$$C'_m = 1 - 0.9 \left(\frac{f_{a0}}{F'_{ey}}\right) + 0.6 \left(\frac{f_{a0}}{F'_{ey}}\right)^2 \quad (۱۷-۱۵)$$

ج: اگر تیر ستون عضوی از یک قاب با امکان جابجایی باشد $C'_m = 0.85$ خواهد شد.

اگر $\frac{KL}{r} \geq C_c$ و تنش های مرکب در قطعه در حال افزایش باشد، می توان f_{a0} را با f_a و f_{bL} را با f_b در

روابط (۱۳-۱۵) و (۱۴-۱۵) جایگزین کرد.

۱۶

طراحی در برابر خستگی

قطعاتی که تحت بار خستگی آور قرار می گیرند، امکان خستگی آنها به صورت شکستگی وجود دارد. به این ترتیب کنترل تنش آنها با استفاده از مندرجات این بخش الزامی است.

انواع بارهای خستگی آور به صورت مندرجات جدول (۱-۱۸) خواهد بود:

جدول (۱-۱۸) انواع بارهای خستگی آور

تا	از	وضعیت بارگذاری
100000**	20000	نوع ۱
500000***	100000	نوع ۲
2000000****	500000	نوع ۳
	بیشتر از ۲۰۰۰۰۰۰	نوع ۴

* تقریباً معادل ۲ بار در هر روز برای ۲۵ سال

** تقریباً معادل ۱۰ بار در هر روز برای ۲۵ سال

*** تقریباً معادل ۵۰ بار در هر روز برای ۲۵ سال

**** تقریباً معادل ۲۰۰ بار در هر روز برای ۲۵ سال

۱۷

طراحی سازه های خرابایی

جداول نیمرخ های ساختمانی

علائم بکار رفته در جداول پیوست دارای معانی زیر می باشد :

A : سطح مقطع

a : ضلع نبشی

b_f : پهنای بال در نیمرخ ها

d : ارتفاع نیمرخ ، قطر میلگرد

t_w : ضخامت جان در نیمرخ ها (مطابق شکل)

t_f : ضخامت بال در نیمرخ ها (مطابق شکل)

t : ضخامت نبشی

e : فاصله مرکز ثقل تا پشت جان در نیمرخ های **ناودانی** ، **نبشی و سپری** (مطابق شکل)

G : وزن یک متر طول نیمرخ

h_1 : فاصله بین انتهای دو ماهیچه جان و بال در روی بال (مطابق شکل)

I_x : لنگر لختی مقطع نسبت به محور

I_y : لنگر لختی مقطع نسبت به محور

I_p : لنگر لختی قطبی نسبت به مرکز ثقل مقطع

J : ضریب ثابت پیچشی

C_w : ضریب ثابت تابیدن

Q : لنگر سطح مقطع نسبت به محور $X-X$

r, r_1, r_2, r_3 : شعاع انحنا در نیمرخ ها (مطابق شکل)

r_x : شعاع ژیراسیون مقطع نسبت به محور $X-X$

r_y : شعاع ژیراسیون مقطع نسبت به محور $Y-Y$

r_z : شعاع ژیراسیون مقطع نسبت به محور $Z-Z$

r_v : شعاع ژیراسیون مقطع نسبت به محور $V-V$

S : فاصله مرکز برش تا سطح جان در نیمرخ ناودانی (مطابق شکل)

U : سطح رنگ آمیزی بر حسب متر مربع به ازاء متر طول نیمرخ

$$S_x = \frac{I_x}{C_x} \quad X-X \text{ محور نسبت به محور}$$

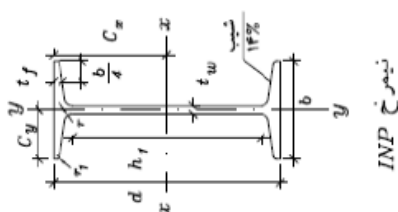
C_x) فاصله دورترین تار نسبت به محور X

$$S_y = \frac{I_y}{C_y} \quad Y-Y \text{ محور نسبت به محور}$$

C_y) فاصله دورترین تار نسبت به محور Y

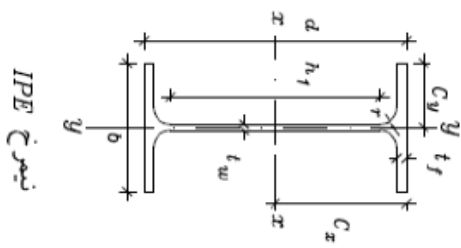
* علامت ستاره در جداول مربوط به نیمرخ های غیر استاندارد است .

نیمرخ	ابعاد							G Kg	A cm ²	U m ² /m	مشخصات نسبت به محورهای خنثی							J cm ⁴	C _{IT} cm ⁶
	d mm	b _f mm	t _w mm	t _f mm	r mm	r ₁ mm	h ₁ mm				I _x cm ⁴	S _x cm ³	I _x cm	Q _x cm ³	I _y cm ⁴	S _y cm ³	i _y cm		
80	42	3.9	5.9	3.9	2.3	59	5.95	7.58	0.304	77.8	19.5	3.2	11.4	6.29	3	0.91	88		
100	50	4.5	6.8	4.5	2.7	75	8.32	10.6	0.37	171	34.2	4.01	19.9	12.2	4.88	1.07	268		
120	58	5.1	7.7	5.1	3.1	92	11.2	14.2	0.439	328	54.7	4.81	31.8	21.5	7.41	1.23	658		
140	66	5.7	8.6	5.7	3.4	109	14.4	18.3	0.502	573	81.9	5.64	47.7	35.2	10.7	1.4	1540		
160	74	6.3	9.5	6.3	3.8	125	17.9	22.8	0.575	935	117	6.4	68	54.7	14.8	1.55	3140		
180	82	6.9	10.4	6.9	4.1	142	21.9	27.9	0.64	1450	161	7.2	93.4	81.3	19.8	1.71	5920		
200	90	7.5	11.3	7.5	4.5	159	26.3	33.5	0.709	2140	214	8	125	117	26	1.87	10520		
220	98	8.1	12.2	8.1	4.9	175	31.1	39.6	0.775	3060	278	8.8	162	162	33.1	2.02	17760		
240	106	8.7	13.1	8.7	5.2	192	36.2	46.1	0.844	4250	354	9.59	206	221	41.7	2.2	28730		
260	113	9.4	14.1	9.4	5.6	209	41.9	53.4	0.906	5740	442	10.4	257	283	51	2.32	44070		
280	119	10.1	15.2	10.1	6.1	225	48.0	61.1	0.966	7590	542	11.1	316	364	61.2	2.45	64580		
300	125	10.8	16.2	10.8	6.5	241	54.2	69.1	1.03	9800	653	11.9	381	451	72.2	2.58	91850		
320	131	11.5	17.3	11.5	6.9	258	61	77.7	1.09	12510	782	12.7	457	555	84.7	2.67	128800		
340	137	12.2	18.3	12.2	7.3	274	68	86.7	1.15	15700	923	13.5	540	674	98.4	2.8	176300		
360	143	13.0	19.5	13.0	7.8	290	76.1	97	1.21	19610	1090	14.2	638	818	114	2.9	240100		
380	149	13.7	20.5	13.7	8.2	306	84	107	1.27	24010	1260	15	741	975	131	3.02	318700		
400	155	14.4	21.6	14.4	8.6	323	92.4	118	1.33	29210	1460	15.7	857	1160	149	3.13	419600		
425	163	15.3	23.0	15.3	9.2	343	104	132	1.41	36970	1740	16.7	1020	1440	176	3.3	587500		
450	170	16.2	24.3	16.2	9.7	363	115	147	1.48	45850	2040	17.7	1200	1730	203	3.43	791100		
475	178	17.1	25.6	17.1	10.3	384	128	163	1.55	56480	2380	18.6	1400	2090	235	3.6	1067000		
500	185	18.0	27.0	18.0	10.8	404	141	179	1.63	68740	2750	19.6	1620	2480	268	3.72	1403000		
550	200	19.0	30.0	19.0	11.9	445	166	212	1.8	99180	3610	21.6	2120	3490	349	4.02	2389000		
600	215	21.6	32.4	21.6	13.0	485	199	254	1.92	139000	4630	23.4	2730	4670	434	4.3	3821000		



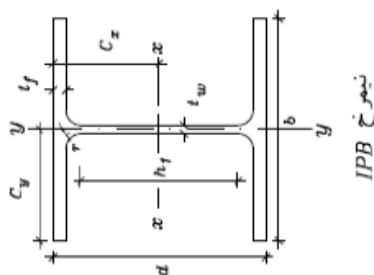
نیمرخ IPE

نیمرخ	ابعاد							G Kg	A cm ²	U m ² /m	مشخصات نسبت به محورهای خمشی								J cm ⁴	C _T cm ⁶
	d mm	b _f mm	t _w mm	t _f mm	r mm	h ₁ mm	I _x cm ⁴				S _x cm ³	I _x cm	Q cm ³	I _y cm ⁴	S _y cm ³	I _y cm	J cm ⁴	C _T cm ⁶		
80	80	46	3.8	5.2	5	60	6	7.64	0.329	80.1	20	3.24	11.6	8.49	3.69	1.05	0.7	118		
100	100	55	4.1	5.7	7	75	8.1	10.3	0.401	171	34.2	4.07	19.7	15.9	5.79	1.24	1.1	351		
120	120	64	4.4	6.3	7	93	10.4	13.2	0.474	318	53	4.9	30.4	27.7	8.65	1.45	1.71	890		
140	140	73	4.7	6.9	7	112	12.9	16.4	0.55	541	77.3	5.74	44.2	44.9	12.3	1.65	2.54	1980		
160	160	82	5.0	7.4	9	127	15.8	20.1	0.622	869	109	6.58	61.9	68.3	16.7	1.84	3.53	3690		
180	180	91	5.3	8.0	9	146	18.8	23.9	0.698	1317	146	7.42	83.2	101	22.2	2.05	4.9	7430		
200	200	100	5.6	8.5	12	159	22.4	28.5	0.768	1943	194	8.26	110	142	28.5	2.24	6.46	12990		
220	220	110	5.9	9.2	12	178	26.2	33.4	0.848	2772	252	9.11	143	205	37.3	2.48	8.86	22670		
240	240	120	6.2	9.8	15	190	30.7	39.1	0.921	3892	324	9.97	183	284	47.3	2.69	11.6	37390		
270	270	135	6.6	10.2	15	220	36.1	45.9	1.01	5790	429	11.2	239	420	62.2	3.02	14.93	70580		
300	300	150	7.1	10.7	15	249	42.2	53.8	1.16	8356	557	12.5	314	604	80.5	3.35	19.47	125900		
330	330	160	7.5	11.5	18	271	49.1	62.6	1.25	11770	713	13.7	402	788	98.5	3.55	25.7	199100		
360	360	170	8.0	12.7	18	299	57.1	72.7	1.35	16270	904	15	510	1043	123	3.79	36.2	313600		
400	400	180	8.6	13.5	21	331	66.3	84.5	1.47	23130	1160	16.5	654	1318	146	3.95	46.8	490000		
450	450	190	9.4	14.6	21	379	77.6	98.8	1.61	33740	1500	18.5	849	1676	176	4.12	63.8	791000		
500	500	200	10.2	16.0	21	426	90.7	116	1.74	48200	1930	20.4	1100	2142	214	4.31	89	1249000		
550	550	210	11.1	17.2	24	468	106	134	1.88	67120	2440	22.3	1390	2668	254	4.45	118	1884000		
600	600	220	12.0	19.0	24	514	122	156	2.02	92080	3070	24.3	1760	3387	308	4.66	166.2	2846000		



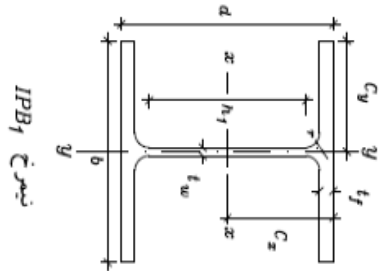
نیمرخ IPB

نیمرخ	ابعاد						G Kg	A cm ²	U m ² /m	مشخصات نسبت به محورهای خنثی							J cm ⁴	C _w cm ⁶
	d mm	b _f mm	t _w mm	t _f mm	r mm	h ₁ mm				I _x cm ⁴	S _x cm ³	I _x cm	Q cm ³	I _y cm ⁴	S _y cm ³	I _y cm		
100	100	100	6	10	12	56	20.4	26	0.567	450	90	4.16	52.1	167	33	2.53	9.05	3380
120	120	120	6.5	11	12	74	26.7	34	0.686	864	144	5.04	82.6	318	53	3.06	14.4	9410
140	140	140	7	12	12	92	33.7	43	0.805	1509	216	5.93	123	550	79	3.58	21.8	22480
160	160	160	8	13	15	104	42.6	54.3	0.918	2492	311	6.78	177	889	111	4.05	32.2	47940
180	180	180	8.5	14	15	122	51.2	65.3	1.03	3831	426	7.66	241	1363	151	4.57	45.1	93750
200	200	200	9	15	18	134	61.3	78.1	1.15	5696	570	8.54	321	2003	200	5.07	61.4	171100
220	220	220	9.5	16	18	152	71.5	91	1.27	8091	736	9.43	414	2843	258	5.59	81.8	295400
240	240	240	10	17	21	164	83.2	106	1.38	11260	938	10.3	527	3923	327	6.08	107	486900
260	260	260	10	17.5	24	177	93	118.4	1.5	14920	1150	11.2	641	5135	395	6.58	125	753700
280	280	280	10.5	18	24	196	103	131.4	1.62	19270	1380	12.1	767	6595	471	7.09	148	1130000
300	300	300	11	19	27	208	117	149.1	1.73	25170	1680	13	938	8563	571	7.58	186	1688000
320	320	300	11.5	20.5	27	225	127	161.3	1.77	30820	1930	13.8	1070	9239	616	7.57	233	2069000
340	340	300	12	21.5	27	243	135	170.9	1.81	36660	2160	14.6	1200	9690	646	7.53	270	2454000
360	360	300	12.5	22.5	27	261	142	180.6	1.85	43190	2400	15.5	1340	10140	676	7.49	310	2883000
400	400	300	13.5	24	27	298	155	197.8	1.93	57680	2880	17.1	1620	10820	721	7.4	382	3187000
450	450	300	14	26	27	344	171	218	1.99	79890	3550	19.1	1990	11720	781	7.33	485	5258000
500	500	300	14.5	28	27	390	187	238.6	2.12	107180	4290	212	2410	12620	842	7.27	605	7018000
550	550	300	15	29	27	438	199	254.1	2.22	136690	4970	23.2	2800	13080	872	7.17	679	8856000
600	600	300	15.5	30	27	486	212	270	2.32	171040	5700	25.2	3210	13530	902	7.08	759	10970000
650	650	300	16	31	27	534	225	286.3	2.42	210620	6480	27.1	3660	13980	932	6.99	845	13360000
700	700	300	17	32	27	582	241	306.4	2.52	256890	7340	29	4160	14440	963	6.87	949	16060000
800	800	300	17.5	33	30	674	262	334.2	2.71	359080	8980	32.8	5110	14900	994	6.68	1062	21840000
900	900	300	18.5	35	30	770	291	371.3	2.91	494070	10980	36.5	6290	15820	1050	6.53	1290	29460000
1000	1000	300	19	36	30	863	314	400	3.11	644750	12890	40.1	7430	16280	1090	6.38	1432	37640000



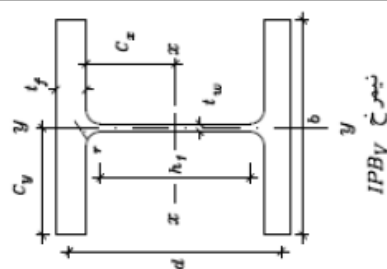
نیمرخ IPB1

نیمرخ	ابعاد							G Kg	A cm ²	U m ² /m	مشخصات نسبت به محورهای خنثی							J cm ⁴	C _w cm ⁶
	d mm	b _f mm	t _w mm	t _f mm	r mm	h ₁ mm	I _x cm ⁴				S _x cm ³	T _x cm	Q cm ³	I _y cm ⁴	S _y cm ³	T _y cm			
100	96	100	5	8	12	56	16.7	21.2	0.562	349	73	4.06	41.5	134	27	2.51	4.69	2580	
120	114	120	5	8	12	74	19.9	25.3	0.677	606	106	4.89	59.7	231	38	3.02	5.63	6470	
140	133	140	5.5	8.5	12	92	24.7	31.4	0.794	1033	155	5.73	86.7	389	56	3.52	7.97	15060	
160	152	160	6	9	15	104	30.4	38.8	0.896	1673	220	6.57	123	616	77	3.98	10.9	31410	
180	171	180	6	9.5	15	122	35.5	45.3	1.02	2510	294	4.45	162	925	103	4.52	14.2	60210	
200	190	200	6.5	10	18	134	42.3	53.8	1.14	3692	389	8.28	215	1336	134	4.98	18.6	108000	
220	210	220	7	11	18	152	50.5	64.3	1.26	5410	515	9.17	284	1955	178	5.51	27.1	193300	
240	230	240	7.5	12	21	164	60.3	76.8	1.37	7763	675	10.1	372	2769	231	6.0	38.2	328500	
260	250	260	7.5	12.5	24	177	68.2	86.8	1.48	10460	839	11.0	460	3668	282	6.5	46.3	516400	
280	270	280	8	13	24	196	76.4	97.3	1.6	13670	1010	11.9	556	4763	340	7.0	56.5	785400	
300	290	300	8.5	14	27	208	88.3	112.5	1.72	18260	1260	12.7	692	6310	421	7.49	75.3	1200000	
320	310	300	9	15.5	27	225	97.6	124.4	1.76	22930	1480	13.6	814	6985	466	7.49	102	1512000	
340	330	300	9.5	16.5	27	243	105	133.5	1.79	27700	1680	14.4	925	7436	496	7.46	123	1824000	
360	350	300	10	17.5	27	261	112	142.8	1.83	33090	1890	15.2	1040	7887	526	7.43	147	2177000	
400	390	300	11	19	27	298	125	159	1.91	45070	2310	16.8	1280	8564	571	7.34	191	2942000	
450	440	300	11.5	21	27	344	140	178	2.01	63720	2900	18.9	1610	9465	631	7.29	257	4148000	
500	490	300	12	23	27	390	155	197.5	2.11	86980	3550	21.0	1970	10370	691	7.24	336	5643000	
550	540	300	12.5	24	27	438	166	211.8	2.21	111900	4150	23.0	2310	10820	721	7.15	386	7189000	
600	590	300	13	25	27	486	178	226.5	2.31	141200	4790	25.0	2680	11270	751	7.05	440	8978000	
650	640	300	13.5	26	27	534	190	241.6	2.41	175200	5470	26.9	3070	11720	782	6.97	500	11030000	
700	690	300	14.5	27	27	582	204	260.5	2.5	215300	6240	28.8	3520	12180	812	6.84	573	13350000	
800	790	300	15	28	30	674	224	285.8	2.7	303400	7680	32.6	4350	12640	843	6.65	652	18290000	
900	890	300	16	30	30	770	252	320.5	2.9	422100	9480	36.3	5410	13550	903	6.5	817	24960000	
1000	990	300	16.5	31	30	868	272	346.8	3.1	553800	11190	40.0	6410	14000	934	6.35	918	32070000	

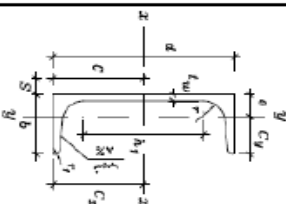


نیمرخ IPBv

نیمرخ	ابعاد						G Kg	A cm ²	U m ² /m	مشخصات نسبت به محورهای خنثی						J cm ⁴	C _w cm ⁶	
	d mm	b _f mm	t _w mm	t _f mm	r mm	h ₁ mm				I _x cm ⁴	S _x cm ³	i _x cm	Q cm ³	I _y cm ⁴	S _y cm ³			i _y cm
100	120	106	12	20	12	56	41.8	53.2	0.619	1143	190	4.63	118	399	75	2.74	76.4	9930
120	140	126	12.5	21	12	74	52.1	66.4	0.738	2016	288	5.51	175	703	112	3.25	105	24790
140	160	146	13	22	12	92	63.2	80.6	0.835	3291	411	6.39	247	1144	157	3.77	140	54330
160	180	166	14	23	15	104	76.2	97.1	0.97	5098	566	7.25	337	1759	212	4.26	184	108100
180	200	186	14.5	24	15	122	88.9	113.3	1.09	7483	748	8.13	442	2580	277	4.77	234	199300
200	220	206	15	25	18	134	103	131.3	1.2	10640	967	9.00	568	3651	354	5.27	292	346300
220	240	226	15.5	26	18	152	117	149.4	1.32	14610	1220	9.89	710	5012	444	5.79	360	572700
240	270	248	18	32	21	164	157	199.6	1.46	24290	1800	11.0	1060	8153	657	6.39	727	115200
260	290	268	18	32.5	24	177	172	219.6	1.57	31310	2160	11.9	1260	10450	780	6.9	821	1728000
280	310	288	18.5	33	24	196	189	240.2	1.69	39550	2550	12.8	1480	13160	914	7.4	927	2520000
3000	320	305	16	29	27	208	177	225.1	1.78	40950	2560	13.8	1460	13740	901	7.81	665	2903000
300	340	310	21	39	27	208	238	303.1	1.83	59200	3480	14.0	2040	19400	1252	8.0	1634	4386000
320	359	309	21	40	27	225	245	312	1.87	68140	3800	14.8	2220	19710	1280	7.95	1756	5004000
340	377	309	21	40	27	243	248	315.8	1.9	76370	4050	15.6	2360	19710	1280	7.9	1763	5584000
360	395	308	21	40	27	261	250	318.8	1.93	84870	4300	16.3	2490	19520	1270	7.83	1764	6137000
400	432	307	21	40	27	298	256	325.8	2.0	104100	4820	17.9	2790	19340	1260	7.7	1773	7410000
450	478	307	21	40	27	344	263	335.4	2.1	131500	5500	19.8	3170	19340	1260	7.59	1791	9251000
500	524	306	21	40	27	390	270	344.3	2.18	161900	6180	21.7	3550	19160	1250	7.46	1803	11190000
550	572	306	21	40	27	438	278	354.4	2.28	198000	6920	23.6	3970	19160	1250	7.35	1822	13520000
600	620	305	21	40	27	486	285	363.7	2.37	273400	7660	25.6	4390	18980	1240	7.22	1835	15910000
650	668	305	21	40	27	534	293	373.7	2.47	281700	8430	27.5	4830	18980	1240	7.13	1554	18650000
700	716	304	21	40	27	582	301	383	2.56	329300	9200	29.3	5270	18800	1240	7.01	1867	21400000
800	814	303	21	40	30	674	317	404.3	2.75	442600	10870	33.1	6240	18630	1230	6.79	1899	27780000
900	910	302	21	40	30	770	333	423.6	2.93	570400	12540	36.7	7220	18450	1220	6.6	1931	34750000
1000	1008	302	21	40	30	868	349	444.2	3.13	722300	14330	40.3	8280	18460	1220	6.45	1969	43010000



نیمرخ UNP



نیمرخ UNP

شیب داخلی پال تا نیمرخ ۳۰۰ و ۳۵۰
بیشتر از نیمرخ ۳۰۰

نیمرخ	ابعاد							G Kg	A cm ²	U m ² /m	مرکز ثقل		مشخصات نسبت به محورهای خنثی							J cm ⁴	S cm	C _x cm ⁶
	d mm	b _f mm	t _w mm	t _f mm	r mm	t _i mm	h _f mm				e cm	c _y cm	I _x cm ⁴	S _x cm ³	r _x cm	Q cm ³	I _y cm ⁴	S _y cm ³	t _y cm			
80	80	45	6	8	8	4	46	8.64	11.0	0.312	1.45	3.05	106	26.5	3.1	15.9	19.4	6.36	1.33	2.2	1.24	168
100	100	50	6	8.5	8.5	4.5	64	10.6	13.5	0.372	1.55	3.45	206	41.2	3.91	24.5	29.3	8.49	1.47	2.91	1.4	414
120	120	55	7	9	9	4.5	82	13.4	17.0	0.434	1.6	3.9	364	60.7	4.62	36.3	43.2	11.1	1.59	4.22	1.44	900
140	140	60	7	10	10	5	98	16.0	20.4	0.489	1.75	4.25	605	86.4	5.45	51.4	62.7	14.8	1.75	5.91	1.63	1800
160	160	65	7.5	10.5	10.5	5.5	115	18.8	24.0	0.546	1.84	4.66	925	116	6.21	68.8	85.3	18.3	1.89	7.67	1.74	3260
180	180	70	8	11	11	5.5	133	22.0	28.0	0.611	1.92	5.08	1350	150	6.95	89.6	114	22.4	2.02	9.8	1.84	5570
200	200	75	8.5	11.5	11.5	6	151	25.3	32.2	0.661	2.01	5.49	1910	191	7.7	114	148	27	2.14	12.4	1.94	9070
220	220	80	9	12.5	12.5	6.5	167	29.4	37.4	0.718	2.14	5.86	2690	245	8.48	146	197	33.6	2.26	16.7	2.07	14600
240	240	85	9.5	13	13	6.5	184	33.2	42.3	0.775	2.23	6.27	3600	300	9.22	179	248	39.6	2.42	20.4	2.2	22100
260	260	90	10	14	14	7	200	37.9	48.3	0.834	2.36	6.64	4820	371	9.99	221	317	47.7	2.56	26.6	2.31	33300
280*	280*	95	10	15	15	7.5	215	41.8	53.3	0.89	2.53	6.97	6276	450	10.9	266	390	57.2	2.75	32.7	2.51	48500
300	300	100	10	16	16	8	232	46.2	58.8	0.95	2.7	7.3	8030	535	11.7	316	495	67.8	2.9	39.9	2.72	69100
320	320	100	14	17.5	17.5	8.75	246	59.5	75.8	0.982	2.6	7.4	10870	679	12.1	413	597	80.6	2.81	66.7	2.22	96100
350	350	100	14	16	16	8	282	60.6	77.3	1.047	2.4	7.6	12840	734	12.9	459	570	75	2.72	61.2	2.05	114000
380	380	102	13.5	16	16	8	313	63.1	80.4	1.11	2.38	7.82	15760	829	14.0	507	615	78.7	2.77	59.1	2.2	146000
400	400	110	14	18	18	9	324	71.8	91.5	1.132	2.65	8.35	20350	1020	14.9	618	846	102	3.04	81.6	2.46	221000

نیشی

ابعاد	G	A	U	مشخصات نسبت به X-Y				مشخصات نسبت به X-Z				مشخصات نسبت به Y-Y				
				e	$I_x - I_y$	$\frac{I_x - I_y}{C_x C_y}$	$r_x - r_y$	Z_1	I_z	مغور $\frac{I_z}{Z_1}$	r_z	V_1	I_y	مغور $\frac{I_y}{r_y}$	r_y	
a	t	r	t ₁	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
60	6	8	4	1.69	22.8	5.29	1.82	4.24	36.2	8.51	2.29	2.39	9.43	4	1.17	
	7*	8	4	1.72	25.7	6.02	1.79	4.24	40.7	9.6	2.26	2.43	10.7	4.4	1.16	
	8	8	4	1.77	29.2	6.89	1.8	4.24	46.2	10.9	2.26	2.5	12.2	4.86	1.16	
	10	8	4	1.85	34.9	8.41	1.78	4.24	55.1	13.0	2.23	2.61	14.8	5.67	1.16	
65*	7	9	4	1.85	33.4	7.18	1.96	4.6	53.0	11.5	2.47	2.62	13.8	5.27	1.26	
	9	9	4	1.93	41.3	9.04	1.94	4.6	65.4	14.2	2.44	2.73	17.2	6.3	1.25	
	11	9	4.5	2.0	48.8	10.8	1.91	4.6	76.8	16.7	2.42	2.83	20.7	7.31	1.25	
70	7	9	4.5	1.97	42.32	8.41	2.12	4.95	67.1	13.5	2.67	2.79	17.5	6.27	1.36	
	8	9	4.5	2.01	47.5	9.52	2.11	4.95	75.3	15.2	2.66	2.85	19.7	6.91	1.36	
	9*	9	4.5	2.05	52.6	10.6	2.1	4.95	83.1	16.8	2.64	2.9	22	7.59	1.36	
	10	9	4.5	2.09	57.2	11.7	2.09	4.95	90.5	18.2	2.63	2.96	23.9	8.1	1.35	
	11*	9	4.5	2.13	61.8	12.7	2.08	4.95	97.6	19.7	2.61	3.01	26	8.64	1.35	
75*	8	10	5	2.13	58.9	11	2.26	5.3	93.3	17.6	2.85	3.01	24.4	8.11	1.46	
	9	10	5	2.17	65.1	12.2	2.26	5.3	103	19.4	2.84	3.07	27.1	8.81	1.46	
	10	10	5	2.21	71.4	13.5	2.25	5.3	113	22.4	2.83	3.12	29.8	9.55	1.45	
80	8	10	5	2.26	72.2	12.6	2.43	5.66	115	20.3	3.06	3.19	29.9	9.36	1.56	
	9*	10	5	2.31	80.7	14.2	2.43	5.66	128	22.6	3.06	3.24	33.6	10.3	1.56	
	10	10	5	2.34	87.5	15.4	2.41	5.66	139	24.6	3.03	3.3	36.3	11	1.55	
	12	10	5	2.41	102	18.2	2.39	5.66	161	28.4	3.0	3.41	42.7	12.5	1.55	
90	9	11	5.5	2.54	116	17.9	2.73	6.36	184	28.9	3.44	3.59	47.8	13.3	1.76	
	10	11	5.5	2.58	127	19.8	2.72	6.36	201	31.6	3.43	3.65	52.5	14.4	1.75	
	11*	11	5.5	2.62	138	21.6	2.72	6.36	218	34.3	3.41	3.7	57.1	15.4	1.75	
	12	11	5.5	2.66	148	23.3	2.7	6.36	234	36.8	3.4	3.76	61.7	16.4	1.74	
	13*	11	5.5	2.7	158	25.1	2.69	6.36	250	39.3	3.39	3.81	65.9	17.3	1.74	
100	10	12	6	2.82	177	24.6	3.04	7.07	280	39.3	3.83	3.99	72.9	18.3	1.95	
	12	12	6	2.9	207	29.1	3.02	7.07	328	46.4	3.8	4.11	85.7	20.9	1.94	
	14*	12	6	2.98	235	33.5	3.01	7.07	372	52.6	3.77	4.21	98.3	23.3	1.94	
	15	12	6	3.02	249	35.6	2.98	7.07	393	55.6	3.75	4.27	104	24.4	1.93	
110*	10	12	6	3.07	239	30.1	3.36	7.78	379	48.7	4.23	3.34	98.6	22.7	2.16	
	12	12	6	3.15	280	35.7	3.34	7.78	444	57.1	4.21	3.45	116	26.1	2.15	

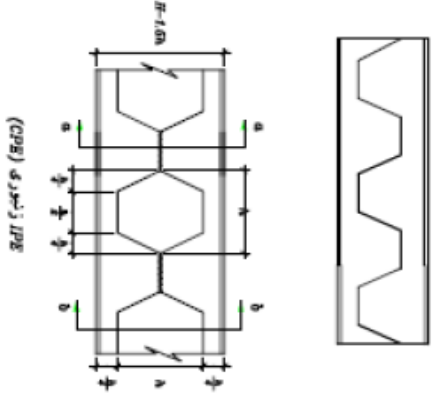
نیشی

نیشی

ابعاد	ابعاد				G Kg	A cm ²	U m ² /m	U m ² /t	مشخصات نسبت به XX-YV				مشخصات نسبت به نخشی						مشخصات نسبت به محورهای نخشی					
	a mm	t mm	r mm	r ₁ mm					θ cm	I _x -I _y cm ⁴	$\frac{I_x - I_y}{C_x C_y}$ cm ³	r _x -r _y cm	Z ₁ cm	I _Z cm ⁴	محور $\frac{I_x}{Z_1^2}$ cm ³	r _Z cm	V ₁ cm	I _u cm ⁴	محور $\frac{I_x}{r_1^2}$ cm ³	r _v cm				
120	11*	13	6.5	19.9	25.4	0.469	23.6	3.36	341	39.5	3.66	8.49	541	63.7	4.62	4.75	140	29.5	2.35					
	12	13	6.5	21.6	27.5		21.7	3.4	368	42.7	3.65	8.49	584	68.8	4.6	4.8	152	31.5	2.35					
	13*	13	6.5	23.3	29.7		20.1	3.44	394	46	3.64	8.49	625	73.6	4.59	4.86	162	33.3	2.34					
	14*	13	6.5	25	31.8		18.8	3.47	420	49.2	3.63	8.49	665	78.4	4.57	4.91	174	35.4	2.34					
	15	13	6.5	26.6	33.9		17.6	3.51	445	52.4	3.62	8.49	705	83	4.56	4.97	185	37.1	2.33					
130*	12	14	7	23.6	30	0.508	21.5	3.64	472	50.4	3.97	9.19	750	81.6	5.0	5.15	194	37.7	2.545					
	14	14	7	27.2	34.7		18.7	3.72	540	58.2	3.94	9.19	857	93.3	4.97	5.26	223	42.4	2.53					
140*	13	15	7.5	27.5	35	0.547	19.9	3.2	638	63.3	4.27	9.9	1010	103	5.38	5.54	262	47.3	2.74					
	15	15	7.5	31.4	40		17.4	4.0	723	72.3	4.25	9.9	1150	116	5.36	5.66	298	52.7	2.73					
	17	15	7.5	35.3	45		15.5	4.08	805	81.2	4.23	9.9	1280	129	5.33	5.77	334	57.9	2.72					
150	14*	16	8	31.6	40.3	0.586	18.6	4.21	845	78.2	4.58	10.6	1340	126	5.77	5.95	347	58.3	2.94					
	15	16	8	33.8	43		17.3	4.25	868	83.5	4.57	10.6	1430	135	5.76	6.01	370	61.6	2.93					
	16*	16	8	35.9	45.7		16.3	4.29	949	88.7	4.56	10.6	1510	143	5.74	6.07	391	64.6	2.93					
	18	16	8	40.1	51		14.6	4.37	1050	98.7	4.54	10.6	1670	127	5.71	6.17	435	70.4	2.92					
160*	15	17	8.5	36.2	46.1	0.626	17.3	4.49	1100	95.6	4.88	11.3	1750	155	6.15	6.35	453	71.3	3.14					
	17	17	8.5	40.7	51.8		15.4	4.57	1230	108	4.86	11.3	1950	173	6.13	6.46	506	78.3	3.13					
180	15	18	9	40.9	52.1	0.705	17.2	4.98	1590	122	5.52	12.7	2520	198	6.96	7.05	653	92.6	3.54					
	18	18	9	48.6	61.9		14.5	5.1	1870	145	5.49	12.7	2960	234	6.92	7.22	768	106	3.52					
	20	18	9	53.7	68.3		13.1	5.18	2040	159	5.47	12.7	3240	257	6.89	7.33	843	115	3.51					
200	20	18	9	59.9	76.3	0.785	13.1	6.68	2850	199	6.11	14.1	4530	322	7.7	8.04	1170	146	3.92					
	24	18	9	71.1	90.6		11	5.84	3330	235	6.06	14.1	5280	374	7.64	8.26	1380	167	3.9					
	28*	18	9	82	104.5		9.6	5.99	3784	270	6.02	14.1	5989	425	7.57	8.47	1573	186	3.88					
	30*	18	9	87.6			9.0	6.06	4002	287	6.0	14.1	6323	448	7.53	8.57	1681	196	3.88					

بهرخ نیشی

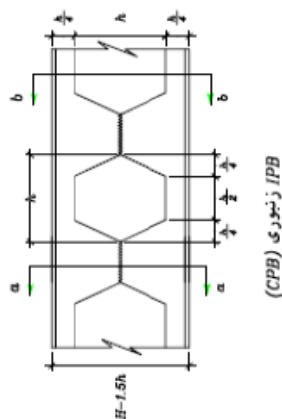
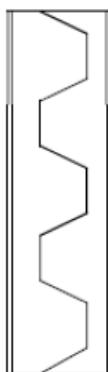
IPE زنبوری (CPE)



IPE	H	S	t	A _u	A _b	G	G	I _{xx}	S _{xx}	I _{xy}	S _{xy}	Q _{xx}	Q _{xy}	S _i	C _i
	mm	mm	mm	cm ³	cm ²	Kg/1.5m	Kg/m	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mm
80	120	3.8	5.2	9.16	6.12	0.718	6	206	34.3	189	31.6	20	17		
100	150	4.1	5.7	12.4	8.25	1.21	8.1	437	58.2	403	53.7	33.9	28.8		
120	180	4.4	6.3	15.8	10.6	1.86	10.4	809	89.9	746	82.8	52.2	44.2		
140	210	4.7	6.9	19.7	13.1	2.7	12.9	1370	131	1270	121	75.8	64.3		
160	240	5	7.4	24.1	16.1	3.78	15.8	2200	184	2030	169	106	90.1		
180	270	5.3	8.0	28.7	19.1	5.06	18.3	3330	247	3070	228	142	121		8.8
200	300	5.6	8.5	34.1	22.9	6.7	22.4	4910	327	4540	302	189	161		9.7
220	330	5.9	9.2	39.9	26.9	8.63	26.2	6990	423	6460	392	243	208		10.5
240	360	6.2	9.8	46.5	31.7	11	30.7	9790	544	9070	504	312	267		11.3
270	405	6.6	10.2	54.8	37	14.6	36.1	14550	719	13470	665	412	352		12.4
300	450	7.1	10.7	64.5	43.2	19	42.2	21010	934	19410	863	536	456		13.7
330	495	7.5	11.5	75	50.2	24.3	49.1	29580	1200	27330	1100	686	584		15
360	540	8	12.7	87.1	58.3	30.8	57.1	40890	1510	37780	1400	869	740		16.4
400	600	8.6	13.5	102	67.3	39.7	66.3	58290	1940	53700	1790	1120	947		18.5
450	675	9.4	14.6	120	77.7	52.2	77.6	85430	2530	78290	2320	1470	1230		21.2
500	750	10.2	16	142	90.5	68.2	90.7	122400	3260	111800	2980	1900	1580		24
550	825	11.1	17.2	165	103	86.6	106	171100	4150	155700	3770	2420	2000		26.9
600	900	12	19	192	120	110	122	235300	5230	213700	4750	3060	2520		29.8

IPB زنبوری (CPB)

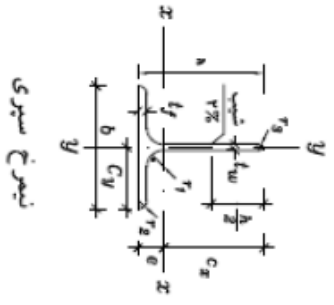
IPB	H	S	t	A _u	A _b	G	G	I _{xx}	S _{xx}	I _{xb}	S _{xb}	Q _{xx}	Q _{xb}	S _t	C _t
	mm	mm	mm	cm ³	cm ²	kg/m	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	mm
100	150	6	10	29	23	3.37	20.4	1140	152	1090	145	86.3	79		
120	180	6.5	11	37.9	30.1	5.3	26.7	2170	241	2080	231	137	125		
140	210	7	12	47.9	38.1	7.83	33.7	3770	359	3610	344	202	185		
160	240	8	13	60.7	47.9	11.3	42.6	6230	519	5950	496	292	266		
180	270	8.5	14	73	57.7	15.3	51.2	9540	706	9120	676	396	362	20.2	9.4
200	300	9	15	87.1	69.1	20.4	61.3	14150	943	13550	903	528	483	27.3	10.2
220	330	9.5	16	101	80.6	26.1	71.5	20050	1220	19200	1160	676	621	35.5	10.9
240	360	10	17	118	94	33.1	83.2	27860	1550	26700	1480	863	791	45.6	11.8
260	360	10	17.5	131	105	39.9	93	36780	1890	35320	1810	1050	963	56.2	12.3
280	420	10.5	18	146	116	47.8	103	47430	2260	45510	2170	1250	1150	69.5	12.9
300	450	11	19	166	133	58.2	117	61890	2750	59420	2640	1580	1400	84.9	13.7
320	480	11.5	20.5	179	143	67.3	127	75930	3160	72790	3030	1760	1610	96.4	14.8
340	510	12	21.5	191	151	76.3	134	90430	3550	86500	3390	1970	1800	114	15.8
360	540	12.5	22.5	204	159	85.9	142	106700	3950	101900	3770	2200	2000	130	16.7
400	600	13.5	24	225	171	105	155	143000	4770	135700	4520	2670	2400	168	18.7
450	675	14	26	250	187	132	171	198400	5880	187800	5560	3310	2950	218	20.9
500	750	14.5	28	275	203	161	187	266700	7110	251600	6710	4010	3560	275	23.3
550	825	15	29	295	213	190	199	341100	8270	320300	7760	4680	4120	340	25.6
600	900	15.5	30	317	224	223	212	428000	9510	400100	8890	5410	4710	413	28.1
650	975	16	31	338	234	258	225	528700	10850	492100	10090	6200	5350	493	30.7
700	1050	17	32	366	247	300	241	648200	12350	599600	11420	7100	6060	587	33.8
800	1200	17.5	33	404	264	379	262	911200	15190	836600	13940	8810	7410	770	39.3
900	1350	18.5	35	454	288	480	291	1262000	18700	1150000	17040	10940	9060	986	45.6
1000	1500	19	36	495	305	581	314	1657000	22100	1449000	19990	13020	10650	1210	51.9



IPB زنبوری (CPB)

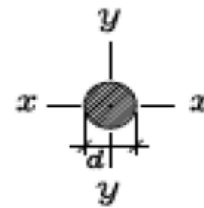
سپری

ابعاد		U		مشخصات نسبت به محورهای ضعیف							مشخصات نسبت به محورهای قوی						
b	h	t_w	t_f	t_1	t_2	t_3	t_4	e	C_x	I_x	S_x	r_x	C_y	I_y	S_y	r_y	J
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴
20	20	3	3	3	1.5	1	0.88	0.58	1.42	0.38	0.27	0.58	1	0.2	0.2	0.42	0.037
25*	25	3	3	3	2	1	1.11	0.735	1.765	0.82	0.46	0.79	1.25	0.41	0.33	0.54	0.059
25	25	3.5	3.5	3.5	2	1	1.29	0.73	1.77	0.87	0.49	0.73	1.25	0.43	0.34	0.51	0.074
30	30	4	4	4	2	1	1.77	0.85	2.15	1.72	0.8	0.87	1.5	0.87	0.58	0.62	0.134
35	35	4.5	4.5	4.5	2.5	1	2.33	0.99	2.51	3.1	1.23	1.04	1.75	1.57	0.9	0.73	0.223
40	40	5	5	5	2.5	1	2.96	1.12	2.88	5.25	1.81	1.18	2	2.58	1.29	0.83	0.35
45	45	5.5	5.5	5.5	3	1.5	3.67	1.26	3.24	8.13	2.51	1.32	2.25	4.01	1.78	0.93	0.523
50	50	6	6	6	3	1.5	4.44	1.39	3.61	12.1	3.36	1.46	2.5	6.06	2.42	1.03	0.757
60	60	7	7	7	3.5	2	6.23	1.66	4.34	23.8	5.43	1.73	3	12.2	4.07	1.24	1.45
70	70	8	8	8	4	2	8.23	1.94	5.06	44.5	8.79	2.05	3.5	22.1	6.32	1.44	2.52
80	80	9	9	9	4.5	2	10.7	2.22	5.78	73.7	12.8	2.33	4	37	9.25	0.65	4.11
100	100	11	11	11	5.5	3	16.4	2.74	7.26	179	24.6	2.92	5	88.3	17.7	2.05	9.38
120	120	13	13	13	6.5	3	23.2	3.28	8.72	366	42	3.51	6	178	29.7	2.45	18.6



میلگرد

قطر d mm	G Kg	A cm ²	I_x cm ⁴	$S_x - \frac{I_x}{d/2}$ cm ³	I_P cm ⁴	$\frac{I_P}{d/2}$ cm ³
5	0.154	0.196	0.003068	0.01227	0.006136	0.02454
5.5	0.186	0.238	0.004492	0.01633	0.008984	0.03267
6	0.222	0.283	0.006362	0.02121	0.012724	0.04242
6.5*	0.26	0.332	0.008762	0.02696	0.017524	0.05392
7	0.302	0.385	0.01179	0.03367	0.02358	0.06734
7.5*	0.347	0.441	0.01553	0.04141	0.03106	0.08282
8	0.394	0.503	0.02011	0.05027	0.04022	0.10054
8.5*	0.445	0.567	0.02562	0.06029	0.05124	0.12058
9	0.499	0.636	0.03221	0.07157	0.06442	0.14314
9.5*	0.556	0.709	0.03998	0.08417	0.07996	0.16834
10	0.616	0.785	0.04909	0.09817	0.09818	0.19634
10.5*	0.679	0.866	0.05966	0.11364	0.11932	0.2273
11	0.746	0.95	0.07187	0.1307	0.14374	0.2614
11.5*	0.815	1.04	0.08585	0.14931	0.1717	0.2986
12	0.887	1.13	0.1018	0.1696	0.2036	0.3392
12.5*	0.963	1.22	0.1198	0.1917	0.2396	0.3834
13	1.042	1.33	0.1402	0.2157	0.2804	0.4314
13.5*	1.123	1.43	0.163	0.2415	0.326	0.483
14	1.208	1.54	0.1886	0.2694	0.3772	0.5388
14.5	1.296	1.65	0.217	0.2993	0.434	0.5986
15	1.387	1.77	0.2485	0.3313	0.497	0.6626
15.5	1.481	1.83	0.2833	0.3656	0.5666	0.7312
16	1.578	2.01	0.3217	0.4021	0.6434	0.8042
16.5	1.678	2.14	0.3638	0.441	0.7276	0.882
17	1.781	2.27	0.41	0.4823	0.82	0.9646
17.5	1.888	2.4	0.4604	0.5261	0.9207	1.052
18	1.997	2.54	0.5153	0.5726	1.0306	1.145
18.5	2.11	2.69	0.575	0.6216	1.1499	1.243
19	2.225	2.83	0.6397	0.6734	1.2794	1.347
19.5	2.344	2.98	0.7097	0.7279	1.4194	1.456
20	2.466	3.14	0.7854	0.7854	1.5708	1.571
20.5	2.591	3.3	0.8669	0.8457	1.7338	1.691
21	2.718	3.46	0.9547	0.9092	1.9094	1.818
21.5	2.85	3.63	1.0488	0.9757	2.0976	1.951
22	2.984	3.8	1.1499	1.045	2.2998	2.09
22.5	3.121	3.97	1.258	1.118	2.516	2.236
23	3.261	4.15	1.3737	1.194	2.7474	2.398
23.5	3.406	4.33	1.497	1.274	2.994	2.548
24	3.551	4.52	1.6286	1.357	3.2572	2.714
24.5	3.7	4.71	1.7686	1.443	3.5372	2.887
25	3.853	4.91	1.9175	1.534	3.835	3.068
25.5	4.009	5.1	2.0755	1.628	4.151	3.256
26	4.167	5.31	2.2432	1.726	4.4864	3.452
26.5	4.33	5.51	2.4207	1.827	4.8415	3.654
27	4.494	5.73	2.6087	1.932	5.2174	3.864
27.5*	4.662	5.94	2.8074	2.042	5.6148	4.084
28	4.833	6.16	3.0172	2.155	6.0344	4.31
28.5*	5.005	6.38	3.2385	2.272	6.077	4.545
29	5.185	6.61	3.4718	2.394	6.9437	4.788
29.5*	5.365	6.83	3.7175	2.52	7.435	5.04
30	5.549	7.07	3.9761	2.651	7.9522	5.302



میلگرد

فطر	G Kg	A cm ²	I _x cm ⁴	S _x - $\frac{I_x}{d/2}$ cm ³	I _P cm ⁴	$\frac{I_P}{d/2}$ cm ³
d mm						
31	5.925	7.55	4.5333	2.925	9.0666	5.85
31.5*	6.117	7.79	4.8329	3.068	9.6658	6.137
32	6.313	8.04	5.1472	3.217	10.2944	6.434
33	6.714	8.55	5.8214	3.528	11.6428	7.5
34	7.127	9.08	6.5597	3.859	13.1194	7.718
35	7.552	9.626	7.3662	4.209	14.7324	8.418
36	7.99	10.18	8.2448	4.58	16.4896	9.16
37	8.44	10.75	9.1998	4.973	18.3996	9.945
38	8.902	11.34	10.2354	5.387	20.4708	10.774
39*	9.377	11.95	11.3561	5.824	22.7122	11.648
40	9.864	12.57	12.5664	6.283	25.1328	12.566
41*	10.364	13.2	13.8709	6.766	27.7418	13.532
42	10.876	13.85	15.2745	7.274	30.549	14.548
43*	11.399	14.52	16.782	7.806	33.564	15.612
44	11.936	15.2	18.3984	8.363	36.7968	16.762
45	12.485	15.9	20.1289	8.946	40.2587	17.892
46*	13.046	16.62	21.9787	9.556	43.9574	19.112
47	13.619	17.35	23.9531	10.193	47.9062	20.386
48	14.205	18.1	26.0576	10.857	52.1152	21.714
50	15.413	19.63	30.6796	12.272	91.3592	24.544
51*	16.03	20.42	33.208	13.023	66.417	26.045
52	16.67	21.23	35.89	13.804	71.781	27.608
53	17.32	22.06	38.732	14.616	77.464	29.232
54	17.98	22.9	41.739	15.459	83.478	30.918
55	18.65	23.75	44.918	16.334	89.836	32.668
56	19.33	24.63	48.275	17.241	96.55	34.482
57*	20.03	25.51	51.816	18.181	103.632	36.362
58*	20.74	26.42	55.549	19.155	111.098	38.31
60	22.19	28.27	63.617	21.206	127.234	42.412
62*	23.7	30.19	72.533	23.398	145.065	46.796
63	24.47	31.17	77.327	24.548	154.654	49.096
64*	25.25	32.17	82.355	25.736	164.71	51.472
65	26.05	33.18	87.624	26.961	175.248	53.922
68	28.51	36.31	104.95	30.869	209.9	61.738
70	30.21	38.48	117.85	33.674	235.71	67.348
72*	31.96	40.71	131.91	36.644	263.83	73.288
73	32.85	41.85	139.4	38.192	278.8	76.384
75	34.68	44.17	155.31	41.417	310.63	82.834
78	37.51	47.78	181.69	46.589	363.39	93.178
80	39.46	50.26	201.06	50.265	402.12	100.53
83	42.47	54.1	232.96	56.135	465.92	112.27
85	44.54	56.74	256.23	60.291	512.47	120.583
88	47.74	60.82	294.37	66.903	588.74	133.8
90	49.94	63.61	322.06	71.569	644.12	143.13
95	55.64	70.88	399.81	84.172	799.63	168.34
100	61.65	78.54	490.87	98.175	931.63	196.35
105	67.97	86.59	596.66	113.65	1193.3	227.3
110	74.6	95.03	718.63	130.671	1437.3	261.34
115	81.54	103.87	858.54	149.312	1717.0	298.62
120	88.78	113.09	1017.8	169.646	2035.7	339.39
125	96.33	122.72	1198.4	191.748	2396.8	383.49

