

سازه‌های فولادی ۲

بروش LRFD

ویژه دانشجویان سال چهارم مهندسی عمران

سید عبدالنبی رضوی
عضو هیئت علمی دانشگاه

ویرایش بهمن ۱۳۹۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به:

ساحت مقدس حضرت ولی عصر (عج)

جهت استفاده:

آباد لران، سازندگان و امیدان فردای ایران اسلامی

داسجیان محترم مهندسی عمران

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۸	پیشگفتار
۱۲	فصل اول - جوش
۱۲	انواع وسایل اتصال
۱۲	تعریف جوش
۱۳	انواع اتصال جوشی
۱۴	انواع جوش
۱۵	جوش شیارى
۱۸	جوش گوشه
۲۰	محدودیت در جوش گوشه
۲۳	جوش های انگشتانه و کام
۲۳	محدودیت در جوش های انگشتانه و کام
۲۵	علائم جوشکاری
۲۶	مقاومت جوش
۲۹	ترکیب جوش ها
۲۹	الکترودهای سازگار با مصالح فلز پایه
۲۹	مثال ۱-۱
۳۰	مثال ۲-۱
۳۱	مثال ۳-۱
۳۲	جوش متعادل

۳۲	مثال ۴-۱
۳۴	اتصالات جوشی با برون محوری
۳۵	ترکیب برش و پیچش
۳۸	مثال ۵-۱
۳۹	ترکیب برش و خمش
۴۱	مثال ۶-۱
۴۳	فصل دوم - طراحی اتصالات
۴۴	انواع اتصالات
۴۵	اتصال ساده
۴۶	اتصال گیردار
۴۶	اتصال نیمه گیردار
۴۶	طراحی اتصالات
۴۶	طراحی اتصال ساده با نبشی جان
۴۸	مثال ۱-۲
۵۲	طراحی اتصال ساده به کمک نشیمن ها
۵۳	۱- طراحی اتصال با نبشی نشیمن (نشیمن تقویت نشده)
۵۷	مثال ۲-۲
۶۱	۲- طراحی اتصال ساده با نشیمن تقویت شده
۶۶	مثال ۳-۲
۶۸	اتصال ساده با نشیمن تقویت شده با ورق مثلی
۷۰	مثال ۴-۲
۷۱	وصله ستون ها
۷۱	محل وصله
۷۲	انواع وصله
۷۳	نیروهای وصله
۷۴	پر کننده ها
۷۴	اتصالات اعضای فشاری و کششی در خرپاها
۷۴	مثال ۴-۲

۷۹	فصل سوم - طراحی کف ستون ها
۸۲	توصیه های عمومی در طراحی صفحه ستون ها
۸۲	طراحی صفحه ستون ها
۸۵	۱- طراحی کف ستون تحت اثر نیروی محوری تنها
۸۹	مثال ۱-۳
۹۱	۲- طراحی کف ستون تحت اثر نیروی محوری و لنگر خمشی کوچک
۹۵	مثال ۲-۳
۹۷	۳- کف ستون تحت اثر نیروی محوری و لنگر خمشی بزرگ
۱۰۰	مثال ۳-۳
۱۰۳	طراحی کف ستون برای نیروی برشی
۱۰۴	مثال ۴-۳
۱۰۶	کف ستون های سخت شده
۱۱۰	مثال ۵-۳
۱۱۵	فصل چهارم - طراحی بادبندها
۱۱۶	بادبندهای همگرا یا هم مرکز (CBF)
۱۱۷	انواع بادبندهای همگرا
۱۱۷	بادبندهای واگرا یا خارج از مرکز (EBF)
۱۱۸	انواع بادبندهای واگرا
۱۱۹	طراحی بادبندهای همگرا
۱۱۹	طراحی بادبندهای ضربدری X
۱۲۲	مثال ۱-۴
۱۲۶	طراحی بادبند قطری، شورون ۷ و ۸
۱۲۷	مثال ۲-۴
۱۳۱	فصل پنجم - طراحی اتصالات بادبندها
۱۳۲	انواع اتصالات در بادبندها
۱۳۳	طراحی اتصالات در بادبندهای همگرا
۱۳۳	طراحی اتصال عضو مهاري به صفحه اتصال
۱۳۴	طراحی اتصال صفحه اتصال به قاب

۱۳۴	طراحی اتصال صفحه اتصال به تیر و ستون
۱۳۶	طراحی اتصال صفحه اتصال به تیر و ستون (در بادبندهاب شورون)
۱۳۷	طراحی صفحه اتصال
۱۴۱	طراحی اتصال عضو مهارى به صفحه اتصال میانی (در بادبند ضربدری)
۱۴۲	مثال ۱-۵
۱۵۰	مثال ۲-۵
۱۵۲	مثال ۳-۵
۱۵۹	پیوست ۱ - جداول پروفیل های ساختمانی
۱۷۶	منابع

پیشگفتار

پیشگفتار ویرایش بهمن ۹۴

درس سازه های فولادی (۲) از دروس اصلی و کلیدی مهندسی عمران می باشد. دانشجویان در این درس با اصول و روش های طراحی اتصالات اعضای فولادی را آشنا می شوند.

آنچه پیش رو دارید حاصل سال تدریس و محاسبات سازه های فولادی و از جمع آوری چندین مرجع داخلی و خارجی بوده و دارای این ویژگی خاص است که منطبق بر ویرایش جدید مبحث ده مقررات ملی ساختمان می باشد. تلاش نگارنده بر این بوده که با بهره جویی از شیوه ی جدید استفاده از فلوچارت های طراحی، زمینه ی مناسبی جهت درک بهتر مطالب درس با توجه به اهمیت فوق العاده بالای آن فراهم آورد.

سامان دهی این جزوه بر اساس سرفصل تدوینی شورای انقلاب فرهنگی برای درس سازه های فولادی (۲) به شرح زیر است:

- در فصل اول، طراحی جوش در اتصالات اعضای فولادی آورده شده است.
- در فصل دوم، روند طراحی انواع اتصالات تیر به ستون آورده شده است.
- در فصل سوم، طراحی انواع کف ستون ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.
- در فصل چهارم، طراحی قاب های مهاربندی شده آورده شده است.
- در فصل پنجم، طراحی اتصالات قاب های مهاربندی شده مورد بحث قرار گرفته شده است.

بدون شک تهیه ی این اثر جز با تلاش و همراهی همکاران متعدد امکان پذیر نبوده است. لازم است از زحمات همکاران گرامی سرکار خانم مهندس نسرين الهی خواه ، سرکار خانم مهندس فروغ کبیری دهکردی و جناب آقای مهندس روح الله راه نورد دانش آموختگان رشته مهندسی عمران موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان که در تهیه ویرایش نخست این کتابچه زحمات فراوانی را متحمل شدند، همچنین آقای حسین دانشجوی کوشای دانشگاه آزاداسلامی واحد آبادان که با دقت و جدیت در تهیه ویراست LRFD کمال همکاری را داشتند و نیز از صبر و همراهی بی دریغ همسر مهربان و فرزندان عزیزم در چند سالی که منجر به تهیه اثر حاضر شد، تقدیر ویژه گردد.

علیرغم سعی و تلاش فراوان، نگارنده بر این باور است که هیچ اثری خالی از لغزش و کاستی نیست. پیشاپیش ضمن پوزش از محضر خوانندگان محترم، خواهشمند است در جهت اصلاح و ویرایش در نسخ بعدی از طریق ایمیل Razavi.abd@gmail.com نقطه نظرات سازنده خود را ارسال فرمایند.

و من الله توفیق

سید عبدالنبی رضوی

بهمن ۹۴

" فصل اول "

جوش

جوش

انواع وسایل اتصال

هر اتصال شامل عناصر اتصال دهنده (ورق ها، قطعات تقویتی ، ورق های اتصال در گره، نبشی ها، لچکی های اتصال و ...) و نیز وسایل اتصال (پیچ، پرچ و جوش) می باشد.

تعریف جوش

جوش دادن عبارت است از ایجاد پیوستگی مولکولی بین دو یا چند قطعه فلزی که حداقل یکی از آنها به طور موضعی تحت اثر حرارت به حالت خمیری یا مذاب در آید. این عمل ممکن است بدون فشار یا تحت فشار انجام پذیرد.

در یک اتصال جوش ذوبی، دو قسمت کاملاً مجزا به چشم می خورد :

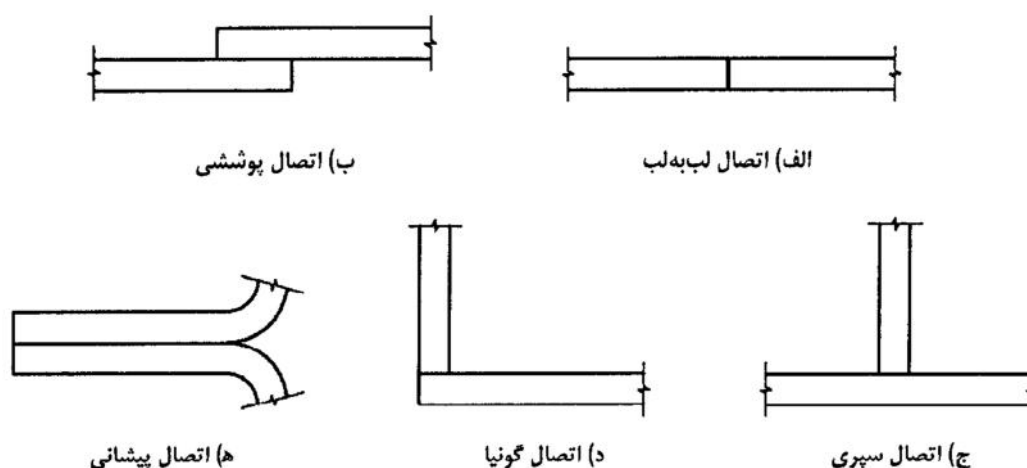
۱- منطقه ذوب شده و نواحی اطراف آن

۲- فلز مبنا (فلز جوش).

انواع اتصال جوشی

انواع اتصالات جوشی عبارتند از :

اتصال لب به لب، اتصال پوششی، اتصال سپری، اتصال گونیا و اتصال پیشانی، این اتصالات در شکل ۱-۱ نمایش داده شده اند.



شکل ۱-۱- انواع اتصالات جوشی

الف) اتصال لب به لب

این اتصال هنگامی کاربرد دارد که ورق ها تقریباً هم ضخامت بوده و سطحی صاف مد نظر باشد.

ب) اتصال پوششی (روی هم)

این اتصال دارای مزایایی به شرح زیر می باشد :

- ۱- سهولت تنظیم: در این اتصال جهت ترمیم خطای ساخت و یا خطای طول قطعه ، قطعات نسبت به هم می توانند جابه جا گردند .
- ۲- سهولت اتصال: قطعات نیاز به آماده سازی ندارند .
- ۳- عدم محدودیت ضخامت: در این اتصال قطعات با ضخامت های متفاوت می توانند به هم جوش شوند .

ج) اتصال سپری

از این نحوه اتصال در ساخت تیر ورق ها به شکل T و I و... استفاده می گردد.

د) اتصال گونیا

در مواردی مانند ساخت مقاطع جعبه ای مستطیل شکل در تیر ورق ها و یا ستون ها استفاده می شود .

هـ) اتصال پیشانی

این اتصال یک اتصال مقاوم نمی باشد و معمولاً جهت نگهداری ورق ها در وضع اولیه استفاده می گردد.

انواع جوش

انواع جوش ها عبارتند از:

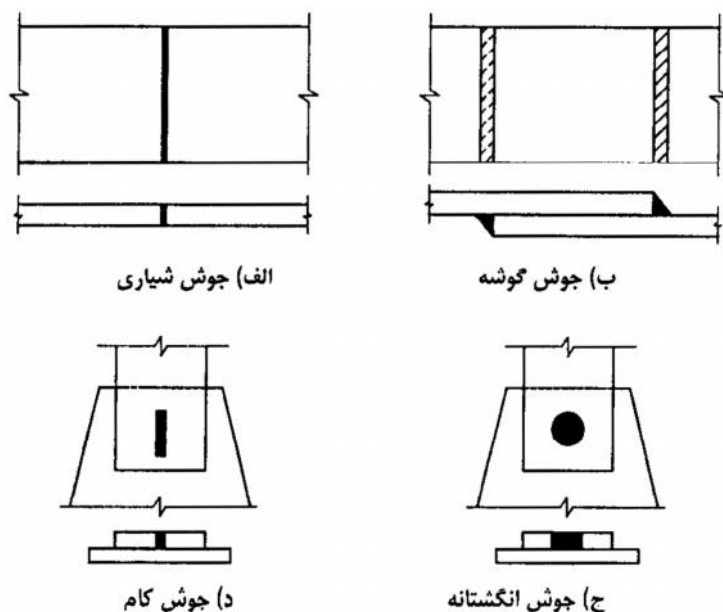
الف) جوش شیاری (لب به لب)

ب) جوش گوشه (نواری)

ج) جوش انگشتانه

د) جوش کام (توپر)

در شکل ۱-۲ انواع جوش ها نمایش داده شده اند.



شکل ۱-۲- انواع جوش ها

تذکر:

در اتصالات ساختمانی در حدود ۱۵ درصد از جوش شیار ۸۰ درصد از جوش گوشه و ۵ درصد از بقیه انواع جوش ها استفاده می شود .

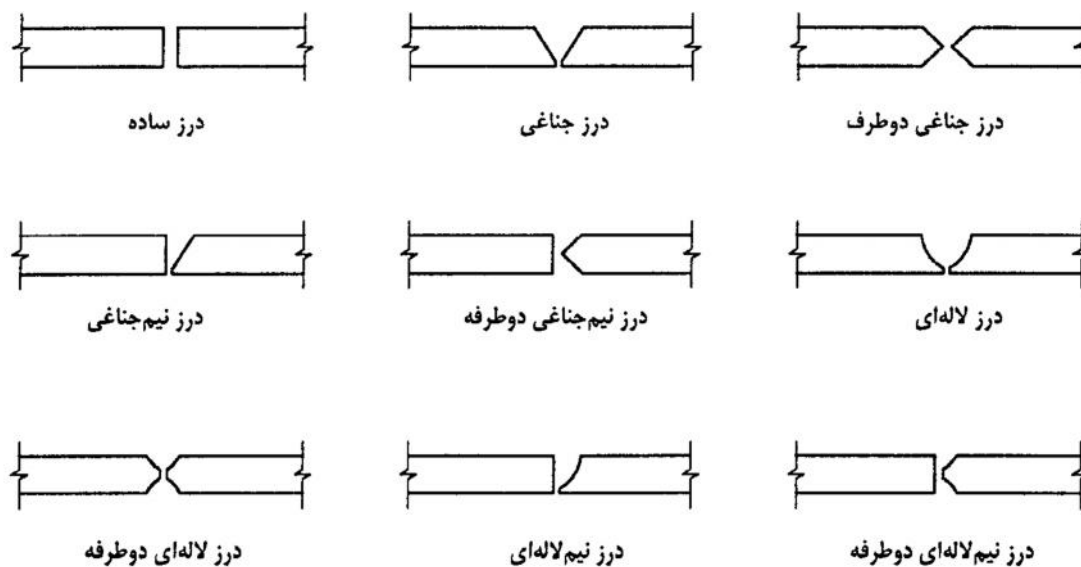
جوش شیار

از نظر چگونگی جوش دادن جوش شیار به دو نوع زیر تقسیم می گردد:

(الف) جوش شیار با نفوذ کامل: جوش در تمام عمق قطعات متصل شونده گسترش می یابد.

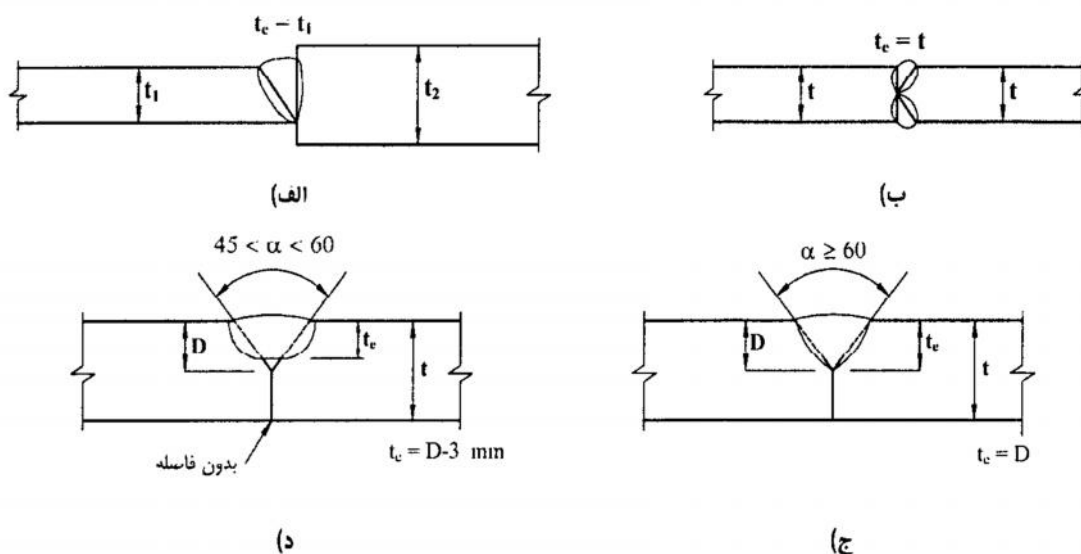
(ب) جوش شیار با نفوذ نسبی: جوش در تمام عمق قطعات متصل شونده گسترش نمی یابد.

در این نوع جوش قبل از انجام عملیات جوش کاری، لبه های درز جوش باید آماده گردند. شکل لبه ها و انواع جوش شیار در شکل ۱-۳ آمده است.



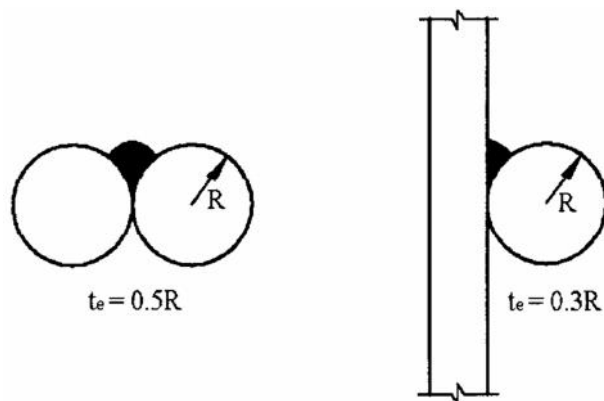
شکل ۱-۳- انواع درزهای جوش شیاری

سطح مقطع موثر در جوش های شیاری عبارت است از حاصل ضرب طول موثر جوش در ضخامت گلوگاه موثر. طول موثر جوش برابر با پهنای قطعه جوش شونده، ضخامت گلوگاه موثر در جوش با نفوذ کامل برابر ضخامت قطعه نازک تر (شکل ۱-۴ الف و ب) و در جوش با نفوذ نسبی برابر با عمق شیار جوش منهای ۳ میلی متر در نظر گرفته می شود. (شکل ۱-۴ ج)



شکل ۱-۴- نمایش چگونگی در نظر گرفتن ضخامت گلوگاه موثر

مبحث ۱۰، ضخامت موثر جوش شیاری که بین دو لبه گردد (مثل شیار بین دو میلگرد) و یا بین یک لبه ی گرد و لبه تخت (مثل میلگرد در مجاورت ورق) اجرا می شود را مطابق شکل ۵-۱ مقرر نموده است:



شکل ۵-۱- ضخامت موثر جوش شیاری بر روی لبه های گرد

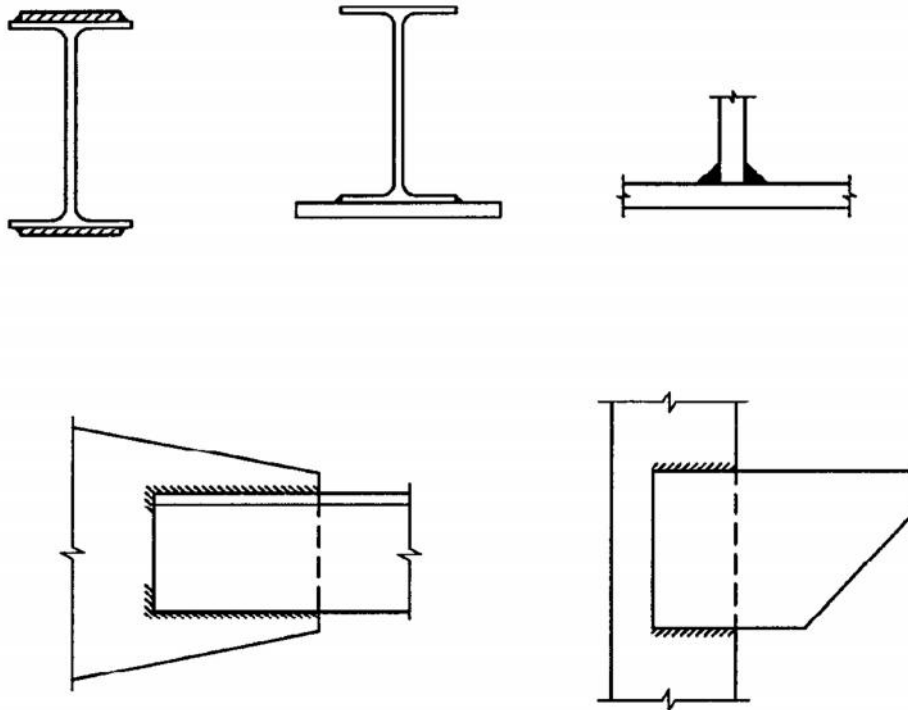
همچنین ضخامت گلوگاه موثر نباید از مقادیر مندرج در جدول ۱-۱ کمتر شود. حداقل ضخامت گلوگاه موثر با توجه به ضخامت قطعه ضخیم تر تعیین می شود. از طرفی بعد جوش نباید از ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده تجاوز کند.

جدول ۱-۱- حداقل ضخامت موثر جوش شیاری

حداقل گلوگاه جوش	ضخامت قطعه نازکتر
۳ میلی متر	تا ۶ میلی متر
۵ میلی متر	۶ تا ۱۲ میلی متر
۶ میلی متر	۱۲ تا ۲۰ میلی متر
۸ میلی متر	۲۰ تا ۴۰ میلی متر
۱۰ میلی متر	۴۰ تا ۶۰ میلی متر
۱۳ میلی متر	۶۰ تا ۱۵۰ میلی متر
۱۶ میلی متر	بیش از ۱۵۰ میلی متر

جوش گوشه

در شکل ۶-۱ چند نمونه کاربرد جوش گوشه نمایش داده شده است.



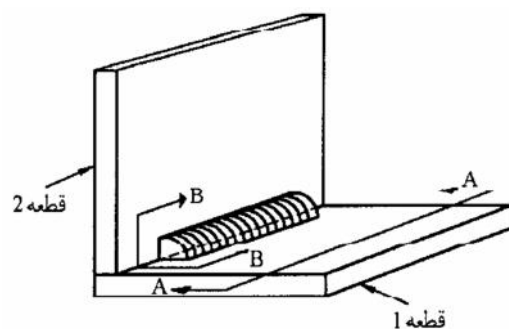
شکل ۶-۱- کاربرد جوش گوشه

بنا به تعریف مبحث ۱۰ :

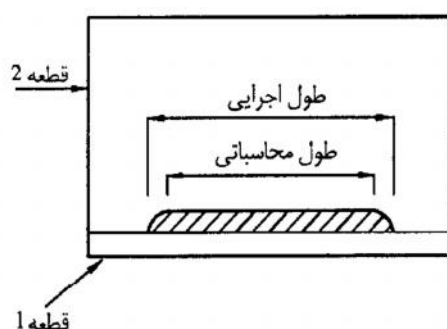
سطح مقطع موثر جوش های گوشه عبارت است از حاصلضرب طول موثر در ضخامت گلوگاه موثر.

طول موثر جوش گوشه L_e ، (به جز جوش هایی که در سوراخ و شکاف قرار می گیرد) برابر با طول کلی نوار جوش شامل قسمت های برگشت خورده می باشد. (شکل ۷-۱-ب).

ضخامت گلوگاه موثر، t_e ، در جوش گوشه برابر کوتاه ترین فاصله بین عمیق ترین نقطه مقطع جوش تا سطح خارجی آن به عبارت دیگر برابر ارتفاع وارد بر وتر مثلث مقطع جوش به حساب می آید. (شکل ۷-۱-ج).

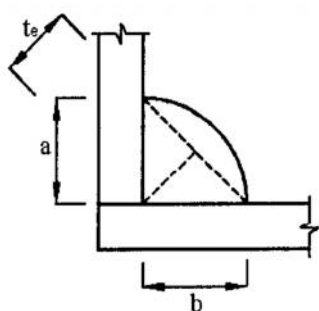


(الف)



(ب) طول جوش گوشه

$$2D + \text{طول محاسباتی} = \text{طول اجرایی}$$



(ج) ضخامت گلوگاه

$$\left. \begin{aligned} & \text{اگر } a = b = D \text{ (جوش با ساق مساوی)} \quad t_e = 0.707D \\ & \text{اگر } a \neq b \text{ (جوش با ساق نامساوی)} \quad t_e = \frac{ab}{\sqrt{a^2 + b^2}} \end{aligned} \right\}$$

a و b ساق جوش می‌باشند.

شکل ۱-۷- مشخصات جوش گوشه

محدودیت در جوش گوشه

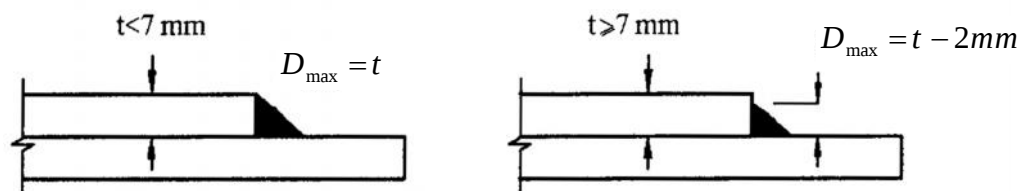
مبحث ۱۰ حداقل بعد جوش گوشه را مطابق جدول ۱-۲ در نظر گرفته شود.

جدول ۱-۲- حداقل بعد جوش گوشه

ضخامت قطعه نازکتر متصل شونده	حداقل بعد جوش گوشه
تا ۶ میلی متر	۳ میلی متر
۶ تا ۱۲ میلی متر	۵ میلی متر
۱۲ تا ۲۰ میلی متر	۶ میلی متر
بیش از ۲۰ میلی متر	۸ میلی متر

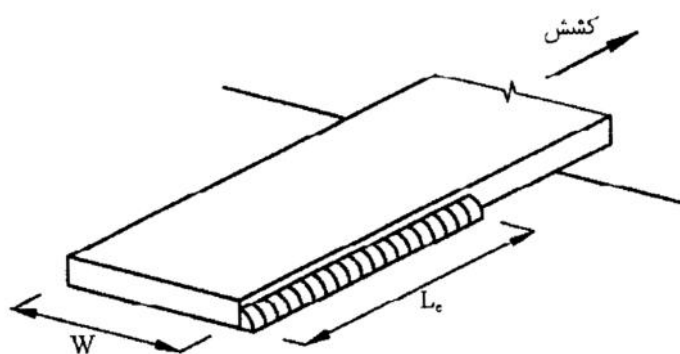
حداکثر بعد جوش گوشه در لبه قطعات متصل شونده به این شرح است:

- در قطعات با ضخامت کمتر از ۷ میلی متر از ضخامت قطعه بیشتر نباشد.
- در قطعات با ضخامت ۷ میلی متر و بیشتر، ضخامت قطعه منهای ۲ میلیمتر (شکل ۱-۸).



شکل ۱-۸- حداکثر بعد جوش گوشه

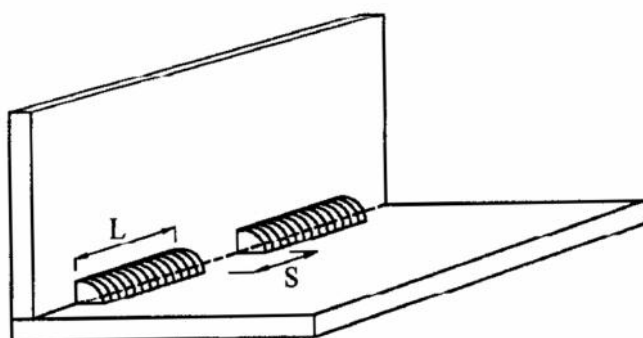
طول موثر جوش گوشه که برای تحمل تنش ها محاسبه شده باشد نباید از ۴ برابر بعد آن کمتر باشد و اگر فقط از جوش گوشه در لبه های طولی و موازی در انتهای تسمه های کششی استفاده می شود، طول هر طرف نباید از فاصله عمودی بین آنها (تقریباً عرض تسمه) کمتر باشد و این فاصله عمودی نباید از ۲۰ سانتی متر تجاوز کند. (شکل ۱-۹).



شکل ۹-۱- طول موثر جوش گوشه

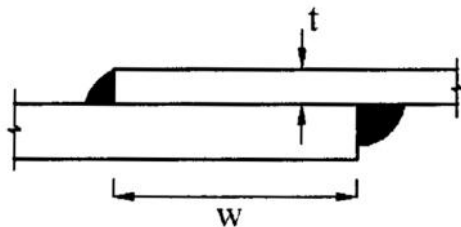
جوش های گوشه منقطع، برای انتقال تنش های محاسبه شده، هنگامی لازم است که نیروی منتقله از مقاومتی که با جوش سرتاسری و حداقل بعد جوش تأمین می شود کمتر باشد. استفاده از این جوش در اتصال جان و بال تیر ورق ها و یا دیگر مقاطع ساخته شده و اتصال ورق های تقویتی بال نیز مجاز می باشد.

طول موثر قطعات جوش نباید از ۴ برابر بعد جوش و از ۴۰ میلیمتر کمتر شود. فاصله آزاد بین قطعات جوش نباید از ۱۶ برابر ضخامت نازکترین قطعه متصل شونده وقتی که در فشار است و از ۲۴ برابر این ضخامت وقتی که در کشش است بیشتر شود. (شکل ۱۰-۱).



شکل ۱۰-۱- محدودیت جوش های گوشه منقطع

در اتصال دو قطعه که روی هم قرار می گیرند طول روی هم آمدگی نباید از ۵ برابر ضخامت قطعه نازکتر کمتر باشد و در هیچ حالتی از ۲۵ میلیمتر کمتر نشود. (شکل ۱-۱۱).



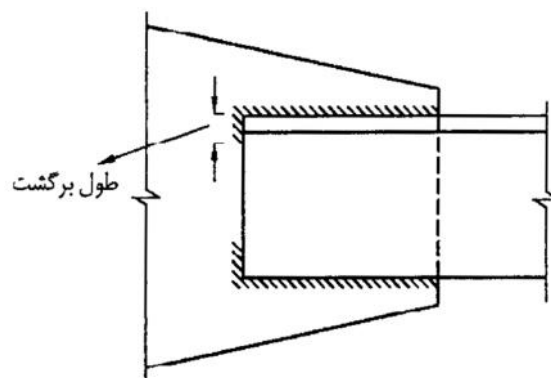
$$w \geq 5t$$

$$w \geq 25 \text{ mm}$$

شکل ۱-۱۱- شرایط طول پوششی در جوش گوشه

کلیه جوش های گوشه که در لبه ی کناری یا ضلع انتهایی عضو انجام می شود باید در آخر ضلع و بر روی ضلع دیگر برگشت داده شود که حداقل طول این برگشت ۲ برابر و حداکثر این مقدار ۴ برابر بعد جوش می باشد. این شرط برای تکیه گاه های ساخته شده لچکی (براکت) در جوش های گوشه قائم و جوش های گوشه سر بالا و نبشی های نشیمن و... صدق می کند. (شکل ۱-۱۲).

$$2D \leq \text{Re ject } L \leq 4D$$



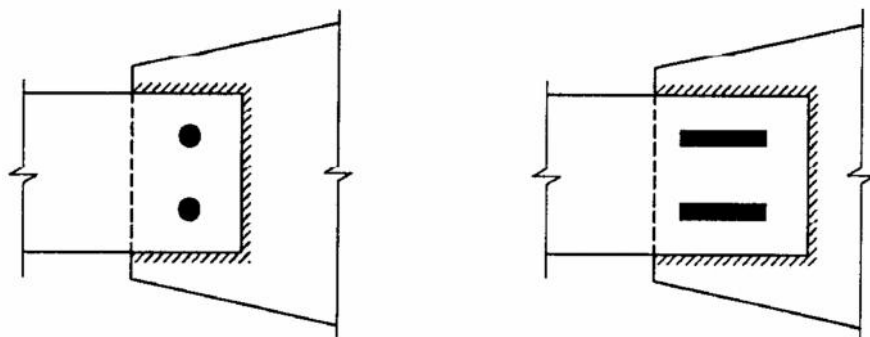
شکل ۱-۱۲- طول برگشت در جوش گوشه

در نبشی های اتصال تیر و ستون یا ورق های این نوع اتصال (که انعطاف پذیری اتصال به مقدار زیادی تابع انعطاف پذیری بال بر بسته نبشی با طول قابل تغییر شکل ورق است)، برگشت دو انتهای جوش گوشه نباید از ۴ برابر بعد جوش بیشتر باشد. برگشت انتها در جوش گوشه باید در نقشه ها و جزییات اجرایی قید شود.

جوش های انگشتانه و کام

جوش انگشتانه جوشی است که در سوراخ اجرا می شود و جوش کام در شکاف انجام می شود. (شکل ۱-۱۳).

از این جوش ها برای انتقال برش در اتصال عناصری که روی هم قرار دارند و یا جلوگیری از کمانش در عناصر روی هم آمده در اعضای مرکب ساخته شده استفاده می شود. این جوش ها را می توان به صورت ترکیبی با جوش گوشه به کار برد. این ترکیب وقتی استفاده می شود که اندازه اتصال طول جوش گوشه را محدود می نماید. (شکل ۱-۱۳).



شکل ۱-۱۳- ترکیب جوش های انگشتانه و کام با جوش گوشه

سطح مقطع موثر جوش برای جوش انگشتانه و کام برابر با سطح مقطع اسمی سوراخ و شکاف در صفحه برش به حساب می آید.

محدودیت در جوش های انگشتانه و کام

محدودیت زیر در مبحث ۱۰، برای جوش های انگشتانه و کام ذکر شده است:

قطر سوراخ در جوش انگشتانه نباید از ضخامت قطعه سوراخ شده به اضافه ۸ میلی متر کمتر باشد. همچنین قطر یاد شده نباید از مقدار حداقل به اضافه ۳ میلی متر و یا $2\frac{1}{4}$ برابر ضخامت جوش بزرگتر شود.

حداقل فاصله مرکز به مرکز جوش های انگشتانه ۴ برابر قطر سوراخ می باشد.

حداقل فاصله مرکز به مرکز شکاف ها در جوش های کام در امتداد عمود بر طول ۴ برابر پهنای شکاف و حداقل فاصله مرکز به مرکز شکاف در امتداد طول، ۲ برابر طول شکاف می باشد. طول شکاف نباید از ۱۰ برابر ضخامت جوش بیشتر شود.

پهنای شکاف نباید از ضخامت قطعه بریده شده به اضافه ۸ میلی متر کمتر و همچنین از $2\frac{1}{4}$ برابر ضخامت جوش بیشتر باشد.

انتهای شکاف باید به صورت نیم دایره یا خطی مستقیم که در گوشه ها تبدیل به ربعی از دایره (با شعاعی بزرگتر از ضخامت قطعه) می شود باشد.

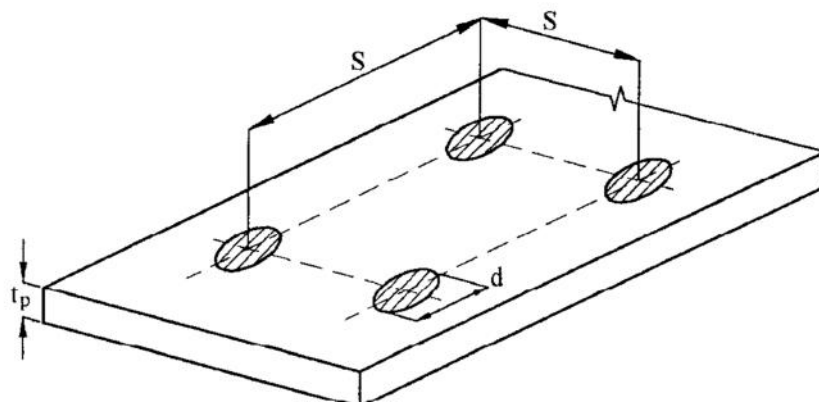
ضخامت جوش انگشتانه و کام در مصالحی که ضخامت آنها بیش از ۱۶ میلیمتر و یا کمتر است باید برابر ضخامت مصالح باشد. در مصالحی که ضخامت آنها بیش از ۱۶ میلیمتر است ضخامت این جوش باید حداقل $\frac{1}{2}$ ضخامت مصالح باشد و از ۱۶ میلیمتر نیز کمتر نشود. محدودیت های فوق در شکل ۱-۱۴ نمایش داده شده است.

$$S \geq 4d$$

$$d \geq t_p + 8 \text{ mm}$$

$$d < 2.25t_w$$

t_w : ضخامت جوش



الف) جوش انگستانه

$$L \leq 10t_w$$

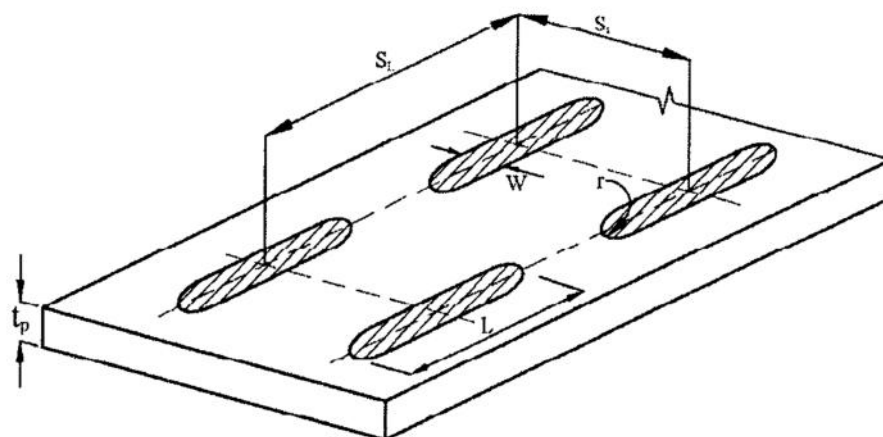
$$W \geq t_p + 8 \text{ mm}$$

$$W \leq 2.25t_w$$

$$S_r \geq 4W$$

$$S_L \geq 2L$$

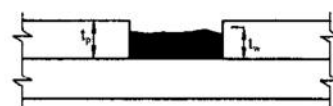
$$r \geq t_p$$



ب) جوش کام

$$t_p \leq 16 \text{ mm} \Rightarrow t_w = t_p$$

$$t_p > 16 \text{ mm} \Rightarrow t_w \geq \frac{1}{2}t_p \geq 16 \text{ mm}$$



ج) محدودیت ضخامت در جوش های انگستانه و کام

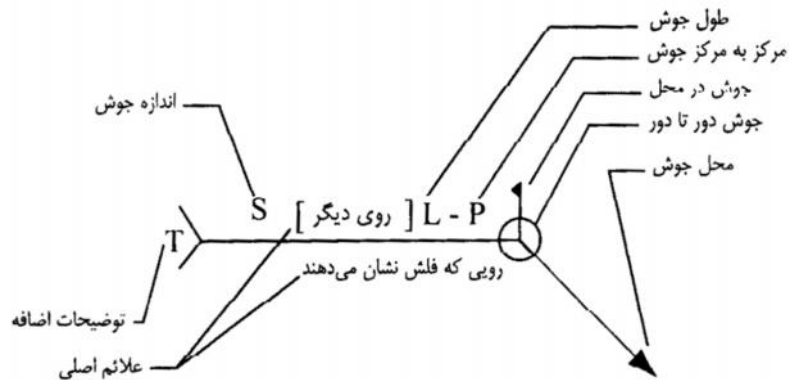
شکل ۱-۱۴- محدودیت در جوش کام و انگستانه

علائم جوشکاری

در شکل ۱-۱۵ علائم جوشکاری و چگونگی استفاده و قرائت نقشه های جوشکاری و اتصالات

نشان داده شده است.

جوش پشت	جوش کوشه	جوش کام انگشتانه	جوش شیاری						
			ساده موازی	جناغی	نیم جناغی	۷ لاله‌ای	نیم لاله‌ای	جناغی گرد	نیم جناغی گرد



شکل ۱-۱۵- علائم جوشکاری

مقاومت جوش

مقاومت طراحی جوش ها مساوی fR_n می باشد که در آن ، f ضریب کاهش مقاومت طبق جدول ۱-۳ و R_n مقاومت اسمی جوش می باشد که باید به شرح زیر برابر کوچکترین مقدار محاسبه شده بر اساس حالت های حدی گسیختگی کششی و گسیختگی برشی برای مصالح فلز پایه و حالت حدی گسیختگی برای فلز جوش در نظر گرفته شود.

الف) بر اساس مصالح فلز پایه

$$R_n = F_{nBM} A_{BM}$$

ب) بر اساس مصالح فلز جوش

$$R_n = b F_{nw} A_{we}$$

که در آن :

F_{nBM} : تنش اسمی فلز پایه

F_{nw} : تنش اسمی فلز جوش

A_{BM} : سطح مقطع فلز پایه

A_{we} : سطح مقطع موثر جوش

b : ضریب بازرسی جوش به شرح زیر:

۱- در صورت انجام آزمایش های غیر مخرب نظیر رادیوگرافی و التراسونیک (فراصوتی): $b = 1$

۲- در صورت انجام جوش در کارخانه (یا شرایط مشابه) و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح

جوش: $b = 0.85$

۳- در صورت انجام جوش در محل و بازرسی چشمی جوش توسط بازرس ذیصلاح جوش: $b = 0.75$

جدول ۳-۱ - مقاومت جوش ها

نوع جوش	نوع بار و جهت آن نسبت به محور جوش	نوع فلز حاکم بر تعیین مقاومت جوش	ضریب کاهش مقاومت f	تنش اسمی F_{nBm} یا F_{aw}
جوش شیار با نفوذ کامل و لبه آماده شده	کشش عمود بر مقطع موثر	فلز پایه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ آیین نامه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ آیین نامه
	فشاری عمود بر مقطع موثر، کششی و یا فشاری موازی با محور جوش	فلز پایه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰ آیین نامه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰ آیین نامه
	برشی، در مقطع موثر	فلز پایه	مطابق فصل ۶-۲-۱۰ آیین نامه	مطابق فصل ۶-۲-۱۰ آیین نامه
جوش شیار با نفوذ نسبی	فشاری، در امتداد عمود بر مقطع موثر	فلز پایه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰ آیین نامه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰ آیین نامه
	کششی در امتداد عمود بر مقطع موثر	بر اساس فلز پایه	۰/۷۵	$F_{nBm} = F_u$
	کششی در امتداد عمود بر مقطع موثر	بر اساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	۰/۸	$F_{nw} = 0.6F_u$
	برشی در مقطع موثر	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل (۶-۲-۱۰) آیین نامه	
		بر اساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw} = 0.6F_u$
جوش گوشه	برشی در مقطع موثر	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل (۶-۲-۱۰) آیین نامه	مطابق فصل (۶-۲-۱۰) آیین نامه
		بر اساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw} = 0.6F_{ue}$
	کششی یا فشاری، موازی با محور جوش	فلز پایه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰ آیین نامه	مطابق فصل ۳-۲-۱۰ یا ۴-۲-۱۰ آیین نامه
		بر اساس فلز پایه	مطابق فصل (۶-۲-۱۰) آیین نامه	مطابق فصل (۶-۲-۱۰) آیین نامه
جوش انگشتانه و کام	برشی، موازی سطح برش شونده (روی مقطع موثر)	بر اساس فلز پایه	مطابق فصل (۶-۲-۱۰) آیین نامه	مطابق فصل (۶-۲-۱۰) آیین نامه
		بر اساس فلز جوش (الکتروود مصرفی)	۰/۷۵	$F_{nw} = 0.6F_{ue}$

 F_y = تنش تسلیمی فلز پایه

 F_{ue} = تنش نهایی فلز جوش (الکتروود مصرفی)

ترکیب جوش ها

اگر از دو یا چند نوع جوش به صورت مجموعه (جوش شیاری، جوش گوشه، جوش انگشتانه و جوش کام) در یک اتصال استفاده شود. برای تعیین مقاومت طراحی مجموعه باید مقاومت طراحی هریک را جداگانه نسبت به محور مجموعه جوش محاسبه و سپس مقاومت طراحی مجموعه را از مجموع مقاومت های طراحی تک تک جوش ها تعیین نمود.

الکترودهای سازگار با مصالح فلز پایه

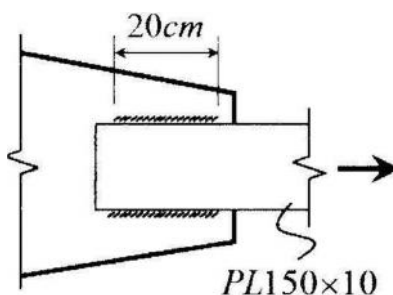
فلز جوش (الکتروود مصرفی) باید سازگار با مصالح فلز پایه و مطابق با مقادیر جدول ۱-۴ باشد.

جدول ۱-۴- الکترودهای سازگار با فلز پایه

نوع الکتروود سازگار	مقاومت نهایی کششی فلز الکتروود F_{ue}	تنش تسلیم مصالح فلز پایه F_y
E 60 یا معادل آن	$4200kg / cm^2$	تا $3000kg / cm^2$ و $t \leq 15mm$
E 70 یا معادل آن	$4900kg / cm^2$	
E 70 یا معادل آن	$4900kg / cm^2$	تا $3000kg / cm^2$ و $t > 15mm$
E 70 یا معادل آن	$4900kg / cm^2$	از $3000kg / cm^2$ تا $3800kg / cm^2$
E 80 یا معادل آن	$5600kg / cm^2$	از $3800kg / cm^2$ تا $4600kg / cm^2$

t = ضخامت فلز پایه

مثال ۱-۱- در اتصال نشان داده شده با فرض آنکه مقاومت ورق مطرح نباشد و الکتروود از نوع E60 باشد، مطلوبست تعیین مقاومت طراحی جوش گوشه اتصال مذکور. بعد جوش گوشه ۷ میلیمتر و بازرسی چشمی کارگاهی است.



شکل ۱-۱۶- مثال ۱-۱

حل:

$$R_n = bF_{nw}A_{we} = b(0.6F_{ue})(0.707D \times L)$$

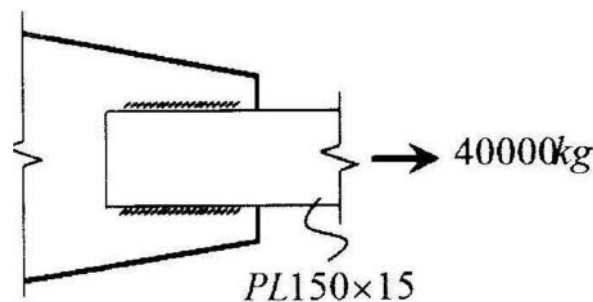
برای دو نوار طولی جوش گوشه هریک به طول ۲۰ سانتی متر، مقاومت طراحی اتصال به شکل زیر محاسبه می شود:

$$R_n = 0.75(0.6 \times 4200)(0.707 \times 0.7 \times 40) = 37414 \text{ kg}$$

$$j R_n = 0.75 \times 37414 = 28060 \text{ kg}$$

تمرین ۱-۱- مثال فوق را با فرض استفاده از الکترود E70 و بعد جوش ۱cm حل کنید.

مثال ۱-۲- برای اتصال نشان داده شده، مطلوبست طراحی طول جوش مورد نیاز به نحوی که اتصال پاسخگوی بار ضریبدار ۴۰ تن باشد. بعد جوش گوشه ۸ میلیمتر و بازرسی چشمی کارگاهی است. الکترود از نوع E70 می باشد.



شکل ۱-۱۷- مثال ۱-۲

حل:

$$R_n = bF_{nw}A_{we} = b(0.6F_{ue})(0.707D \times L) = 0.75(0.6 \times 4900 \times 0.707 \times 0.8 \times L) = 1247L$$

$$j R_n = 0.75 \times 1247L = 935L$$

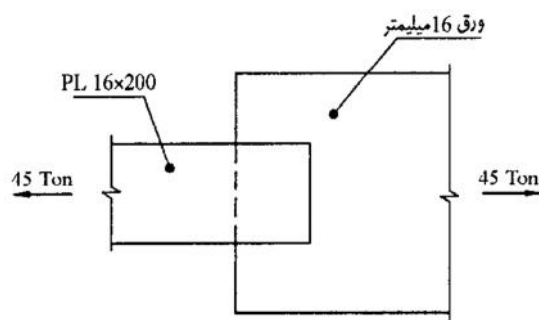
$$R_u \leq f R_n$$

$$\Rightarrow 40000 \leq 935L \quad \Rightarrow L \geq 42.8 \text{ cm}$$

پس با توجه به اینکه دو نوار جوش طولی در طرفین تسمه اجرا می شود، از ۲ نوار هریک به طول ۲۲ سانتی متر استفاده می شود.

تمرین ۱-۲- مثال فوق را با فرض استفاده از الکتروود E60 و بعد جوش ۱ سانتی متر برای بار ضریبدار ۶۰ تن حل کنید.

مثال ۱-۳- اندازه و طول جوش گوشه ای که در اتصال شکل ۱-۱۸ امکان پذیر باشد را به دست آورید. فولاد مصرفی از نوع فولاد نرمه ساختمانی، کنترل کارگاهی و الکتروود مصرفی E60 است.



شکل ۱-۱۸- مربوط به مثال ۱-۳

$$D_{\min} = 6mm$$

$$D_{\max} = 16 - 2 = 14mm$$

از جوش گوشه ۱۲ میلی متری استفاده می شود.

محاسبه مقاومت طراحی

$$R_n = b F_{nw} A_{we} = b (0.6 F_{ue}) (0.707 D \times L)$$

$$R_n = b F_{nw} A_{we} = b (0.6 F_{ue}) (0.707 D \times L)$$

$$R_n = 0.75 (0.6 \times 4200) (0.707 \times 1.2 \times L) = 1603L$$

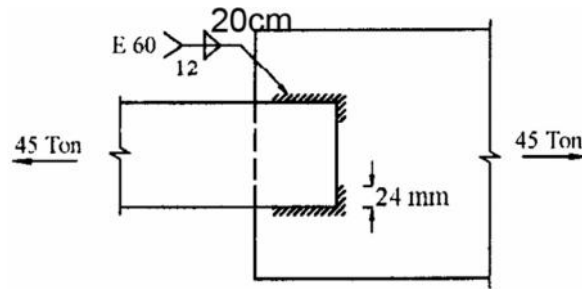
$$j R_n = 0.75 \times 1603L = 1202L$$

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$\Rightarrow 45000 \leq 1202L \Rightarrow L \geq 37.44^{cm}$$

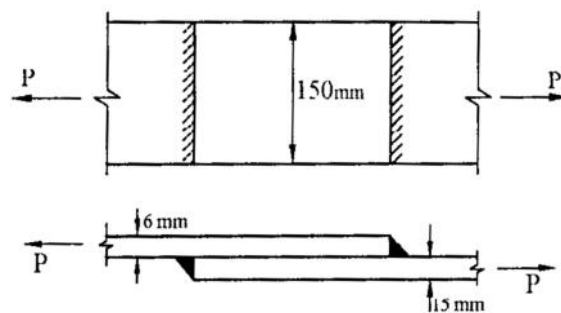
$$\text{طول جوش هر طرف} = \frac{37.44}{2} = 18.71 \approx 20^{cm}$$

پس از دو جوش با طول ۲۰ سانتی متر در هر طرف استفاده می کنیم.



شکل ۱۹-۱- جزییات جوش گوشه مثال ۳-۱

تمرین ۳-۱- در اتصال شکل ۲۰-۱ مقدار بار مجاز را محاسبه نمایید. فولاد مصرفی از نوع نرمه ساختمانی با تنش جاری شدن $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ ، کنترل کارگاهی و الکتروود مصرفی E60 است.



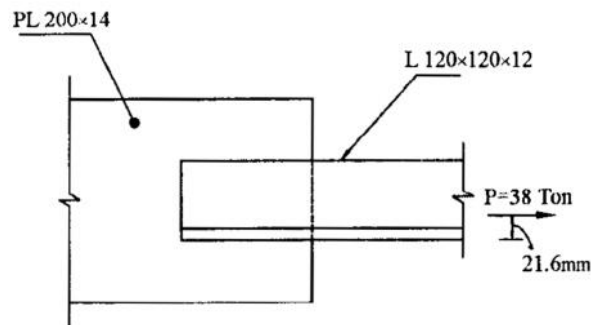
شکل ۲۰-۱

جوش متعادل

مقطع بعضی از اعضاء غیر متقارن می باشد (مانند نبشی). این مقاطع وقتی تحت اثر نیروی محوری قرار می گیرند چون نیرو از مرکز سطح مقطع عبور نمی کند، باعث می شود در اتصال این عضو با دیگر اعضاء برون محوری ایجاد گردد، که می توان با آرایش مناسب جوش ها، از ایجاد برون محوری جلوگیری نمود.

مثال ۴-۱- مطلوب است طراحی جوش های گوشه ای که در اتصال شکل ۲۱-۱ اثر خروج از مرکزیت را از بین ببرد. فولاد مصرفی از نوع نرمه ساختمانی با تنش جاری شدن $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$

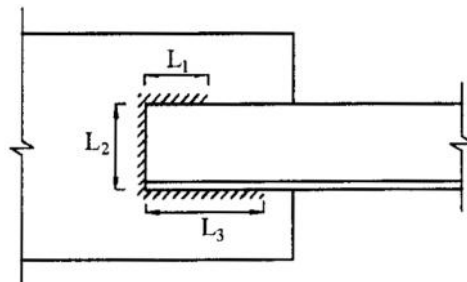
، کنترل کارگاهی و الکتروود مصرفی E60 است. مقاومت ورق و نبشی کنترل کننده نیست.



شکل ۲۱-۱

حل:

از سه ردیف جوش مطابق شکل زیر استفاده می گردد.



شکل ۲۲-۱

انتخاب بعد جوش :

$$D_{min} = 5mm$$

$$D_{max} = 12 - 2 = 10mm$$

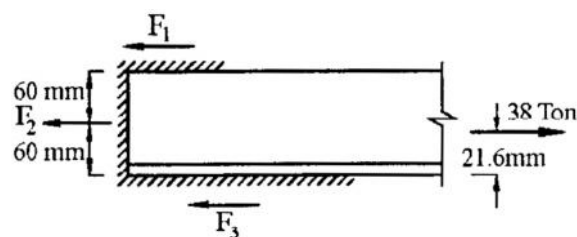
با توجه به مقدار حداقل و حداکثر بعد جوش، بعد جوش ۸ میلی متر انتخاب می گردد .

محاسبه طول جوش ها

$$F_2 = R_{n2} = b F_{nw} A_{we} = b (0.6 F_{ue}) (0.707 D \times L)$$

$$F_2 = 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times 0.8 \times 12 = 12827kg$$

$$f R_{n2} = 0.75 \times 12827 = 9621kg$$



شکل ۲۳-۱

اگر بخواهیم اثر برون محوری حذف گردد باید لنگر حاصل از نیروهای F_1 و F_2 و F_3 لنگر حاصل از نیروی P را خنثی کند. پس:

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 38000 \times 2.16 - 12F_1 - 6F_2 = 0$$

$$F_1 = 2029 \text{ kg} \Rightarrow fR_{n1} = 2029 \text{ kg}$$

$$fR_{n1} = \phi F_{nw} A_{we} = \phi (0.6 F_{ue}) (0.707 D \times L_1)$$

$$2029 = 0.75 \times 0.75 (0.6 \times 4200) (0.707 \times 0.8 \times L_1) \Rightarrow L_1 = 2 \text{ cm}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_1 + F_2 + F_3 = P \rightarrow F_3 = 23144 \text{ kg}$$

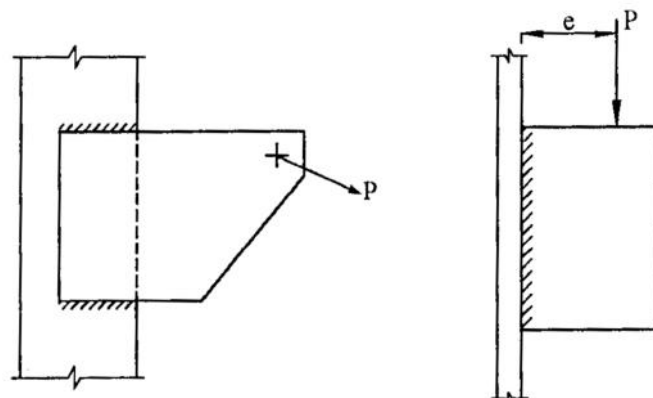
$$fR_{n3} = \phi F_{nw} A_{we} = \phi (0.6 F_{ue}) (0.707 D \times L_3)$$

$$23144 = 0.75 \times 0.75 (0.6 \times 4200) (0.707 \times 0.8 \times L_3) \Rightarrow L_3 = 5.26 \text{ cm}$$

تمرین ۱-۴- در صورت استفاده از نبشی L10x10x1 جوش متعادل مثال قبل را طراحی کنید.

اتصالات جوشی با برون محوری

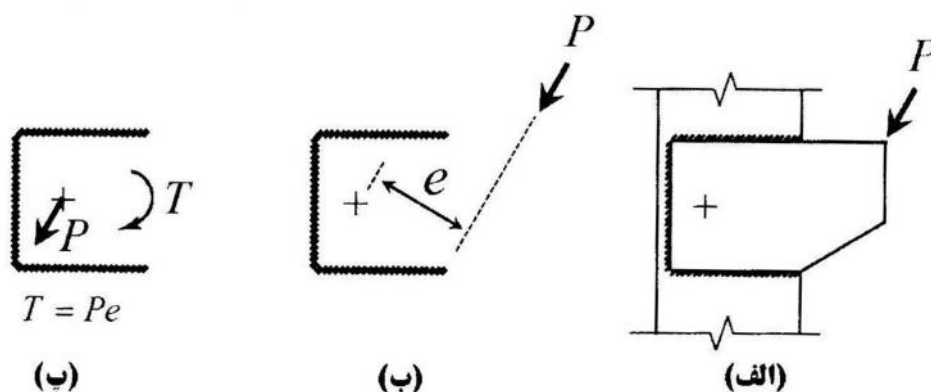
در بعضی اتصالات جوشی مانند شکل ۱-۲۴ بارگذاری به صورتی است که جوش ها در یک زمان تحت اثر تنش های مختلف قرار می گیرند که اثرات این تنش ها، به صورت همزمان باید در نظر گرفته شود. در اتصالات ساختمانی جوش هایی که تحت اثر ترکیب برش و پیچش و ترکیب برش و خمش قرار دارند بیشتر دیده می شوند.



شکل ۱-۲۴- اتصالات جوشی با برون محوری

ترکیب برش و پیچش

شکل ۱-۲۵-الف را در نظر بگیرید. اتصال براکت نشان داده شده تحت اثر بار P با خروج از مرکزیت e قرار دارد. در شکل ۱-۲۵-ب اتصال جوشی بدون حضور براکت و ستون نشان داده شده است. می توان با یک فرض ساده مطابق شکل ۱-۲۵-پ تصور نمود که اتصال تحت اثر یک نیروی برشی و یک کوپل پیچشی است. کوپل مذکور در صفحه جوش قرار دارد بنابراین هردو نیروی P و کوپل پیچشی T در جوش ها ایجاد نیروی برشی می کنند. برای ساده سازی می توان ابتدا محاسبات را بر اساس گلوی جوش واحد جلو برد و در نهایت نیروی به دست آمده را بر مقدار ۰.۷۰۷ برابر بعد جوش تقسیم نمود تا بار واقعی به دست آید (یا اینکه ارزش جوش را در ۰.۷۰۷ برابر بعد جوش ضرب نمود).



شکل ۱-۲۵

تنش برشی ایجاد شده ناشی از نیروی برشی P برابر است با:

$$f_1 = \frac{P}{L}$$

که L برابر کل طول جوش اتصال فرض می شود (بعد جوش واحد در نظر گرفته شده است). می توان جهت سادگی بیشتر بار P را به مانند اتصال پیچی به دو مولفه افقی و عمودی تجزیه نمود: بنابراین در حالتی که از مولفه های بار P استفاده می شود تنش های جهت x و y عبارتند از:

$$f_{1x} = \frac{P_x}{L}, \quad f_{1y} = \frac{P_y}{L}$$

که در روابط فوق P_x و P_y مولفه های افقی و عمودی بار هستند. همچنین تنش برشی ایجاد شده ناشی از کوپل پیچشی T برابر است با:

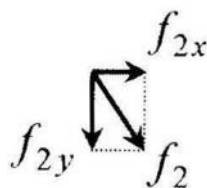
$$f_2 = \frac{T c}{J}$$

C فاصله مرکز سطح جوش تا نقطه ای که تنش در آن بررسی می شود و J نیز ممان اینرسی قطبی سطح جوش هستند. در شکل ۱-۲۶ الف این تنش در گوشه بالا سمت راست جوش نشان داده شده است و مولفه های افقی و عمودی تنش به دست آمده نیز به سادگی قابل محاسبه هستند:

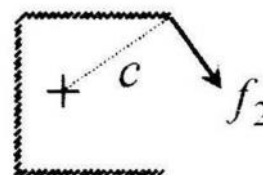
$$f_{2x} = \frac{T_y}{J}, \quad f_{2y} = \frac{T_x}{J}$$

که مقدار J به شکل زیر محاسبه می شود:

$$J = \int_A r^2 dA = (x^2 + y^2) dA = \int_A x^2 dA + \int_A y^2 dA = I_x + I_y$$



(ب)



(الف)

شکل ۱-۲۶

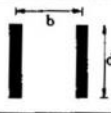
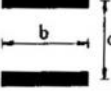
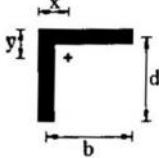
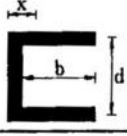
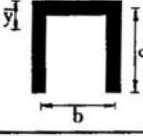
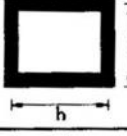
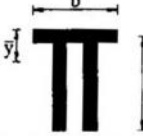
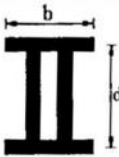
که I_x و I_y مماس اینرسی سطح جوش هستند. بعد از آنکه مولفه تنش های فوق محاسبه شدند به سادگی با جمع برداری آن ها تنش برآیند برشی در جوش محاسبه می شود.

$$f_r = \sqrt{(f_{1x} + f_{2x})^2 + (f_{1y} + f_{2y})^2}$$

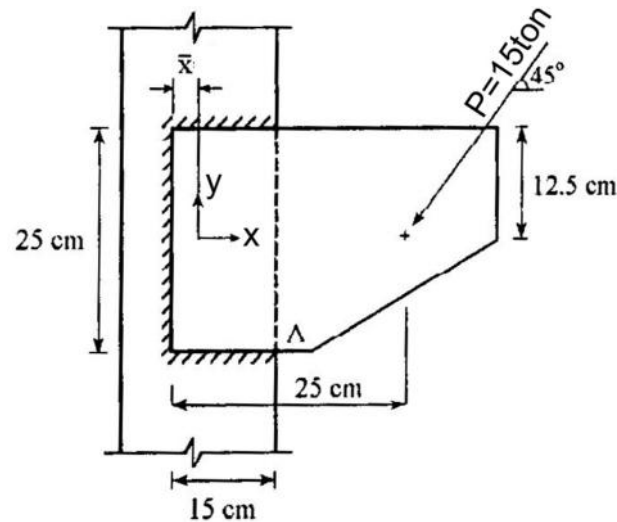
قابل ذکر است که با توجه به اینکه از بعد واحد برای جوش استفاده کرده ایم محاسبه ممان اینرسی جوش مشابه محاسبه ممان اینرسی یک خط است. در حقیقت در مسائل مشابه همواره فرض می کنیم جوش ها به مانند یک خط هستند و طول آنها با ول لبه قطعه متصل شونده برابر در نظر گرفته می شود. در محاسبه ممان اینرسی سطح جوش از ممان اینرسی جوش حول محور موازی راستای آن صرف نظر شده است. با این فرض ساده می توان ممان اینرسی جوش را به سادگی محاسبه نمود.

برای محاسبه مشخصات هندسی از جمله ممان اینرسی قطبی J برای فرم جوش های متداول از جدول ۱-۵ نیز میتوان استفاده کرد.

جدول ۱-۵- مشخصات هندسی جوش ها با ضخامت موثر واحد

ردیف	فرم جوش	مرکز هندسی	S	J
1			$\frac{d^2}{6}$	$\frac{d^3}{12}$
2			$\frac{d^2}{3}$	$\frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
3			bd	$\frac{d(3d^2 + b^2)}{6}$
4		$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$\frac{4bd + d^2}{6}$	$\frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
5		$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$	$bd + \frac{d^2}{6}$	$\frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
6		$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$\frac{2bd + d^2}{3}$	$\frac{b^3 + 6b^2d + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{2d+b}$
7			$bd + \frac{d^2}{3}$	$\frac{(b+d)^3}{6}$
8		$\bar{y} = \frac{d^2}{b+2d}$	$\frac{2bd + d^2}{3}$	$\frac{b^3 + 8d^3}{12} - \frac{d^4}{2d+b}$
9			$bd + \frac{d^3}{3}$	$\frac{b^3 + 3b^2 + d^3}{6}$
10			πr^2	$2\pi r^3$

مثال ۵-۱: مطلوبست طراحی جوش گوشه اتصال شکل ۲۷-۱. فولاد مصرفی از نوع نرمه ساختمانی E60 و کترود مصرفی E60 و کنترل کارگاهی است.



شکل ۲۷-۱

حل:

محاسبه مرکز هندسی جوش:

با توجه به اینکه جوش از نوع تیپ فرم ۵ می باشد لذا:

$$\bar{x} = \frac{6^2}{2b + d} = \frac{15^2}{2 \times 15 + 25} = 4.1 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = 12.5$$

محاسبه تنش های ناشی از نیروی برشی:

$$f_{1x} = \frac{P_x}{L} = \frac{-15000 \cos 45^\circ}{2 \times 15 + 25} = -193 \text{ kg / cm}$$

$$f_{1y} = \frac{P_y}{L} = \frac{-15000 \sin 45^\circ}{2 \times 15 + 25} = -193 \text{ kg / cm}$$

محاسبه تنش های ناشی از لنگر پیچشی:

$$f_{2x} = \frac{T_y}{J} = \frac{(-221644) \times (12.5)}{7320} = -378 \text{ kg / cm}$$

$$f_{2y} = \frac{T_x}{J} = \frac{(-221644) \times (15 - 4.1)}{7320} = -330 \text{ kg / cm}$$

$$J = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b + d}$$

$$= \frac{8 \times 15^3 + 6 \times 15 \times 25 + 25^3}{12} - \frac{15^4}{2 \times 15 + 25} = 7320 \text{ cm}^4 / \text{cm}$$

$$T = (-15000 \cos 45) \times (25.401) = -221644 \text{ kgcm}$$

برآیند تنش ها:

$$f_r = \sqrt{(f_{1x} + f_{2x})^2 + (f_{1y} + f_{2y})^2}$$

$$= \sqrt{(-193 - 378)^2 + (-193 - 330)^2} = 774 \text{ kg} / \text{cm}$$

برای محاسبه بعد جوش کافیت f را $\frac{f R_n}{L}$ مقایسه کنیم و نهایتا از این مقایسه مقدار D را بدست آوریم.

$$f_r \leq \frac{f R_n}{L}$$

$$f_r \leq \frac{f \times b(0.6f_{ue})(0.707D \times L)}{L}$$

$$\Rightarrow f_r \leq fb \times 0.6F_{ue} \times 0.707D$$

$$774 \leq 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times D$$

$$\rightarrow D \geq 0.77 \text{ mm}$$

$$USE \quad D = 8 \text{ mm}$$

تمرین ۱-۵- اگر در مثال قبل از ورقی به ارتفاع ۳۵ سانتی متر استفاده کنیم، بعد جوش لازم برای تحمل بار ۲۵ تنی را بیابید. بقیه شرایط مشابه مثال قبل.

ترکیب برش و خمش

همانطور که اشاره شد بسیاری از اتصالات با خروج از مرکزیت همراه هستند. دسته ای دیگر از این نوع خروج از مرکزیت اتصال جوشی تحت اثر توام خمش و برش است. یک نمونه از این نوع اتصال در شکل ۱-۲۸ نشان داده شده است. اتصال سپری به بال ستون توسط جوش انجام شده و سپری تحت اثر بار با خروج از مرکزیت e قرار گرفته است. جوش هایی که سپری را به بال ستون متصل نموده اند می بایست علاوه بر برشی برابر با P ، خمش ایجاد شده ناشی از برون مرکزیت بار را نیز تحمل نمایند. قسمت فوقانی جوش تحت اثر توام برش و خمش قرار گرفته است. بار با خروج از مرکزیت با یک نیروی بدون خروج از

مرکزیت و یک کوپل برابر با Pe جایگزین می شود. در این حالت نیز تنش برشی ایجاد شده در جوش ناشی از نیروی P برابر است با:

$$f_v = \frac{P}{L}$$

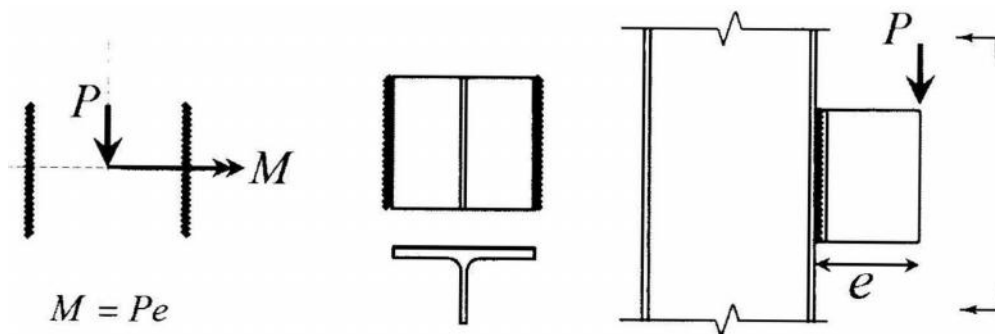
که L طول کل جوش است. توجه شود که رابطه فوق بر این اساس که بعد جوش واحد در نظر گرفته شود نوشته شده است. همچنین تنش خمشی ایجاد شده در جوش ناشی از کوپل خمشی Pe برابر است با:

$$f_b = \frac{M c}{I} = \frac{Pec}{I} = \frac{M}{S}$$

که I همان ممان اینرسی جوش حول محور تحت اثر خمش در نظر گرفته می شود. همچنین c فاصله دورترین قسمت جوش از تار خنثی اتصال است. نهایتاً با جمع برداری دو تنش خمشی و برشی تنش حداکثر ایجاد شده در جوش عبارت است از:

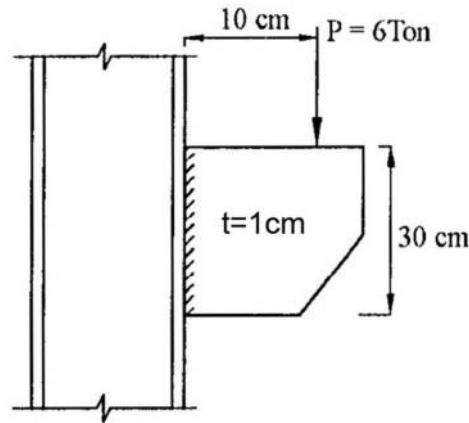
$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2}$$

برای واحدهای کیلوگرم و سانتی متر، تنش به دست آمده بر حسب kg/cm است.



شکل ۱-۲۸

مثال ۱-۶: مطلوب است طراحی جوش گوشه اتصال شکل زیر. فولاد مصرفی از نوع نرمه ساختمانی با $F_y = 2400 \text{ kg/ccm}^2$ الکتروود مصرفی E60 و کنترل کار گاهی است.



شکل ۱-۲۹

حل:

محاسبه تنش برشی:

$$f_v = \frac{P}{L} = \frac{6000}{60} = 100 \text{ kg/cm}$$

محاسبه تنش خمشی:

$$M = P e_x = 6000 \times 10 = 60000 \text{ kg.cm}$$

$$S = \frac{d^2}{3} = \frac{30^2}{3} = 300 \text{ cm}^2$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{60000}{300} = 200 \text{ kg/cm}$$

محاسبه تنش برآیند:

برای محاسبه بعد جوش کافیست f را $\frac{f R_n}{L}$ مقایسه کنیم و نهایتاً از این مقایسه مقدار D را بدست آوریم.

$$f_r \leq \frac{f R_n}{L}$$

$$f_r \leq \frac{f \times b (0.6f_{ue})(0.707D \times L)}{L}$$

$$\Rightarrow f_r \leq fb \times 0.6F_{ue} \times 0.707D$$

$$223.6 \leq 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 707 \times D$$

$$\rightarrow D \geq 0.14cm$$

$$D_{min} = 5mm$$

$$USE \quad D = 5mm$$

تمرین ۱-۶- مطلوبست طراحی جوش گوشه مثال قبل در صورتی که ورق فقط از یک طرف به ستون جوش شود. بقیه شرایط مشابه مثال قبل.

" فصل دوم "

طراحی اتصالات

انواع اتصالات

انواع قاب های ساختمانی به صورت زیر است :

گروه ۱ : قاب های خمشی: منظور قاب های یکسره می باشد که در آنها فرض می شود اتصالات تیر و ستون به اندازه کافی صلب است. به طوری که در تغییر شکل قاب، زاویه اولیه بین تیر و ستون بدون تغییر باقی می ماند.

گروه ۲ : قاب های ساده: که در آنها فرض می شود اتصالات تیر و ستون بدون گیرداری است. در مورد بار قائم اتصال انتهای تیرها و شاهیترها برای انتقال برش تعبیه شده است و می تواند تحت اثر بار قائم آزادانه دوران کند.

گروه ۳ : قاب های نیمه صلب: انتهای قطعات دارای گیرداری نسبی که در آنها فرض می شود اتصال انتهای تیرها و شاهیترها دارای ظرفیت خمشی به مقداری مشخص و قابل اطمینان، بین گروه (۱) و انعطاف پذیری گروه (۲)، می باشد.

همان طور که از تقسیم بندی فوق نتیجه می شود، سه نوع اتصال ساده، گیردار و نیمه گیردار قابل طراحی می باشد.

اتصال ساده

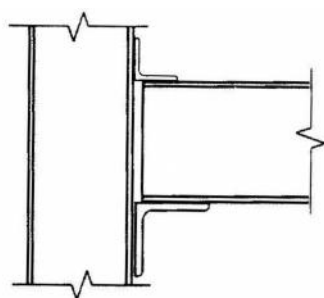
در این نوع اتصال، فرض می شود که تیر، تحت تاثیر بارهای خارجی می تواند در محل اتصال کاملاً دوران نماید (یعنی هیچ گونه لنگر خمشی ایجاد نمی گردد). بدیهی است این فرض جنبه تئوری دارد و در عمل درصدی گیرداری ایجاد می شود. چنانچه میزان درصد گیرداری حداکثر ۲۰ درصد باشد، اتصال، ساده محسوب می شود. این اتصال برای انتقال نیروی برشی طرح می گردد.

انواع اتصالات ساده عبارت اند از :

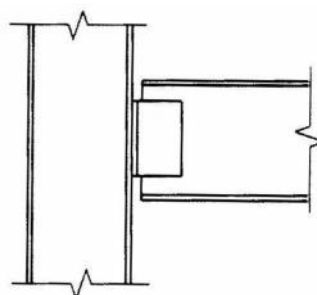
الف) اتصال به کمک نبشی جان

ب) اتصال به کمک نبشی نشیمن انعطاف پذیر

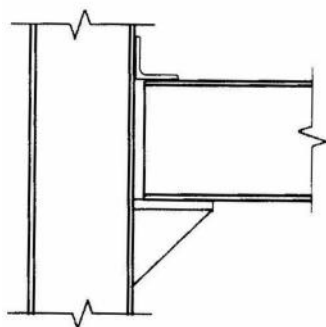
ج) اتصال به کمک نبشی نشیمن تقویت شده



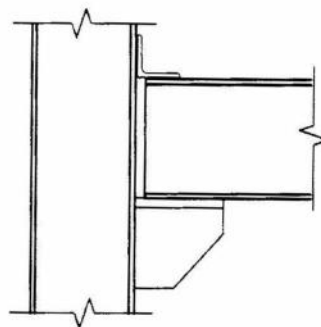
اتصال نبشی نشیمن



اتصال نبشی جان



اتصال ساده با نشیمن تقویت شده مثلثی



اتصال ساده با نشیمن تقویت شده

شکل ۲-۱- انواع اتصالات ساده

اتصال گیردار

در این اتصال فرض می شود که تیر تحت تاثیر بار های خارجی نمی تواند در محل اتصال هیچ گونه دورانی نماید. بدیهی است در عمل مقداری دوران در اتصال به وجود می آید. چنانچه میزان گیرداری بیش از ۹۰ درصد باشد اتصال گیردار فرض می شود.

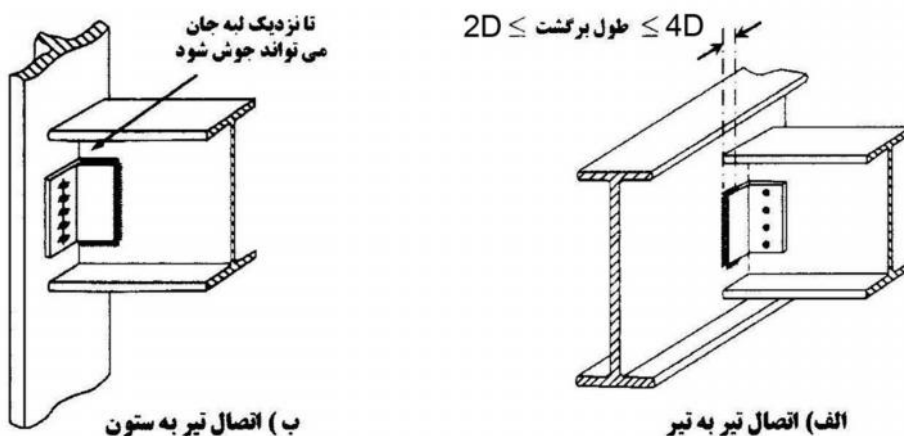
اتصال نیمه گیردار

در این نوع اتصال میزان گیرداری بین ۲۰ درصد تا ۹۰ درصد است. این نوع اتصال از نظر اجرا و محاسبه مشکل می باشد.

طراحی اتصالات

طراحی اتصال ساده با نبشی جان

در این بخش روند طراحی اتصال ساده تیر به کمک نبشی جان یا ورق اتصال بررسی می شود. از این اتصال برای اتصال تیر به تیر (مانند اتصال تیر فرعی به تیر اصلی نشان داده شده در شکل ۲-۲-الف) و اتصال تیر به ستون (شکل ۲-۲-ب) استفاده می گردد. روند طراحی هردو اتصال کاملاً مشابه یکدیگر است. اتصال ساده تیر به کمک نبشی جان شامل سه بخش است. یک بخش طراحی اتصال تیر به نبشی جان، بخش دوم طراحی اتصال نبشی جان به تیر دیگر یا ستون و نهایتاً طراحی اجزای تحت تاثیر ناحیه اتصال است. وسیله اتصال می تواند جوش یا پیچ باشد.



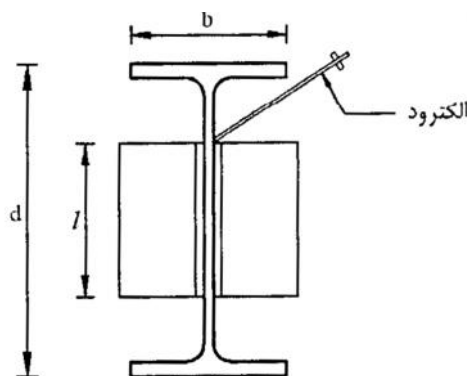
شکل ۲-۲

معمولا فاصله آزادی در حدود ۱ تا ۲ سانتی متر، بین انتهای تیر تا بر ستون در عمل در نظر گرفته می شود (فاصله مونتاژ) که علاوه بر آنکه خطاهای حین ساخت را جبران می کند، می تواند فضای کافی برای چرخش تیر را فراهم آورد. برای طراحی این اتصال ابتدا باید ابعاد مناسب برای نبشی جان که در دو طرف تیر قرار داده می شود محاسبه گردد. توجه شود که اتصال ممکن است برای یک نبشی نیز طراحی گردد اما قرار دادن دو نبشی در طرفین تیر تقارن اتصال را تضمین نموده و طراحی آن را ساده تر می کند. طول نبشی جان باید به اندازه ای باشد که طول اتصال لازم را فراهم آورده و از طرفی خود نبشی در برابر نیروی برشی وارده بر آن مقاوم باشد. همچنین برش قالبی یکی از معیارهای مهم در طراحی این نوع اتصال است که برای تیرهایی که بال آنها بریده شده است و برای نبشی یا ورق اتصال مورد بررسی قرار می گیرد. در صورتی که اتصال نبشی به ستون یا تیر اصلی به شکل جوشی انجام شود طول جوش برگشت باید به مقدار حداقل ۲ برابر تا حداکثر ۴ برابر بعد جوش محدود گردد تا انعطاف پذیری اتصال همچنان حفظ گردد. اما در اتصال تیر به نبشی، جوش برگشت می تواند تا نزدیک لبه جان ادامه پیدا کند (شکل ۲-۲).

معمولا نبشی های مورد استفاده جهت نبشی جان از سایز L6 یا L7 یا L8 می باشد. شرط استفاده از هر کدام از این نبشی ها این است که مقاومت برشی آن ها از مقاومت مجاز کمتر باشد. با این حال طول نبشی باید به صورتی انتخاب گردد که امکان جوشکاری با زاویه مناسب برای الکتروود، وجود داشته باشد.

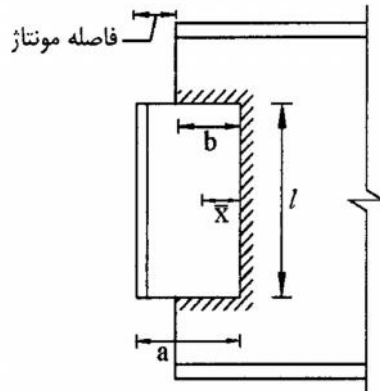
(شکل ۲-۳). برای این منظور انتخاب طول نبشی، L ، بین $d - b$ تا $d - \frac{b}{2}$ مناسب است.

لازم به ذکر است این طول باید ضمن محاسبه جوش ها تایید شود.



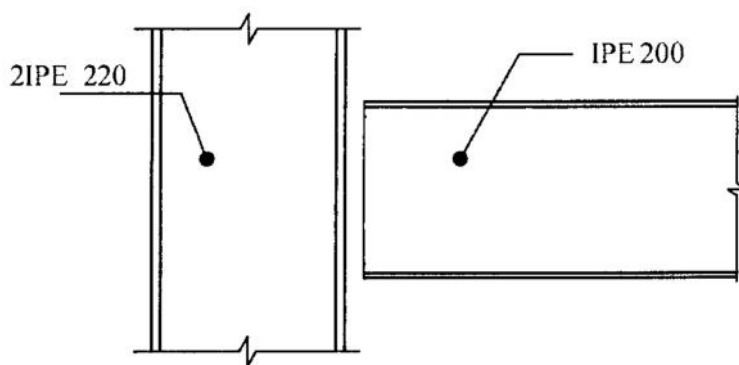
شکل ۲-۳- طول مناسب جهت نبشی جان

همچنین با توجه به جدول ۱-۲ و بر اساس ضخامت قطعه ضخیم تر، حداقل بعد جوش گوشه به دست می آید. پارامترهای جوش نبشی به جان تیر بصورت زیر است



شکل ۲-۴- نمایش پارامترهای جوش برشی پیچشی نبشی به جان تیر

مثال ۲-۱- اتصال تیر با مقطع $IPE\ 200$ به ستون با مقطع $2IPE\ 220$ را به کمک نبشی جان طراحی کنید. طول تیر ۶ متر است و فولاد مصرفی از نوع نرمه ساختمانی است. فاصله مونتاژ 2 cm می باشد. الکتروود مصرفی $E60$ و بازرسی کارگاهی است.



شکل ۲-۵- مربوط به مثال ۲-۱

حل:

ابتدا فرض کنیم از نبشی $L\ 80 \times 80 \times 8$ استفاده می شود.

انتخاب طول نبشی:

$$d - b < l < d - \frac{b}{2}$$

$$10 \leq l \leq 15$$

طول $l = 12.5 \text{ cm}$ انتخاب می گردد.

با توجه به اینکه نیروی طراحی اتصال مشخص نیست طراحی را بر مبنای ظرفیت نیمرخ انجام می دهیم. این روش در طراحی اتصالات بسیار رایج می باشد. در این صورت فرض کنید تیر دو سر ساده تحت اثر بار یکنواخت w قرار گرفته باشد پس لنگر حداکثر آن:

$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8}$$

$$\Rightarrow w = \frac{8M_{\max}}{L^2}$$

$$\Rightarrow w = \frac{8M_p}{L^2}$$

از طرفی برش ماکزیمم تیر برابر است با:

$$V = \frac{wL}{2} = \frac{\frac{8M_p}{L^2}L}{2} = \frac{4M_p}{L}$$

لذا برای نیمرخ IPE200:

$$V_{\max} = \frac{4M_p}{L} = \frac{4(ZF_y)}{L} = \frac{4(221 \times 2400)}{600} = 3536 \text{ kg}$$

ابتدا کنترل برش روی طول واحد برای نبشی انجام می شود.

$$f_v = \frac{V_{\max}}{L} = \frac{3536}{2(12.5)} = 141 \text{ kg / cm}$$

مقاومت برش مجاز:

$$f R_n = 1 \times 0.6 F_y t = 1 \times 0.6 \times 2400 \times 0.8 = 1152 \text{ kg / cm}$$

بنابراین نبشی مزبور قابل قبول است.

حال به طراحی جوش اتصال می پردازیم:

طراحی جوش اتصال نبشی به تیر (جوش برشی پیچشی)

با توجه به اینکه جوش از فرم متداول ۵ می باشد از فرمول های جدول استفاده میکنیم. ارتفاع جوش به اندازه ی طول نسبی یعنی ۱۲.۵ سانتی متر و طول برگشت جوش به اندازه ۶-۲=۸ می باشد. لذا:

$$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d} = \frac{6^2}{2 \times 6 + 12.5} = 1.47 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{12.5}{2} = 6.25 \text{ cm}$$

محاسبه تنش های ناشی از نیروی برشی:

$$f_{1x} = \frac{P_x}{L} = 0$$

$$f_{1y} = \frac{P_y}{L} = \frac{-3536}{2 \times 6 + 12.5} = -72 \text{ kg / cm}$$

محاسبه تنش های ناشی از لنگر پیچشی

$$f_{2x} = \frac{T_y}{J} = \frac{-11545 \times 6.25}{655} = -110 \text{ kg / cm}$$

$$f_{2y} = \frac{T_x}{J} = \frac{-11545 \times (6 - 1.47)}{655} = -80 \text{ kg / cm}$$

$$J = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$$

$$= \frac{8 \times 6^3 + 6 \times 6 \times 12.5^2 + 12.5^3}{12} - \frac{6^4}{2 \times 6 + 12.5} = 655 \text{ cm}^4 / \text{cm}$$

$$T = -\frac{3536}{2} (8 - 1.47) = -11545 \text{ kgcm}$$

برآیند تنش ها:

$$f_r = \sqrt{(f_{1x} + f_{2x})^2 + (f_{1y} + f_{2y})^2} = \sqrt{(0 + 110)^2 + (72 + 80)^2}$$

$$f_r = 187 \text{ kg / cm}$$

$$f_r \leq \frac{f R_n}{L}$$

$$\Rightarrow f_r \leq f B \times 0.6 P_{ue} \times 0.707 D$$

$$187 \leq 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 D$$

$$\Rightarrow D \geq 0.18 \text{ cm}$$

$$D_{\min} = 5 \text{ mm} \rightarrow \text{USE } D = 5 \text{ mm}$$

طرح جوش اتصال نبشی به ستون:

از طول برگشت به مقدار $2D$ تا $4D$ می توان استفاده کرد تا ظرفیت جوش ارتقاء یابد با این حساب طول برگشت ۲ سانتی متر در نظر گرفته می شود.

$$f_v = \frac{P_y}{L} = \frac{-3536}{(2 \times 2 + 12.5)} = -122 \text{ kg / cm}$$

$$M = -\frac{3536}{2}(8 - 1.47) = -11545 \text{ kgcm}$$

$$S = bd + \frac{d^2}{6} = 2 \times 12.5 + \frac{12.5^2}{6} = 51 \text{ cm}^3$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{-11545}{51} = -226 \text{ kg / cm}$$

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} = \sqrt{226^2 + 122^2} = 257 \text{ kg / cm}$$

$$f_r \leq f_b \times 0.6 P_{ue} \times 0.707 D$$

$$257 \leq 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 D$$

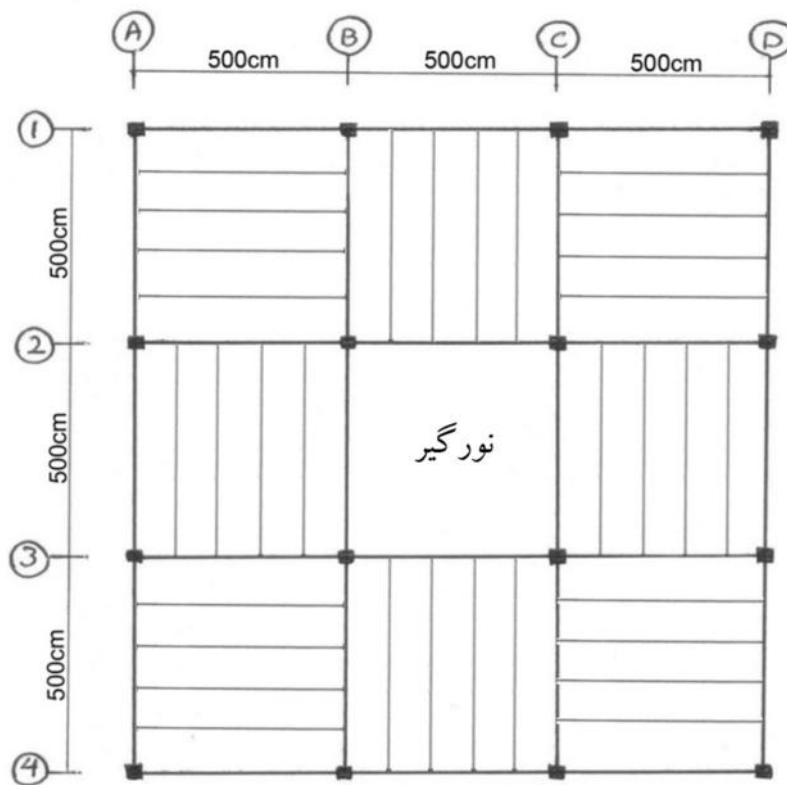
$$\Rightarrow D \geq 0.26 \text{ cm}$$

$$D_{\min} = 5 \text{ mm} \rightarrow \text{USE } D = 5 \text{ mm}$$

تمرین ۱-۲- برای شرایط مثال قبل، بررسی کنید آیا نبشی کوچکتری (مثلا نبشی ۶ یا ۷) پاسخگو می باشد یا خیر؟ در صورت مثبت بودن پاسخ جوش اتصال را نیز طراحی کنید.

تمرین ۲-۲- مطلوبست طراحی جوش برشی پیچشی نبشی به تیر در مثال ۱-۲ در صورتیکه اتصال فقط از طریق یک نبشی برقرار شود.

تمرین ۲-۳- پلان تیرریزی سازه ای که دارای سیستم مهاربندی میباشد بشرح زیر است. اگر بار سطحی مرده 500 kg/m^2 و بار زنده سطحی 200 kg/m^2 و سقف از نوع کامپوزیت باشد، با فرض استفاده از فولاد نرمه ساختمانی ST 37 ، مطلوب است طراحی اتصال تیرهای فرعی متصل به تیر اصلی 2-B-C به کمک دوپل نبشی جان. مقطع تیرهای اصلی IPE240 و تیرهای فرعی IPE18 می باشد. فاصله ی تیرهای فرعی از یکدیگر ۱ متر می باشد. الکتروود E60 ، بازرسی جوش کارگاهی و فاصله ی مونتاژ ۲۰ میلیمتر در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۶

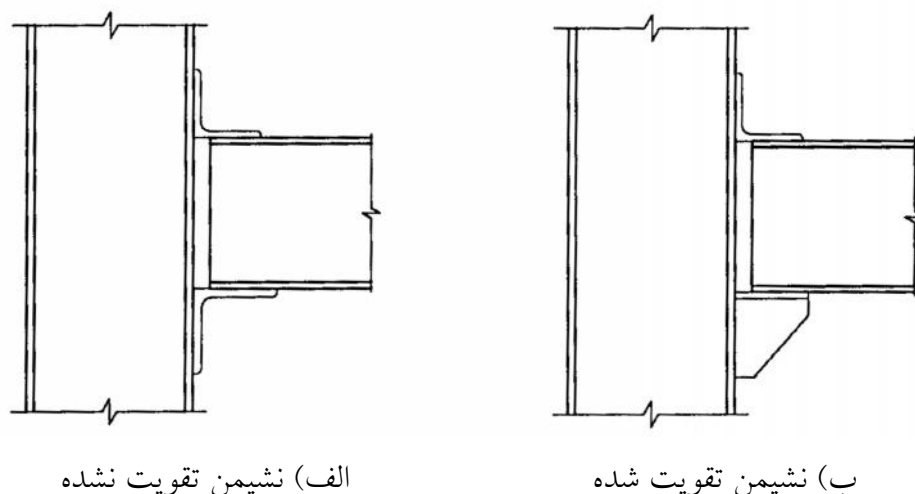
طراحی اتصال ساده به کمک نشیمن ها

نشیمن ها در اتصال تیر به ستون استفاده می شود. در حالت کلی دو نوع نشیمن وجود دارد:

۱- نشیمن تقویت نشده یا انعطاف پذیر (نبشی نشیمن)

۲- نشیمن تقویت شده

انواع نشیمن ها در شکل ۷-۲ نمایش داده شده است .



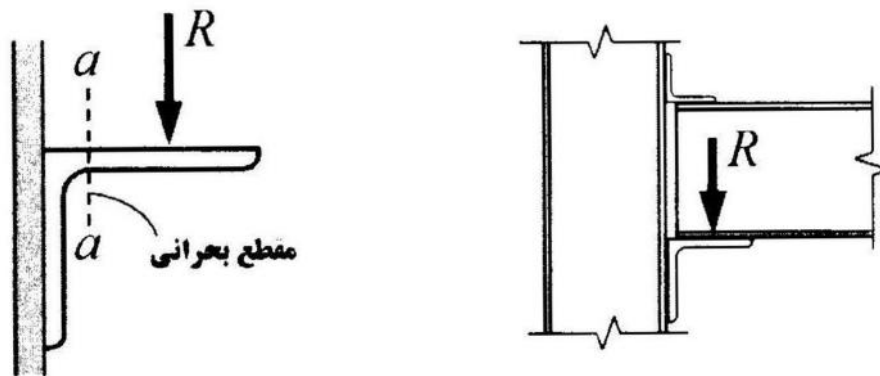
شکل ۷-۲- انواع نشیمن ها

از اتصال با نشیمن تقویت شده هنگامی استفاده می شود که ابعاد نبشی انعطاف پذیر بیش از حد معمول بزرگ شود (در بار های بیش از ۱۰ تن)، در این اتصال همیشه یک نبشی در بالای تیر قرار می گیرد که وظیفه این نبشی ثابت نمودن تیر در محل مورد نظر و تامین تکیه گاه جانبی برای بال فشاری می باشد.

۱- طراحی اتصال با نبشی نشیمن (نشیمن تقویت نشده)

در این نوع اتصال ساده، تیر بر روی یک نشیمن که در اینجا نبشی است قرار گرفته است. نبشی نشیمن می بایست برای نیروی منتج از واکنش تکیه گاهی تیر طراحی گردد. معمولاً یک نبشی نیز بر روی بال فوقانی تیر قرار می گیرد و بال فوقانی تیر را به ستون متصل می کند. این نبشی تنها نقش یک تکیه گاه جانبی برای بال فوقانی تیر داشته و محاسبات خاصی برای آن انجام نمی شود. به عبارتی همانطور که در فصل اعضای خمشی تاکید شد، در طراحی اعضای خمشی، فرض بر آن است که تکیه گاه جانبی تیر نیز محسوب می شوند و در آن ها از پیچش تیر به نحو مناسبی جلوگیری شده است. شماره نبشی فوقانی معمولاً بر اساس مقدار واکنش تکیه گاهی تیر تعیین می شود. به طور مثال برای واکنش تکیه گاهی در حدود ۵ تن و کمتر از نبشی $L 60 \times 60 \times 60$ و برای واکنش تکیه گاهی بیشتر از ۵ تن از نبشی $L 80 \times 80 \times 80$ یا نبشی قوی تر استفاده می شود. ضخامت مورد نیاز نبشی نشیمن تحتانی، برای لنگر خمشی ایجاد شده در آن طرح می گردد. مطابق شکل ۸-۲ با توجه به اینکه ساق قائم نبشی به کمک پیچ یا

جوش به ستون متصل شده است خمش در آن کنترل کننده نیست ولی برای ساق افقی نبشی می بایست کنترل در مقطع بحرانی انجام شود. با توجه به اتصال ساق قائم نبشی به ستون و با توجه به اینکه در عمل همواره بال تیر نیز به ساق افقی نبشی متصل می شود، مقطع بحرانی در محل آغاز گردی ریشه اتصال دو ساق نبشی در نظر گرفته می شود.



شکل ۲-۸- مقطع بحرانی اتصال نبشی نشیمن

برای تعیین مقدار لنگر خمشی در مقطع بحرانی می بایست محل اعمال واکنش تکیه گاهی منتج از تیر را مشخص کنیم. این محل بر اساس مقدار عرض نشیمن یا طول اتکای نبشی (l_b) تعیین می گردد. توزیع تنش در محل تماس تیر با نبشی در طول اتکای مورد بحث، به شکل های مختلف پیشنهاد شده است. به طور کلی می توان گفت این توزیع تنش به انعطاف پذیری نبشی نشیمن ارتباط دارد. یک روش محافظه کارانه که توسط بلاجت توصیه شده است توزیع یکنواختی تنش در طول اتکای l_b است. به عبارتی توزیع تنش تماسی به شکل یکنواخت بین تیر و نبشی، از لبه انتهایی تیر و به طول l_b فرض می شود. این توزیع در شکل ۲-۹ نشان داده شده است. بنابراین برای محاسبه لنگر خمشی در مقطع بحرانی، واکنش تکیه گاهی منتج از تیر در مرکز توزیع تنش مذکور قرار داده می شود.

تعیین طول اتکای نبشی نیز بر اساس دو معیار تسلیم جان و لهیدگی جان تیر تعیین می گردد. مقدار طول اتکای نبشی برابر بزرگ ترین مقدار به دست آمده بر اساس دو معیار تسلیم و لهیدگی جان تیر در نظر گرفته می شود. با توجه به اینکه بار، نزدیک تکیه گاه است مطابق مبحث دهم مقاومت اسمی برای تسلیم جان در محل تکیه گاه به شکل زیر بدست می آید.

$$R_n = (2.5k + l_b)F_y t_w$$

بر اساس رابطه فوق طول اتکای نبشی برابر است با:

$$R \leq f R_n$$

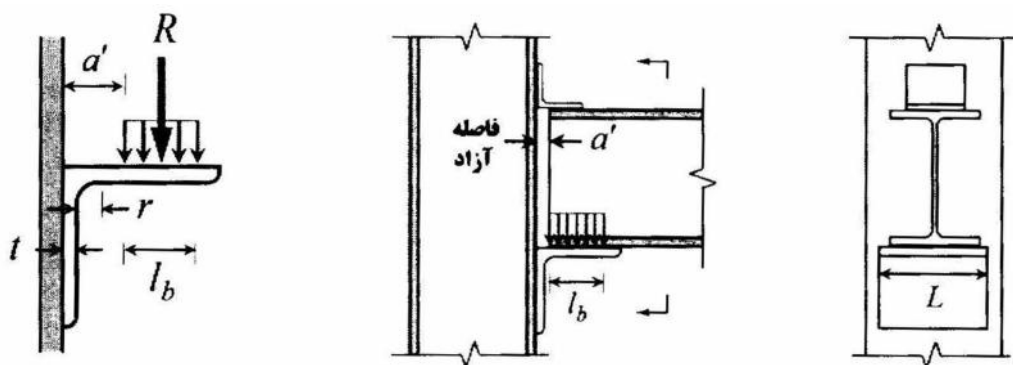
$$R \leq f (2.5k + l_b) F_y t_w \rightarrow l_b \geq \frac{R}{f F_y t_w} - 2.5k$$

همچنین بر اساس معیار لهیدگی جان:

$$R_n = 0.4t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}} \quad \frac{l_b}{d} \leq 0.2$$

$$R_n = 0.4t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{4l_b}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}} \quad \frac{l_b}{d} > 0.2$$

که در روابط فوق t_w ضخامت جان تیر، فاصله سطح خارجی بال تیر تا محل آغاز گردی ریشه اتصال آن به جان، t_f ضخامت بال و d نیز کل عمق تیر در نظر گرفته می شوند. می توان جهت سادگی، طول اتکای محاسبه شده از معیار تسلیم را در روابط متناظر با حالت حدی لهیدگی جان قرار داد و کفایت آن را بررسی نمود. البته بدیهی است که طول اتکای نبشی (l_b) نمی تواند بزرگ تر از ساق نبشی در نظر گرفته شود همچنین این مقدار نباید کوچک تر از مقدار k اختیار گردد.



شکل ۲-۹- توزیع تنش تماسی یکنواخت بین تیر و نبشی

پس از محاسبه طول اتکا، با توجه به مشخص شدن محل اثر بار تکیه گاهی می توان خمش را در مقطع بحرانی نبشی کنترل نمود. این کنترل در حقیقت مربوط به بخش نواحی تاثیر پذیر اتصال است. طبق شکل ۲-۹ مقدار لنگر خمشی در مقطع بحرانی برابر است با:

$$M = R \left(\frac{l_b}{2} + a' - t - r \right)$$

با توجه به اینکه لنگر خمشی M حول محور ضعیف ساق نبشی (به عنوان یک مقطع مستطیلی) است مقاومت خمشی آن به شکل زیر محاسبه می شود.

$$M_n = M_p = F_y Z \leq 1.6 M_y$$

که M_y لنگر تسلیم است. در صورتی که طول نبشی نشیمن L باشد. به سادگی می توان ضخامت حداقل ساق نبشی را به دست آورد:

$$Z = \frac{Lt}{4}$$

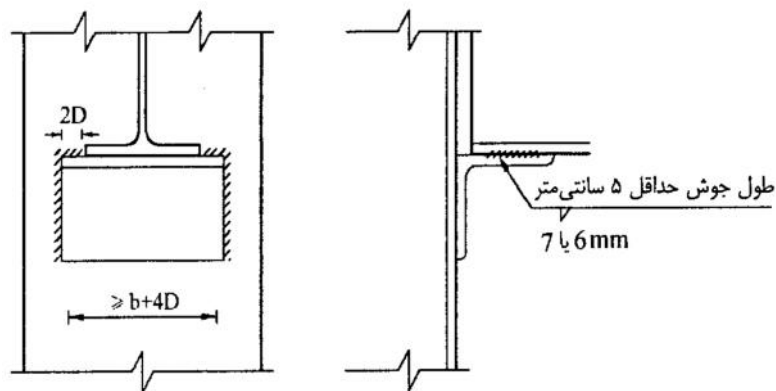
$$M \leq f M_n = f (F_y) \left(\frac{Lt}{4} \right) \rightarrow t \geq \sqrt{\frac{4M}{f L F_y}}$$

در ادامه اتصال نبشی به ستون که یک اتصال با خروج از مرکزیت است طرح می گردد. اتصال مذکور تحت اثر توام برش و کشش (نیروی برشی و لنگر خمشی) است. مقدار نیروی برشی در اتصال برابر واکنش تکیه گاهی R است. مقدار لنگر خمشی اتصال در بر ستون نیز به شکل زیر محاسبه میشود:

$$M = R \left(\frac{l_b}{2} + a' \right)$$

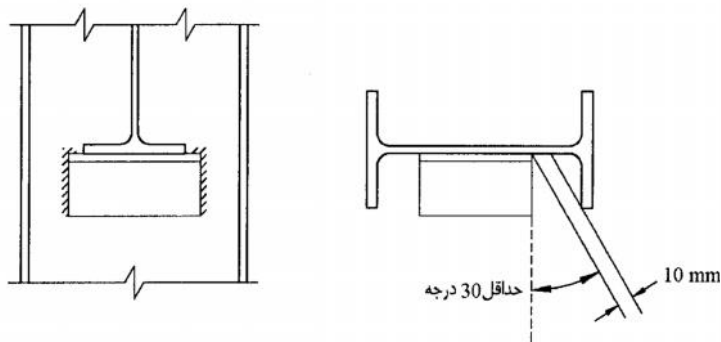
در این نوع اتصال معمولاً از نبشی های $6 \times 6 \times 6$ تا $10 \times 10 \times 10$ استفاده می گردد. اما اگر نبشی با ساق نامساوی استفاده شود، توصیه می گردد بال کوتاه در زیر و بال بلند در تماس با ستون قرار بگیرد. بال افقی این نبشی مانند یک تیر طره تحت تاثیر خمش ناشی از عکس العمل تکیه گاه قرار دارد، که این نکته مبنای محاسبه ضخامت نبشی است. در طرح این نبشی فرض می شود هیچ گونه نیروی افقی به نبشی منتقل نمی گردد ولی جهت تثبیت تیر بر روی نبشی، بال تحتانی تیر در دو طرف، در طول حداقل ۵ سانتی متر با بعد جوش حدود ۶ تا ۷ میلی متر به بال افقی نبشی جوش می شود.

طول نبشی نشیمن از عرض بال تیر متصل شونده به آن به اندازه D (D بعد جوش نبشی به ستون می باشد) بیشتر انتخاب می شود (به علت تامین طول برگشت جوش و ارضاء شرایط آیین نامه). معمولاً از جوش نمودن قسمت های افقی نبشی چه در بالا و چه در پایین به ستون احتراز می شود، زیرا باعث تاثیر نیروی متمرکز به ستون می شود که ممکن است موجب کمانش موضعی ستون گردد. مشخصات کلی نبش نشیمن در شکل ۲-۱۰ آمده است.



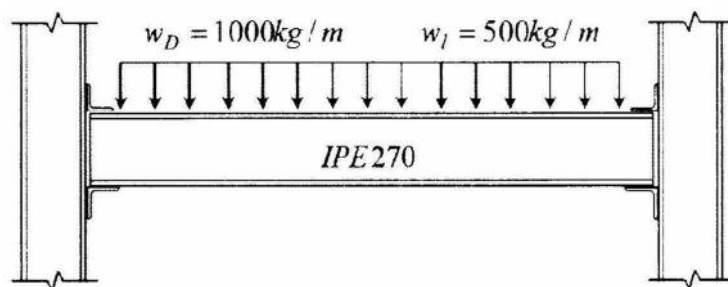
شکل ۲-۱۰- مشخصات کلی نبشی نشیمن

وقتی از نبش نشیمن در اتصال به جان ستون استفاده شود باید به شرایط اجرایی مندرج در شکل ۲-۱۱ توجه گردد.



شکل ۲-۱۱- شرایط اجرایی جهت اتصال نبشی به جان ستون

مثال ۲-۲- اتصال تیر به طول ۶ متری زیر مقطع به ستون را به کمک نبشی نشیمن طرح نمایید. فولاد مصرفی نرمه با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ و الکتروود E60 می باشد. بازرسی جوش کارگاهی و فاصله ی مونتاژ ۱۵ میلیمتر در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۱۲- مربوط به مثال ۲-۲

حل:

برای نیمرخ IPE 270 :

$$w_u = 1.2w_D + 1.6w_L = 1.2(1000) + 1.6(500) = 2000 \text{ kg / m}$$

$$R_u = \frac{w_u L}{2} = \frac{2000(6)}{2} = 6000 \text{ kg}$$

تعیین طول اتکای نبشی بر اساس معیار تسلیم جان:

$$l_b \geq \frac{R_u}{f F_y t_w} - 2.5k = \frac{6000}{0.9(2400)(0.66)} - 2.5(2.52) = -2.09 \text{ cm}$$

تعیین طول اتکای نبشی بر اساس معیار لهیدگی جان:

$$\frac{l_b}{d} \leq 0.2 \text{ با فرض}$$

$$R \leq f R_n = 0.75(0.4)(t_w^2) \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}}$$

$$6000 \leq 0.75(0.4)(0.66)^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{27} \right) \left(\frac{0.66}{1.02} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2(10)^6(2400)(1.02)}{0.66}} \rightarrow l_b \geq -8.07$$

بنابراین $l_b \geq k = 2.52 \text{ cm}$ در نظر گرفته می شود.

با انتخاب نبشی $L100 \times 100 \times 10$ به طول 20 cm کنترل خمشی در مقطع بحرانی نبشی:

$$M = R_u \left(\frac{l_b}{2} + a' - t - r \right) = 6000 \left(\frac{2.52}{2} + 1.5 - 1 - 1.2 \right) = 3360 \text{ kg cm}$$

کنترل ضخامت نبشی:

$$t \geq \sqrt{\frac{4M}{f L F_y}} = \sqrt{\frac{4(3360)}{0.9(20)(2400)}} = 0.55 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{USE } L10 \times 10 \times 1 \text{ (} L = 20 \text{ cm)}$$

تذکر: با توجه به ضخامت بدست آمده، ممکن است نبشی کوچکتر مانند L8 نیز پاسخگو باشد. (تمرین

بعنوان دانشجویان)

طراحی جوش اتصال:

$$f_v = \frac{P_y}{L} = \frac{-6000}{2(10+2)} = -250 \text{ kg / cm}$$

$$M = -6000\left(\frac{2.52}{2} + 1.5\right) = -16560 \text{ kg.cm}$$

$$S = 2 \times \left(\frac{4bd + d^2}{6}\right) = 2\left(\frac{4 \times 2 \times 10 + 10^2}{6}\right) = 60 \text{ cm}^3$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{-16560}{60} = -276 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} = \sqrt{250^2 + 276^2} = 373 \text{ kg/cm}$$

$$f \leq f_b \times 0.6F_{ue} \times 0.707D$$

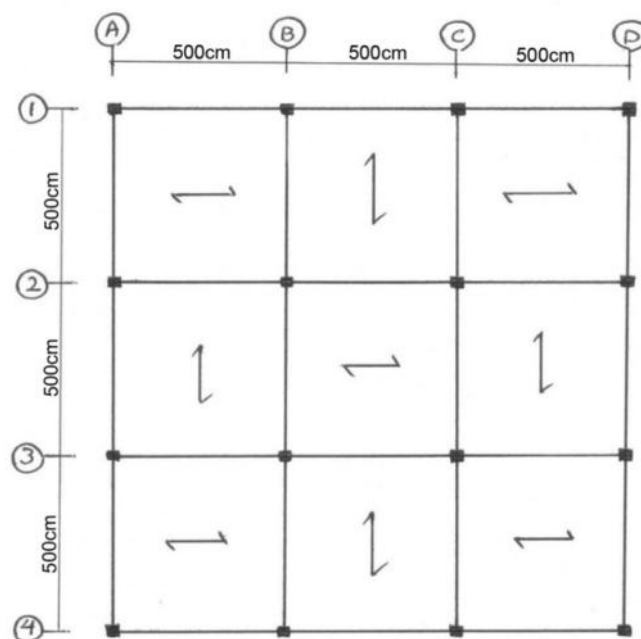
$$373 \leq 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707D$$

$$\Rightarrow D \geq 0.37 \text{ cm}$$

$$D_{\min} = 5 \text{ mm} \rightarrow \text{USE } D = 5 \text{ mm}$$

تمرین ۲-۴- برای شرایط مثال قبل، بررسی کنید آیا نبشی ۸ پاسخگو می باشد یا خیر؟
در صورت مثبت بودن پاسخ، جوش اتصال را نیز طراحی کنید.

تمرین ۲-۵- پلان تیرریزی سازه ای که دارای سیستم مهاربندی میباشد بشرح زیر است. اگر بار سطحی مرده 500 kg/m^2 و بار زنده سطحی 200 kg/m^2 و سقف از نوع تیرچه بلوک باشد، با فرض استفاده از فولاد نرمه ساختمانی ST 37 ، مطلوب است طراحی اتصال تیر 2-B-C به ستون به کمک نبشی نشیمن. مقطع تیر مزبور IPE240 می باشد. الکتروود E60 ، بازرسی جوش کارگاهی و فاصله ی موتناژ ۲۰ میلیمتر در نظر گرفته شود.

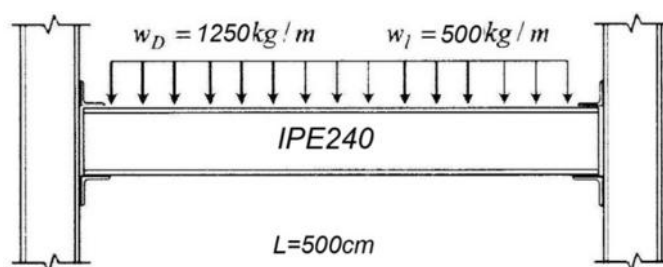


شکل ۲-۱۳

حل:

$$w_D = 2.5 \times 500 = 1250 \text{ kg/m}$$

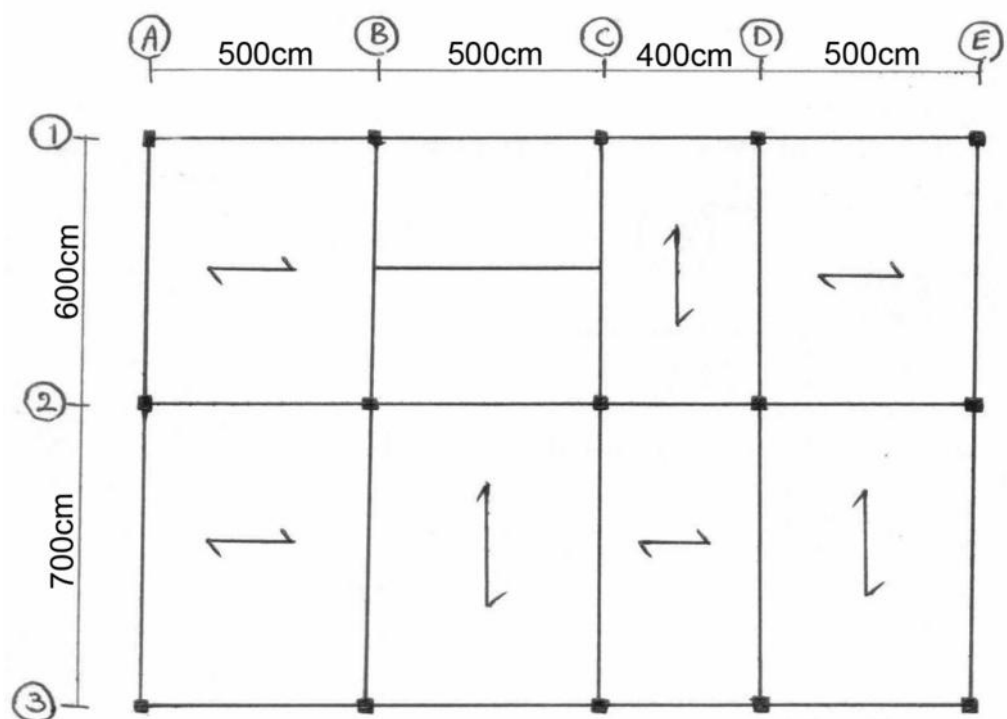
$$w_L = 2.5 \times 200 = 500 \text{ kg/m}$$



شکل ۲-۱۴

ادامه مسئله دقیقاً مشابه مسئله قبل است. به عنوان تمرین به دانشجویان واگذار می گردد.

تمرین ۲-۶ تا ۲-۵- پلان تیرریزی سازه ای که دارای سیستم مهاربندی میباشد بشرح زیر است. اگر بار سطحی مرده 500 kg/m^2 و بار زنده سطحی 200 kg/m^2 و سقف از نوع تیرچه بلوک باشد، با فرض استفاده از فولاد نرمه ساختمانی ST 37، مطلوب است طراحی تمامی اتصال های تیر به ستون به کمک نبشی نشیمن. الکتروود E60، بازرسی جوش کارگاهی و فاصله ی مونتاژ ۱۵ میلیمتر در نظر گرفته شود. فرض کنید مقطع کلیه تیرها IPE200 و کلیه ستون ها 2IPE240 باشد. بروی تمامی تیرها علاوه بر بار مرده و زنده احتمالی سقف، 500 kg/m بار مرده دیوار قرار دارد.



شکل ۲-۱۵

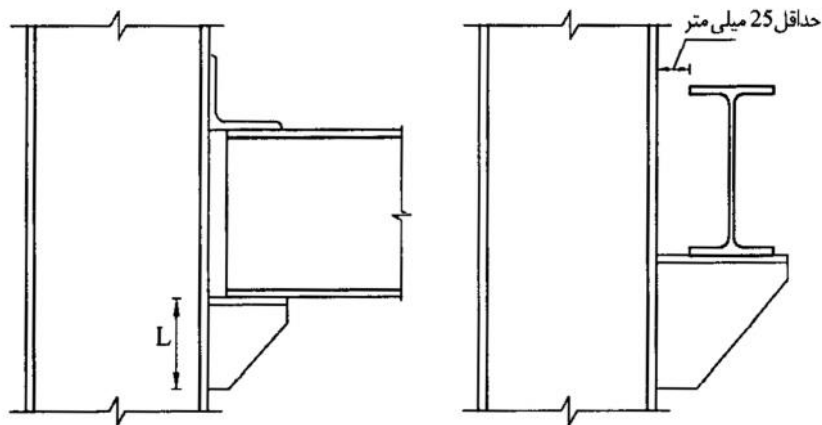
۲- طراحی اتصال ساده با نشیمن تقویت شده

همانطور که قبلا ذکر شد وقتی واکنش تکیه گاهی در حدود ۱۰ تن و بیشتر باشد به علت اینکه ابعاد نبشی نشیمن بیش از اندازه بزرگ می شود، از نشیمن تقویت شده استفاده می گردد.

در این نوع اتصال نحوه قرار گیری تیر نسبت به ستون ممکن است به یکی از دو حالت زیر باشد :

۱- صفحه جان تیر بر صفحه قائم نشیمن تقویت شده عمود باشد، شکل (۲-۱۶- الف)

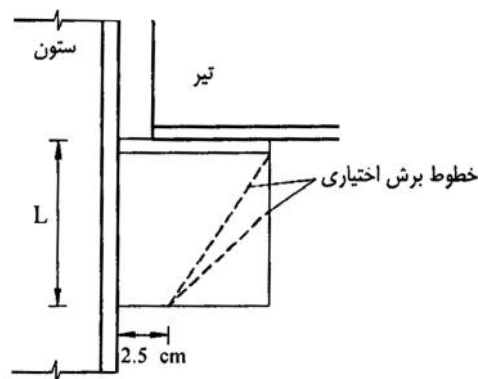
۲- صفحه جان تیر در امتداد صفحه قائم نشیمن تقویت شده باشد شکل (۲-۱۶-ب)



الف) جان تیر عمود بر صفحه قائم نشیمن ب) جان تیر در امتداد صفحه قائم نشیمن

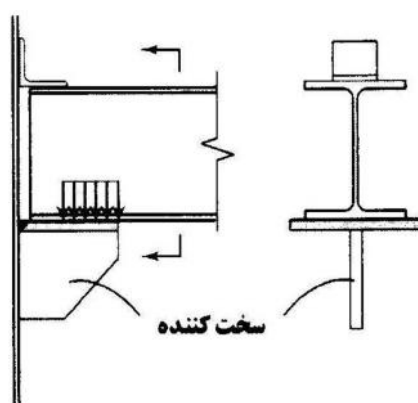
شکل ۲-۱۶- نحوه قرار گیری تیر نسبت به نشیمن تقویت شده

شیوه طراحی دو حالت مشابه می باشد و اختلاف در محل تاثیر نیرو است که توضیحات تکمیلی در ادامه آورده می شود گاهی ممکن است این نشیمن از یک نیمرخ سپری و یا بریدن یک قطعه از تیر I شکل ساخته شود. طول صفحه قائم L با توجه به جوش مورد نیاز برای اتصال نشیمن به ستون به دست می آید، از دو پارامتر طول صفحه قائم و بعد جوش جهت اتصال ورق قائم به ستون، یکی انتخاب شده و دیگری محاسبه می شود. معمولاً بعد جوش با توجه به ضوابط مندرج در آیین نامه تعیین و طول صفحه قائم از محاسبات به دست می آید. صفحه قائم ممکن است مستطیلی بوده و یا برش مطابق خط چین ها در شکل ۲-۱۷ به شکل پنج ضلعی درآورده شده باشد. لازم به ذکر است قسمت های بریده شده تاثیر چندانی در مقاومت اتصال ندارند و گاهی برای محدودیت های معماری بریده می شوند.



شکل ۲-۱۷- نمایش خطوط برش اختیاری

چنانچه قطعه T شکل از دو صفحه مجزا از هم ساخته شود باید محل اتصال کاملاً صاف بوده و اتصال با جوشی، که قدرت آن معادل یا بزرگتر از قدرت جوشی است که صفحه قائم را به ستون جوش می دهد صورت می گیرد. در مواقعی که واکنش تکیه گاهی منتج از تیر افزایش پیدا می کند ممکن است استفاده از نبشی نشین کفایت نکند و در این شرایط بکارگیری اتصال با نشیمن تقویت شده می تواند یک راهکار مناسب باشد در حقیقت با افزایش نیروی تکیه گاهی، لنگر خمشی در مقطع بحرانی نبشی نشیمن زیاد شده و ضخامت بالایی برای نبشی به دست می آید که ممکن است مشخصات نبشی های موجود در بازار جوابگوی بار وارده نباشد، بنابراین در این مواقع ناچار به استفاده از اتصالات تقویت شده هستیم. این اتصال نیز ممکن است به دو روش جوشی و یا پیچی اجرا شود. اتصال مذکور در شکل ۲-۱۸ به تصویر در آمده است.

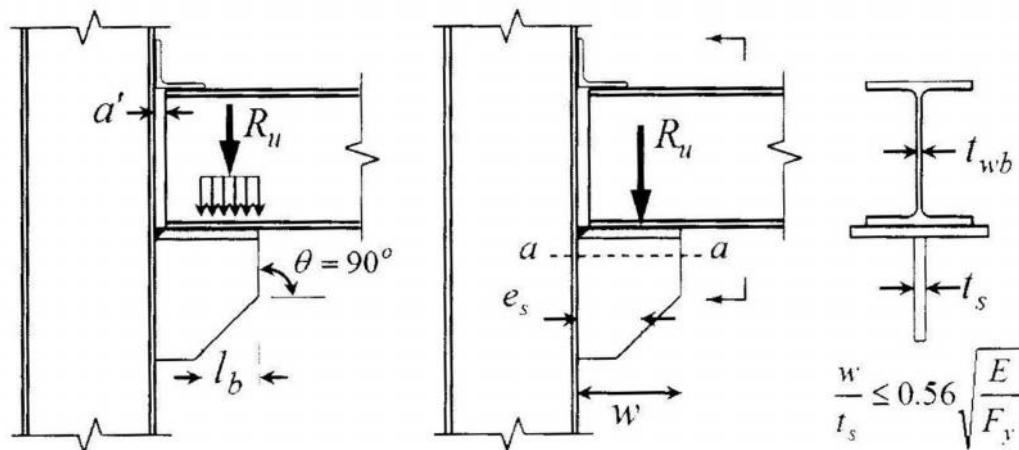


شکل ۲-۱۸- اتصال تیر به ستون بوسیله نشیمن تقویت شده

نشیمن سخت شده T شکل از ترکیب یک ورق افقی و یک ورق قائم حاصل می شود. البته بسته به میزان بار قائم ممکن است به تعداد بیشتری سخت کننده نیاز باشد. توصیه شده است ورق افقی با جوش نفوذ کامل و ورق قائم با جوش گوشه به ستون متصل شوند. لازم به ذکر است که اتصالات نشیمن تقویت شده برای انتقال لنگر خمشی طراحی نمی شوند و تنها بار قائم (واکنش تکیه گاهی تیر) را تحمل می نمایند هرچند در طراحی خود اجزای اتصال، اثر خروج از مرکزیت بار وارده در نظر گرفته می شود.

انعطاف پذیری این اتصال به اندازه اتصال نبشی نشیمن نیست و تقریباً بال تیر و نشیمن در تمام طول نشیمن در تماس با یکدیگر هستند. به عبارتی این بار لبه خارجی نشیمن تحت اثر بیشترین تنش قرار می گیرد. در این حالت توزیع تنش تماسی بین تیر و نشیمن از لبه خارجی نشیمن و به طول l_b در نظر

گرفته می شود (شکل ۲-۱۹) توجه شود که لبه بریده شده ورق سخت کننده موازی راستای اعمال بار است ($q = 90^\circ$) همچنین تنش فشاری موضعی در بین سطوح اتصال و ورق سخت کننده و همچنین روی ورق سخت کننده باید کنترل شود. در ادامه روند طراحی اتصال نشیمن سخت شده با لبه قائم و با اتصال جوشی، به اختصار آمده است.



شکل ۲-۱۹

گام اول: تعیین طول اتکای l_b : این گام دقیقاً مشابه با اتصال نبشی نشیمن انجام می شود.

گام دوم: کنترل مقاومت اتکایی بین سطوح نشیمن و سخت کننده: مبحث دهم مقرر می دارد در اثر نیروی فشاری موضعی سطوح متکی به هم امکان لهیدگی سطوح بررسی شود و مقدار مقاومت اتکایی سطوح به شکل مناسب کنترل گردد. مقاومت اتکایی اسمی سطوح متکی به هم از رابطه زیر به دست می آید:

$$R_n = 1.8F_y A_{pb}$$

که در آن A_{pb} سطح تصویر اتکا می باشد. ضریب کاهش مقاومت برای کنترل اتکایی برابر ۰.۷۵ در نظر گرفته می شود بنابراین برای اتصال نشیمن سخت شده با یک ورق سخت کننده:

$$R_n \leq \phi R_n$$

$$A_{pb} = (w - a')t_s$$

$$t_s \geq \frac{R_u}{\phi (1.8F_y)(w - a')}$$

در روابط فوق w عرض ورق، t_s ضخامت و n تعداد ورق های سخت کننده هستند. در صورت حضور تعداد n ورق سخت کننده کافی است سمت راست رابطه فوق بر n تقسیم گردد.

گام سوم: کنترل کمانش موضعی آن به عنوان یک حالت حدی مطرح است. کمانش موضعی ورق سخت کننده بر اساس نسبت عرض به ضخامت آن به شکل زیر کنترل می شود:

$$\frac{w}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

توصیه شده است ضخامت ورق سخت کننده بزرگ تر یا مساوی ضخامت جان تیر در نظر گرفته شود:

$$t_s \geq t_{wb}$$

گام چهارم: کنترل مقاومت اتکایی روی ورق سخت کننده برای بار با خروج از مرکزیت: تحت اثر بار وارده بر روی ورق اتصال که طبق شکل ۲۰-۲ نسبت به وسط ورق با خروج از مرکزیتی برابر با $(e_s - w/2)$ همراه است، مقاومت اتکایی ورق سخت کننده باید کنترل گردد. این بار این کنترل روی مقطع $a-a$ انجام می شود (شکل ۲۰-۲). در صورتی که رابطه اندکشی برای بار با خروج از مرکزیت در ورق به فرم تنش نوشته شود.

$$f = \frac{R_u}{A} + \frac{M}{S} = \frac{R_u}{wt_s} + \frac{R_u(e_s - w/2)}{\frac{w^2 t_s}{6}} = \frac{R_u}{wt_s} + \frac{6R_u(e_s - w/2)}{w^2 t_s}$$

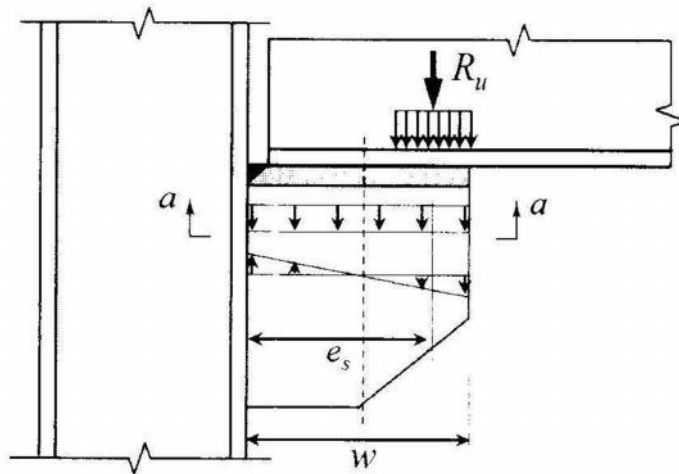
مقدار خروج از مرکزیت e_s را می توان به شکل زیر محاسبه نمود:

$$e_s = w - \frac{l_b}{2}$$

مقدار تنش اتکایی فوق از مقدار حداکثر آن که $f(1.8F_y)$ است نباید تجاوز نماید، بنابراین:

$$f = \frac{R_u}{wt_s} + \frac{R_u(e_s - w/2)}{w^2 t_s} \leq f(1.8F_y) \rightarrow t_s \geq \frac{R_u(6e_s - 2w)}{f(1.8F_y)w^2}$$

در صورت حضور تعداد n ورق سخت کننده، کافی است سمت راست رابطه فوق بر n تقسیم گردد.



شکل ۲-۲۰

گام پنجم: طراحی اتصال ورق سخت کننده به ستون: در نهایت اتصال ورق سخت کننده به ستون طرح می شود. این اتصال چه به شکل پیچی باشد و چه به شکل جوشی، تحت اثر توام برش (R_u) و لنگر خمشی ($R_u e_s$) طرح می شود.

مثال ۲-۳- مطلوب است اتصال تیر به طول ۶ متر از نیمرخ $IPE 400$ به کمک اتصال ساده با نشیمن تقویت شده در صورتی که فولاد مصرفی $ST 37$ فرض شود. جوش ورق سخت کننده در کارگاه به کمک الکتروود $E 6013$ انجام می شود و بازرسی چشمی صورت می پذیرد.

حل:

حداکثر واکنش تکیه گاهی برای نیمرخ $IPE 400$:

$$V = R_u = \frac{4M_p}{L} = \frac{4ZF_y}{L} = \frac{4(1307)(2400)}{600} = 20912 \text{ kg}$$

تعیین طول اتکای ورق نشیمن بر اساس معیار تسلیم جان:

$$l_b \geq \frac{R_u}{f F_y t_w} - 2.5k = \frac{20912}{0.9(2400)(0.86)} - 2.5(3.45) = 2.63 \text{ cm}$$

تعیین طول اتکای نبشی بر اساس معیار لهیدگی جان:

$$\frac{l_b}{d} \leq 0.2 \text{ با فرض}$$

$$R \leq f R_n = 0.75(0.4)(t_w^2) \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_y t_f}{t_w}}$$

$$20912 \leq 0.75(0.4)(0.86)^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{40} \right) \left(\frac{0.86}{1.35} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2(10)^6(2400)(1.35)}{0.86}} \rightarrow l_b \geq 2.25 \text{ cm}$$

بنابراین $l_b \geq k = 3.45 \text{ cm}$ در نظر گرفته می شود.

ضخامت ورق سخت کننده بر اساس مقاومت اتکایی بین سطوح نشیمن و سخت کننده به شکل زیر تعیین می شود. با فرض آنکه عرض ورق سخت کننده 10 cm و فاصله مونتاژ تیر از برستون 1.5 cm در نظر گرفته شوند:

$$t_s \geq \frac{R_u}{f(1.8F_y)(w - a')} = \frac{20912}{0.75(1.8)(2400)(10 - 1.5)} = 0.76$$

کنترل کمانش موضعی ورق سخت کننده:

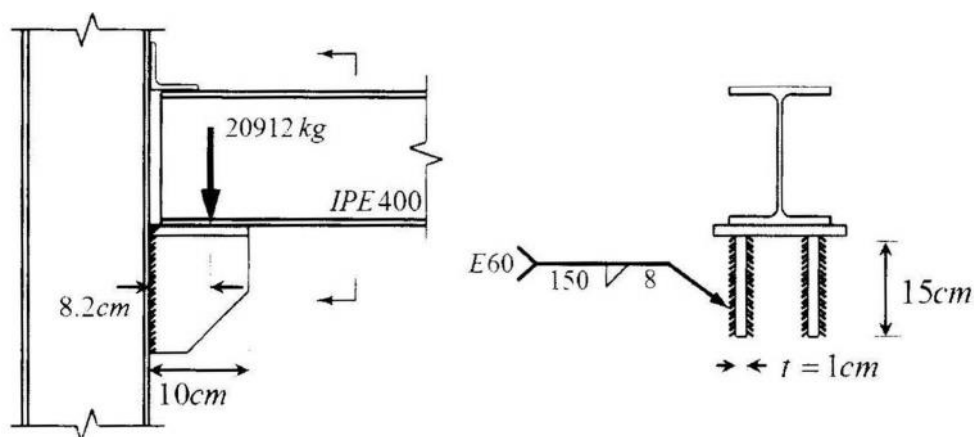
$$\frac{w}{t_s} = \frac{10}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 16.1 \rightarrow t_s \geq 0.63 \text{ cm}$$

تعیین ضخامت ورق سخت کننده بر اساس مقاومت اتکایی روی ورق سخت کننده برای بار با خروج از مرکزیت:

$$e_s = w - \frac{l_b}{2} = 10 - \frac{3.45}{2} = 8.3 \text{ cm}$$

$$t_s \geq \frac{R_u(6e_s - 2w)}{f(1.8F_y)w^2} = \frac{20912[6(8.3) - 2(10)]}{0.75(1.8)(2400)(10)^2} = 1.92 \text{ cm}$$

ضخامت ورق سخت کننده را می توان 2 cm در نظر گرفت یا اینکه از دو ورق به ضخامت 1 cm استفاده نمود. در این قسمت از دو ورق استفاده می شود.



شکل ۲-۲۱

طراحی جوش اتصال ورق های سخت کننده به ستون:

جوش اتصال ورق های سخت کننده به ستون تحت اثر توام کشش و برش هستند. با فرض آنکه ارتفاع ورق های سخت کننده 15cm باشد و با توجه به اینکه ۴ خط جوش وجود دارد:

$$f_v = \frac{R_u}{L} = \frac{20912}{4(15)} = 348 \text{ kg / cm}$$

$$S = 2 \frac{d^2}{3} = 2 \times \frac{15^2}{3} = 150 \text{ cm}^3$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{R_u e_s}{S} = \frac{20912(8.3)}{150} = 1157 \text{ kg / cm}$$

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} = \sqrt{348^2 + 1157^2} = 1208 \text{ kg / cm}$$

$$f \leq f_b \times 0.6 F_{ue} \times 0.707 D$$

$$1208 \leq 0.75 \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 D$$

$$\Rightarrow D \geq 1.2 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \text{USE } D = 1.2 \text{ cm}$$

همانطور که می بینید بعد جوش قدری زیاد است. جهت کاستن این مقدار می توان ارتفاع لچکی را افزایش داد. به تبع آن طول جوش نیز افزایش پیدا میکند و از مقدار بعد جوش کاسته کی شود.

تمرین ۲-۵۱- مثال قبل را با فرض استفاده از $w=20\text{cm}$ بررسی کنید.

تمرین ۲-۵۲ تا ۲-۹۵- تمرین های ۲-۶ تا ۲-۵۰ را با فرض استفاده از نشیمن تقویت شده مجددا حل کنید.

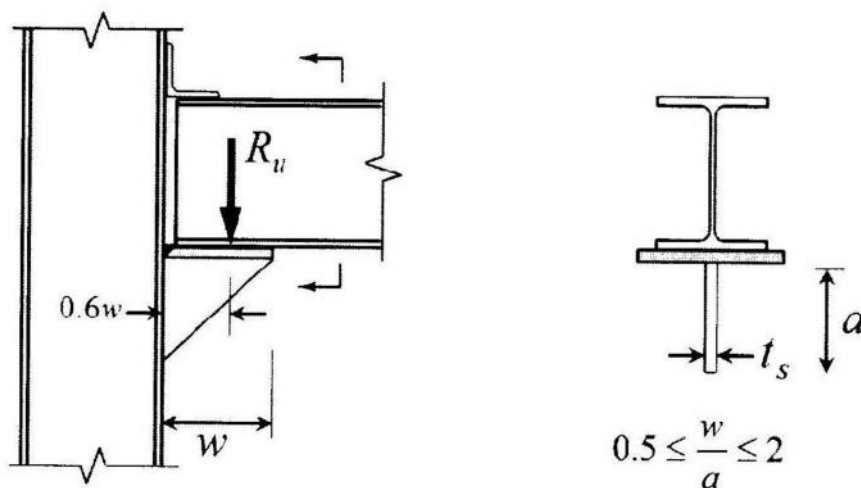
اتصال ساده با نشیمن تقویت شده با ورق مثلثی

در صورتی که برای سخت کننده از ورق مثلثی استفاده شود، رفتار سخت کننده و همچنین توزیع تنش حداکثر در آن نسبت به حالت قبل که لبه خارجی ورق با بار اعمال شده موازی بود، متفاوت است. رفتار سخت کننده های مثلثی توسط برخی محققین از جمله سالمون و همکارانش بررسی شده و روش های حل مختلف ارائه گردیده است. طبق تحقیقات انجام شده برای این حالت، تنها دو معیار تسلیم و

کمانش ورق ممکن است تعیین کننده باشد و سایر حالات حدی بررسی نمی شوند. حداکثر تنش ممکن رویل به آزاد ورق سخت کننده اتفاق می افتد. در ورق های مثلی شکل عموما تسلیم روی لبه آزاد ورق قبل از کمانش آن اتفاق می افتد. بر این اساس روشی که تحت عنوان روش الاستیک دقیق شناخته می شود و توسط سالمون و همکارانش ارائه گردیده است به اختصار بیان می گردد.

در شکل ۲۲-۲ جزئیات یک اتصال ساده با نشیمن تقویت شده با ورق مثلی نشان داده شده است. قابل توجه است که هرچند روند طراحی برای یک سخت کننده ارائه شده است اما بسته به بار وارده ممکن است از تعداد بیشتری سخت کننده نیز استفاده گردد. ابتدا فرضیات زیر در طراحی این اتصال بکار گرفته می شوند:

- ورق نشیمن باید در تمام طول خود به ستون با جوش نفوذ کامل متصل گردد.
- در صورتی که عرض سخت کننده W باشد بار منتج از تیر در فاصله حدود $0.6W$ از بر ستون روی ورق نشیمن اعمال می شود، بنابراین در این اتصال به محاسبه طول اتکا نیازی نیست.
- نسبت عرض به ارتفاع سخت کننده (w/a) نیز بین 0.5 تا 2 قرار گیرد.



شکل ۲۲-۲

جهت جلوگیری از کمانش ورق سخت کننده مقادیر زیر کنترل می شوند.

$$\text{اگر } 0.5 \leq \frac{w}{a} \leq 1:$$

$$\frac{w}{t_s} \leq 1.47 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\text{اگر } 1 \leq \frac{w}{a} \leq 2:$$

$$\frac{w}{t_s} \leq 1.47 \left(\frac{w}{a} \right) \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

همچنین برای کنترل معیار تسلیم ورق تحت اثر بار وارده:

$$R_u \leq f R_n$$

$$R_n = z F_y A = z F_y (w t_s)$$

که در عبارات فوق w عرض ورق سخت کننده مثلثی، a ارتفاع آن، t_s ضخامت آن و z ضریبی کوچکتر از ۱، تحت عنوان نسبت تنش متوسط به تنش حداکثر است که طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$z = 1.39 - 2.2 \left(\frac{w}{a} \right) + 1.27 \left(\frac{w}{a} \right)^2 - 0.25 \left(\frac{w}{a} \right)^3$$

ضریب کاهش مقاومت f نیز حسب توصیه سالمون برابر ۰.۸۵ در نظر گرفته می شود.

مثال ۲-۴- اتصال تیر با مقطع $IPE 330$ به طول $650cm$ را به کمک اتصال نشیمن سخت شده با ورق مثلثی شکل طرح کنید. فولاد مصرفی $ST 37$ بوده و جوش ورق سخت کننده در کارگاه به کمک الکتروود $E 6013$ انجام می شود و بازرسی چشمی صورت می پذیرد.

حل:

حداکثر واکنش تکیه گاهی برای نیمرخ $IPE 330$:

$$V = R_u = \frac{4M_p}{L} = \frac{4ZF_y}{L} = \frac{4(804)(2400)}{650} = 11874kg$$

کنترل کمانش ورق سخت کننده:

$$\frac{w}{t_s} = \frac{15}{t_s} \leq 1.47 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 42.4 \Rightarrow t_s \geq 0.36cm$$

در صورتی که عرض و ارتفاع ورق سخت کننده $15cm$ فرض شود، نسبت تنش متوسط به تنش حداکثر:

$$z = 1.39 - 2.2 \left(\frac{w}{a} \right) + 1.27 \left(\frac{w}{a} \right)^2 - 0.25 \left(\frac{w}{a} \right)^3 =$$

$$1.39 - 2.2 \left(\frac{15}{15} \right) + 1.27 \left(\frac{15}{15} \right)^2 - 0.25 \left(\frac{15}{15} \right)^3 = 0.21$$

کنترل معیار تسلیم ورق تحت اثر بار وارده:

$$f R_n = 0.85 F_y z w t_s = 0.85(2400)(0.21)(15)(t_s) = 6426 t_s \text{ kg}$$

$$R_u \leq f R_n$$

$$11874 \leq 6426 t_s \Rightarrow t_s \geq 1.85 \text{ cm}$$

لذا می بایست $t_s \geq 1.85 \text{ cm}$ باشد. بنابراین می توان از دو ورق سخت کننده به ضخامت ۱ سانتی متر استفاده کرد.

(طراحی جوش اتصال، جوش برشی خمشی بعنوان تمرین ۲-۹۶ بعده ی دانشجویان)

تمرین ۲-۹۷ تا ۲-۱۴- تمرین های ۲-۶ تا ۲-۵ را با فرض استفاده از ورق مثلی مجددا حل کنید.

وصله ستون ها

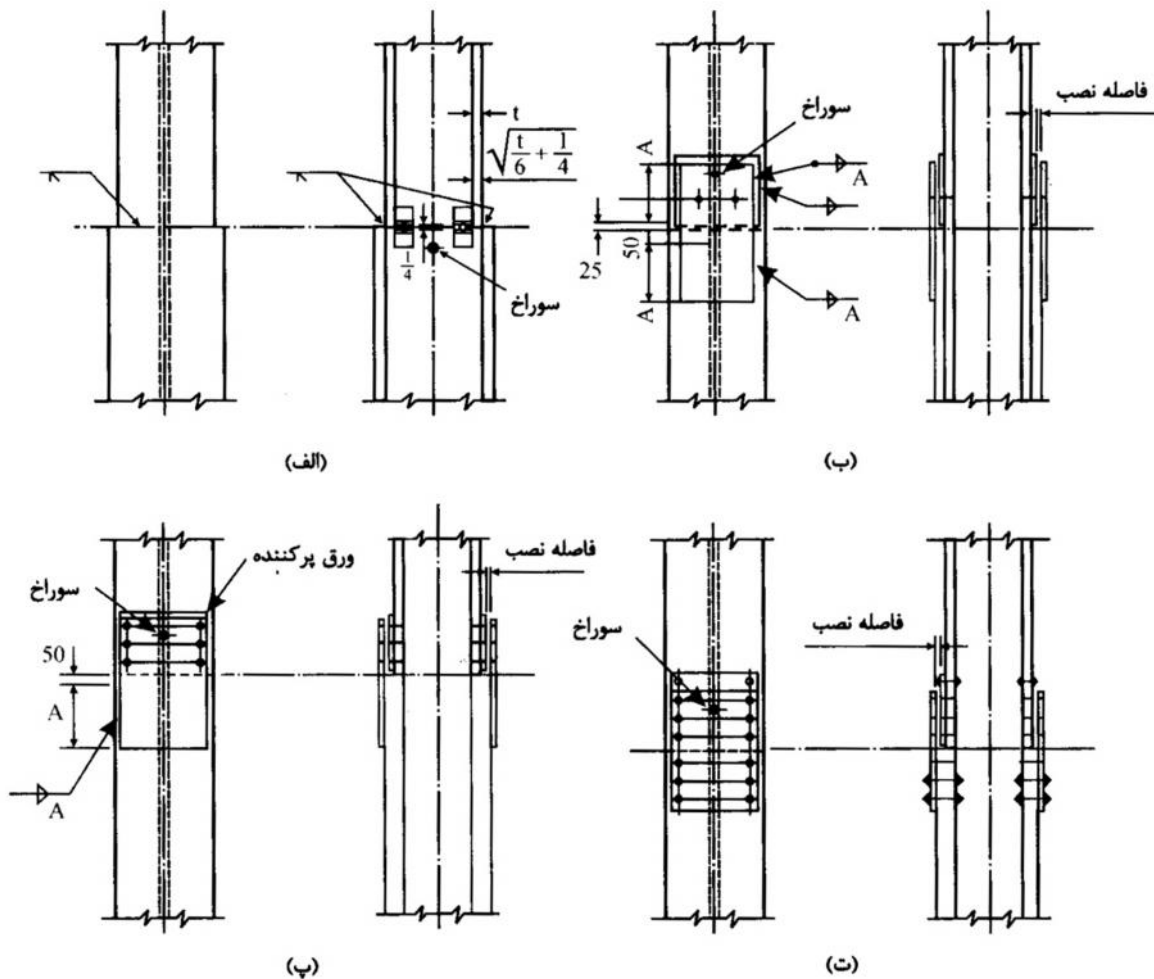
با رفتن به طبقات بالاتر، بار محوری ستون ها کم می شود. در نتیجه می توان برای آن ها نیمرخ های سبک تری انتخاب نمود. این موضوع و همچنین محدود بودن طول تیرآهن، استفاده از وصله در ستون ها را ایجاب می نماید. هر چند که کاستن از شماره نیمرخ با کم شدن نیروی محوری، باعث سبک تر شدن ستون و کاهش فولاد مصرفی می شود، لیکن باید توجه داشت که وصله نیمرخ جدید به نیمرخ قدیم، اضافه مخارجی در بر دارد که ممکن است کاهش مخارج ناشی از سبک تر شدن نیمرخ را جبران ننماید. لذا در عمل تا ارتفاعی مساوی یک شاخه تیرآهن (۱۲ متر - در حدود سه طبقه)، شماره نیمرخ عوض نمی شود و همان نیمرخ پایین ترین طبقه تا ۲ طبقه بعد نیز ادامه می یابد.

محل وصله

وقتی که وصله ی ستون اجتناب ناپذیر شد، بهترین محل وصله در حدود ۱۰۰ سانتی متری بالای کف طبقه است. چون اولاً در این محل به قدر کافی از محل اتصال تیر به ستون دور شده ایم و ثانیاً از لحاظ انجام عملیات جوشکاری، ارتفاع بسیار مناسبی را در اختیار داریم.

در صورتی که ستون عضوی از قاب خمشی باشد، در اثر بارهای جانبی در آن ایجاد لنگر خمشی می گردد که نقطه عطف آن تقریباً در وسط ارتفاع قرار دارد. در این حالت بهترین محل برای وصله ی

ستون، وسط طبقه است که در آن لنگر خمشی برابر با صفر می باشد. اما در طرف دیگر انجام عملیات جوشکاری در وسط ارتفاع طبقه مشکلاتی به همراه دارد که ممکن است طراح را به انتخاب ارتفاع کمتری برای وصله وا دارد.

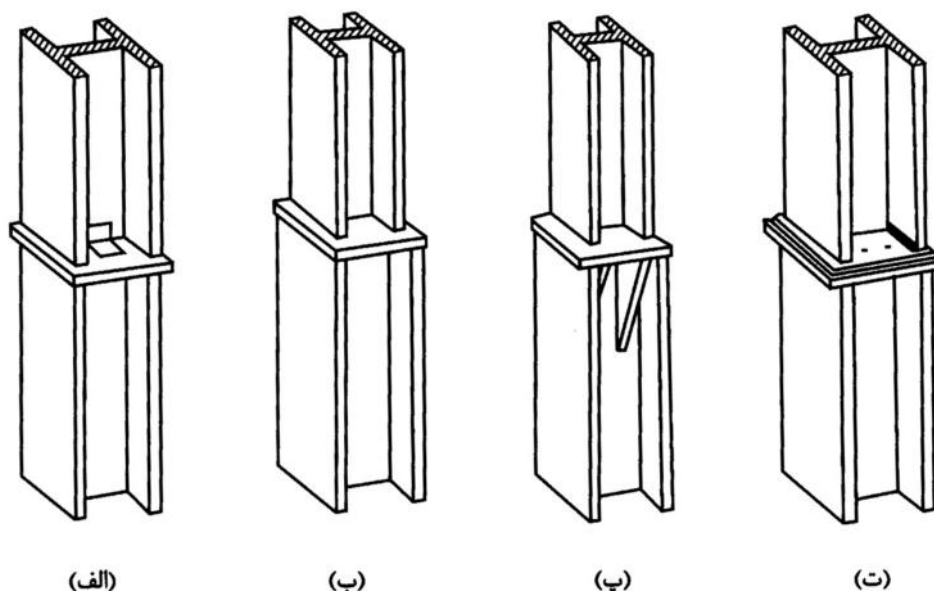


شکل ۲-۲۳

انواع وصله

در شکل ۲-۲۴ مثال های متعددی از وصله ستون ها نشان داده شده است. غالبا برای تنظیم و قرارگیری ستون ها در محل وصله، زائده های کوچکی به لبه ی ستون ها جوش می شود که از سوراخ های موجود در داخل این زائده ها، پیچ های مونتاژ عبور داده می شود. این موضوع در شکل ۲-۲۱-الف نشان داده شده است. شکل های ۲-۲۳-ب و ۲-۲۳-پ حالتی را نشان می دهد که در آن اتصال ورق به ستون پایینی توسط جوش کارخانه ای و یا پای کار قبل از واداشتن ستون انجام شده و اتصال ورق به ستون فوقانی توسط جوش یا پیچ به صورت درجا صورت پذیرفته است. در هر دو اتصال برای پر کردن فاصله ی

به وجود آمده در اثر اختلاف ابعاد دو ستون از ورق های پرکننده استفاده شده است. در صورتی که اختلاف در ابعاد دو ستون زیاد باشد، اتصال آن ها به یکدیگر باید مطابق شکل ۲-۲۴ با استفاده از یک ورق سر ضخیم که تغییر شکل پذیری ناچیزی داشته باشد، انجام گردد.



شکل ۲-۲۴

نیروهای وصله

اگر لبه های در حال تماس دو ستون گونیا باشد و خوب سنگ زده شود، می توان درصدی از بار طراحی ستون ها را به صورت فشار تماسی انتقال داد و در نتیجه از ابعاد ورق های اتصال کاست. با توجه به اضافه مخارج سنگ زدن و گونیا کردن لبه های در حال تماس و عدم اطمینان از نظارت دقیق بر این عمل، استفاده از چنین تمهیداتی برای کاهش نیروهای طرح منطقی به نظر نمی رسد. لیکن در صورتی که از اجرای دقیق کار مطمئن باشیم، در این صورت طبق توصیه *AISC*، ورق وصله ی مربوط به بال یا جانی که تحت تاثیر نیروی فشاری و لنگر خمشی به فشار کار می کند، می تواند برای ۵۰ درصد نیروی فشاری طراحی گردد. اگر تحت اثر نیروی محوری و لنگر خمشی در بالی نیروی کششی ایجاد گردد، در این صورت ورق وصله ی مربوط به این بال باید برای اثر مشترک لنگر ناشی از نیروهای جانبی (باد یا زلزله) و ۷۵ درصد نیروی فشاری ناشی از بار مرده (بدون احتساب بار زنده) طراحی گردد.

پر کننده ها

در اتصالات جوشی ساختمان ها، پر کننده هایی که ضخامت شان از ۶ میلی متر بیشتر باشد به اندازه ی کافی از لبه ورق وصله ادامه داد و قسمت ادامه یافته را با جوش کافی به قطعه ای که در زیرش قرار دارد متصل نمود. (شکل ۲-۲۳-ث). قدرت جوش باید طوری باشد که تنش های ورق وصله را به صورت بار برون محور به روی سطح صفحه پرکننده وارد می شود، تمایل نماید. جوشی که ورق وصله را به پر کننده متصل می نماید باید طوری باشد که بتواند تنش های ورق وصله را به ورق پر کننده منتقل نموده و خط جوش باید به اندازه ی کافی زیاد بوده تا از بیش از حد تنیده شدن صفحه پرکننده در ناحیه جوش ها جلوگیری به عمل آید. لبه ی پر کننده با ضخامت کمتر از ۶ میلی متر باید با لبه ی ورق وصله هم سطح شده و اندازه ی جوشی که به کار برده می شود باید برابر مجموع اندازه ی لازم برای انتقال تنش ورق وصله به ورق پر کننده به علاوه ضخامت ورق پر کننده باشد.

اتصالات اعضای فشاری و کششی در خرپاها

اتصالات در دو انتهای اعضای کششی و یا فشاری خرپاها باید نیروی ناشی از باری که در طراحی به کار برده شده است را تحمل نماید. ولی این اتصالات نباید مقاومتی کمتر از ۵۰ درصد مقاومت موثر قطعات را بر مبنای نوع تنشی که قطعه بر آن اساس انتخاب می شود، دارا باشد.

مثال ۲-۵- مطلوب است طراحی وصله یک ستون IPB240 به ستون طبقه زیر آن که یک ستون IPB260 می باشد.

نیروهای موجود در محل اتصال عبارتند از :

$P = 65\text{ton}$ نیروی محوری

$M_x = 5\text{ton.m}$ لنگر

$V_x = 4\text{ton}$ برش

ارتفاع طبقه ۳/۸ متر می باشد و ضریب $K_x = 1.15$ و $K_y = 1$ تعیین گردیده است و فولاد

مصرفی از نوع ST37 با $F_y = 2400\text{kg/cm}^2$ می باشد.

حل :

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{1.15 \times 380}{10.3} = 42.4$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{1 \times 380}{6.08} = 63 \rightarrow F_a = 1149 \text{ kg/cm}^2$$

IPB240 :

$$(d = 24 \text{ cm}, \quad b = 24 \text{ cm}, \quad t_w = 1 \text{ cm}, \quad t_f = 1.7 \text{ cm},$$

$$A = 106 \text{ cm}^2, \quad d - 2t_w = 20.6 \text{ cm}, \quad I_x = 11260 \text{ cm}^4,$$

$$r_x = 10.3 \text{ cm}, \quad r_y = 6.08 \text{ cm})$$

IPB260 :

$$(d = 26 \text{ cm}, \quad b = 26 \text{ cm}, \quad t_w = 1 \text{ cm}, \quad t_f = 1.75 \text{ cm},$$

$$A = 118 \text{ cm}^2, \quad d - 2t_w = 22.5 \text{ cm}, \quad I_x = 14920 \text{ cm}^4,$$

$$r_x = 11.2 \text{ cm}, \quad r_y = 6.58 \text{ cm})$$

نیروی محوری را به نسبت مساحت و لنگر خمشی را به نسبت ممان اینرسی بین بال و جان IPB240 تقسیم می کنیم :

$$I_w = \frac{1 \times 20.6^3}{12} = 7.28 \text{ cm}^4$$

$$A_w = 1 \times 20.6 = 20.6 \text{ cm}^2$$

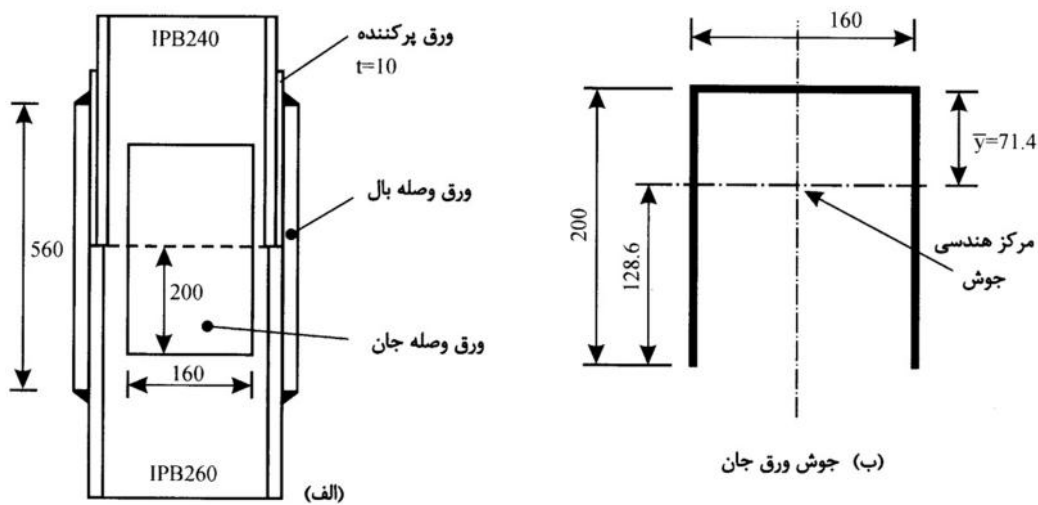
$$P_w = 65 \times \frac{20.6}{106} = 12.6 \text{ ton}$$

$$P_w = 65 \times \frac{20.6}{106} = 12.6 \text{ ton}$$

$$P_f = \frac{65 - 12.6}{2} = 26.2 \text{ ton}$$

$$M_w = 5 \times \frac{728}{11260} = 0.32 \text{ ton.m}$$

$$M_f = 5 - 0.32 = 4.68$$



شکل ۲-۲۵

محاسبه وصله بال

$$\text{نیروی محوری بال} = 26.2 \pm \frac{4.68 \times 100}{24 - 1.7} = 26.2 \pm 21$$

$$\text{نیروی حداکثر} = 47.2 \text{ ton}$$

$$\text{نیروی حداقل} = 5.2 \text{ ton}$$

وصله بال را برای تمام نیروی موجود در محل مقطع طراحی می کنیم.

$$\text{سطح لازم برای وصله} = \frac{47.2 \times 1000}{1149} = 41 \text{ cm}^2$$

$$\text{پهنای ورق} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{ضخامت ورق} = \frac{41}{20} = 2.05 \text{ cm} \Rightarrow t = 2.2 \text{ cm}$$

محاسبه جوش

$$D = 10 \text{ mm}$$

$$650 \times 1 \times L = 47.2 \times 1000$$

$$\text{طول جوش ران} = \frac{72.6 - 20}{2} = 26.3 \text{ cm}$$

طول وصله را در هر طرف ۲۸ سانتی متر در نظر می گیریم.

$$\text{ارتفاع کل وصله بال} = 28 \times 2 = 56_{cm}$$

ورق پر کننده بال

$$\text{ضخامت ورق پر کننده} = \frac{26 - 24}{2} = 1_{cm}$$

$$\text{ارتفاع ورق پر کننده} = 28 + 4 = 32_{cm}$$

$$\text{پهنای ورق پر کننده} = 20 + 2 = 22_{cm}$$

جوش ورق پرکننده مطابق جوش ورق وصله ی بال انتخاب می گردد. یعنی جوش $D = 10mm$ به طور دور تا دور انجام می شود.

محاسبه وصله جان

از دو ورق $160 \times 8mm$ استفاده کرده و آن را کنترل می کنیم.

$$S = 2 \times \frac{0.8 \times 16^2}{6} = 68.3_{cm^2}$$

$$A = 2 \times 16 \times 0.8 = 25.6_{cm^2}$$

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S} = \frac{12.6 \times 1000}{25.6} \pm \frac{0.32 \times 10^5}{25.6} = 492 \pm 469$$

$$\text{تنش حداکثر} = 961_{kg/cm^2} \quad \text{GOOD}$$

$$\text{تنش حداقل} = 23_{kg/cm^2} \quad \text{GOOD}$$

محاسبه جوش

این جوش تحت اثر لنگر پیچشی و نیروهای محوری و برشی قرار دارد. چون دو ورق وصله داریم، بنابراین نیروی هر یک برابر است با :

$$V = \frac{4}{2} = 2_{ton}$$

$$P = \frac{12.6}{2} = 6.3_{ton}$$

$$M = \frac{0.32}{2} = 0.16_{ton.m}$$

ابعاد جوش :

$$b = 16 \text{ mm} - 20$$

$$A = 16 + 2 \times 20 = 56 \text{ cm}^2$$

$$f'_y = \frac{P}{A} = \frac{6.3 \times 1000}{56} = 112.5 \text{ kg/cm}$$

$$f'_x = \frac{P}{A} = \frac{2 \times 1000}{56} = 35.7 \text{ kg/cm}$$

$$I_p = \frac{16^3 + 6 \times 16 \times 20^2 + 8 \times 20^3}{12} - \frac{20^4}{2 \times 20 + 16} = 5377 \text{ cm}^4$$

$$\bar{x} = \frac{b^2}{b + 2d} = \frac{20^2}{16 + 40} = 7.14 \text{ cm}$$

$$\text{فاصله نقطه } A \text{ تا مرکز ثقل} = 20 - 7.14 = 12.86 \text{ cm}$$

$$M_t = 2 \times 12.86 \times 10^{-2} + 0.16 = 0.42 \text{ ton.m}$$

$$f''_x = \frac{M_t y}{I_p} = \frac{0.42 \times 10^5 \times 12.86}{5377} = 100.45 \text{ kg/cm}$$

$$f''_y = \frac{M_t x}{I_p} = \frac{0.42 \times 10^5 \times 8}{5377} = 62.49 \text{ kg/cm}$$

$$f_x = 35.7 + 100.45 = 136.15 \text{ kg/cm}$$

$$f_y = 112.5 + 62.49 = 174.99 \text{ kg/cm}$$

$$f_r = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 221.72 \text{ kg/cm}$$

$$650D = 221.72 \rightarrow D = 0.34 \text{ cm}$$

انتخاب می شود: $D = 5 \text{ mm}$

" فصل سوم "

طراحی کف ستون ها

طراحی کف ستون ها

صفحه ستونها از اجزای مهم سازه های فولادی می باشند و به منظور اتصال ستون به فونداسیون به کار می روند. دلایل اصلی استفاده از صفحه ستونها عبارتند از :

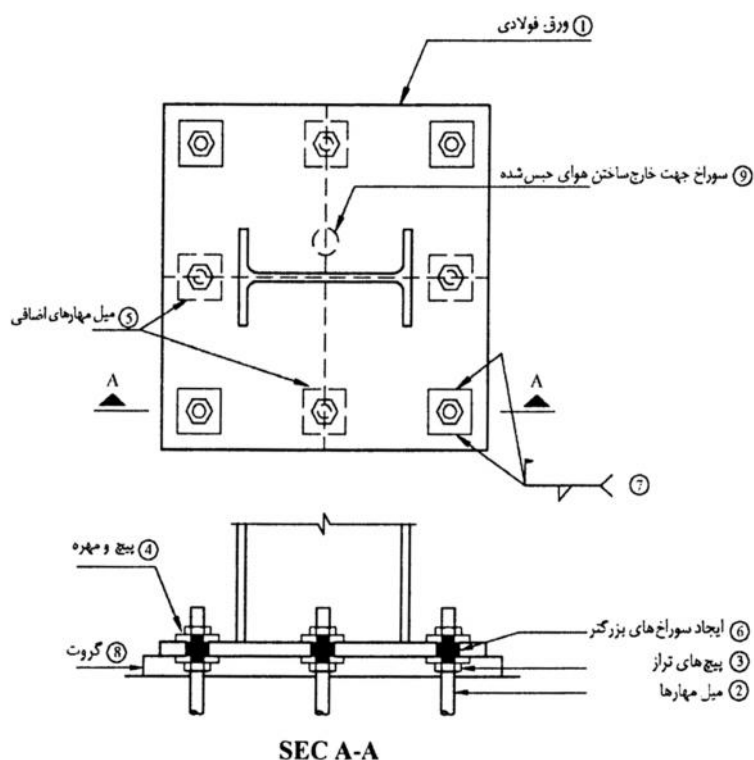
(۱) بارهای ستون را به فونداسیون منتقل کنند. این بارها شامل نیروهای محوری، ممان ها و برش پای ستون می باشند.

(۲) تنش های بوجود آمده در زیر ستون، ناشی از بارهای انتقال یافته را در سطحی وسیع تر به منظور جلوگیری از گسیختگی مصالح فونداسیون توزیع نماید.

(۳) به ستون اجازه دهند در هنگام نصب، تا وقتی با دیگر اجزای اسکلت درگیر نشده است بصورت یک کنسول قائم معمولی عمل نماید و پایداری خود را حفظ کند.

جزئیات صفحه ستون ها

جزئیات صفحه ستون ها در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۳- جزئیات کف ستون ها

- ۱- ورق فولادی (صفحه ستون) که ابعاد آن از محاسبات به دست می آید.
- ۲- میل مهارها که جهت تنظیم و تثبیت صفحه ستون به کار می روند.
- ۳- پیچ های تراز، جهت تراز نمودن صفحه ستون بعد از بتن ریزی.
- ۴- پیچ و واشر در بالای صفحه ستون جهت تثبیت صفحه ستون تراز شده.
- ۵- حداقل ۴ میل مهار برای یک صفحه ستون نیاز است و در صورتی که محاسبات تعداد بیشتری را نشان دهند باید میل مهارهای اضافی تعبیه شوند.
- ۶- ایجاد سوراخ های بزرگتر از قطر میل مهارها جهت حذف خطاهای حین اجرای کار.
- ۷- واشرها توسط جوش گوشه به صفحه ستون جوش شوند.
- ۸- بعد از تراز نمودن ستون، فضای خالی بین ستون و سطح فونداسیون با ملاتی به نام گروت پر می شود. از خواص گروت مقاومت فشاری بسیار بالا (حدود 700 kg/cm^2) و ازدیاد حجم در حین گیرش می باشد.

۹- جهت ملات ریزی زیر صفحه ستون و خارج کردن هوای حبس شده در صورت نیاز سوراخی روی صفحه ستون تعبیه می شود.

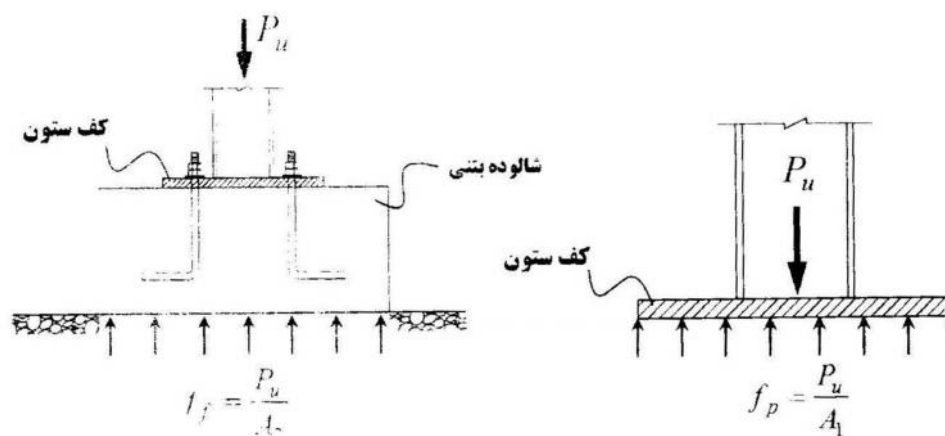
توصیه های عمومی در طراحی صفحه ستون ها

- ۱- حتی المقدور ابعاد صفحه ستون و محل قرارگیری پیچ ها حول هر دو محور تقارن باشند، این کار باعث می شود اگر صفحه ستون ۹۰ درجه دوران یابد از راستای صحیح خارج نشود. در نتیجه هیچ مشکل اجرایی جهت قرار گیری راستای صحیح در هنگام نصب بوجود نخواهد آمد.
- ۲- ابعاد صفحه ستون مضربی از ۵ باشند.
- ۳- ابعاد صفحه ستونها بصورتی انتخاب شوند که جای کافی جهت قرارگیری وسایل اتصال ستون به صفحه ستون، سوراخ ها و واشرهای مورد نیاز وجود داشته باشند.
- ۴- تا حد امکان تنوع ابعاد صفحه ستون در یک ساختمان کم باشد، یعنی صفحه ستون بر مبنای ابعاد ستون بزرگتر طراحی شود. این مساله خطای جابجا نصب شدن صفحه ستونها را کاهش می دهد.
- ۵- در یک ساختمان تا حد امکان از یک قطر میل مهار برای تمام صفحه ستونها استفاده شود تا اولاً نیاز به سرمت های متفاوت جهت سوراخکاری از بین برود ثانیاً اشتباه در جا به جا به کار بردن بولت ها وجود نداشته باشد.

طراحی صفحه ستون ها

در یک سیستم سازه ای ابتدا بارهای ثقلی وارده، بر روی سقف ها اعمال می شوند. سقف ها بار را به تیرهای فرعی و اصلی منتقل می کنند و ستون ها نیز بارهای وارده را به شالوده سازه انتقال می دهند. انتقال بار ستون به شالوده از طریق یک صفحه با نام کف ستون صورت می پذیرد. قابل توجه است که مقاومت خاک نسبت به بتن مورد استفاده در شالوده سازه، پایین تر است. همچنین مقاومت بتن شالوده نسبت به مقطع ستون فولادی کمتر است، بنابراین در انتقال نیرو از ستون به خاک زیر شالوده، می بایست تنش ها در حد قابل قبولی کاهش پیدا کنند. در حقیقت طبق رابطه $f = P / A$ ، یک صفحه ستون به دلیل

سطح بزرگ تری که نسبت به ستون دارد، نیروی وارده بر شالوده را تا اندازه قابل توجهی کاهش می دهد. همچنین شالوده نیز به دلیل سطح بزرگ ترش نسبت به صفحه ستون باز هم تنش را کاهش داده تا تنش زیر شالوده از تنش مجاز خاک فراتر نرود (شکل ۲-۳). بنابراین مساحت کف ستون باید به اندازه ای انتخاب شود تا تنش فشاری ایجاد شده بین کف ستون و شالوده از حد مشخصی فراتر نرود و خرد شدن بتن شالوده را همراه نداشته باشد.



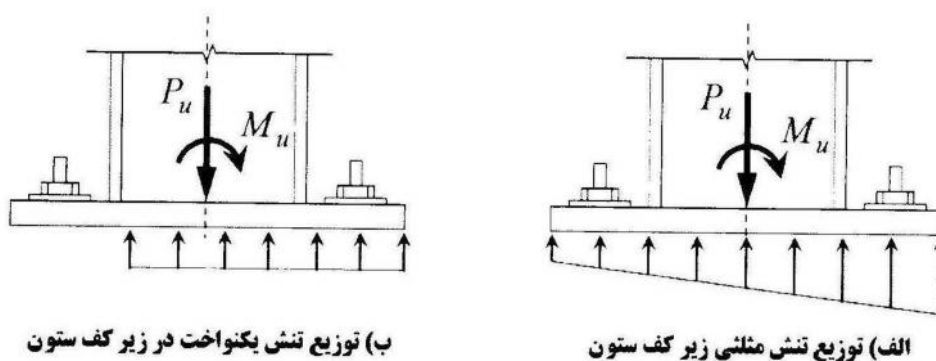
شکل ۲-۳

معمولا اجرای صفحات زیر ستون به دو شکل انجام می شود. در حالت اول صفحه ستون در ابتدا بر روی شالوده قرار می گیرد و در تراز مناسب قرار داده می شود. معمولا اتصال صفحه ستون به شالوده به کمک میل مهارهایی که در بتن شالوده قرار داده شده اند انجام می گیرد. سپس ستون بر روی صفحه ستون قرار گرفته و به آن اتصال متصل می گردد. این روش اجرا برای سازه های مدرن تر که ابتدا اجزای سازه در کارخانه ساخته شده و سپس جهت برپایی سازه به محل ساخت منتقل می شوند، مناسب است.

کف ستون ها از جمله اتصالات در سازه های فولادی محسوب می شوند و از اینرو از آن ها تحت عنوان اتصالات صفحه ستون نیز یاد می شود. در حقیقت این کف ستون ها هستند که ارتباط و اتصال میان اسکلت سازه و شالوده را فراهم می کنند. طراحی کف ستون ها نیز مانند سایر اتصالات سازه ای بر اساس بارهای مشخص طراحی سازه فولادی، در گام آخر و بعد از طراحی تمام اجزای سازه، طرح و محاسبه می شوند حال آنکه در برپایی سازه اولین قسمت اجرایی آن که بر روی شالوده قرار داده می شود همین کف ستون ها هستند. به هر حال در طراحی کف ستون ها باید بسیار دقت نمود چرا که همانطور که اشاره شد عناصر اصلی در انتقال بارها به شالوده سازه به حساب می آیند.

کف ستون ها باید قادر باشد نیروهای محوری، لنگر خمشی و نیروهای برشی پای ستون را به شالوده سازه منتقل نماید. بر همین اساس می توان دسته بندی مشخصی برای کف ستون ها ارائه نمود. برخی کف ستون ها تنها تحت اثر بار محوری قرار دارند روند طراحی این دسته از کف ستون ها به مراتب راحت تر از سایر حالات است. برای این دسته بار محوری ممکن است از نوع فشاری یا کششی باشد. هر چند نیروی کششی تنها برای یک کف ستون نسبت به نیروی فشاری تنها کمتر محتمل است، در صورتی که نیروی محوری فشاری روی یک کف ستون اعمال گردد، نیازی به محاسبات خاصی برای میل مهارهای اتصال کف ستون به شالوده نبوده و تنها از چند میل مهار برای ثابت نمودن کف ستون استفاده می گردد. حال آنکه برای نیروی محوری کششی، می بایست میل مهار کافی برای جلوگیری از جدا شدگی کف ستون از روی شالوده تعبیه گردد.

توزیع تنش در محل تماس کف ستون با شالوده به بارهای وارده از طرف ستون و البته صلیبیت کف ستون وابسته است. فرض اصلی، توزیع تنش یکنواخت در زیر کف ستون است. در حقیقت استفاده از توزیع یکنواخت در زیر کف ستون نسبت به توزیع مثلثی برای طراحی به روش *LRFD* منطقی تر است (شکل ۳-۳-ب).

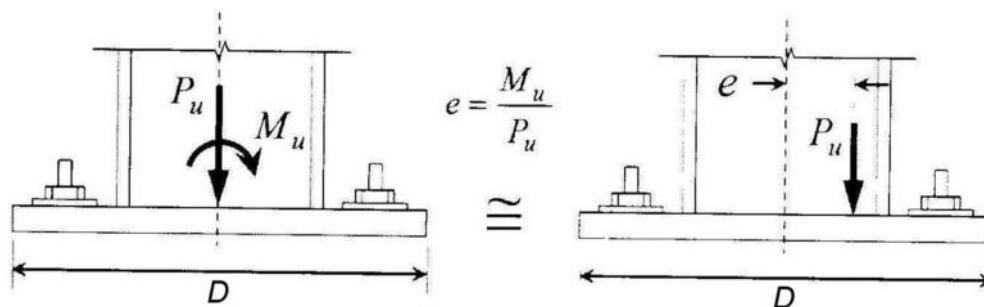


شکل ۳-۳

این روش به خروج از مرکزیت بار وارده (e) وابسته است که برابر است با تقسیم لنگر وارد بر کف ستون (M_u) بر بار محوری (P_u) وارده بر آن:

$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

البته شرایط مشابه را نیز برای آن می توان متصور بود. در صورتی که ستون دقیقاً در وسط کف ستون واقع نشود نسبت به مرکز آن خروج از مرکزیت داشته و روند حل آن به همین طریق انجام خواهد شد. شکل ۳-۴ مفهوم معادل سازی اثر خروج از مرکزیت بار وارده را نشان داده است.



شکل ۳-۴

بنابراین بطور خلاصه طراحی صفحات زیر ستون را می توان بر اساس بارهای وارده به شکل زیر تقسیم بندی نمود:

۱. کف ستون های تحت اثر بار محوری تنها
۲. کف ستون های تحت اثر نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی کوچک
۳. کف ستون های تحت اثر نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی بزرگ
۴. کف ستون ها تحت اثر نیروی برشی

قابل ذکر است که در طراحی کف ستون ها، برش و خمش وجه اشتراکی ندارند و طراحی برای این دو نیرو به شکل مستقل از یکدیگر انجام می شود. نیروی برشی در تعیین ضخامت ورق کف ستون ها جایی نداشته و تنها در شرایطی که لنگر خمشی به اندازه ای بزرگ باشد که در میل مهارها کشش ایجاد گردد، اثر توام کشش و برش در طراحی میل مهارها باید منظور گردد، بنابراین اثر نیروی برشی تنها در طراحی میل مهارهای کف ستون دیده می شود.

۱- طراحی کف ستون تحت اثر نیروی محوری تنها

کف ستونی را در نظر بگیرید که تنها اثر نیروی محوری فشاری قرار گرفته است. نیروی محوری فشاری منتج از ستون باید به مقاومت اتکایی بتن شالوده محدود گردد تا حالت حدی خرد شدگی بتن بر

طراحی حاکم نباشد. طبق مبحث دهم مقاومت اسمی اتکایی بستر بتنی (P_p) در صورتی که ابعاد کف ستون با شالوده برابر باشد از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$P_p = 0.85f'_c A_1$$

در این رابطه f'_c مقاومت فشاری بتن شالوده و A_1 سطح کف ستون در تماس با بتن هستند. طبق این رابطه، مقاومت فشاری بتن شالوده و ابعاد انتخابی برای کف ستون باید به اندازه ای بزرگ باشند که نیروی فشاری اعمال شده از جانب ستون، خرد شدگی بتن شالوده را به همراه نداشته باشد. اگر کف ستون تمام سطح شالوده را در بر نگیرد، با توجه به تاثیر سودمند محصور شدگی بتن تحت فشار، می توان مقاومت اسمی اتکایی را با ضریب $\sqrt{A_2/A_1}$ افزایش داد. البته این ضریب حداکثر به مقدار ۲ محدود شده است به عبارتی :

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 0.85f'_c A_1 (2) = 1.7f'_c A_1$$

یا

$$P_p = \min \left\{ 0.85f'_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}, 1.7f'_c A_1 \right\}$$

A_2 کل سطح شالوده است. اگر به مانند آنچه در شکل ۳-۵ نشان داده شده، سطح A_2 با سطح A_1 هم مرکز نباشد (سطح A_1 به فاصله e از لبه شالوده قرار گرفته باشد)، آنگاه می بایست مقدار A_2 را برابر با بزرگ ترین سطح هم مرکز ممکن با A_1 منظور نمود. در صورتی که لبه کف ستون در لبه شالوده قرار گیرد، سطح A_2 برابر A_1 در نظر گرفته خواهد شد و در این حالت:

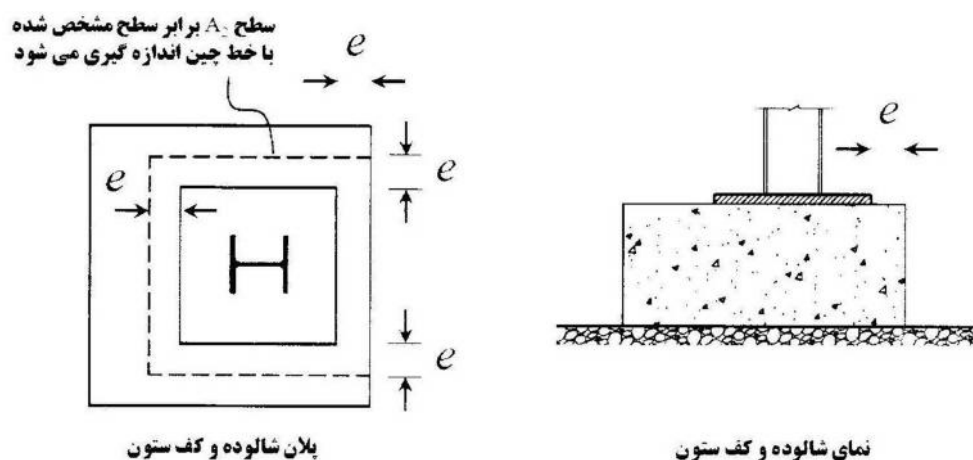
$$P_p = 0.85f'_c A_1$$

در طراحی به روش *LRFD*، مقاومت اتکایی طراحی برابر $f_c P_p$ است که $f_c = 0.65$ در نظر گرفته می شود. رابطه فوق بر حسب تنش نیز قابل بازنویسی است به عبارتی:

$$f_{p \max} = \frac{P_p}{A_1} = \min \left\{ 0.85f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}, 1.7f'_c \right\}$$

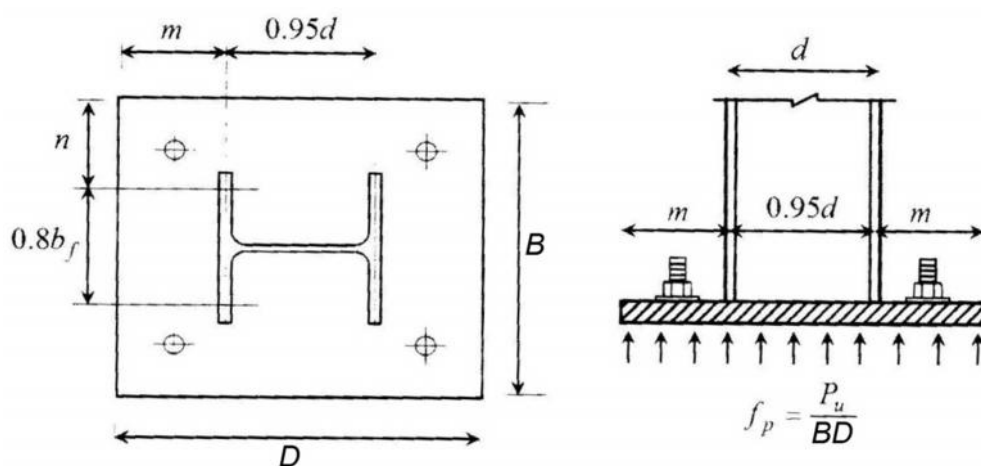
که $f_{p \max}$ تنش اتکایی حداکثر بتن شالوده است و تنش اتکایی بین کف ستون و شالوده نباید از این مقدار فراتر رود. پس از تعیین طول و عرض مناسب برای کف ستون جهت جلوگیری از خرد شدگی بتن شالوده،

می بایست ضخامت مورد نیاز کف ستون را در برابر لنگر ناشی از تنش اتکایی بین کف ستون و شالوده محاسبه نمود.



شکل ۳-۵

ضخامت کف ستون ها با لحاظ خمش ورق در محدوده خارج از ناحیه ستون تعیین می شود. فرض می شود خمش ورق در نصف عمق ورق، نزدیک لبه های بال ستون رخ دهد این خمش در اثر تنش اتکایی بین کف ستون و شالوده (f_p) روی ورق کف ستون ایجاد می شود. طول کف ستون با D و عرض آن با B نشان داده شده است در صورتی که ستون I شکل باشد دو محور موازی با جان و با فاصله $0.8b_f$ و نیز دو محور موازی با بال ها واقع در فاصله $0.95d$ از یکدیگر، به عنوان محورهای کنترل خمش منظور می گردد. این محورها در شکل ۳-۶ مشخص شده اند، بنابراین ملاحظه می شود که کف ستون از دو جهت تحت خمش قرار گرفته است. با مشخص شدن این دو محور دو نوار طره ای که با عناوین m و n مشخص شده اند مد نظر قرار می گیرند.



شکل ۳-۶

بدیهی است که طول نوار بزرگ تر بر طراحی حاکم خواهد بود. در این حالت مقاومت خمشی مورد نیاز بر روی محورهای کنترل کننده خمش برای طره ای به طول l و به عرض واحد (۱ سانتیمتر) از کف ستون به شکل زیر محاسبه می شود:

$$M_{pt} = f_p(I)\left(\frac{1}{2}\right) = f_p\left(\frac{l^2}{2}\right)$$

که در این رابطه l بزرگ ترین مقدار m و n است. حال مقاومت خمشی اسمی طره ای به عرض واحد محاسبه می شود:

$$M_n = ZF_y = \left(\frac{t_p^2}{4}\right)F_y$$

مقاومت طراحی:

$$fM_n = f\left(\frac{t_p^2}{4}\right)F_y$$

بنابراین حداقل ضخامت کف ستون به سادگی قابل محاسبه است:

$$M_{pt} \leq fM_n$$

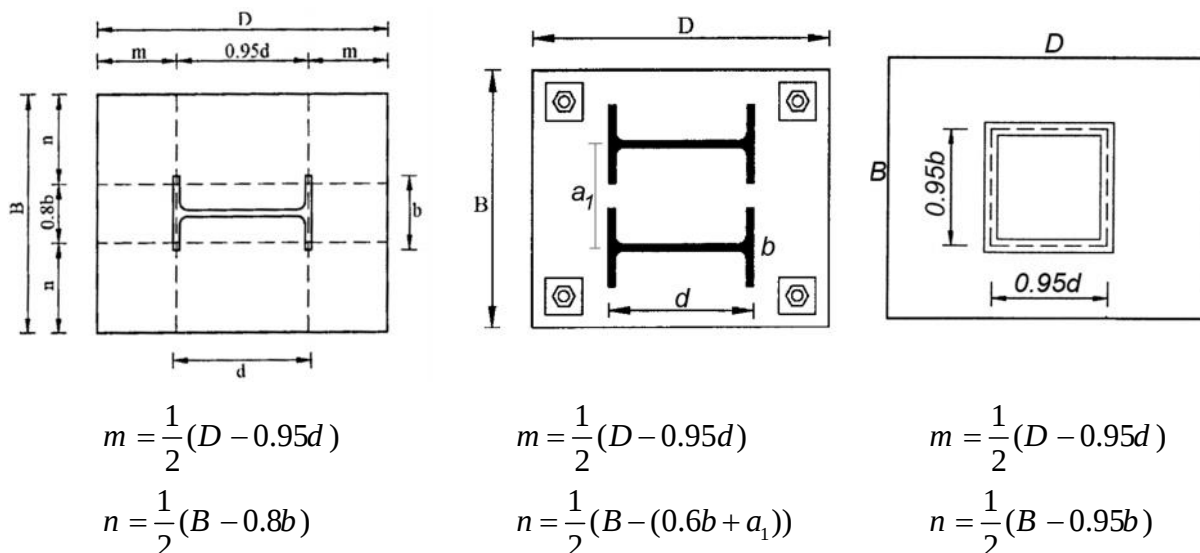
$$f_p\left(\frac{l^2}{2}\right) \leq f\left(\frac{t_p^2}{4}\right)F_y \rightarrow t_{req} \geq \sqrt{\frac{4f_p\left(\frac{l^2}{2}\right)}{fF_y}} = 1.51\sqrt{\frac{f_p}{F_y}}$$

همانطور که اشاره شد از بین دو نوار طره ای با عرض ۱ سانتیمتر که با عنوان m و n در شکل ۳-۶ نشان داده شده اند، طول نوار بزرگ تر جایگزین مقدار l در معادله فوق می شود تا حداقل ضخامت مورد نیاز کف ستون تعیین گردد. این روش به (روش طره) موسوم است. البته ناحیه محصور بین بال ها و جان ستون نیز مستعد خمش ناشی از تنش اتکایی زیر کف ستون است. تورنتون پیشنهاد کرده است برای آنکه بتوان روابط بالا را برای تمامی کف ستون ها استفاده نمود مقدار l برابر با بزرگ ترین دو مقدار زیر در نظر گرفته شود:

$$l = \max(m, n)$$

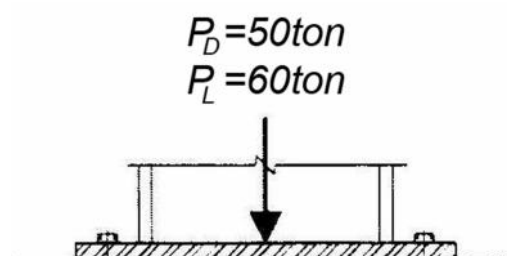
در حقیقت در این حالت در محاسبات تعیین ضخامت کف ستون عملاً نیازی به تعیین بزرگ یا کوچک بودن کف ستون و نیز سبک یا سنگین بودن بارهای وارده نیست.

در روابط فوق بسته به اینکه ستون متصل شونده به ورق کف ستون دارای چه مقطعی است m و n محاسبه می شود. در ادامه به چند نمونه رایج مقاطع ستون در شکل های زیر اشاره می شود.



شکل ۳-۷- انواع مقاطع ستون و محاسبه m و n

مثال ۳-۱- یک مقطع IPB 240 به عنوان ستون به روی فونداسیون گسترده بتنی قرار گرفته است. بار مرده ستون برابر با ۵۰ تن و بار زنده آن ۶۰ تن می باشد. با فرض استفاده از فولاد مصرفی ST 37 صفحه ستون مناسب برای آن طراحی کنید. مقاومت فشاری بتن فونداسیون 240 kg/cm^2 می باشد. بارهای وارده از نوع فشاری و مرکز اثر بار در مرکز سطح صفحه ستون می باشد.



شکل ۳-۸

حل:

بار ضریب دار برابر است با:

$$P_u = 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2(50) + 1.6(60) = 156\text{ton} = 156000\text{kg}$$

مساحت نشیمن مورد نیاز کف ستون:

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \leq 1.7f'_c A_1$$

$$P_p = 0.85 \times 240 \times A_1 = 204A_1$$

$$P_u \leq \phi_c P_p$$

$$156000 \leq 0.65 \times 204A_1 \Rightarrow A_1 \geq \frac{156000}{0.65 \times 204} = 1176\text{cm}^2$$

با فرض استفاده از کف ستون مربعی داریم:

$$B = D = \sqrt{1176} = 34.3\text{cm}$$

$$USE \quad PL 35 \times 35$$

با توجه به ابعاد ستون 24×24 سانتی متر، ابعاد کف ستون 35×35 از نظر اجرایی مناسب می باشد.

محاسبه ضخامت کف ستون:

تعیین طول نوارهای طره:

$$m = \frac{1}{2}(D - 0.95d) = \frac{1}{2}(35 - 0.95 \times 24) = 6.1\text{cm}$$

$$n = \frac{1}{2}(B - 0.8b) = \frac{1}{2}(35 - 0.8 \times 24) = 7.9\text{cm}$$

$$l = \max\{m, n\} = \max\{6.1, 7.9\} = 7.9\text{cm}$$

$$f_p = \frac{P_u}{B \times D} = \frac{156000}{35 \times 35} = 127$$

$$t \geq 1.5l \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} = 1.5 \times 7.9 \sqrt{\frac{127}{2400}} = 2.72\text{cm} \Rightarrow t = 3.0\text{cm}$$

$$\Rightarrow USE \quad PL 35 \times 35 \times 3\text{cm}$$

برای اتصالات مفصلی با نیروی فشاری بدون خروج از مرکزیت از 4f 20 به عنوان میل مهار (بولت)

حداقل استفاده می شود.

$$\Rightarrow USE \quad PL 35 \times 35 \times 3\text{cm} + 4f 20(\text{Bolts})$$

تمرین ۳-۱- ستونی با مقطع $2IPE\ 22c / c\ 22cm$ به روی فونداسیون گسترده بتنی قرار گرفته است. بار مرده ستون برابر با ۴۵ تن و بار زنده آن ۸۰ تن می باشد. با فرض استفاده از فولاد مصرفی $ST\ 37$ صفحه ستون مناسب برای آن طراحی کنید. مقاومت فشاری بتن فونداسیون $230kg / cm^2$ می باشد. بارهای وارده از نوع فشاری و مرکز اثر بار در مرکز سطح صفحه ستون می باشد.

۲- طراحی کف ستون تحت اثر نیروی محوری و لنگر خمشی کوچک

در صورتی که علاوه بر نیروی محوری بر کف ستون، لنگر خمشی نیز اعمال گردد یا اینکه بار وارده بر کف ستون با خروج از مرکزیت های کم، نیروی محوری ستون، تنها به کمک تنش اتکایی زیر کف ستون تحمل می شود و نیروی میل مهارها صفر است، اما برای خروج از مرکزیت نسبتاً بزرگ استفاده از میل مهار الزامی است. اما نکته اصلی در تشخیص کم یا زیاد بودن خروج از مرکزیت موجود است که در ادامه بحث می گردد.

شکل ۳-۹ را در نظر بگیرید. صفحه ستون دارای ابعاد $B \times D$ است. نیروی برآیند ناشی از نیروی اتکایی زیر کف ستون را می توان با qy نشان داد. که مقدار q هم حاصل ضرب $f_p \times B$ می باشد. نیروی برآیند مذکور که دقیقاً در وسط سطح توزیع نیروی qy قرار دارد. نسبت به لبه کف ستون (نقطه A) به فاصله $Y / 2$ و نسبت به مرکز کف ستون در فاصله ای برابر با e قرار گرفته است. e برابر است با:

$$e = \frac{D}{2} - \frac{Y}{2}$$

همچنین با نوشتن تعادل در راستای قائم خواهیم داشت:

$$T = 0 \quad P_u = qY \rightarrow Y = \frac{P_u}{q}$$

ممکن است پای ستون وجود داشته باشد طراحی می شوند. عموماً حتی در شرایطی که به میل مهار نیاز نداشته باشیم از ۴ میل مهار به قطر 20mm جهت تثبیت موقعیت کف ستون استفاده می گردد. این ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی در طراحی کف ستون تحت عنوان حالت کف ستون های تحت اثر نیروی محوری فشاری و لنگر خمشی کوچک شناخته می شود.

کنترل تنش اتکایی بتن شالوده:

همانطور که ذکر شد فرض اصلی این روش، استفاده از توزیع یکنواخت تنش زیر کف ستون است. توزیع تنش روی سطح $Y \times B$ در نظر گرفته می شود. مقدار Y را می توان با توجه با توضیحات ذکر شده به سادگی محاسبه نمود. برای آنکه تعادل نیرویی وجود داشته باشد:

$$e = e$$

لذا:

$$e = \frac{D}{2} - \frac{Y}{2} \rightarrow Y = D - (2e)$$

تنش اتکایی در این حالت برابر است با:

$$f_p = \frac{P_u}{BY} = \frac{P_u}{B(D - 2e)}$$

این تنش با تنش اتکایی حداکثر مقایسه می شود. تنش اتکایی حداکثر از رابطه زیر به سادگی به دست می آید:

$$f_{p \max} = \frac{P_p}{A_1} = \min \left(f_c, f_c' \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}, f_c' \right)$$

کنترل خمش در کف ستون تحت اثر نیروی اتکایی:

فشار اتکایی بین کف ستون و بتن شالوده در ورق کف ستون ایجاد یک لنگر خمشی در طول طره m می کند. مقاومت خمشی مورد نیاز کف ستون برای عرض واحد کف ستون در طول طره m بسته به اینکه مقدار Y از m کوچکتر یا بزرگ تر باشد (شکل ۳-۱۰) به شکل زیر محاسبه می شود.

$$\text{اگر } Y \geq m$$

$$M_{pl} = f_p(m) \left(\frac{m}{2} \right) = f_p \left(\frac{m^2}{2} \right)$$

اگر $Y < m$:

$$M_{pl} = f_p(Y) \left(m - \frac{Y}{2} \right)$$

مقاومت خمشی اسمی عرض واحد کف ستون نیز به شکل زیر محاسبه می شود:

$$M_n = ZF_y = \left(\frac{t_p^2}{4} \right) F_y$$

مقاومت طراحی:

$$f M_n = f \left(\frac{t_p^2}{4} \right) F_y$$

بنابراین حداقل ضخامت کف ستون به سادگی قابل محاسبه است.

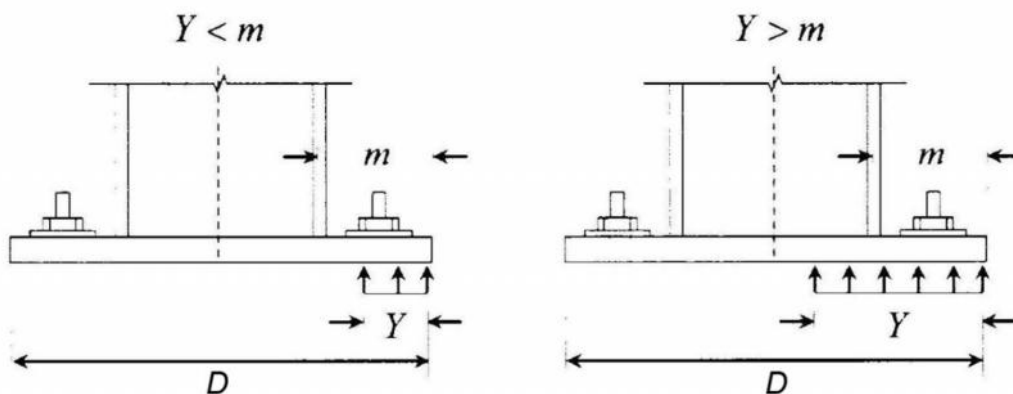
اگر $Y \geq m$:

$$M_{pl} \leq f M_n$$

$$f_p \left(\frac{m^2}{2} \right) \leq f \left(\frac{t_p^2}{4} \right) F_y \rightarrow t_{req} \geq \sqrt{\frac{4f_p \left(\frac{m^2}{2} \right)}{f F_y}} = 1.5m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}}$$

به طور مشابه اگر $Y < m$:

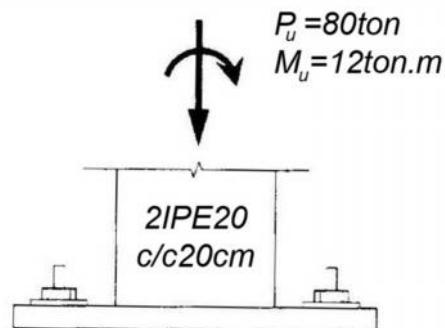
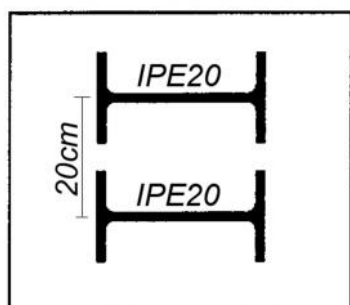
$$f_p(Y) \left(m - \frac{Y}{2} \right) \leq f \left(\frac{t_p^2}{4} \right) F_y \rightarrow t_{req} \geq 2.11 \sqrt{\frac{f_p Y (m - Y / 2)}{F_y}}$$



شکل ۳-۱۰

ذکر این نکته ضروری است که محاسبات فوق برای طول طره m انجام شد. اگر در (جهت عمود بر آن) طول طره n از m بزرگ تر باشد آنگاه طول n بر طراحی حاکم خواهد بود و لذا روابط فوق این بار بر اساس n بازنویسی خواهند شد.

مثال ۳-۲- مطلوبست طراحی کف ستون مورد نیاز برای ستون به مقطع $2IPE 20c / c 20cm$ با فرض استفاده از فولاد $ST 37$ و مقاومت فشاری بتن فونداسیون $f'_c = 210 kg / cm^2$. کف ستون بر گوشه ی فونداسیون گسترده واقع شده است.



شکل ۳-۱۱

حل:

$$P_u = 80000kg$$

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \leq 1.7f'_c A_1$$

$$P_p = 0.85 \times 210 A_1 = 178.5 A_1$$

$$P_u \leq f_c P_p$$

$$80000 \leq 0.65 \times 178.5 A_1 \Rightarrow A_1 \geq 689 cm^2$$

$$B = D = \sqrt{689} = 27cm$$

همانطور که ملاحظه می شود ابعاد صفحه ستون 27×27 سانتی متر بدست آمده است. با این حال این ابعاد برای قرار گیری ستون $2IPE 20c / c 20cm$ ، اتصالات آن و بولت ها کافی نیست. لذا لازم است جهت در نظر گرفتن ملاحظات اجرایی ابعاد بزرگتری در نظر گرفت.

Try PL $50 \times 50cm$

بررسی اینکه آیا مقدار خروج از مرکزیت بحرانی است یا خیر؟ :

$$f_{p \max} = \min \left\{ f \times 0.85 f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}, f \times 1.7 f'_c \right\}$$

$$f_{p \max} = \min \{0.65 \times 0.85 \times 210, 0.65 \times 1.7 \times 210\} = 116 \text{ kg / cm}^2$$

$$q_{\max} = f_{p \max} (B) = 116 \times 50 = 5801 \text{ kg / cm}$$

$$e_{\text{crit}} = \frac{D}{2} - \frac{P_u}{2q_{\max}} = \frac{50}{2} - \frac{80000}{2 \times 5801} = 18.1 \text{ cm}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{1200000}{80000} = 15 \text{ cm}$$

$$e < e_{\text{crit}}$$

پس بلندشدگی کف ستون اتفاق نمی افتد. لذا برای محاسبه ضخامت کف ستون داریم:

$$Y = D - (2e) = 50 - 2(15) = 20 \text{ cm}$$

$$f_p = \frac{P_u}{BY} = \frac{80000}{50(20)} = 80 \text{ kg / cm}^2 < f_{p \max}$$

$$m = \frac{1}{2}(D - 0.95d) = \frac{1}{2}(50 - 0.95 \times 20) = 15.5$$

$$n = \frac{1}{2}(B - 0.6b + a_1) = \frac{1}{2}(50 - 0.6 \times 10 + 20) = 12$$

محاسبه ضخامت ورق کف ستون:

با توجه به اینکه $m > n$:

$$t \geq 1.5m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} = 1.5 \times 15.5 \sqrt{\frac{80}{2400}} = 4.24 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{USE } PL 50 \times 50 \times 4.5 \text{ cm}$$

با توجه به اینکه خروج از مرکزیت جزئی است در این حالت نیز بولت ها طراحی نمی شوند و صرفا از تعدادی بولت جهت برقراری اتصال صفحه ستون به فونداسیون استفاده می شود. با توجه به ابعاد نسبتا بزرگ صفحه ستون این بار از 8f 25 بعنوان بولت استفاده می کنیم، بنابراین:

$$\Rightarrow \text{USE } PL 50 \times 50 \times 4.5 + 8f 25 (\text{Bolts})$$

(بعنوان تمرین ۲-۳ حل مسئله فوق را با ورق ۴۵ در ۴۵ سانتی متر بررسی کنید.)

تمرین ۳-۳ - مطلوبست طراحی کف ستون مورد نیاز برای ستون به مقطع $2IPE\ 24c / c\ 24cm$ با فرض استفاده از فولاد $ST\ 37$ و مقاومت فشاری بتن فونداسیون $f'_c = 220kg / cm^2$. کف ستون بر گوشه ی فونداسیون گسترده واقع شده است. بار فشاری وارده $70ton$ و لنگر خمشی $10ton.m$ می باشد.

۳- کف ستون تحت اثر نیروی محوری و لنگر خمشی بزرگ

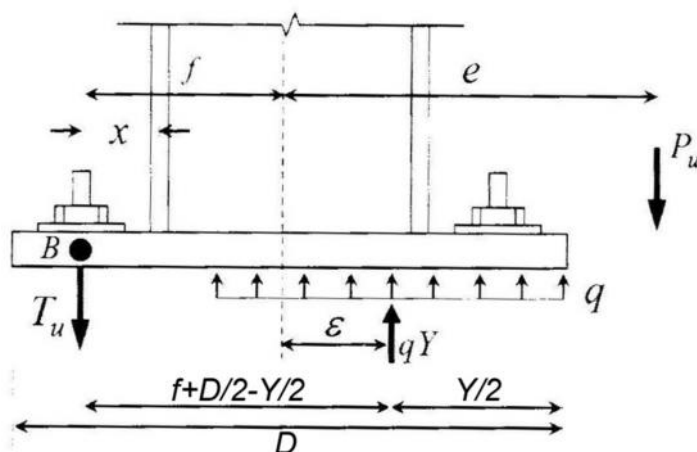
در صورتی که نسبت لنگر وارده بر کف ستون به نیروی محوری از مقدار مشخصی بیشتر شود به دلیل آنکه اثر خروج از مرکزیت تنها توسط تنش زیر کف ستون قابل تحمل نیست استفاده از میل مهار ضروری است. میل مهار کف ستون را به شالوده بتنی مثل می کند و مانع جدا شدن آن از یک سو و خرد شدن بتن از سویی دیگر می گردد. این حالت بیشتر برای ستون هایی که عضوی از یک قاب خمشی (قابی با اتصالات گیردار تیر به ستون) تحت اثر نیروهای جانبی مانند باد یا زلزله هستند اتفاق می افتد. هنگامی لنگر خمشی وارد بر کف ستون بزرگ است که:

$$e > e_{crit} = \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2q_{max}}$$

کنترل تنش اتکایی بتن فونداسیون:

شکل ۳-۱۲ را در نظر بگیرید. با نوشتن تعادل در راستای قائم خواهیم داشت:

$$T_u = q_{max} Y - P_u$$



شکل ۳-۱۲

چون $e > e_{crit}$ است، لذا q در حالت حدی خود بوده و برابر با q_{max} در نظر گرفته شده است، که در رابطه فوق T_u مقاومت کششی مورد نیاز میل مهار است. با گشتاور گیری حول نقطه B نیز می توان نوشت:

$$q_{max}(Y)\left(\frac{D}{2} - \frac{Y}{2} + f\right) - P_u(e + f) = 0$$

رابطه فوق ساده سازی شده و مجدد بازنویسی می شود:

$$Y^2 - 2\left(\frac{D}{2} + f\right)Y + \frac{2P_u(e + f)}{q_{max}} = 0$$

ملاحظه می شود که رابطه فوق یک معادله درجه دوم برای متغیر Y است و به سادگی قابل حل می باشد. جواب های معادله فوق برابرند با:

$$Y = \left(f + \frac{D}{2}\right) \pm \sqrt{\left(f + \frac{D}{2}\right)^2 - \frac{2P_u(e + f)}{q_{max}}}$$

از دو مقدار به دست آمده برای Y ، مقدار یکی از طول کف ستون بیشتر است که امکان پذیر نیست. به بیان دیگر تنها علامت منفی پشت رادیکال مد نظر قرار می گیرد. بنابراین با دانستن مقدار Y ، مقدار یکی از طول کف ستون بیشتر است که امکان پذیر نیست. به بیان دیگر تنها علامت منفی پشت رادیکال مد نظر قرار می گیرد.

بنابراین با دانستن مقدار Y ، مقاومت اتکایی بتن شالوده برابر $q_{max}Y$ خواهد بود و نیروی کششی مورد نیاز میل مهار به سادگی طبق رابطه $T_u = q_{max}Y - P_u$ قابل محاسبه است. البته لازم به ذکر است که جواب معادله درجه دوم مذکور همواره ممکن است یک عدد حقیقی نباشد به این دلیل که عبارت زیر رادیکال ممکن است منفی باشد. در این شرایط می بایست ابعاد ورق کف ستون را افزایش داد، بنابراین شرط لازمه استفاده از رابطه فوق است:

$$\left(f + \frac{D}{2}\right)^2 \geq \frac{2P_u(e + f)}{q_{max}}$$

کنترل خمشی در کف ستون تحت اثر نیروی اتکایی:

به مانند حالت قبل فشار اتکایی بین کف ستون و بتن شالوده روی ورق کف ستون ایجاد لنگر خمشی در طول طره m می کند. تنش اتکایی در این حالت در حالت حدی خود است.

$$f_p = f_{p \max}$$

مقاومت خمشی مورد نیاز کف ستون برای عرض واحد کف ستون در طول طره m بسته به اینکه مقدار Y از m کوچک تر باشد، به شکل زیر محاسبه میشود (شکل ۳-۱۰ را ببینید).

تعیین حداقل ضخامت کف ستون

$$\text{اگر } Y \geq m:$$

$$M_{pl} \leq f M_n$$

$$t_{req} \geq 1.5m \sqrt{\frac{f_{p\max}}{F_y}}$$

به طور مشابه اگر $Y < m$:

$$t_{req} \geq 2.11 \sqrt{\frac{f_{p\max} Y (m - Y / 2)}{F_y}}$$

مجدد تاکید می گردد که محاسبات فوق برای طول طره m انجام شده است. اگر در (جهت عمود بر آن) طول طره n از m بزرگ تر باشد آنگاه طول n بر طراحی حاکم خواهد بود و لذا روابط فوق بر حسب n بسط داده خواهند شد.

کنترل خمش در کف ستون تحت اثر نیروی کششی میل مهارها

در حالتی که لنگر وارده بر کف ستون بزرگ باشد و در میل مهارها نیروی کششی ایجاد گردد، نیروی کششی مذکور خود عامل ایجاد خمش در ورق کف ستون خواهد بود. در این حالت می توان به طور محافظه کارانه طول طره را برابر فاصله میان مهار تا مرکز بال ستون (x) در نظر گرفت (شکل ۳-۱۲ را ببینید). برای عرض واحد کف ستون مقاومت خمشی مورد نیاز در این حالت برابر است با:

$$M_{pl} = \frac{T_u x}{B}$$

که در آن:

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{t_f}{2}$$

در رابطه فوق d کل ارتفاع مقطع ستون و t_f نیز ضخامت بال ستون هستند. ضخامت مورد نیاز کف ستون برای این حالت به شکل زیر به دست می آید:

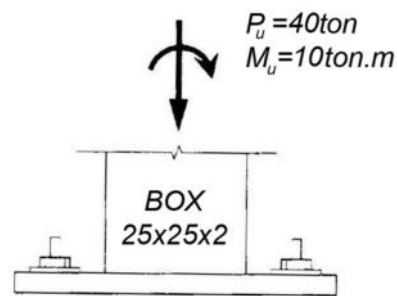
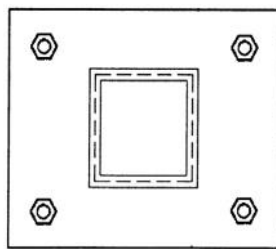
$$M_{pt} \leq f M_n$$

$$\frac{T_u x}{B} \leq f \left(\frac{t_p^2}{4} \right) F_y \rightarrow t_{req} \geq \sqrt{\frac{4 T_u x}{f B F_y}} = 2.11 \sqrt{\frac{T_u x}{B F_y}}$$

در رابطه فوق مقدار T_u ، نیروی کششی میل مهارها از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$T_u = q_{\max} Y - P_u$$

مثال ۳-۳- مطلوب است طراحی کف ستون برای ستونی با مقطع تیرورق مربع شکل $25 \times 25 \times 2 \text{ cm}$ با فرض استفاده از فولاد نرمه ساختمانی و مقاومت فشاری بتن $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ کف ستون در گوشه یک فونداسیون گسترده قرار دارد.



شکل ۳-۱۳

حل:

$$P_u = 40000 \text{ kg}$$

$$P_p = 0.85 f'_c A_1 = 0.85 \times 250 \times A_1 = 212.5 A_1$$

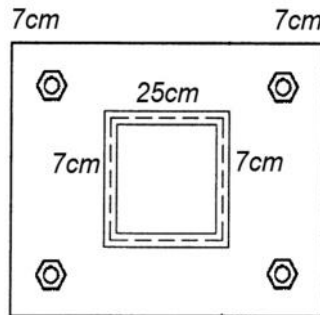
$$P_u \leq f_c P_p$$

$$40000 \leq 0.65 \times 212.5 A_1 \Rightarrow A_1 \geq 290 \text{ cm}^2$$

$$B = D = \sqrt{290} = 17 \text{ cm}$$

پرواضح است که ابعاد 17×17 سانتی متر بدست آمده برای قرارگیری صفحه ستون، اتصالات و بولت های آن مناسب نیست. لذا با توجه به ابعاد 25×25 ستون و لزوم منظور نمودن حداقل ۷ سانتی متر در هر طرف به عنوان فاصله مرکز بولت تا لبه ورق و نیز در نظر گرفتن فضایی جهت نصب اتصال ستون به صفحه

ستون (تقریباً حدود ۷ سانتی متر در دو طرف) از ابعاد ۵۵×۵۵ استفاده می کنیم.



شکل ۱۴-۳

Try PL 55×55

$$f_{p\max} = \min \left\{ f \times 0.85f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}, f \times 1.7f'_c \right\} = 0.65 \times 0.85 \times 250 = 139 \text{ kg/cm}^2$$

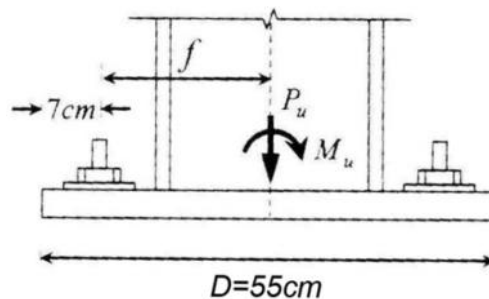
$$q_{\max} = f_{p\max}(B) = 139 \times 55 = 7645 \text{ kg/cm}$$

$$e_{\text{crit}} = \frac{D}{2} - \frac{P_u}{2q_{\max}} = \frac{55}{2} - \frac{40000}{2(7645)} = 24.8 \text{ cm}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{1000000}{40000} = 25 > e_{\text{crit}}$$

بنابراین بلندشدگی کف ستون اتفاق خواهد افتاد و طول Y به شکل زیر محاسبه می شود:

$$Y = \left(f + \frac{D}{2}\right) \pm \sqrt{\left(f + \frac{D}{2}\right)^2 - \frac{2P_u(e+f)}{q_{\max}}}$$



شکل ۱۵-۳

$$f = \frac{D}{2} - 7 = \frac{55}{2} - 7 = 20.5 \text{ cm}$$

$$Y = \left(20.5 + \frac{55}{2}\right) \pm \sqrt{\left(20.5 + \frac{55}{2}\right)^2 - \frac{2 \times 40000(25 + 20.5)}{7645}}$$

$$Y = 48 \pm 42.75$$

از دو جواب فوق صرفا عددی قابل قبول است که مقدار آن از بعد صفحه ستون بیشتر نشود پس:

$$Y = 5.25cm$$

$$m = \frac{1}{2}(D - 0.95d) = \frac{1}{2}(55 - 0.95 \times 25) = 15.62cm$$

$$n = \frac{1}{2}(B - 0.95b) = \frac{1}{2}(55 - 0.95 \times 25) = 15.62cm$$

چون $Y < m, n$ می باشد پس : ضخامت کف ستون در اثر نیروی اتکایی از رابطه زیر بدست می آید:

$$t \geq 2.11 \sqrt{\frac{f_{pmax} Y (m - Y / 2)}{F_y}} = 2.11 \sqrt{\frac{139 \times 5.25 (15.62 - \frac{5.25}{2})}{2400}}$$

$$t \geq 4.19$$

کنترل خمش کف ستون تحت اثر نیروی کششی:

نیروی کششی ایجاد شده در میل مهارها:

$$T_u = q_{max} Y - P_u = 7645 \times 5.25 - 40000 = 136.25kg$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{t_f}{2} = 20.5 - \frac{25}{2} + \frac{2}{2} = 9cm$$

$$t \geq 2.11 \sqrt{\frac{T_u x}{BF_y}} = 2.11 \sqrt{\frac{136.25 \times 9}{55 \times 2400}}$$

$$t \geq 0.20cm$$

با توجه به ۲ کنترل نیروی اتکایی و نیروی کششی ضخامت فونداسیون می بایست $t \geq 4.19cm$ در نظر گرفته شود.

$$\Rightarrow USE \quad PL 55 \times 55 \times 4.2cm$$

تمرین ۳-۴- مطلوب است طراحی کف ستون برای ستونی با مقطع $2IPE 22c / c 22cm$ با

فرض استفاده از فولاد نرمه ساختمانی و مقاومت فشاری بتن $f'_c = 250kg / cm^2$ کف

ستون در گوشه یک فونداسیون گسترده قرار دارد. بار فشاری وارده 50ton و لنگر

خمشی 15ton.m می باشد.

طراحی کف ستون برای نیروی برشی

نیروی برشی پی ستون باید به نحو مناسبی به شالوده سازه منتقل شود. روش های متفاوتی را می توان برای این منظور ذکر نمود. سه راه اصلی برای انتقال برش پای ستون به بتن شالوده عبارتند از:

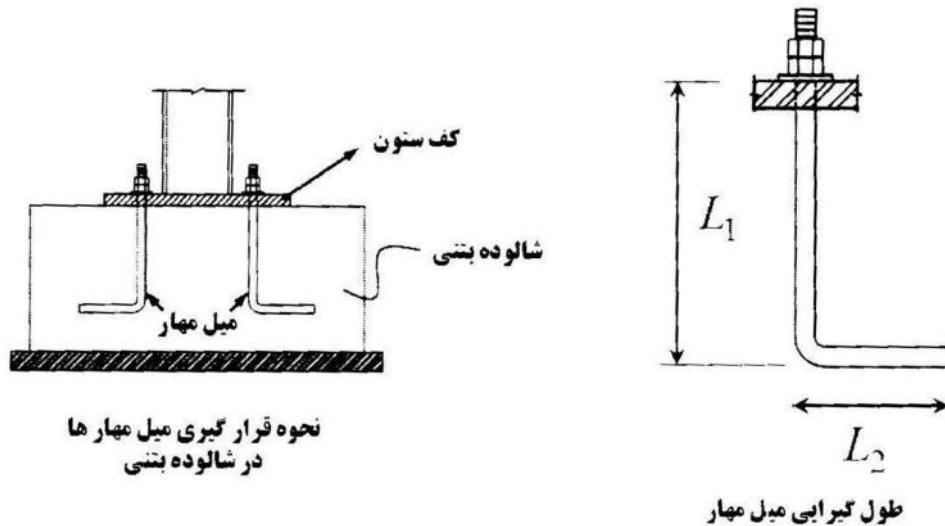
- اصطکاک میان ورق کف ستون و بتن شالوده یا ملات گروت
- اتکای بین ستون و کف ستون و بتن از طریق تعبیه کلید برشی
- برش در میل مهارهای کف ستون

عموما به دلیل نیروی اتکایی فشاری بین کف ستون و شالوده نیروی اصطکاک قابل ملاحظه ای ایجاد می شود که می تواند برش را منتقل نماید. مقاومت برشی ناشی از اصطکاک را می توان به سادگی محاسبه نمود. ساده ترین روش انتقال برش استفاده شده از میل مهارهای کف ستون است.

در ایران میل مهارها از میلگردهای AII یا $AIII$ ساخته می شوند و طراحی آن ها به شکل یک اتصال پیچی انجام خواهد شد. در طراحی آن ها به عنوان اتصال پیچی، نوع وسیله اتصال قطعه دندانه شده در نظر گرفته می شود. اگر در میل مهارها نیروی کششی به وجود نیامده باشد تنها تحت اثر برش محاسبه می شوند. اما اگر علاوه بر برش تحت اثر کشش نیز قرار گرفته باشند (ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی بزرگ) طراحی آن ها عینا شبیه به اتصال پیچی تحت اثر توام نیروی برشی و کششی انجام می گیرد و اندرکنش بین دو نیروی کششی و برشی در محاسبه مقاومت برشی یا کششی آن در نظر گرفته می شود. عملکرد اتصال میل مهار نیز از نوع اتکایی است.

میل مهار باید به نحو مناسبی در بتن مقید باشد. بدین منظور میل مهار باید از محل اتصالش به کف ستون در بتن به اندازه معینی ادامه پیدا کرده و در بتن مدفون گردد تا از شالوده تحت اثر نیروی کششی بیرون کشیده نشود. محاسبه طول گیرایی مورد نیاز آن، بر اساس ضوابط طراحی سازه های بتن آرمه انجام می گیرد. در صورتی که از میلگرد بدون خم کردن آن استفاده شود طول گیرایی محاسبه شده منتج به بکارگیری شالوده با عمق زیاد می گردد و طرح اقتصادی نخواهد بود، لذا مشابه با آنچه در شکل ۳-۱۶ به تصویر آمده، به کمک یک خم ۹۰ درجه ایجاد و یک قلاب از طول گیرایی آن کاسته می گردد. البته تنها ایجاد یک قلاب برای میلگرد کافی نیست و باید علاوه بر آن، طول اضافه مستقیمی برابر با حداقل $12d_b$ در

انتهای آزاد میلگرد در نظر گرفته شود (d_b قطر میلگرد است). جهت اطلاع از جزئیات بیشتر به خوانندگان می توانند به فصل ۲۱ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (مهار و وصله آرماتور) مراجعه نمایند.



شکل ۱۶-۳

به عنوان نمونه جدول ۱-۳ طول گیرایی میلگردهای با قلاب ۹۰ درجه را به ازای قطرهای مختلف شان ارائه نموده است.

جدول ۱-۳

قطر میلگرد (mm)	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۵	۲۸	۳۲
طول گیرایی L_1 (cm)	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
طول مستقیم L_2 (cm)	۲۰	۲۵	۲۵	۳۰	۳۰	۳۵	۴۰

مثال ۳-۴- میل مهارهای مورد نیاز مثال ۳-۳ را از جنس فولاد AII با $F_u = 5000 \text{ kg/cm}^2$ طراحی کنید. برش پای ستون را ۴۰ تن در نظر بگیرید.

نیروی کششی میل مهارها:

$$T_u = 136.25 \text{ kg}$$

نیروی برشی پای ستون:

$$V_u = 40000 \text{ kg}$$

تنش کشش و برش میل مهارها

$$f_{ut} = \frac{T_u}{\frac{A_{nb}}{2}} = \frac{136.25}{\frac{A_{nb}}{2}} = \frac{272.5}{A_{nb}}$$

$$f_{uv} = \frac{V_u}{A_{nb}} = \frac{40000}{A_{nb}}$$

(توضیح اینکه: تمامی بولت ها به برش وادار شده ولی فقط نیمی از بولت ها به کشش وادار می شوند)

میل مهارها به عنوان قطعات دندانه شده محسوب می شوند لذا با توجه به این موضوع بیشترین مقدار تنش کششی و برشی بر اساس آیین نامه به قرار زیر می باشد:

$$F_{nt} = 0.75F_u = 0.75(5000) = 3750 \text{ kg / cm}^2$$

$$F_{nv} = 0.45F_u = 0.45(5000) = 2250 \text{ kg / cm}^2$$

محاسبه مساحت مورد نیاز بولت ها:

$$\frac{272.5}{A_{nb}} \leq 3750 \rightarrow A_{nb} \geq 0.08 \text{ cm}^2$$

$$\frac{40000}{A_{nb}} \leq 2250 \rightarrow A_{nb} \geq 17.8 \text{ cm}^2$$

پس مساحت مورد نیاز کل بولت ها ۱۷/۸ سانتی متر مربع می باشد.

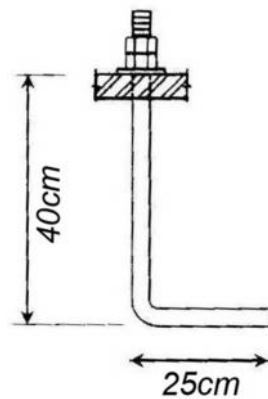
با فرض استفاده از ۴ بولت، مساحت هرکدام $\frac{17.8}{4}$ یعنی 4.45 cm^2 و با فرض استفاده از ۸ بولت مساحت

هرکدام $\frac{17.8}{8}$ یعنی 2.27 cm^2 خواهد بود. می دانیم که مساحت یک بولت f 20 برابر با 3.14 cm^2

می باشد. لذا با توجه به ابعاد بزرگ صفحه ستون ترجیحا از 8f 20 استفاده می کنیم.

$$\Rightarrow \text{USE } PL 55 \times 55 \times 4.2 \text{ cm} + 8f 20 (\text{Bolts})$$

طول گیرایی میگرد در بتن میگرد f 20 به شرح زیر می باشد.

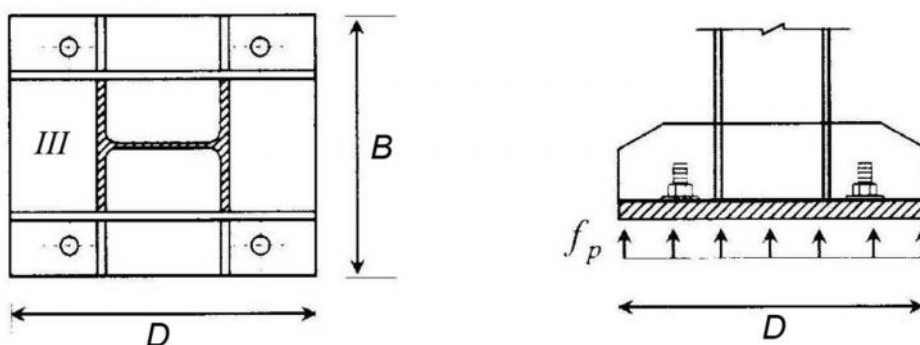


شکل ۳-۱۷

تمرین ۳-۵- مطلوب است طراحی بولت های مورد نیاز تمرین ۳-۴ از فولاد AII با
 $F_u = 5000 \text{ kg/cm}^2$ **طراحی کنید. برش پای ستون را ۶۰ تن در نظر بگیرید.**

کف ستون های سخت شده

در صورتی که ورق کف ستون برای بارهای زیاد طراحی شود، همانطور که در مثال های قبل هم دیده شد نتیجه طراحی منجر به انتخاب ضخامت نسبتا بالا برای کف ستون می گردد. این موضوع از این جهت حائز اهمیت است که ورق با ضخامت بالا ممکن است در بازار موجود نباشد و از طرفی طرح نیز غیر اقتصادی است. در عمل برای کاهش ضخامت صفحه ستون از ورق های سخت کننده مثلثی، دوزنقه ای یا مستطیلی استفاده می شود. بنابراین استفاده از ورق سخت کننده به منظور کاهش ضخامت کف ستون یک امر کاملا منطقی است. در این حالت اثر سخت کننده ها در تقلیل لنگر خمشی، با روابط مبتنی بر تحلیل ورق های نامعین منظور می گردد. کف ستون نشان داده شده در شکل ۳-۱۸ را در نظر بگیرید. این صفحه ستون به کمک چند ورق سخت کننده تقویت شده است. مجموعه ستون و سخت کننده ها، صفحه ستون را به چند ناحیه تقسیم نموده است. برای مثال ناحیه همانند ورقی است که از سه طرف تکیه دارد. وجود سخت کننده سبب می شود که در این ناحیه مقدار لنگر خمشی حداکثر به میزان قابل توجهی نسبت به شرایطی که ورق سخت کننده وجود نداشته باشد، تقلیل یابد.



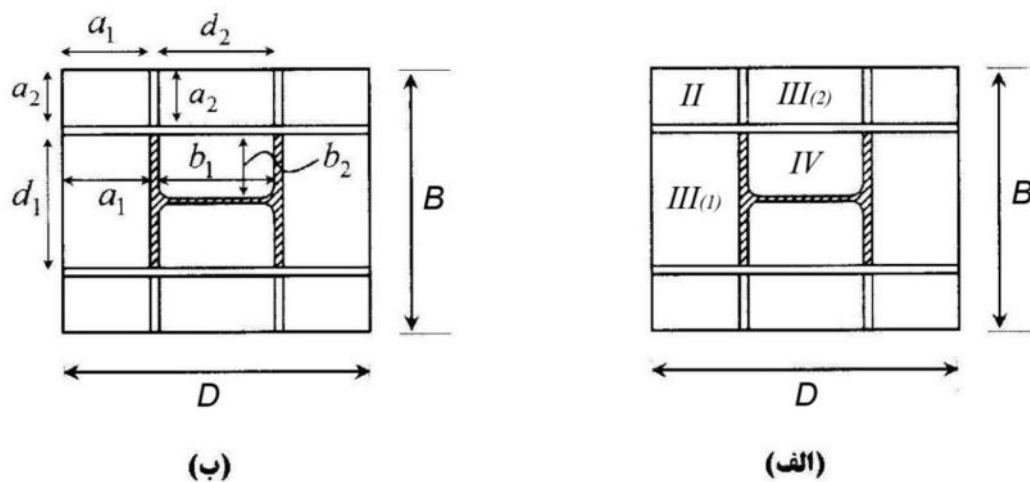
شکل ۳-۱۸

ناحیه بندی کف ستون

مطابق شکل ۳-۱۹-الف چهار ناحیه قابل تفکیک هستند. نواحی سه طرف محصور $III(1)$ و $III(2)$ ناحیه دو طرف محصور II و ناحیه چهار طرف محصور IV ، نواحی مذکور هستند. برای ناحیه IV ورق کف ستون از هر ۴ طرف محصور شده است. در این حالت مقدار لنگر خمشی حداکثر برابر است با:

$$M_{IV} = a_4 \cdot f_p \cdot b_2^2$$

که در رابطه فوق، b_2 بعد کوچک تر ناحیه چهار طرف محصور در نظر گرفته می شود و ضریب a_4 نیز از جدول ۳-۲ بر حسب نسبت بعد بزرگ تر به بعد کوچک تر (b_1/b_2) به دست می آید. در صورتی که مقدار (b_1/b_2) مابین مقادیر ذکر شده در جدول باشد. می توان از درون یابی خطی استفاده نمود یا در جهت اطمینان ضریب بزرگ تر را بکار بست.



شکل ۳-۱۹

جدول ۳-۲

(b_1/b_2)	۱	۱.۱	۱.۲	۱.۳	۱.۴	۱.۵	۱.۶	۱.۷	۱.۸	۱.۹	۲	بالای ۲
a_4	۰.۰۴۸	۰.۰۵۵	۰.۰۶۳	۰.۰۶۹	۰.۰۷۵	۰.۰۸۱	۰.۰۸۶	۰.۰۹۱	۰.۰۹۴	۰.۰۹۸	۰.۱	۰.۱۲۵

برای ناحیه III ورق کف ستون از ۳ طرف محصور شده است. در این حالت مقدار لنگر خمشی حداکثر، بر اساس نسبت (a_1/d_1) تعیین می شود. d_1 طول لبه آزاد ورق است.

$$\text{اگر } a_1/d_1 \geq 0.5$$

$$M_{III} = a_3 \cdot f_p \cdot d_1^2$$

ضریب a_3 نیز از جدول ۳-۳ بر حسب نسبت (a_1/d_1) به دست می آید.

جدول ۳-۳

(a_1/d_1)	۰.۵	۰.۶	۰.۷	۰.۸	۰.۹	۱.۰	۱.۲	۱.۴	۲	بالای ۲
a_3	۰.۰۶	۰.۰۷۴	۰.۰۸۴	۰.۰۹۷	۰.۱۰۷	۰.۱۱۲	۰.۱۲۰	۰.۱۲۶	۰.۱۳۲	۰.۱۳۳

اگر $a_1/d_1 < 0.5$ ورق همانند حالت طره تحلیل می شود به عبارتی:

$$M_I = \frac{1}{2} f_p \cdot a_1^2$$

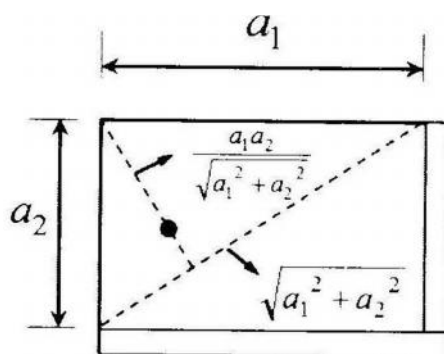
در ناحیه II ورق همانند حالت طره تحلیل می شود. تنها باید توجه داشت که طره مورد نظر به شکل ناحیه مثلثی نشان داده شده در شکل ۳-۲۰ خواهد بود. مثلث بیرونی منتج به لبه های آزاد کف ستون نسبت

به قطر آن همانند یک طره عمل خواهد نمود. در این حالت لنگر خمشی ایجاد شده بر روی قطر ناحیه مثلی برای عرض واحد آن برابر است با:

$$M_{II} = \left(\frac{1}{2} f_p a_1 a_2 \right) \left(\frac{1}{3} \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2}} \right) = \frac{f_p a_1^2 a_2^2}{6(a_1^2 + a_2^2)}$$

بعد از تعیین مقدار لنگر خمشی در نواحی مذکور، مقاومت خمشی مورد نیاز جهت تعیین ضخامت کف ستون برابر حداکثر لنگر خمشی به دست آمده از این نواحی در نظر گرفته می شود. به عبارتی:

$$M_{pl} = \max(M_{II}, M_{III(1)}, M_{III(2)}, M_{IV})$$

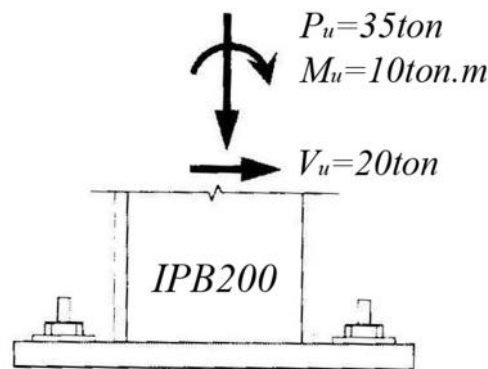


شکل ۳-۲۰

فرآیند ذکر شده جهت تعیین ضخامت کف ستون سخت شده، هم برای کف ستون های تحت اثر بار محوری تنها و هم برای کف ستون های تحت اثر توام نیروی محوری و لنگر خمشی قابل استفاده است. تنها باید به این نکته توجه داشت که در کف ستون های تحت اثر بار محوری تنها تمام نواحی تحت اثر تنش f_p قرار دارند حال آنکه در صورت وجود خروج از مرکزیت (وجود لنگر خمشی) تنش f_p ممکن است تنها در برخی نواحی حضور داشته باشد.

همچنین خمش مجموعه کف ستون و ورق های سخت کننده آن در دو جهت در بر ستون می بایست کنترل شود تا کفایت ضخامت و ارتفاع در نظر گرفته شده برای سخت کننده بررسی گردد. باید به این نکته توجه داشت که چیدمان سخت کننده ها به نحوی باشد که کاهش مقاومت خمشی مورد نیاز را در پی داشته باشد و نهایتاً منتج به کاهش ضخامت کف ستون گردد.

مثال ۳-۵- مطلوبست طراحی کف ستون و بولت های لازم برای ستون به مقطع IPB 200 تحت اثر بارهای وارده نشان داده شده در شکل فولاد مصرفی ستون و کف ستون ST 37 با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ و میل مهارها از نوع AII با $F_u = 5000 \text{ kg/cm}^2$ می باشد. مقاومت فشاری بتن فونداسیون $f'_c = 220 \text{ kg/cm}^2$ در نظر گرفته شده است. کف ستون بر لبه ی فونداسیون گسترده قرار دارد.



شکل ۳-۲۱

حل:

$$P_u = 35000 \text{ kg}$$

$$P_p = 0.85 f'_c A_1 = 0.85 \times 220 A_1 = 187 A_1$$

$$P_u \leq \phi P_p$$

$$35000 \leq 0.65 \times 187 A_1 \Rightarrow A_1 \geq 287 \text{ cm}^2$$

$$B = D = \sqrt{287} = 17 \text{ cm}$$

با توجه به ابعاد 20×20 سانتی متر، ابعاد صفحه ستون می بایست طوری انتخاب شود که از نظر اجرایی امکان نصب ستون، اتصالات و منظور نمودن فواصل مورد نیاز سوراخ ها تا لبه ی ورق وجود داشته باشد. از اینرو ابعاد صفحه ستون 40×40 بررسی می گردد.

$$\text{Try } PL 40 \times 40 \text{ cm}$$

$$f_{p \max} = \min \left\{ \phi \times 0.85 f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}, \phi \times 1.7 f'_c \right\} = 0.65 \times 0.85 \times 220 = 121.6 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{\max} = f_{p \max} \times B = 121.6 \times 40 = 48621 \text{ kg / cm}$$

$$e_{\text{crit}} = \frac{D}{2} - \frac{P_u}{2q_{\max}} = \frac{40}{2} - \frac{35000}{2 \times 4864} = 16.40 \text{ cm}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{1000000}{35000} = 28.6 \text{ cm} > e_{\text{crit}}$$

بنابراین بلندشدگی کف ستون اتفاق خواهد افتاد و طول Y به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$Y = \left(f + \frac{D}{2}\right) \pm \sqrt{\left(f + \frac{D}{2}\right)^2 - \frac{2P_u(e + f)}{q_{\max}}}$$

$$f = \frac{D}{2} - 7 = \frac{40}{2} - 7 = 13 \text{ cm}$$

$$Y = \left(13 + \frac{40}{2}\right) \pm \sqrt{\left(13 + \frac{40}{2}\right)^2 - \frac{2 \times 35000(28.6 + 13)}{4864}}$$

$$Y = 33 \pm 22.14$$

$$\begin{cases} Y_1 = 10.86 \text{ cm} \\ Y_2 = 55.14 \text{ cm} \end{cases}$$

از دوجواب فوق صرفا عددی قابل قبول است که مقدار آن از بعد صفحه ستون بیشتر نشود. پس:

$$Y = 10.86 \text{ cm}$$

برای محاسبه ی ضخامت صفحه ستون در ابتدا با فرض عدم استفاده از سخت کننده محاسبه می کنیم:

$$m = \frac{1}{2}(D - 0.95d) = \frac{1}{2}(40 - 0.95 \times 20) = 10.5$$

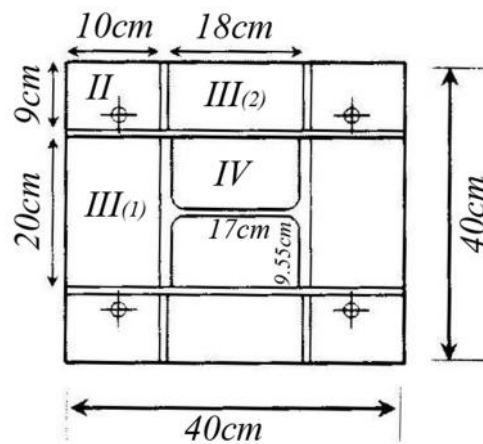
$$n = \frac{1}{2}(B - 0.8b) = \frac{1}{2}(40 - 0.8 \times 20) = 12$$

چون $Y < n$ می باشد، بنابراین ضخامت کف ستون در اثر نیروی اتکایی از رابطه زیر بدست می آید:

$$t \geq 2.11 \sqrt{\frac{f_{p \max} Y \left(n - \frac{Y}{2}\right)}{F_y}} = \sqrt{\frac{121.6 \times 10.86 \times \left(12 - \frac{10.86}{2}\right)}{2400}} = 4.02 \text{ cm}$$

ملاحظه می شود که ضخامت کف ستون زیاد است. جهت کم کردن این ضخامت از سخت کننده هایی به

ضخامت ۱ سانتی متر طبق چیدمان نشان داده در شکل استفاده می شود.



شکل ۳-۲۲

برای ناحیه دو طرف محصور II

$$\left. \begin{array}{l} a_1 = 10\text{cm} \\ a_2 = 9\text{cm} \end{array} \right\} \rightarrow M_{II} = \frac{f_p a_1^2 a_2^2}{6(a_1^2 + a_2^2)} = \frac{121.6 \times 10^2 \times 9^2}{6(10^2 + 9^2)} = 907 \text{kgcm / cm}$$

 ناحیه سه طرف محصور III₁

$$\left. \begin{array}{l} a_1 = 10\text{cm} \\ d_1 = 20\text{cm} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{a_1}{d_1} = \frac{10}{20} = 0.5 \rightarrow a_3 = 0.06$$

$$\Rightarrow M_{III} = a_3 f_p d_1^2 = 0.06 \times 121.6 \times 20^2 = 2918 \text{kgcm / cm}$$

 برای ناحیه سه طرف محصور III₂

$$\left. \begin{array}{l} a_1 = 9\text{cm} \\ d_1 = 18\text{cm} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{a_1}{d_1} = \frac{9}{18} = 0.5 \rightarrow a_3 = 0.06$$

$$\Rightarrow M_{III} = a_3 f_p d_1^2 = 0.06 \times 121.6 \times 18^2 = 2364 \text{kgcm / cm}$$

برای ناحیه چهارطرف محصور IV

$$\left. \begin{array}{l} b_1 = 17\text{cm} \\ b_2 = 9.55\text{cm} \end{array} \right\} \rightarrow \frac{b_1}{b_2} = \frac{17}{9.55} = 1.78 \rightarrow a_4 = 0.094$$

$$\Rightarrow M_{IV} = a_4 f_p b_2^2 = 0.094 \times 121.6 \times 9.55^2 = 1042 \text{kgcm / cm}$$

$$M_{pl} = \max \{M_{II}, M_{III_1}, M_{III_2}, M_{IV}\} = 2918 \text{kgcm / cm}$$

$$t_{req} \geq 2.11 \sqrt{\frac{M_{pl}}{F_y}} = 2.11 \sqrt{\frac{2918}{2400}} = 2.32 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow USE \quad PL 40 \times 40 \times 2.5 \text{ cm}$$

طراحی میل مهارها:

نیروی کششی میل مهارها:

$$T_u = q_{\max} Y - P_u = 4864 \times 10.86 - 35000 = 17823 \text{ kg}$$

نیروی برشی پای ستون:

$$V_u = 20000 \text{ kg}$$

تنش کششی و برشی میل مهارها:

$$f_{ut} = \frac{T_u}{\frac{A_{nb}}{2}} = \frac{17823}{\frac{A_n b}{2}} = \frac{35646}{A_n b}$$

$$f_{uv} = \frac{V_u}{A_{nb}} = \frac{20000}{A_{nb}}$$

$$F_{nt} = 0.75 F_u = 0.75(5000) = 3750 \text{ kg / cm}^2$$

$$F_{nv} = 0.45 F_u = 0.45(5000) = 2250 \text{ kg / cm}^2$$

محاسبه مساحت مورد نیاز بولت ها:

$$\frac{35646}{A_{nb}} \leq 3750 \rightarrow A_{nb} \geq 9.50 \text{ cm}^2$$

$$\frac{20000}{A_{nb}} \leq 2250 \rightarrow A_{nb} \geq 8.9 \text{ cm}^2$$

پس مساحت مورد نیاز کل بولت ها ۹.۵۰ سانتی متر مربع می باشد.

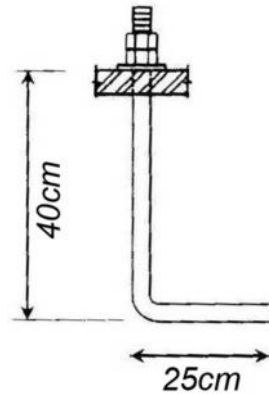
با فرض استفاده از ۴ بولت، مساحت هر بولت $\frac{9.50}{4}$ یعنی ۲.۳۸ سانتی متر مربع می باشد. بنابراین با توجه

به اینکه مساحت بولت ۲۰ f، برابر ۳.۱۴ سانتی متر مربع است می توان از ۴f ۲۰ به عنوان بولت استفاده

کرد. لذا:

$$USE \quad PL 40 \times 40 \times 2.5 + 4f 20(\text{Bolts}) + stiffeners$$

می دانیم طول گیرایی بولت f_{20} در بتن به شرح زیر است:



شکل ۳-۲۳

تمرین ۳-۶ تا ۳-۱۲- مطلوب است طراحی کف ستون مثال های ۳-۱، ۳-۲، ۳-۳ و تمرین های ۳-۱، ۳-۲، ۳-۳ و ۳-۴ با استفاده از ورق های سخت کننده.

"فصل چهارم"

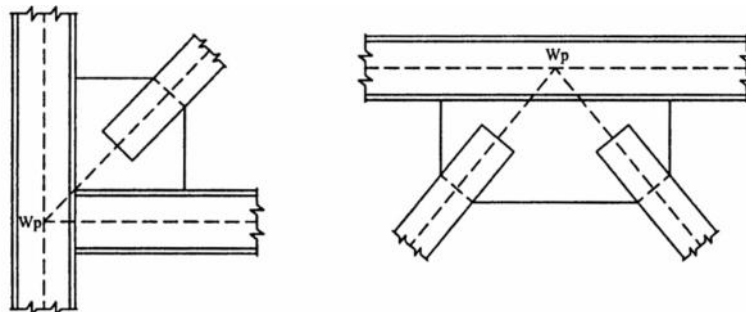
طراحی بادبندها

طراحی اعضاء در قاب های بادبندي شده

در اين بخش ضوابط و نکات طراحی قاب های با بادبندي همگرا و واگرا بررسی می شود. در قسمت اول اين بخش طراحی بادبندهای همگرا بر اساس بندهایی از مبحث ۱۰ (اعضاء فشاری و کششی) و الزامات طرح لرزه ای مبحث ده مقررات ملی ساختمان آمده است.

بادبندهای همگرا یا هم مرکز (CBF)

به قاب بادبندي شده ای همگرا (هم مرکز) اطلاق می شود که محور های خشي در اعضاء مختلف (تیرها، ستون ها و اعضاء مهاري) در یک نقطه مشترک در هر اتصال با هم تلاقی کنند. (شکل ۴-۱).



ب) اتصال مهاربندها به تیر طبقه الف) اتصال مهاربندها به تیر و ستون

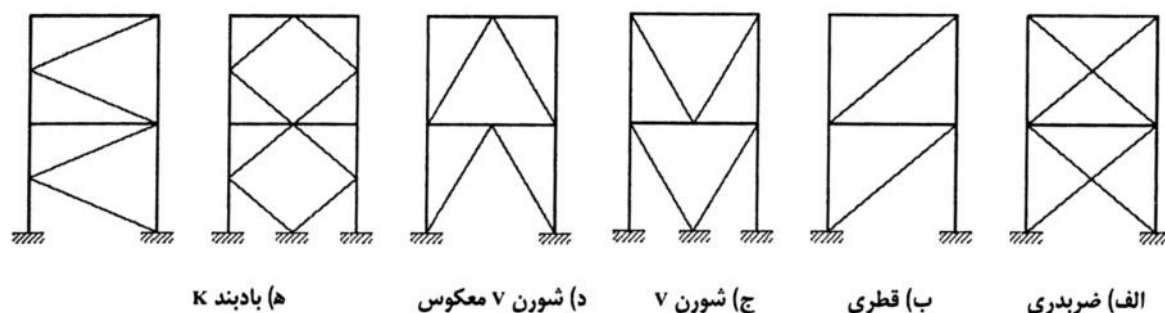
شکل ۴-۱- نمایش دو نمونه اتصال در بادبندهای همگرا

در این سیستم مقاومت جانبی سازه توسط اعضای قطری که با تیرها و ستون های قاب تشکیل یک سیستم خرابایی قائم را می دهند تامین می شود و معمولا اعضای مهاري در معرض نیروی محوری هستند.

تعریف نقطه عملکرد: به محل تلاقی خطوط مرکزی عضو مهاري، تیر و ستون و یا اعضا مهاري و تیر، نقطه عملکرد (Working Point) گفته می شود.

انواع بادبندهای همگرا

انواع بادبندهای همگرا عبارت اند از: ضربدری قطری، شورون-V، شورون-V معکوس و بادبند K. (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲- انواع بادبندهای همگرا

بادبندهای واگرا یا خارج از مرکز (EBF)

به قاب بادبندی شده ای، واگرا اطلاق می شود که بین انتهای اعضای مهاري تا تیر و ستون فاصله ایجاد شده باشد. فاصله به وجود آمده، تیر پیوند (Link Beam) نامیده شده و با e نمایش داده می شود گاهی به تیر پیوند فیوز نیز گفته می شود زیرا این تیر مانند فیوز عمل کرده و جذب و استهلاک انرژی زلزله از خرابی سایر اعضا جلوگیری می کند. اساسی ترین معیار طراحی این گونه قاب ها، جاری شدن فقط تیر پیوند می باشد و دیگر اعضا باید در حالت الاستیک باقی بمانند.

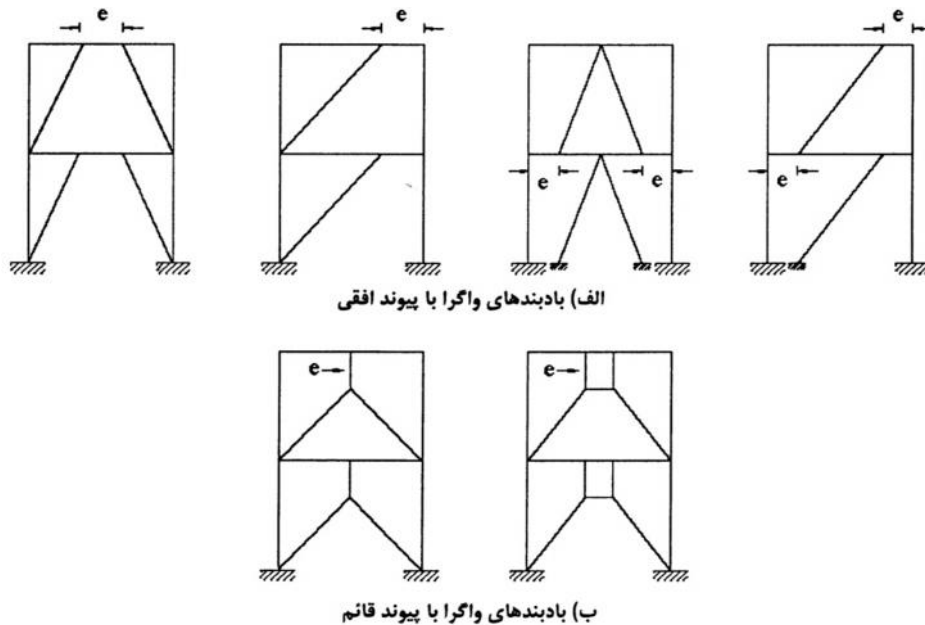
انواع بادبندهای واگرا

بادبندهای واگرا در حالت کلی به دو دسته :

۱- بادبند های واگرا باتیر پیوند افقی (H-EBF)

۲- بادبند های واگرا با پیوند قائم (V-EBF)

تقسیم بندی می شوند. در شکل ۴-۳ انواع بادبندهای واگرا نمایش داده شده است.



شکل ۴-۳- انواع پیکربندی بادبندی واگرا

رفتار بادبندهای واگرا

رفتار بادبندهای واگرا به طول تیر پیوند آنها بستگی دارد. اصولاً بادبندهای واگرا با طول پیوند کوتاه، رفتار برشی و با طول پیوند بلند، رفتار خمشی دارند. هر چقدر طول پیوند کوتاه تر باشد سختی قاب بیشتر است. رابطه ی کیفی سختی قاب با طول تیر پیوند در جدول در جدول ۴-۱ آمده است.

جدول ۴-۱- تاثیرات طول پیوند بر سختی قاب های مهاربندی شده واگرا

$\frac{e}{L}$	0	<0.5	>0.5	1
حدود سختی	قاب دارای بیشترین سختی می باشد (معادل CBF)	بادبند ها تاثیر زیادی در سختی قاب دارند	سختی ایجاد شده توسط بادبند ها کم است.	قاب دارای حداقل سختی می باشد. (معادل MRF)

آزمایشات انجام شده بر روی این سیستم نشان از رفتار خوب قاب های EBF با طول پیوند کوتاه نسبت به طول پیوند بلند در بارهای دینامیکی دارد. لذا توصیه می شود طول پیوند کوتاه مدنظر باشد.

طراحی بادبندهای همگرا

طراحی بادبندهای ضربدری X

اگر هر دو مهاربند وجود داشته باشد (یک عضو فشاری و یک عضو کششی)، طراحی بر اساس روابط اعضای فشاری (موضوع بحث سازه های فولادی ۱ - فصل سوم) انجام شده و پروفیل بدست آمده برای هر دو مهاربند در نظر گرفته می شود.

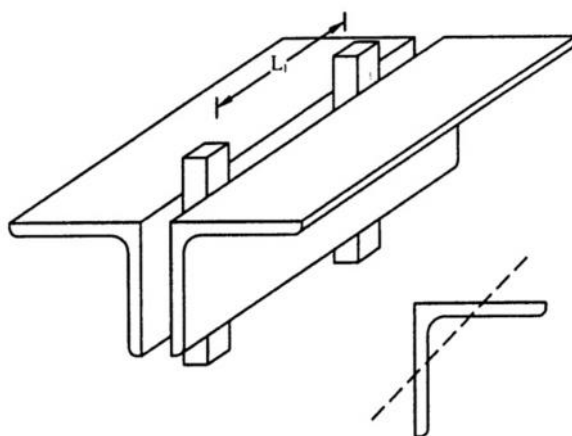
ذکر این نکته حائز اهمیت است که بار طراحی P بیشترین بار فشاری در تمام ترکیبات بارگذاری می باشد. معمولاً برای بادبندها ترکیب بار $1.2D+L+E$ بحرانی می شود.

همچنین شیوه اجرای بادبند های ضربدری به صورتی است که معمولاً اعضاء مهاربندی در وسط به هم متصل می شوند، لذا جهت لحاظ نمودن این نکته مقادیر K_x و K_y ، به ترتیب برابر 0.5 و 0.7 پیشنهاد می شوند. (یعنی طول موثر کمانش، کاهش می یابد). بر اساس این مقادیر حداکثر لاغری محاسبه می شوند که این مقدار در اعضای مهاربندی که به صورت فشاری طراحی می شوند، نباید از $4\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ تجاوز نمایند. مگر در ساختمان ها و سازه های غیرساختمانی. برای یادآوری تنش بحرانی ضریبدار عضو فشاری، متناسب با مقدار لاغری بوده و برای محاسبه آن میتوان از جداول کمکی ۴-۲ نیز بهره برد.

در اعضای فشاری که از دو یا چند نیمرخ نورد ساخته می شوند (مانند بادبندهایی که از دابل نبشی یا ناودانی می باشند) محدودیت های زیر که در مبحث ۱۰ ارائه شده است باید اعمال گردد:

- پروفیل ها با گذاردن قطعات لقمه (فیلر) در بین آنها به یکدیگر متصل گردند، فواصل لقمه ها (یا نقاط اتصال) باید طوری باشد که لاغری هر نیمرخ، $\frac{kL_1}{r}$ ، در قسمتی که بین دو لقمه قرار دارد، از $\frac{3}{4}$ لاغری تعیین کننده کل عضو مرکب تجاوز نکند. (شعاع ژیراسیون حداقل هر نیمرخ ملاک محاسبه ضریب لاغری آن می باشد). (شکل ۴-۴)

$$\frac{L_1}{r_{1min}} \leq 0.75\left(\frac{kL}{r}\right)_{max}$$



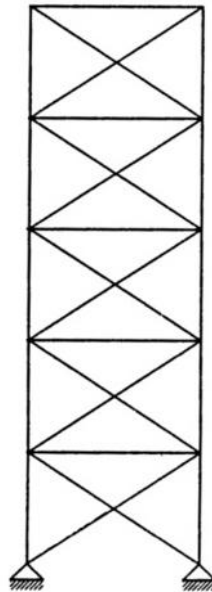
شکل ۴-۴- شرایط لقمه ها در اعضای فشاری

- در طول یک عضو مرکب، حداقل دو نقطه ی اتصال بین دو سر آن باید وجود داشته باشد.

تنش طراحی ستون‌ها برحسب ضریب لاغری به روش حالت‌های حدی									
KL/r	$\phi_c F_{cr}$	KL/r	$\phi_c F_{cr}$	KL/r	$\phi_c F_{cr}$	KL/r	$\phi_c F_{cr}$	KL/r	$\phi_c F_{cr}$
1	2160	41	1983	81	1547	121	1025	161	601
2	2160	42	1975	82	1534	122	1013	162	594
3	2159	43	1966	83	1521	123	1000	163	586
4	2158	44	1957	84	1508	124	988	164	579
5	2157	45	1948	85	1495	125	975	165	572
6	2156	46	1939	86	1482	126	963	166	565
7	2155	47	1930	87	1470	127	951	167	559
8	2153	48	1921	88	1456	128	938	168	552
9	2151	49	1912	89	1443	129	926	169	546
10	2149	50	1902	90	1430	130	914	170	539
11	2147	51	1892	91	1417	131	902	171	533
12	2144	52	1882	92	1404	132	890	172	527
13	2142	53	1872	93	1391	133	878	173	521
14	2139	54	1862	94	1378	134	866	174	515
15	2135	55	1852	95	1365	135	854	175	509
16	2132	56	1841	96	1351	136	842	176	503
17	2128	57	1831	97	1338	137	830	177	497
18	2125	58	1820	98	1325	138	818	178	492
19	2121	59	1809	99	1312	139	806	179	486
20	2116	60	1798	100	1299	140	795	180	481
21	2112	61	1787	101	1285	141	784	181	476
22	2107	62	1776	102	1272	142	773	182	470
23	2103	63	1765	103	1259	143	762	183	465
24	2098	64	1754	104	1246	144	751	184	460
25	2092	65	1742	105	1233	145	741	185	455
26	2087	66	1731	106	1219	146	731	186	450
27	2081	67	1719	107	1206	147	721	187	446
28	2076	68	1707	108	1193	148	711	188	441
29	2070	69	1695	109	1180	149	702	189	436
30	2063	70	1683	110	1167	150	692	190	432
31	2057	71	1671	111	1154	151	683	191	427
32	2050	72	1659	112	1141	152	674	192	423
33	2044	73	1647	113	1128	153	666	193	418
34	2037	74	1635	114	1115	154	657	194	414
35	2029	75	1622	115	1102	155	648	195	410
36	2022	76	1610	116	1089	156	640	196	406
37	2015	77	1597	117	1076	157	632	197	401
38	2007	78	1585	118	1063	158	624	198	397
39	1999	79	1572	119	1051	159	616	199	393
40	1991	80	1560	120	1038	160	609	200	390

جدول ۴-۲- تنش طراحی ستون‌ها برای فولاد ST37 - $F_y=2400\text{kg/cm}^2$

مثال ۱-۴- قاب شکل ۵-۴ را در نظر بگیرید. با توجه به جدول نتایج حاصل از آنالیز سازه در نرم افزار ETABS، مهاربندهای طبقه اول را طراحی کنید. (کلیه اتصالات مفصلی است.) از پروفیل دابل ناودانی (روبروی هم یا پشت به پشت) استفاده کنید. طول دهانه ۵ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر می باشد. فولاد مصرفی از نوع نرمه ساختمانی با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ می باشد.



شکل ۵-۴- قاب مهاربندی شده ضربدری مثال ۱-۴

جدول ۳-۴- نتایج حاصل از آنالیز قاب مثال ۱-۴ در نرم افزار ETABS

طبقه	DL(ton)	LL(ton)	E.Q(ton)
اول	0.8	3.7	16.2
دوم	0.7	3.2	15.3
سوم	0.6	2.5	14.7
چهارم	0.5	2.0	13.6
پنجم	0.4	1.7	12.0

حل:

$$P_{Design} = 1.2P_D + P_L + P_E = 1.2(0.8) + 3.7 + 16.2 = 20.86 \text{ ton}$$

$$P_u = P_{Design} = 20860 \text{ kg}$$

$$P_u \leq f_c F_{cr} A_g \rightarrow A_g \geq \frac{P_u}{f_c F_{cr}}$$

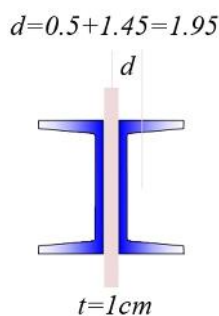
$$\text{فرضی } F_{cr} = 1200 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_g \geq \frac{20860}{0.9 \times 1200} = 19.32 \text{ cm}^2$$

مساحت مورد نیاز جفت ناودانی ۱۹.۳۲ سانتی متر مربع می باشد. پس جهت مراجعه به اشتهال و انتخاب مقطع مناسب، آن را نصف کرده و یک پروفیل تک پیدا کرده، سپس مشخصات هندسی دویل آن را محاسبه می کنیم.

$$A_{g1} \geq \frac{19.32}{2} = 9.66 \text{ cm}^2$$

$$\text{Try 2UNP80} \begin{cases} A_1 = 11 \text{ cm}^2 \\ r_{x1} = 3.10 \text{ cm} \\ r_{y1} = 1.33 \text{ cm} \\ I_{y1} = 19.4 \text{ cm}^4 \\ e_y = 1.45 \text{ cm} \end{cases}$$



فرض می کنیم دویل ناودانی پشت به پشت با منظور کردن ورق اتصال با ضخامت 1cm استفاده می شود.

$$L = \sqrt{3^2 + 5^2} = 5.83 \text{ m} = 583 \text{ cm}$$

$$K_x = 0.5$$

$$K_y = 0.7$$

$$l_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{0.5 \times 583}{3.10} = 94$$

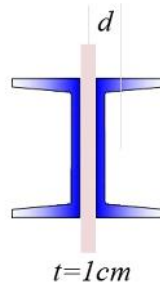
$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2(I_{y1} + A_1 d^2)}{2A_1}} = \sqrt{\frac{2(19.4 + 11 \times 1.95^2)}{2 \times 11}} = 2.36 \text{ cm}$$

$$l_y = \frac{K_y L}{r_y} = \frac{0.7 \times 583}{2.36} = 173$$

$$l_{\max} = 173 < 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 118 \text{ N.G.}$$

لذا مقطع مزبور از نظر لاغری مناسب نیست. پس مقطع بزرگ تری انتخاب می کنیم.

$$d = 0.5 + 1.55 = 2.05$$



$$\text{Try } 2\text{UNP}100 \begin{cases} A_1 = 13.5 \text{ cm}^2 \\ r_{x1} = 3.91 \text{ cm} \\ r_{y1} = 1.47 \text{ cm} \\ I_{y1} = 29.3 \text{ cm}^4 \\ e_y = 1.55 \text{ cm} \end{cases}$$

$$I_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{0.5 \times 583}{3.91} = 74.56$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2(I_{y1} + A_1 d^2)}{2A_1}} = \sqrt{\frac{2(29.3 + 13.5 \times 2.05^2)}{2 \times 13.5}} = 2.53 \text{ cm}$$

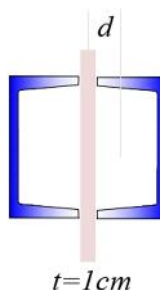
$$I_y = \frac{K_y L}{r_y} = \frac{0.7 \times 583}{2.53} = 161$$

$$I_{\max} = 161 \nless 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 118 \text{ N.G.}$$

لذا این مقطع نیز از نظر لاغری مناسب نیست. همانطور که ملاحظه می شود افزایش مقطع چندان به رسیدن مقدار لاغری حداکثر به لاغری مجاز کمک نکرده. این بدین معنی است که جهت رسیدن به لاغری مجاز یقیناً ناگزیر به انتخاب چندین شماره بالاتر هستیم. در چنین مواقعی استفاده از جهت ناودانی بصورت روبروی هم کارسازتر است. لذا در صورت استفاده از دوپل ناودانی روبروی هم با مقطع 2uNP100 داریم:

Try 2UNP100 (F to F)

$$d = 0.5 + (5 - 1.55)$$



$$I_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{0.5 \times 583}{3.91} = 74.56$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2(I_{y1} + A_1 d^2)}{2A_1}} = \sqrt{\frac{2(29.3 + 13.5 \times 0.5^2)}{2 \times 13.5}} = 4.22 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{K_y L}{r_y} = \frac{0.7 \times 583}{4.22} = 96.7$$

$$I_{\max} = 96.7 < 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 118 \quad OK$$

$$I_{\max} = 96.7 \rightarrow f_c F_{cr} = 1338 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c F_{cr} A_g = 1338(2 \times 13.5) = 36126 \text{ kg}$$

$$P_u = 20860 < f_c F_{cr} A_g = 36126$$

$$\Rightarrow \text{USE } 2UNP100 (F \text{ to } F)$$

محاسبه لقمه:

$$\frac{L_1}{r_{1\min}} \leq \frac{3}{4} I_{\max}$$

$$\frac{L_1}{1.47} \leq \frac{3}{4} \times 96.7$$

$$\Rightarrow L_1 \leq 106 \text{ cm}$$

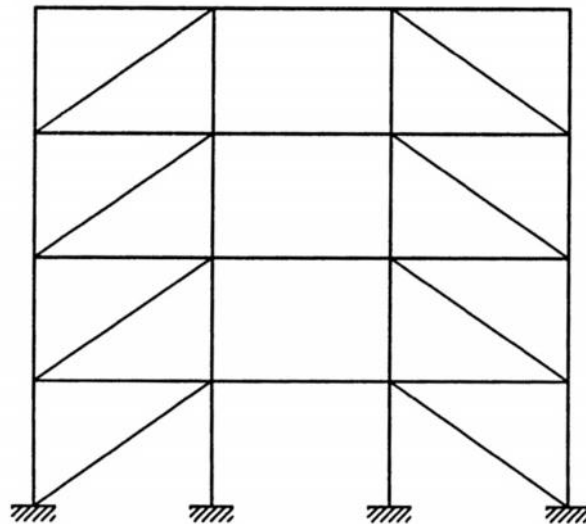
پس از دوبریل ناودانی ۱۰۰ روبروی هم به همراه لقمه به فواصل حداقل ۱۰۶ سانتی متر استفاده می کنیم.

تمرین ۴-۱ تا ۴-۱۰ - بر اساس نیروهای حاصله از نرم افزار در جدول ۴-۳، بادبندهای مسئله قبل را برای طبقه ۱ تا ۵ با استفاده از زوج ناودانی روبرو و پشت به پشت هم طراحی کنید.

تمرین ۴-۱۱ تا ۴-۲۰ - بر اساس نیروهای حاصله از نرم افزار در جدول ۴-۳، بادبندهای مسئله قبل را برای طبقه ۱ تا ۵ با استفاده از زوج نبشی روبرو و پشت به پشت هم طراحی کنید.

طراحی بادبند قطری، شورون ۷ و ۸

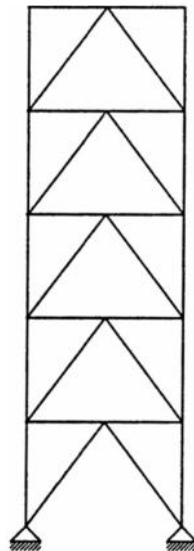
بادبندهای قطری مانند بادبندهای ضربدری می باشند با این تفاوت که در بادبندهای ضربدری اثر اعمال نیروی جانبی یکی از اعضاء مهارى به فشار و دیگری به کشش کار می کند، اما در بادبندهای قطری، عضو مهارى به کشش یا فشار کار می کند که در صورت کمایش عضو فشاری، قاب پایداری خود را از دست می دهد، به همین علت توصیه می شود، این گونه بادبندها، حتما در دو دهانه یک قاب و به صورت معکوس استفاده شوند. تا در هر تناوب نیروی جانبی یکی از مهار ها به کشش و دیگری به فشار کار کند شکل ۴-۶ طراحی اعضاء مهارى در این سیستم بر مبنای اعضاء ضوابط فشاری انجام می شود روال طراحی بادبندهای قطری مانند فلوچارت شکل ۴-۳ می باشد با این تفاوت که $Kx = Ky = 1$ است.



شکل ۴-۶- پیکربندی توصیه شده برای بادبندهای قطری

به این بادبندها بادبندهای Z نیز گفته می شود.

مثال ۲-۴- قاب شکل ۷-۴ را در نظر بگیرید. با توجه به جدول نتایج حاصل از آنالیز سازه در نرم افزار ETABS، مهاربندهای طبقه اول را طراحی کنید. (کلیه اتصالات مفصلی است.) از پروفیل دابل نبشی (روبروی هم یا پشت به پشت) استفاده کنید. طول دهانه ۵ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر می باشد. فولاد مصرفی از نوع نرمه ساختمانی با $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ می باشد.



شکل ۷-۴- قاب مهاربندی شده ی شورون مثال ۲-۴

جدول ۴-۴- نتایج حاصل از آنالیز قاب مثال ۲-۴ در نرم افزار ETABS

طبقه	DL(ton)	LL(ton)	E.Q(ton)
اول	2.5	0.8	18.0
دوم	2.1	0.7	17.3
سوم	1.8	0.6	16.7
چهارم	1.5	0.5	16.1
پنجم	1.3	0.5	15.5

حل:

$$P_{Design} = 1.2P_D + P_L + P_E = 1.2(2.5) + 0.8 + 18 = 21.8 \text{ ton}$$

$$P_u = P_{Design} = 21800 \text{ kg}$$

$$P_u \leq f_c F_{cr} A_g \rightarrow A_g \geq \frac{P_u}{f_c F_{cr}}$$

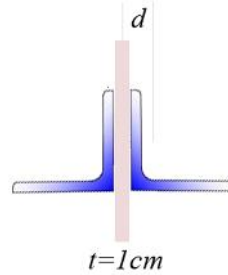
$$F_{cr} = 1200 \text{ kg/cm}^2 \text{ فرضی}$$

$$A_g \geq \frac{21800}{0.9 \times 1200} = 20.2 \text{ cm}^2$$

$$A_{g1} \geq \frac{20.2}{2} = 10.1 \text{ cm}^2$$

$$\text{Try } 2L80 \times 80 \times 8 \text{ (B to B)} \left\{ \begin{array}{l} A_1 = 12.3 \text{ cm}^2 \\ r_{x1} = 2.42 \text{ cm} \\ r_{y1} = 2.42 \text{ cm} \\ I_{y1} = 72.3 \text{ cm}^4 \\ e = 2.26 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$d = 0.5 + 2.26 = 2.76 \text{ cm}$$



$$L = \sqrt{3^2 + 2.5^2} = 3.9 \text{ m} = 390 \text{ cm}$$

$$l_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{0.5 \times 390}{2.42} = 80.58$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2(I_{y1} + A_1 d^2)}{2A_1}} = \sqrt{\frac{2(72.3 + 12.3 \times 2.76^2)}{2 \times 12.3}} = 3.68 \text{ cm}$$

$$l_y = \frac{K_y L}{r_y} = \frac{0.7 \times 390}{3.68} = 74.19$$

$$l_{\max} = 80.58 < 4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 118 \quad \text{OK}$$

$$l_{\max} = 80.58 \rightarrow f_c F_{cr} = 1547 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_c F_{cr} A_g = 1547(2 \times 12.3) = 38056 \text{ kg}$$

$$P_u = 21800 < f_c F_{cr} A_g = 38056 \quad \text{OK}$$

$$\Rightarrow \text{USE } 2L80 \times 80 \times 8 \text{ (B to B)}$$

محاسبه لقمه:

$$\frac{L_1}{r_{1\min}} \leq \frac{3}{4} l_{\max}$$

$$\frac{L_1}{2.42} \leq \frac{3}{4} \times 80.58$$

$$\Rightarrow L_1 \leq 146 \text{ cm}$$

تمرین ۴-۲۱ تا ۴-۳۰ - بر اساس نیروهای حاصله از نرم افزار در جدول ۴-۴، بادبندهای مسئله قبل را برای طبقه ۱ تا ۵ با استفاده از زوج ناودانی روبرو و پشت به پشت هم طراحی کنید.

تمرین ۴-۳۱ تا ۴-۴۰ - بر اساس نیروهای حاصله از نرم افزار در جدول ۴-۴، بادبندهای مسئله قبل را برای طبقه ۱ تا ۵ با استفاده از زوج نبشی روبرو و پشت به پشت هم طراحی کنید.

" فصل پنجم "

طراحی اتصالات بادبندها

طراحی اتصالات در قاب های بادبندی شده

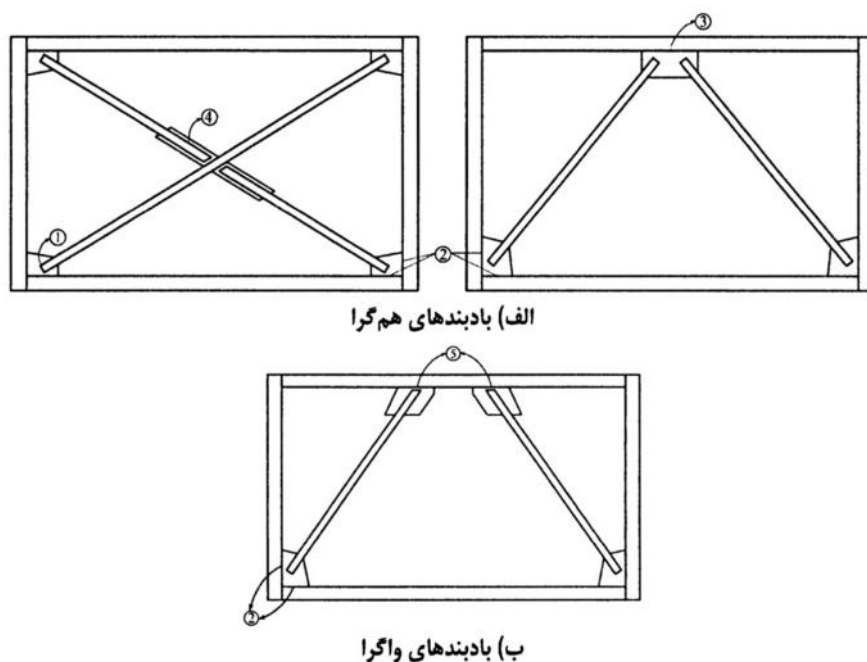
اتصالات اعضای مهاری از حساس ترین بخش های یک سازه فولادی می باشند. زیرا اگر این اتصالات در هنگام زلزله نتوانند به خوبی مقاومت کنند و احیاناً در آنها شکست ایجاد شود، باعث ایجاد طبقه نرم می شوند. بنابراین لازم است در طراحی و اجرای این اعضا دقت مناسبی به کار رود.

انواع اتصالات در بادبندها

اتصالات در قاب های بادبندی شده عبارت اند از :

- ۱- اتصال عضو مهاربند به صفحه اتصال
- ۲- اتصال صفحه اتصال به تیر و ستون
- ۳- اتصال صفحه اتصال به تیر (در بادبند های شورون)
- ۴- اتصال عضو مهار بند به صفحه اتصال میانی (در بادبندهای ضربدری)
- ۵- اتصال صفحه اتصال به تیر (در بادبند های واگرا)

انواع اتصالات فوق در شکل ۵-۱ نمایش داده شده است.



شکل ۵-۱- انواع اتصالات در قاب های بادبندی شده

طراحی اتصالات در بادبندهای همگرا

طراحی اتصالات در بادبندهای همگرا شامل مراحل زیر است:

الف) طراحی اتصالات عضو مهاري به صفحه اتصال

ب) طراحی اتصال صفحه اتصال به قاب

ج) کنترل صفحه اتصال

د) طراحی اتصال عضو مهاربند به صفحه اتصال میانی (در بادبندهای ضربدری)

در ادامه هر کدام از موارد فوق به صورت جداگانه بررسی می شوند.

طراحی اتصال عضو مهاري به صفحه اتصال

از آنجایی که اتصال بادبند به ورق اتصال بوسیله جوش با رفتار برشی مستقیم صورت می پذیرد، طراحی

اتصال بادبند به صفحه اتصال بر پایه طراحی طول و بعد مورد نیاز ، طبق ضوابط فصل اول صورت می

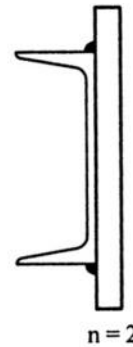
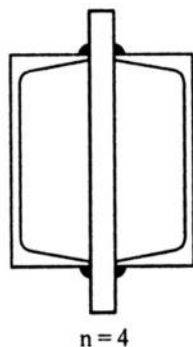
گیرد. می دانیم نیروی طراحی اتصال (P_u) برابر کمترین مقادیر زیر می باشد :

(۱) مقاومت کششی مهاربند (برابر $0.9A_gF_y$)

(۲) حداکثر نیرویی که توسط سیستم به مهاربند اعمال می گردد. بر اساس ترکیب بار

$$1.2P_D + P_L + P_E$$

اتصال تیر به ستون در تیرهایی که جزئی از سیستم مهاربند هستند، باید دارای ظرفیت لازم برای انتقال نیروی تعیین شده به روش فوق باشد. همچنین تعداد خط جوش با توجه به شکل مقطع تعیین می شود دو نمونه شکل مقطع در شکل ۳-۵ نمایش داده شده است.



شکل ۳-۵- تعیین تعداد خط جوش

بعلاوه، بعد جوش گوشه، با توجه به ضوابط حداقل و حداکثر بعد جوش مندرج در مبحث ۱۰ انتخاب می شود.

طراحی اتصال صفحه اتصال به قاب

طراحی اتصال صفحه اتصال به قاب در دو عنوان مجزا مطرح می شود:

الف) طراحی اتصال صفحه اتصال به تیر و ستون

ب) طراحی اتصال صفحه اتصال به تیر (بادبندهای شورون).

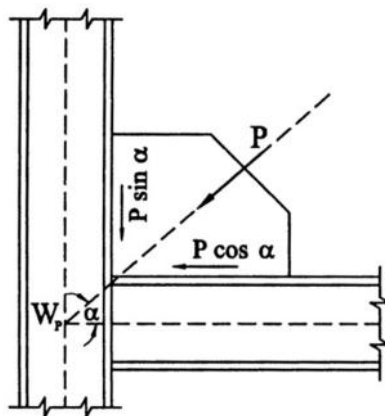
طراحی اتصال صفحه اتصال به تیر و ستون

جهت طراحی اتصال صفحه اتصال به تیر و ستون ابتدا باید چگونگی توزیع نیروی مهاربند بین تیر و ستون مشخص باشد سپس طول جوش محاسبه می شود.

• توزیع نیروی عضو مهاري بين تير و ستون

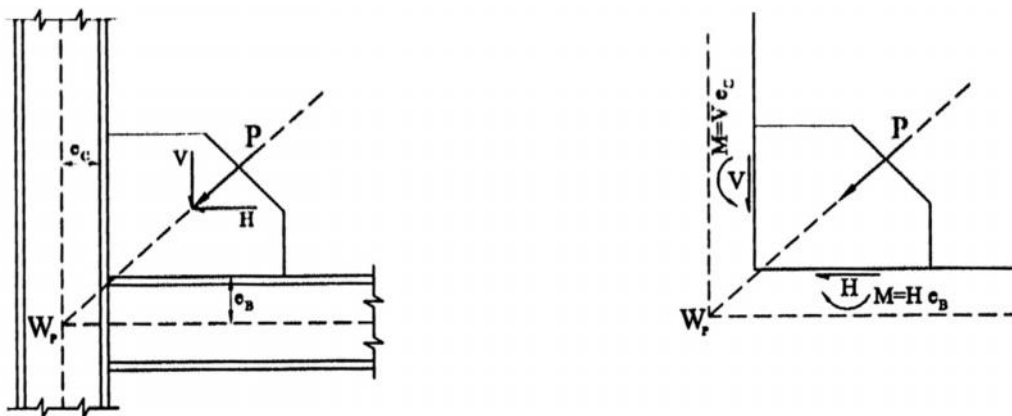
در ادامه چندین روش که توسط محققین مختلف پیشنهاد شده است معرفی می گردد:

الف) روش تجزیه معمولی: در این روش نیروی عضو مهاري به دو مولفه افقی و عمودی تجزیه می شود. این روش در شکل ۵-۴ نمایش داده شده است.



شکل ۵-۴- تجزیه معمولی

ب) روش کیس (KISS): در این روش فرض می شود نیرو در نقطه عملکرد، W_p به صورت معمولی تجزیه شده، سپس به لبه های ورق اتصال انتقال پیدا کرده است. (شکل ۵-۵).



شکل ۵-۵- روش کیس

بعد از تعیین نیروی موجود در لبه های ورق اتصال طول جوش لازم محاسبه می شود.

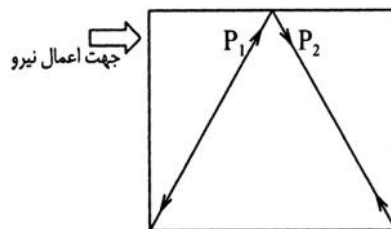
تذکر:

جهت توزیع نیروی عضو مهاري بين تير و ستون از روش کيس KISS استفاده شده است.

طراحی اتصال صفحه اتصال به تیر (در بادبندهای شورون)

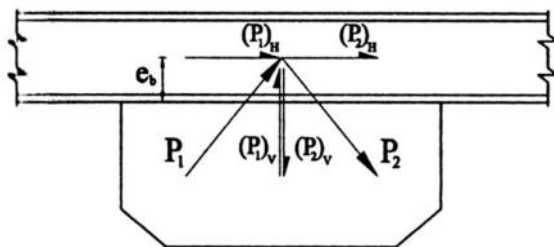
- توزیع نیروی عضو مهاري در تیر طبقه

در بادبند های شورون یکی از اعضای مهاري به کشش و دیگری به فشار کار می کند. (شکل ۵-۶).

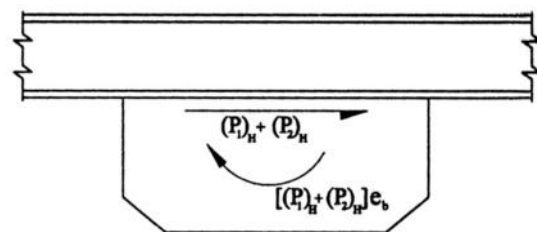


شکل ۵-۶- نمایش نیروها در اعضای مهاري بادبند شورون

تجزیه نیروهای فوق در شکل ۵-۷ و نتیجه نهایی در شکل ۵-۸ نمایش داده شده است.



شکل ۵-۷



شکل ۵-۸

پس از تعیین طول اتصال مهاربند با صفحه اتصال و طول های لازم افقی و قائم جهت اتصال صفحه اتصال به تیر و ستون نوبت به کنترل های صفحه ی اتصال می رسد.

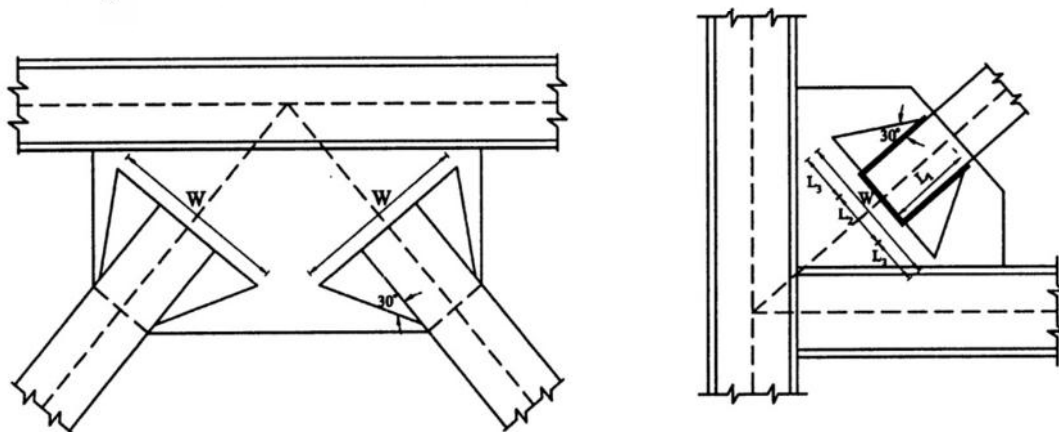
طراحی صفحه اتصال

طراحی صفحه اتصال بر اساس تصدیق کنترل های چهارگانه زیر صورت می پذیرد:

کنترل ۱: کنترل مقاومت کششی در عرض موثر ویتمور

عرض موثر ویتمور، W ، با فرض توزیع نیرو با زاویه 30° درجه نسبت به عضو مهار، مطابق شکل ۱۰-۵ بدست می آید.

$$\tan 30 = \frac{L_1}{L_3} \rightarrow L_3 = L_1 \tan 30 \rightarrow w = 2L_1 \tan 30 + L_2$$



شکل ۱۰-۵- نمایش عرض موثر ویتمور

مقاومت کششی در عرض موثر ویتمور برابر است با:

$$P_{st} = F_y W t$$

در این رابطه :

P : مقاومت کششی

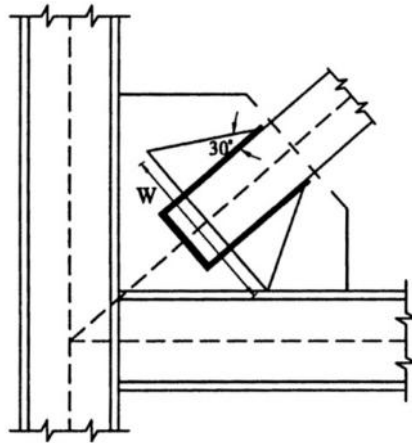
t : ضخامت صفحه اتصال

W : عرض موثر ویتمور

مقاومت کششی ویتمور می بایست از نیروی طراحی موجود (P_u) کمتر باشد.

تذکر :

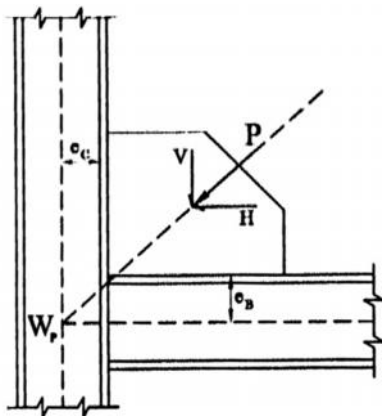
عرض موثر ویتمور می تواند قبل از انتهای عضو مهاري تشكيل شود. (شكل ۵-۱۱).



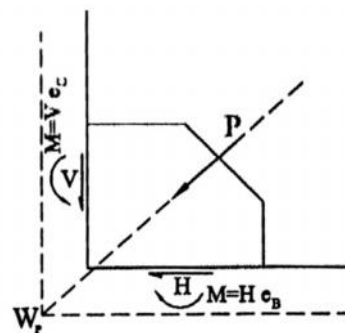
شكل ۵-۱۱- تشكيل عرض موثر ویتمور قبل از انتهای عضو مهاري

کنترل ۲: کنترل کمانش ورق اتصال

در اثر اعمال نیروی فشاری عضو مهاري، احتمال کمانش ورق اتصال بعد از عرض موثر ویتمور وجود دارد. (شكل ۵-۱۲).



شكل ۵-۱۲



شكل ۵-۱۳

مقاومت فشاری در ناحیه ی مذکور برابر است با :

$$P_{sc} = \phi_c F_{cr} W t$$

این مقاومت باید از نیروی طراحی، P_u کمتر باشد. جهت محاسبه $\Phi_c F_{cr}$ نواری با عرض واحد در نظر گرفته می شود. (شکل ۵-۱۳)

با محاسبه لاغری ستون مفروض، مقدار $\Phi_c F_{cr}$ به دست می آید. برای محاسبه لاغری، $\frac{KL}{r}$ ، نیاز به ضریب طول موثر، K و شعاع ژیراسیون، r ، می باشد، ضریب طول موثر با توجه به آزمایشات انجام شده، برابر ۱.۲ پیشنهاد شده است.

شعاع ژیراسیون، r ، نیاز به توجه به عرض نوار مفروض برابر است با:

$$r = \sqrt{\frac{I}{r}} = \sqrt{\frac{\frac{1}{12} \times 1 \times t^3}{1 \times t}} = 0.3t$$

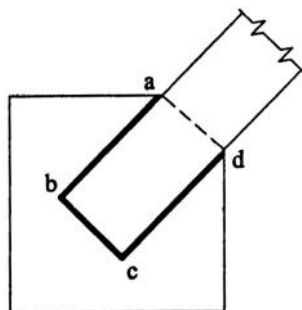
بعد از تعیین لاغری از جداول کمکی $\Phi_c F_{cr}$ استخراج می گردد.

کنترل ۳: کنترل برش قالبی

در اثر کشش موجود در عضو مهاری ممکن است ورق اتصال از روی مسیر $abcd$ مطابق شکل (۵-۱۲) دچار شکست شود. به چنین شکستی، برش قالبی گفته می شود. ظرفیت برش قالبی باید از مقدار نیروی کششی موجود P_u بیشتر باشد. طبق آیین نامه ظرفیت برش قالبی از رابطه زیر بدست می آید:

$$f = 0.75$$

$$R_n = 0.6F_u A_v + U_{bs} F_u A_t$$



شکل ۵-۱۴

در این رابطه:

A_v : سطح مقطع خالص

F_u : تنش کششی نهایی فولاد

A_t : سطح مقطع خالص در کشش

U_{bs} : ضریب توزیع تنش کششی که در انتهای عضو مقدار آن ۱ و برای توزیع غیریکنواخت مقدار آن ۰/۵ در نظر گرفته می شود.

کنترل ۴: کنترل کمانش لبه آزاد

برای جلوگیری از کمانش لبه آزاد صفحات اتصال در بارهای رفت و برگشتی رابطه زیر پیشنهاد شده است:

$$\frac{L}{t} \leq 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

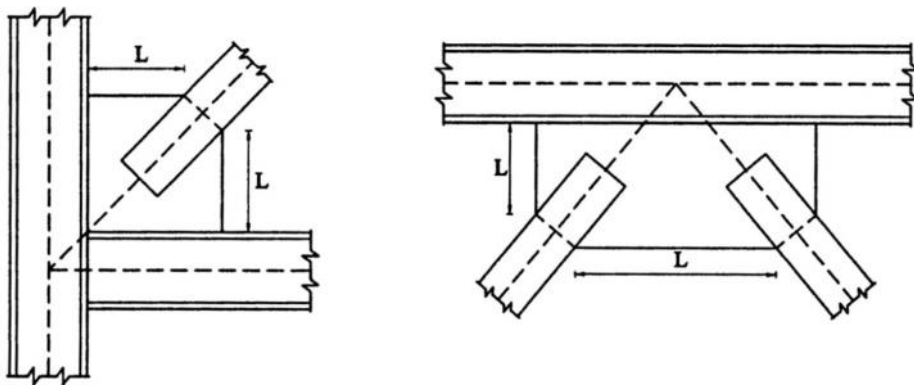
در این رابطه :

L : طول لبه آزاد صفحه اتصال. (شکل ۵-۱۵)

t : ضخامت صفحه اتصال

E : ضریب الاستیسیته فولاد صفحه اتصال (kg/cm^2)

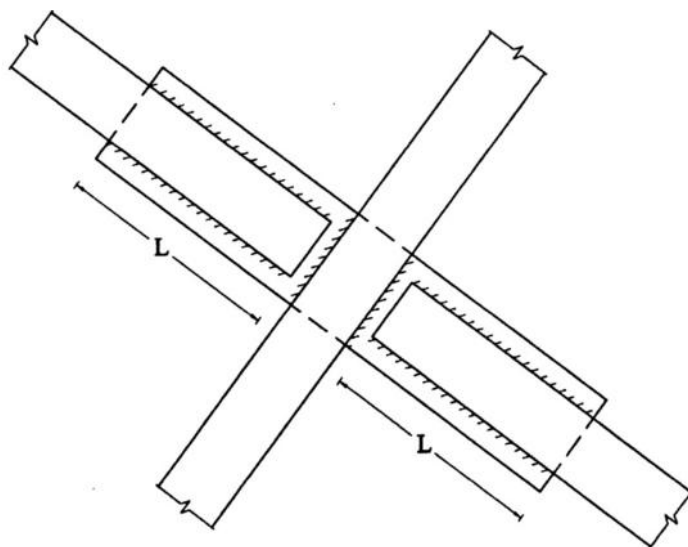
F_y : تنش جاری شدن فولاد صفحه اتصال (kg/cm^2)



شکل ۵-۱۵- نمایش لبه آزاد در صفحات اتصال

طراحی اتصال عضو مهارى به صفحه اتصال میانی (در بادبند ضربدری)

طول جوش مورد نیاز، L ، جهت اتصال عضو مهارى به صفحه اتصال میانی بدون هیچ تفاوتی همانند توضیحات طراحی اتصال عضو مهارى به صفحه اتصال محاسبه می شود. (شکل ۱۷-۵)

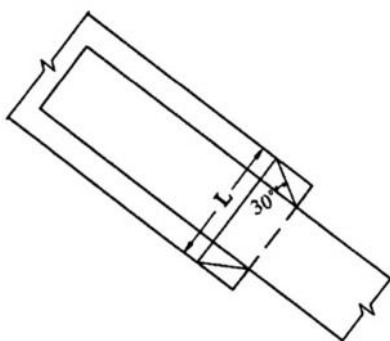


شکل ۱۷-۵- نمایش طول جوش مورد نیاز جهت اتصال عضو مهارى به صفحه اتصال میانی

تذکر:

معمولا صفحه اتصال میانی به عضو مهارى که به صورت ممتد می باشد با بعد جوش حداقل آیین نامه ای متصل می شود.

جهت کنترل ابعاد ورق اتصال میانی از روش ویتمور استفاده می شود. (شکل ۱۸-۵)



شکل ۱۸-۵- نمایش عرض موثر ویتمور در صفحه اتصال میانی

مقاومت کششی ورق اتصال میانی در عرض موثر ویتمور برابر است با

$$P_{st} = F_y W t$$

در این رابطه :

P_{st} : مقاومت کششی صفحه اتصال میانی

t : ضخامت صفحه اتصال میانی

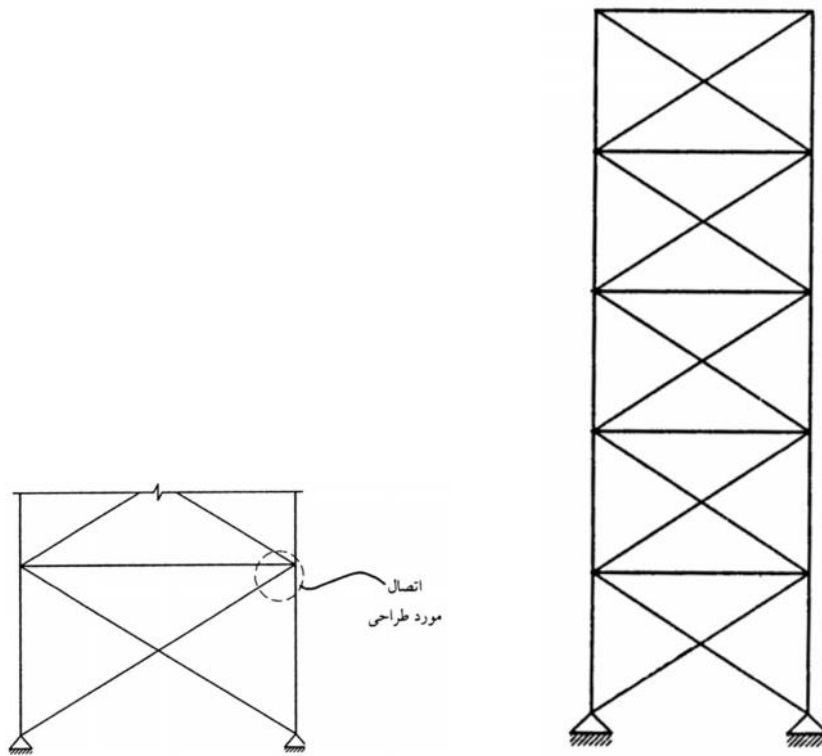
W : عرض موثر ویتمور (در صفحات اتصال میانی معمولاً برابر عرض ورق اتصال میانی می باشد)

بدیهی است مقاومت کششی موجود، P_{st} ، باید از نیروی طراحی، P_u ، بیشتر باشد.

مثال ۵-۱ : مطلوبست طراحی اتصال مهاربند به تیر و ستون طبقه اول در شکل ۵-۱۹. دهانه تیر ۵ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر می باشد. نیرو در عضو مهاربندی مطابق جدول ۵-۱، بوده و مقطع کلیه تیرها و ستون ها به ترتیب IPE180 و 2IPE200 می باشد. فولاد مصرفی از نوع نرمه ساختمانی، کنترل جوش کارگاهی و الکتروود E60 می باشد.

جدول ۵-۱- نتایج حاصل از آنالیز و طراحی قاب مثال ۵-۱ در نرم افزار ETABS

طبقه	مقطع بادبند	DL(ton)	LL(ton)	E.Q(ton)
اول	2UNP10	4.6	1.2	20.2
دوم	2UNP9	4.3	1.1	18.9
سوم	2UNP8	4.1	1.0	18.1
چهارم	2UNP7	3.9	1.0	17.3
پنجم	2UNP7	3.7	0.9	16.8



شکل ۵-۱۹- مربوط به مثال ۵-۱

حل :

• طراحی اتصال عضو مهارى به صفحه اتصال:

• تعیین بار طراحی:

$$P_u = \min \{ 0.9F_y A_g, 1.2P_D + P_L + P_E \}$$

$$= \min \{ 0.9 \times 2400 \times 27, 1.2 \times 4.6 + 1.2 + 20.2 \}$$

$$= \min \{ 58320, 26920 \} = 26920 \text{ kg}$$

• تعیین تعداد خط جوش:

مطابق شکل زیر نقطه خط جوش برابر ۴ است.



شکل ۵-۲۰

• تعیین حداقل و حداکثر جوش:

$$D_{\min} = 5mm$$

$$D_{\max} = 10 - 2 = 8mm$$

بعد جوش $D_{\min} = 6mm$ انتخاب می شود.

• طراحی جوش اتصال:

$$R_n = b F_{nw} A_{we} = b (0.6 F_{ue}) (0.707 D \times L)$$

$$R_n = 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times 0.6 \times L = 802L$$

$$f R_n = 0.75 \times 802L = 602L$$

$$R_u \leq f R_n$$

$$26920 \leq 602L \rightarrow L \geq 44.8cm$$

با توجه به اینکه ۴ خط جوش داریم طول هر کدام برابر است با:

$$L \geq \frac{44.8}{4} = 11.2cm$$

طول جوش مهاربند به صفحه اتصال را ۱۵ سانتی متر در نظر می گیریم.

• اتصال ورق اتصال به تیر و ستون:

جهت آنکه حدود طول اتصال به تیر و ستون مشخص شود، ابتدا از روش تجزیه معمولی استفاده می شود.

$$P_x = 26920 \cos 31 = 23075kg$$

$$P_y = 26920 \sin 31 = 13865kg$$

تعداد خط جوش مساوی ۲ می باشد.

از آنجایی که اطلاعاتی از ضخامت ورق در دسترس نیست بعد جوش را فعلا همانند جوش ناودانی به

صفحه اتصال $D = 6mm$ در نظر می گیریم.

• تعیین طول جوش اتصال ورق به تیر:

$$R_n = b F_{nw} A_{we} = b (0.6 F_{ue}) (0.707 D \times L)$$

$$R_n = 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times 0.6 \times L = 802L$$

$$f R_n = 0.75 \times 806L = 602L$$

$$P_x \leq f R_n$$

$$23075 \leq 602L_x \rightarrow L_x \geq 39cm$$

با توجه به اینکه ۲ خط جوش داریم، برای اتصال ورق به تیر طول، جوش هرکدام برابر است با:

$$L_x = 20cm$$

• تعیین طول جوش اتصال ورق به ستون:

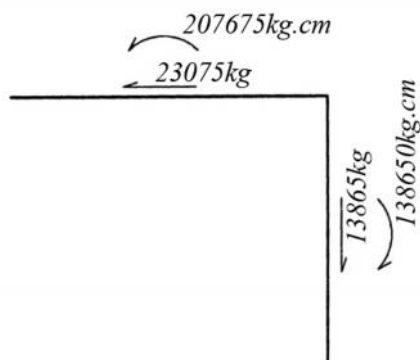
$$P_y \leq f R_n$$

$$13865 \leq 602L \rightarrow L_y \geq 24cm$$

با توجه به اینکه ۲ خط جوش داریم، برای اتصال به ورق به ستون، طول جوش هرکدام برابر است با:

$$L_y = 12cm$$

لازم است بر اساس طول لازم برای جوش به تیر و ستون و همچنین طول لازم مهاربند به ورق اتصال ابتدا ابعاد اولیه مناسبی برای ورق اتصال انتخاب گردد. سپس با استفاده از روش توزیع نیروی کیس طراحی بعد جوش های لازم اتصال ورق به تیرو ستون محاسبه گردد و در صورت نیاز نسبت به افزایش طول جوش (در نتیجه افزایش ابعاد ورق اتصال) تا رسیدن به بعد جوش مناسب اقدام کرد. در ابتدا با توجه به توضیحات فوق ابعاد ورق اتصال ۲۵×۲۵ سانتی متر انتخاب می گردد. دقت شود ابعاد ورق مضرب ۵ سانتی متر باشد. با استفاده از روش توزیع نیروی کیس داریم:



شکل ۵-۲۱

طراحی جوش های اتصال برای ترکیب برش و خمش:

• اتصال ورق اتصال به تیر:

$$f_v = \frac{P}{L} = \frac{23075}{2 \times 25} = 462 \text{ kg / cm}$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{207675}{209} = 994 \text{ kg / cm}$$

$$S = \frac{L^2}{3} = \frac{25^2}{3} = 209 \text{ cm}^3 / \text{cm}$$

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} = \sqrt{462^2 + 994^2} = 1096 \text{ kg / cm}$$

$$f_r \leq f_b(0.6F_{ue})(0.707D)$$

$$1096 \leq 0.75 \times 0.75(0.6 \times 4200)(0.707D) \rightarrow D \geq 1.1 \text{ cm}$$

ملاحظه می شود که بعد جوش مورد نیاز از $D_{\max} = 8 \text{ mm}$ بیشتر است و در نتیجه این بدین معنی است که طول جوش اتصال به تیر یعنی ۲۵ سانتی متر کم است و لازم است جهت رسیدن به بعد جوش کمتر این مقدار افزایش یابد. لذا طول ۳۵ سانتی متر بررسی می گردد:

$$f_v = \frac{P}{L} = \frac{23075}{2 \times 35} = 330 \text{ kg / cm}$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{207675}{409} = 508 \text{ kg / cm}$$

$$S = \frac{L^2}{3} = \frac{35^2}{3} = 409 \text{ cm}^3 / \text{cm}$$

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} = \sqrt{330^2 + 508^2} = 606 \text{ kg / cm}$$

$$f_r \leq f_b(0.6F_{ue})(0.707D)$$

$$606 \leq 0.75 \times 0.75(0.6 \times 4200)(0.707D) \rightarrow D \geq 0.61 \text{ cm}$$

در نتیجه بعد جوش $D = 7 \text{ mm}$ برای اتصال ورق به تیر انتخاب می گردد.

• اتصال ورق اتصال به ستون

مشابه محاسبات فوق جهت حصول بعد جوش منطقی، طول اتصال به ستون نیز افزایش می یابد. این بار طول ۳۰ سانتی متر انتخاب می گردد. لذا:

$$f_v = \frac{P}{L} = \frac{13865}{2 \times 30} = 232 \text{ kg / cm}$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{138650}{300} = 463 \text{ kg/cm}$$

$$S = \frac{L^2}{3} = \frac{30^2}{3} = 300 \text{ cm}^3 / \text{cm}$$

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} = \sqrt{232^2 + 463^2} = 518 \text{ kg/cm}$$

$$f_r \leq fb(0.6F_{ue})(0.707D)$$

$$518 \leq 0.75 \times 0.75(0.6 \times 4200)(0.707D) \rightarrow D \geq 0.52 \text{ cm}$$

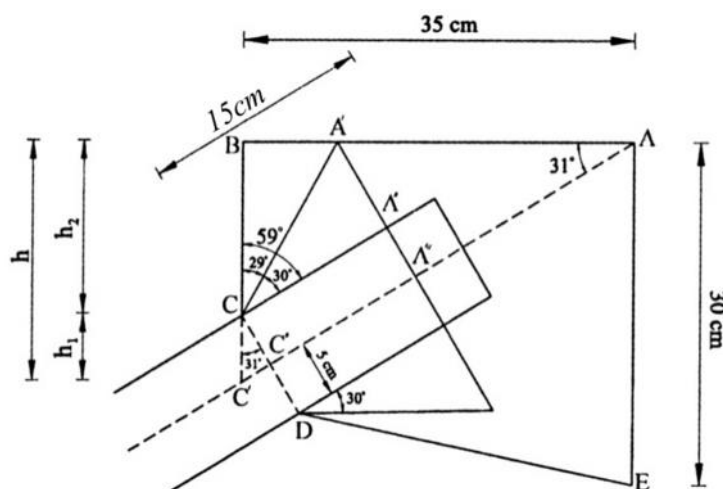
لذا برای اتصال ورق به ستون بعد جوش $D = 6 \text{ mm}$ انتخاب می گردد.

• محاسبه ضخامت ورق اتصال

جهت محاسبه ضخامت ورق ماکزیمم ضخامت حاصله از ۴ کنترل زیر را انتخاب می کنیم.

۱- کنترل مقاومت کششی ویتمور:

طبق شکل ۲۲-۵ عرض ویتمور محاسبه می شود.



شکل ۲۲-۵

$$\Delta CC'C'': \cos 31 = \frac{5}{h_1} \rightarrow h_1 = \frac{5}{\cos 31} = 5.83 \text{ cm}$$

$$\Delta ABC': \tan 31 = \frac{h}{35} \rightarrow h = 35 \tan 31 = 21 \text{ cm}$$

$$\rightarrow h_2 = h - h_1 = 21 - 5.83 = 15.17 \text{ cm}$$

$$\Delta A'BC: \cos 29 = \frac{h_2}{CA'} \rightarrow CA' = \frac{15.17}{\cos 29} = 17.34 \text{ cm}$$

$$\Delta A'CA'': \sin 30 = \frac{AA''}{CA'} \rightarrow AA'' = CA' \sin 30 = 17.34 \sin 30 = 8.67 \text{ cm}$$

$$W = AA'' \times 2 + 10 = 2 \times 8.67 + 10 = 27.34 \text{ cm}$$

$$P_{st} = F_y W t = 2400 \times 27.34 t = 65616t$$

$$P_u \leq P_{st}$$

$$26920 \leq 65616t \rightarrow t \geq 0.42 \text{ cm}$$

۲- کنترل کمانش ورق اتصال

$$AA''' = AC' - C'C - C''A'''$$

$$\Delta ABC' = \cos 31 = \frac{35}{AC'} \rightarrow AC' = \frac{35}{\cos 31} = 40.8 \text{ cm}$$

$$\Delta CC'C'': \sin 31 = \frac{CC''}{h_1} \rightarrow CC'' = h_1 \sin 31 = 5.83 \sin 31 = 3 \text{ cm}$$

$$\Delta CA'A'': \cos 30 = \frac{C''A'''}{CA'}$$

$$\rightarrow C''A''' = CA' \cos 30 = 17.34 \cos 30 = 15.02$$

$$AA'' = 40.8 - 3 - 15.02 = 22.78 \text{ cm}$$

$$P_{sc} = f_c F_{cr} W t$$

$$r = 0.3t$$

$$t = 1 \text{ با فرض } \rightarrow r = 0.3 \times 1 = 0.3 \text{ cm}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1.2 \times 22.78}{0.3} = 91.12 \rightarrow f_c F_{cr} = 1404 \text{ kg / cm}^2$$

$$P_{sc} = 1404 \times 27.34 t = 38386t$$

$$P_u \leq P_{sc}$$

$$26920 \leq 38386t \rightarrow t \geq 0.71cm$$

۳- کنترل برش قالبی:

$$f = 0.75$$

$$R_n = 0.6F_u A_v + U_{bs} F_u A_t$$

$$A_v = 2 \times (15 \times t) = 30t$$

$$A_t = 10 \times t$$

$$R_n = 0.6 \times 3700 \times 30t + 1 \times 3700 \times 10t = 103600t$$

$$f R_n = 0.75 \times 103600t = 77700t$$

$$P_u \leq f R_n$$

$$26920 \leq 77700t \rightarrow t \geq 0.35cm$$

۴- کنترل کمانش لبه آزاد:

$$DE = 31cm$$

$$BC = 15.17cm$$

کنترل کمانش لبه آزاد روی طول بزرگتر انجام می شود.

$$\frac{L}{t} \leq 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

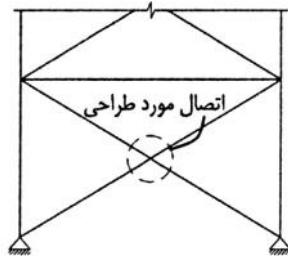
$$\frac{31}{t} \leq 0.75 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}} \rightarrow t \geq 1.39cm$$

بنابراین برای در نظر گرفتن هر ۴ کنترل فوق ضخامت ورق اتصال را $t = 1.4cm$ در نظر می گیریم.

تمرین ۵-۱ تا ۵-۴ - بر اساس نیروهای حاصله از نرم افزار در جدول ۵-۱، ورق های

اتصال بادبندهای مسئله قبل را برای طبقه ۲ تا ۵ طراحی کنید.

مثال ۵-۲- مطلوبست طراحی ورق اتصال میانی اعضاء مهارى بادبندهای طبقه اول مثال ۵-۱ . کلیه اطلاعات لازم در مثال ۵-۱ آمده است.



شکل ۵-۲۳

حل:

- تعیین بار طراحی :

$$P_u = 26920 \text{ kg}$$

- تعیین تعداد خط جوش:

$$n = 4$$

- تعیین حداقل و حداکثر بعد جوش:

$$D_{\min} = 5 \text{ mm}$$

$$D_{\max} = 10 - 2 = 8 \text{ mm}$$

بعد جوش $D = 6^{\text{mm}}$ انتخاب می شود.

- تعیین طول جوش اتصال:

$$R_n = b F_{nw} A_{we} = b (0.6 F_{ue}) (0.707 D \times L)$$

$$R_n = 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times 0.6 \times L = 802L$$

$$f R_n = 0.75 \times 802L = 602L$$

$$R_u \leq f R_n$$

$$26920 \leq 602L \rightarrow L \geq 44.8 \text{ cm}$$

با توجه به اینکه ۴ خط جوش داریم طول هر کدام برابر است با :

$$L \geq \frac{44.8}{4} = 11.2$$

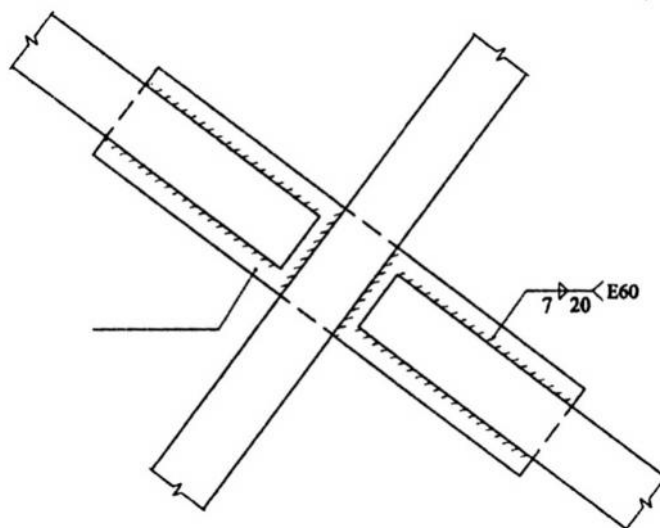
طول جوش مهاربند به صفحه اتصال را ۱۵ سانتی متر در نظر می گیریم.

• تعیین عرض ورق اتصال:

$$w \times 1.4 \times 2400 = 26920 \rightarrow w = 8.1 \text{ cm}$$

عرض ورق اتصال برابر ۲۰ سانتی متر در نظر گرفته می شود.

جزئیات اتصال در شکل ۵-۲۴ نمایش داده شده است .



شکل ۵-۲۴- جزئیات اتصال ورق اتصال میانی

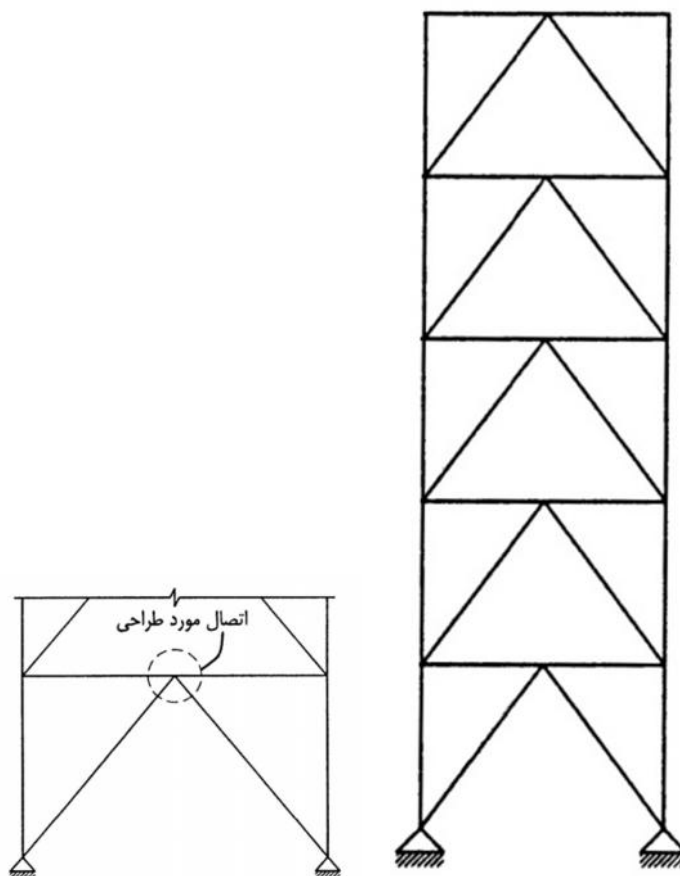
تمرین ۵-۵ تا ۵-۸- مطلوبست طراحی ورق اتصال میانی بادبندهای تمرین های ۵-۱

تا ۵-۴.

مثال ۳-۵ - مطلوبست طراحی اتصال مهاربند به تیر طبقه اول در شکل ۵-۲۵. دهانه تیر ۵ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر می باشد. نیرو در عضو مهاربندی مطابق جدول زیر می باشد. مقطع کلیه تیر و ستون ها به ترتیب $IPE180$ و $2IPE200$ می باشد.

جدول ۵-۲- نتایج حاصل از آنالیز و طراحی قاب مثال ۳-۵ در نرم افزار ETABS

طبقه	مقطع بادبند	DL(ton)	LL(ton)	E.Q(ton)
اول	2UNP14	3.8	1.9	24.7
دوم	2UNP12	3.5	1.9	23.5
سوم	2UNP10	3.1	1.8	22.8
چهارم	2UNP9	2.7	1.8	21.6
پنجم	2UNP8	2.5	1.7	20.3



شکل ۵-۲۵- مربوط به مثال ۳-۵

حل:

- طراحی اتصال عضو مهارى به صفحه اتصال:
- تعیین بار طراحی:

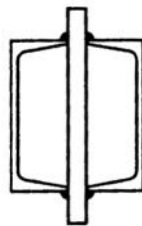
$$P_u = \min \{0.9F_y A_g, 1.2P_D + P_L + P_E\}$$

$$= \min \{0.9 \times 2400 \times 40.8, 1.2 \times 3.8 + 1.9 + 24.7\}$$

$$= \min \{88128, 31160\} = 31160 \text{ kg}$$

- تعیین تعداد خط جوش:

مطابق شکل زیر تعداد خط جوش برابر ۴ می باشد.



شکل ۵-۲۶

- تعیین حداقل و حداکثر بعد جوش:

$$D_{\min} = 6 \text{ mm}$$

$$D_{\max} = 14 - 2 = 12 \text{ mm}$$

بعد جوش $D = 7 \text{ mm}$ انتخاب می شود.

- تعیین طول جوش اتصال:

$$R_n = b F_{nw} A_{we} = b (0.6 F_{ue}) (0.707 D \times L)$$

$$R_n = 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times 0.7 \times L = 935L$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 935L = 702L$$

$$R_u \leq \phi R_n$$

$$31160 \leq 702L \rightarrow L \geq 45 \text{ cm}$$

با توجه به اینکه ۴ خط جوش داریم طول هرکدام برابر است با:

$$L \geq \frac{45}{4} = 11.25$$

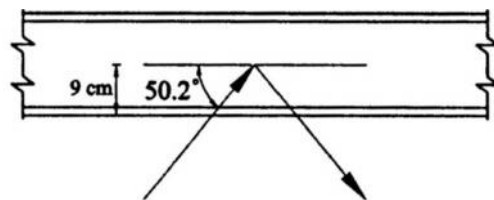
طول جوش مهاربند به صفحه اتصال را ۱۵ سانتی متر در نظر می گیریم

• اتصال ورق اتصال به تیر:

جهت آنکه حدود طول اتصال به تیر مشخص شود، ابتدا از روش تجزیه معمولی استفاده می شود.

$$P_{x1} = 31160 \cos 50.2 = 19946 \text{ kg}$$

$$P_{x2} = 31160 \cos 50.2 = 19946 \text{ kg}$$



شکل ۵-۲۷

$$P_H = P_{x1} + P_{x2} = 19946 + 19946 = 39892 \text{ kg}$$

تعداد خط جوش مساوی ۲ می باشد.

از آنجایی که اطلاعاتی از ضخامت ورق در دسترس نیست، بعد جوش را فعلا همانند جوش ناودانی به ورق اتصال $D = 7 \text{ mm}$ در نظر می گیریم.

• تعیین طول جوش اتصال ورق به تیر:

$$R_n = b F_{nw} A_{we} = b (0.6 F_{ue}) (0.707 D \times L)$$

$$R_n = 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 \times 0.7 \times L = 936L$$

$$f R_n = 0.75 \times 936L = 702L$$

$$P_H \leq f R_n$$

$$39892 \leq 702L \rightarrow L \geq 57 \text{ cm}$$

با توجه به اینکه ۲ خط جوش داریم، لذا طول جوش هر کدام برابر است با:

$$L \geq \frac{57}{2} = 28.5 \text{ cm}$$

با توجه به اینکه در محل اتصال از دو طرف ناودانی متصل می شود، طول بدست آمده بسیار کم است و ناگزیر به افزایش آن هستیم. طول ورق را ۵۵ سانتی متر و عرض آنرا ۲۵ سانتی متر در نظر می گیریم. بنابراین با استفاده از روش توزیع نیروی کیس داریم:

$$P = 39892 \text{ kg}$$

$$M = 39892 \times 9 = 359028 \text{ kg.cm}$$

$$f_v = \frac{P}{L} = \frac{39892}{2 \times 55} = 363 \text{ kg/cm}$$

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{359028}{1008} = 357 \text{ kg/cm}$$

$$S = \frac{d^2}{3} = \frac{55^2}{3} = 1008 \text{ cm}^3/\text{cm}$$

$$f_r = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} = \sqrt{363^2 + 357^2} = 510 \text{ kg/cm}$$

$$f_r \leq fb(0.6F_{ue})(0.707D)$$

$$510 \leq 0.75 \times 0.75(0.6 \times 4200)(0.707D) \rightarrow D \geq 0.51 \text{ cm}$$

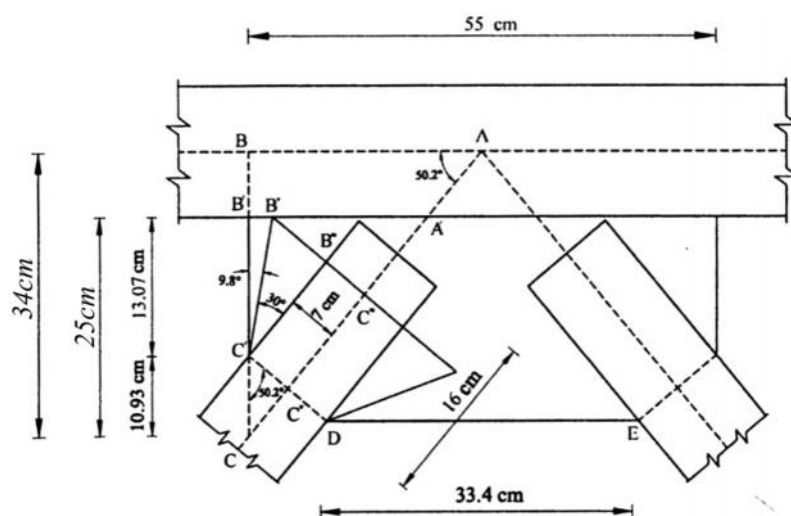
با توجه به بعد جوش بدست آمده از همان بعد جوش $D = 7 \text{ mm}$ استفاده می کنیم.

• محاسبه ضخامت ورق اتصال

جهت محاسبه ضخامت ورق (t)، ماکزیمم ضخامت حاصله از ۴ کنترل زیر را انتخاب می کنیم:

۱- کنترل مقاومت کششی ویتمور:

طبق شکل ۵-۲۸ عرض ویتمور محاسبه می شود.



شکل ۵-۲۸

$$\Delta ABC: \tan 50.2 = \frac{BC}{AB} \rightarrow BC = AB \tan 50.2 = 27.5 \tan 50.2 = 33.07 \text{ cm}$$

$$\Delta CC'C'': \cos 50.2 = \frac{CC''}{C'C} \rightarrow CC' = \frac{C'C''}{\cos 50.2} = \frac{7}{\cos 50.2} = 10.93 \text{ cm}$$

$$\Delta CB'B'': \cos 9.8 = \frac{B'C'}{C'B''} \rightarrow C'B'' = \frac{B'C'}{\cos 9.8} = \frac{13.07}{\cos 9.8} = 13.26 \text{ cm}$$

$$\Delta C'B''B''': \sin 30 = \frac{BB'}{C'B''} \rightarrow$$

$$B''B''' = C'B'' \sin 30 = 13.26 \sin 30 = 6.63 \text{ cm}$$

$$W = 2 \times 6.63 + 14 = 27.26 \text{ cm}$$

$$P_{st} = F_y W t = 2400 \times 27.26 t = 65424 t$$

$$P_u \leq P_{st}$$

$$31160 \leq 35424 t \rightarrow t \geq 0.48 \text{ cm}$$

۲- کنترل کمانش ورق اتصال

$$A'C''' = AC - CC - CC' - AA' = 43 - 8.4 - 11.48 - 11.71 = 11.41 \text{ cm}$$

$$L = 11.41 \text{ cm}$$

$$AC = \frac{AB}{\cos 50.2} = \frac{27.5}{\cos 50.2} = 43 \text{ cm}$$

$$CC'' = 7 \tan 50.2 = 8.4 \text{ cm}$$

$$C''C''' = C'B''' = B''B''' \cot 30 = 6.63 \cot 30 = 11.48 \text{ cm}$$

$$AA' = \frac{9}{\sin 50.2} = 11.71 \text{ cm}$$

$$P_{sc} = f_c F_{cr} W t$$

$$r = 0.3t$$

$$t = 1 \text{ با فرض } \rightarrow r = 0.3 \times 1 = 0.3 \text{ cm}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1.2 \times 11.41}{0.3} = 45.64 \rightarrow f_c F_{cr} = 1939 \text{ kg / cm}^2$$

$$P_{sc} = 1939 \times 27.26t = 52858t$$

$$P_u \leq P_{sc}$$

$$31160 \leq 52858t \rightarrow t \geq 0.59 \text{ cm}$$

۳- کنترل برشی قالبی:

$$f = 0.75$$

$$R_n = 0.6 F_u A_v + U_{bs} F_u A_t$$

$$A_v = 2 \times (15 \times t) = 30t$$

$$A_t = 14t$$

$$R_n = 0.6 \times 3700 \times 30t + 1 \times 3700 \times 14t = 118400t$$

$$f R_n = 0.75 \times 118400t = 88800t$$

$$P_u \leq f R_n$$

$$31160 \leq 88800t \rightarrow t \geq 0.36 \text{ cm}$$

۴- کنترل کمائش لبه آزاد

$$DE = 33.4 \text{ cm}$$

$$\frac{L}{t} \leq 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{33.4}{t} \leq 0.75 \sqrt{\frac{2.1 \times 10^6}{2400}} \rightarrow t \geq 1.5 \text{ cm}$$

بنابراین برای در نظر گرفتن هر ۴ کنترل فوق از ضخامت $t = 1.5 \text{ cm}$ برای ورق اتصال استفاده می کنیم.

تمرین ۵-۹ تا ۵-۱۲- بر اساس نیروهای حاصله از نرم افزار در جدول ۵-۲، ورق های

اتصال بادبندهای مسئله قبل را برای طبقه ۲ تا ۵ طراحی کنید.

"پیوست ۱"

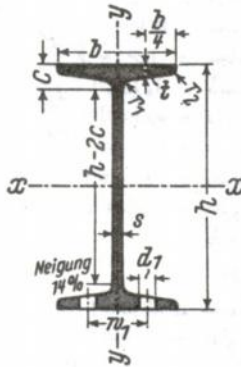
جداول پروفیل های فولادی

تیر آهن باریک I

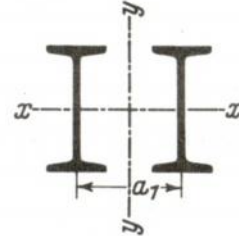
ردیف I-

طول استاندارد

در پروفیل هایی به ارتفاع کمتر از ۳۰۰ میلیمتر ۸ تا ۱۶ متر
از ۳۰۰ میلیمتر به بالا ۸ تا ۱۶ متر



a_1 = فاصله بین دو مرکز دوتیر آهن برای اینکه هر دو گشتاور ماند اصلی مساوی هم و معادل $2J_x$ شوند



ملاحظه کنید $S_x S_x J_D CM$ را در صفحه ۳۱

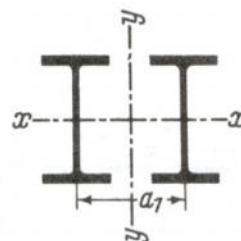
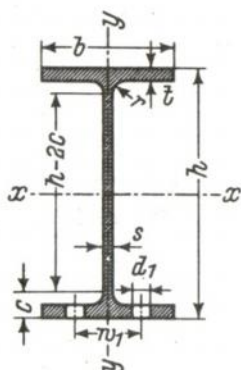
اختاری	اندازه به میلیمتر برای							F cm ²	G kg/m	برای محور خمش						a ₁ mm	سوراخ‌های لبه طبق دین ۹۹۷ (انتشار اکتبر ۹۷)*		
	h	b	s=r ₁	t	r ₂	c	h-2c			x-x			y-y				d ₁ mm	w ₁ mm	
										J _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm				
I	تیر آهن باریک با لبه شیب‌دار از طرف داخل ردیف I (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۱ انتشار اکتبر ۱۹۶۳																		
80	80	42	3,9	5,9	2,3	10,5	59	7,57	5,94	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91	62	6,4	22	
100	100	50	4,5	6,6	2,7	12,5	75	10,6	8,34	171	34,2	4,01	12,2	4,88	1,07	78	6,4	28	
120	120	58	5,1	7,7	3,1	14	92	14,2	11,1	328	54,7	4,81	21,5	7,41	1,23	94	8,4	32	
140	140	66	5,7	8,6	3,4	15,5	109	18,2	14,3	573	81,9	5,61	35,2	10,7	1,40	108	11	34	
160	160	74	6,3	9,5	3,8	17,5	125	22,8	17,9	935	117	6,40	54,7	14,8	1,55	124	11	40	
180	180	82	6,9	10,4	4,1	19	142	27,9	21,9	1 450	161	7,20	81,3	19,8	1,71	140	13**)	44	
200	200	90	7,5	11,3	4,5	20,5	159	33,4	26,2	* 2 140	214	8,00	117	26,0	1,87	156	13	48	
220	220	98	8,1	12,2	4,9	22	176	39,5	31,1	3 060	278	8,80	162	33,1	2,02	172	13	52	
240	240	106	8,7	13,1	5,2	24	192	46,1	36,2	4 250	354	9,59	221	41,7	2,20	188	17 13	56	
260	260	113	9,4	14,1	5,6	26	208	53,3	41,9	5 740	442	10,4	288	51,0	2,32	202	17	60	
280	280	119	10,1	15,2	6,1	27,5	225	61,0	47,9	7 590	542	11,1	364	61,2	2,45	218	17	60	
300	300	125	10,8	16,2	6,5	29,5	241	69,0	54,2	9 800	653	11,9	451	72,2	2,56	234	21 17	64	
320	320	131	11,5	17,3	6,9	31	258	77,7	61,0	12 510	782	12,7	555	84,7	2,67	248	21 17	70	
340	340	137	12,2	18,3	7,3	33	274	86,7	68,0	15 700	923	13,5	674	98,4	2,80	264	21	74	
360	360	143	13,0	19,5	7,8	35	290	97,0	76,1	19 610	1090	14,2	818	114	2,90	278	23 21	76	
380	380	149	13,7	20,5	8,2	37	306	107	84,0	24 010	1280	15,0	975	131	3,02	294	23 21	82	
400	400	155	14,4	21,6	8,6	38,5	323	118	92,4	29 210	1460	15,7	1160	149	3,13	308	23	86	
425	425	163	15,3	23,0	9,2	41	343	132	104	36 970	1740	16,7	1440	176	3,30	328	25 23	88	
450	450	170	16,2	24,3	9,7	43,5	363	147	115	45 850	2040	17,7	1730	203	3,43	348	25 23	94	
475	475	178	17,1	25,6	10,3	45,5	384	163	128	56 480	2380	18,6	2090	235	3,60	366	28 25	96 100	
500	500	185	18,0	27,0	10,8	48	404	179	141	68 740	2750	19,6	2480	268	3,72	384	100	100	
550	550	200	19,0	30,0	11,9	52,5	445	212	166	99 180	3610	21,6	3490	349	4,02	424	110	110	
600	600	215	21,6	32,4	13,0	57,5	485	264	199	139 000	4630	23,4	4670	434	4,30	460	120	120	

I ۵۵۰ و ۶۰۰ در کارخانه های غلطک زنی آلمان فقط در صورت درخواست مخصوص تهیه میشود .
(*) چنانچه برای d_1 و w_1 اندازه های بیشتری داده باشند باید توضیح مربوطه صفحه ۳ رعایت گردد .
(**) پیچ های استاندارد شده برای اتصال های HV در اینجا قابل مصرف نیستند .

تیر آهن نیم پهن I

ردیف I PE

طول استاندارد
در پروفیل هائی به ارتفاع
کمتر از ۳۰۰ میلیمتر
از ۳۰۰ میلیمتر به بالا



a_1 = فاصله بین دو مرکز تیر آهن برای اینکه هر دو گشتاور
ماند اصلی مساوی هم و معادل $2J_x$ شوند

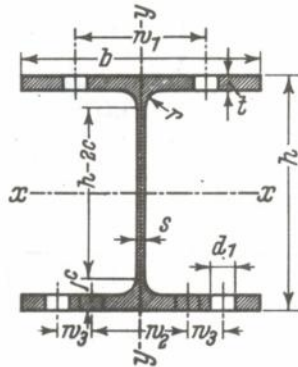
ملاحظه کنید S_x S_y J_D CM را در صفحه ۳۱

نوع اختصاصی	اندازه به میلیمتر برای							F cm ²	G kg/m	برای محور خمش						a ₁ mm	سوراخ‌های لبه طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷۰	
	h	b	s	t	r	c	h-2c			x-x			y-y				d ₁ mm	w ₁ mm
										J _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm			
I PE	تیر آهن پهن با لبه موازی ردیف IPE (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۵ انتشار مارس ۱۹۶۵ ردیف IPE معادل نرم اروپائی ۷۵ - ۱۹ است																	
80	80	46	3,8	5,2	5	10,2	59	7,64	6,00	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	63	6,4	26
100	100	55	4,1	5,7	7	12,7	74	10,3	8,10	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	79	8,4	30
120	120	64	4,4	6,3	7	13,3	93	13,2	10,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	96	8,4	36
140	140	73	4,7	6,9	7	13,9	112	16,4	12,9	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	112	11	40
160	160	82	5,0	7,4	9	16,4	127	20,1	15,8	889	109	6,58	68,3	16,7	1,84	129	13**	44
180	180	91	5,3	8,0	9	17,0	146	23,9	18,8	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	145	13	50
200	200	100	5,6	8,5	12	20,5	159	28,5	22,4	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	162	13	56
220	220	110	5,9	9,2	12	21,2	177	33,4	26,2	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	179	17	60
240	240	120	6,2	9,8	15	24,8	190	39,1	30,7	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	196	17	68
270	270	135	6,6	10,2	15	25,2	219	45,9	36,1	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	220	21 17	72
300	300	150	7,1	10,7	15	25,7	248	53,8	42,2	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	245	23	80
330	330	160	7,5	11,5	18	29,5	271	62,6	49,1	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	270	25 23	86
360	360	170	8,0	12,7	18	30,7	298	72,7	57,1	16270	904	15,0	1040	123	3,79	294	25	90
400	400	180	8,6	13,5	21	34,5	331	84,5	66,3	23130	1160	16,5	1320	146	3,95	326	28 25	96
450	450	190	9,4	14,6	21	35,6	378	98,8	77,6	33740	1500	18,5	1680	176	4,12	365	28	106
500	500	200	10,2	16,0	21	37,0	426	116	90,7	48200	1930	20,4	2140	214	4,31	404	28	110
550	550	210	11,1	17,2	24	41,2	467	134	106	67120	2440	22,3	2670	254	4,45	442	28	120
600	600	220	12,0	19,0	24	43,0	514	156	122	92080	3070	24,3	3390	308	4,66	481	28	120
IPEo IPEv	تیر آهن نیم پهن (استاندارد نشده)																	
180 o	182	92	6,0	9,0	9	18,0	146	27,1	21,3	1510	165	7,45	117	25,5	2,08	143	13	50
200 o	202	102	6,2	9,5	12	21,5	159	32,0	25,1	2210	219	8,32	169	33,1	2,30	160	13	56
220 o	222	112	6,6	10,2	12	22,2	177	37,4	29,4	3130	282	9,16	240	42,8	2,53	176	17	62
240 o	242	122	7,0	10,8	15	25,8	190	43,7	34,3	4370	361	10,0	329	53,9	2,74	192	17	68
270 o	274	136	7,5	12,2	15	27,2	219	53,8	42,3	6950	507	11,4	514	75,5	3,09	219	21 17	72
300 o	304	152	8,0	12,7	15	27,7	248	62,8	49,3	9990	658	12,6	746	98,1	3,45	243	23	80
330 o	334	162	8,5	13,5	18	31,5	271	72,6	57,0	13910	833	13,8	960	119	3,64	267	25 23	86
360 o	364	172	9,2	14,7	18	32,7	298	84,1	66,0	19050	1050	15,1	1250	146	3,86	291	25	90
400 o	404	182	9,7	15,5	21	36,5	331	96,4	75,7	26750	1320	16,7	1560	172	4,03	323	28 25	98
400 v	408	182	10,6	17,5	21	38,5	331	107	84,0	30140	1480	16,8	1770	194	4,06	326	28 25	98
450 o	456	192	11,0	17,6	21	38,6	378	118	92,4	40920	1790	18,7	2090	217	4,21	363	28	106
450 v	460	194	12,4	19,6	21	40,8	378	132	104	46200	2010	18,7	2400	247	4,26	364	28	106
500 o	506	202	12,0	19,0	21	40,0	426	137	107	57780	2280	20,6	2620	260	4,38	402	28	110
500 v	514	204	14,2	23,0	21	44,0	426	164	129	70720	2750	20,8	3270	321	4,46	406	28	110
550 o	556	212	12,7	20,2	24	44,2	467	156	123	79160	2850	22,5	3220	304	4,55	441	28	120
550 v	566	216	17,1	25,2	24	49,2	467	202	159	102300	3620	22,5	4260	395	4,59	441	28	120
600 o	610	224	15,0	24,0	24	48,0	514	197	154	118300	3880	24,5	4520	404	4,79	481	28	120
600 v	618	228	18,0	28,0	24	52,0	514	234	184	141600	4580	24,6	5570	489	4,88	482	28	120

(*) اگر برای d_1 اندازه های بیشتری داده شود باید توضیح مربوطه در صفحه ۳ رعایت شود.
(**) پیچ های استاندارد شده برای اتصال های HV در اینجا قابل مصرف نیستند.

تیر آهن عریض I

نوع سبک



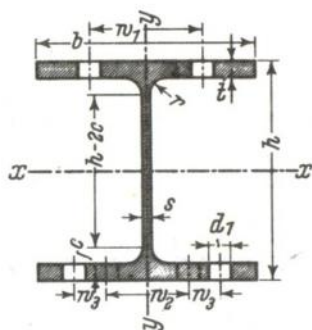
طول استاندارد
در پروفیل هایی به ارتفاع کمتر از ۳۰۰ میلیمتر ۸ تا ۱۶ متر
از ۳۰۰ میلیمتر به بالا ۸ تا ۱۸ متر

ردیف ۳۱ ملاحظه کنید S_x S_y J_D CM

علامت اختصاری	اندازه به میلیمتر برای							F cm ²	G kg/m	برای محور خمش						سوراخ‌های لبه طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷۰			
										x-x			y-y			d ₁ mm	w ₁ mm	w ₂ mm	w ₃ mm
	h	b	s	t	r	c	h-2c			J _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm				
I PBI HE-A	تیر آهن عریض با لبه موازی نوع سبک ردیف I PBI (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۳ ردیف I PBI معادل نرم اروپایی (HE-A) ۶۲ - ۵۳ است انتشار ۱۹۶۳																		
100	96	100	5	8	12	20	56	21,2	16,7	349	72,8	4,06	134	26,8	2,51	13	56	-	-
120	114	120	5	8	12	20	74	25,3	19,9	606	108	4,89	231	38,5	3,02	17	66	-	-
140	133	140	5,5	8,5	12	20,5	92	31,4	24,7	1 030	155	5,73	389	55,6	3,52	21	76	-	-
160	152	160	6	9	15	24	104	38,8	30,4	1 670	220	6,57	616	76,9	3,98	23	86	-	-
180	171	180	6	9,5	15	24,5	122	45,3	35,5	2 510	294	7,45	925	103	4,52	25	100	-	-
200	190	200	6,5	10	18	28	134	53,8	42,3	3 690	389	8,28	1 340	134	4,98	25	110	-	-
220	210	220	7	11	18	29	152	64,3	50,5	5 410	515	9,17	1 950	178	5,51	25	120	-	-
240	230	240	7,5	12	21	33	164	76,8	60,3	7 760	675	10,1	2 770	231	6,00	25	94	35	-
260	250	260	7,5	12,5	24	36,5	177	86,8	68,2	10 450	836	11,0	3 670	282	6,50	25	100	40	-
280	270	280	8	13	24	37	196	97,3	76,4	13 670	1 010	11,9	4 760	340	7,00	25	110	45	-
300	290	300	8,5	14	27	41	208	113	88,3	18 260	1 260	12,7	6 310	421	7,49	28	120	45	-
320	310	300	9	15,5	27	42,5	225	124	97,6	22 930	1 480	13,6	6 990	466	7,49	28	120	45	-
340	330	300	9,5	16,5	27	43,5	243	133	105	27 690	1 680	14,4	7 440	496	7,46	28	120	45	-
360	350	300	10	17,5	27	44,5	261	143	112	33 090	1 890	15,2	7 890	526	7,43	28	120	45	-
400	390	300	11	19	27	48	298	159	125	45 070	2 310	16,8	8 560	571	7,34	28	120	45	-
450	440	300	11,5	21	27	48	344	178	140	63 720	2 900	18,9	9 470	631	7,29	28	120	45	-
500	490	300	12	23	27	50	390	198	155	88 970	3 580	21,0	10 370	691	7,24	28	120	45	-
550	540	300	12,5	24	27	51	438	212	166	111 900	4 150	23,0	10 820	721	7,15	28	120	45	-
600	590	300	13	25	27	52	486	226	178	141 200	4 790	25,0	11 270	751	7,05	28	120	45	-
650	640	300	13,5	26	27	53	534	242	190	175 200	5 470	26,9	11 720	782	6,97	28	120	45	-
700	690	300	14,5	27	27	54	582	260	204	215 300	6 240	28,8	12 180	812	6,84	28	120	45	-
800	790	300	15	28	30	58	674	288	224	308 400	7 680	32,6	12 640	843	6,65	28	130	40	-
900	890	300	16	30	30	60	770	321	252	422 100	9 480	36,3	13 550	903	6,50	28	130	40	-
1000	990	300	16,5	31	30	61	868	347	272	553 800	11 190	40,0	14 000	934	6,35	28	130	40	-

تیر آهن عریض I

ردیف- I PB

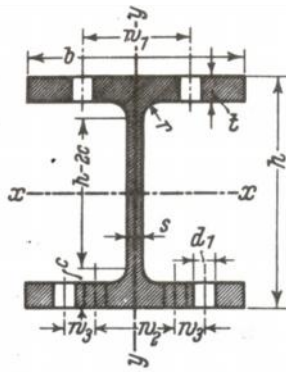


$b = h$ در تیرهای تا ۳۰۰
 $b = ۳۰۰$ م در تیرهای ۳۰۰ به بالا

طول استاندارد
 در پروفیل هایی با ارتفاع کمتر از ۳۰۰ میلیمتر ۸ تا ۱۶ متر
 از ۳۰۰ میلیمتر به بالا ۸ تا ۱۸ متر

ردیف I PB در صفحه ۳۱ ملاحظه کنید

علامت اختصاری	اندازه به میلیمتر برای							F	G	برای محور خمش						سوراخ‌های لبه طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷۰			
	h	b	s	t	r	c	h-2c			x-x			y-y			d ₁	w ₁	w ₂	w ₃
										J _x	W _x	i _x	J _y	W _y	i _y				
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	mm	mm	mm	mm
I PB HE-B	تیر آهن عریض با لبه موازی ردیف I PB (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۵ برک ۲ انتشار اکتبر ۱۹۶۳ ردیف I PB معادل نرم اروپائی (HE-B) ۶۲ - ۵۳ است																		
100	100	100	6	10	12	22	56	26,0	20,4	450	89,9	4,16	167	33,5	2,53	13	56	-	-
120	120	120	6,5	11	12	23	74	34,0	26,7	864	144	5,04	318	52,9	3,06	17	66	-	-
140	140	140	7	12	12	24	92	43,0	33,7	1 510	216	5,93	550	78,5	3,58	21	76	-	-
160	160	160	8	13	15	28	104	54,3	42,6	2 490	311	6,78	889	111	4,05	23	86	-	-
180	180	180	8,5	14	15	29	122	65,3	51,2	3 830	426	7,66	1 360	151	4,57	25	100	-	-
200	200	200	9	15	18	33	134	78,1	61,3	5 700	570	8,54	2 000	200	5,07	26	110	-	-
220	220	220	9,5	16	18	34	152	91,0	71,5	8 090	736	9,43	2 840	258	5,59	25	120	-	-
240	240	240	10	17	21	38	164	106	83,2	11 260	938	10,3	3 920	327	6,08	25	96	35	35
260	260	260	10	17,5	24	41,5	177	118	93,0	14 920	1 150	11,2	5 130	395	6,58	25	106	40	40
280	280	280	10,5	18	24	42	196	131	103	19 270	1 380	12,1	6 590	471	7,09	25	110	45	45
300	300	300	11	19	27	46	208	149	117	25 170	1 680	13,0	8 560	571	7,58	28	120	45	45
320	320	300	11,5	20,5	27	47,5	225	161	127	30 820	1 930	13,8	9 240	616	7,57	28	120	45	45
340	340	300	12	21,5	27	48,5	243	171	134	36 660	2 160	14,6	9 690	646	7,53	28	120	45	45
360	360	300	12,5	22,5	27	49,5	251	181	142	43 190	2 400	15,5	10 140	676	7,49	28	120	45	45
400	400	300	13,5	24	27	51	298	198	155	57 680	2 880	17,1	10 820	721	7,40	28	120	45	45
450	450	300	14	26	27	53	344	218	171	79 890	3 550	19,1	11 720	781	7,33	28	120	45	45
500	500	300	14,5	28	27	55	390	239	187	107 200	4 290	21,2	12 620	842	7,27	28	120	45	45
550	550	300	15	29	27	56	438	254	199	136 700	4 970	23,2	13 080	872	7,17	28	120	45	45
600	600	300	15,5	30	27	57	486	270	212	171 000	5 700	25,2	13 530	902	7,08	28	120	45	45
650	650	300	16	31	27	58	534	288	225	210 600	6 480	27,1	13 980	932	6,99	28	120	45	45
700	700	300	17	32	27	59	582	306	241	256 900	7 340	29,0	14 440	963	6,87	28	126	45	45
800	800	300	17,5	33	30	63	674	334	262	359 100	8 980	32,8	14 900	994	6,68	28	130	40	40
900	900	300	18,5	35	30	65	770	371	291	494 100	10 980	36,5	15 820	1050	6,53	28	130	40	40
1000	1000	300	19	36	30	66	868	400	314	644 700	12 890	40,1	16 280	1090	6,38	28	130	40	40



تیر آهن عریض I

نوع سنگین

طول استاندارد

برای پروفیل‌هایی با ارتفاع کمتر از ۳۰۰ میلیمتر ۸ تا ۱۶ متر
از ۳۰۰ میلیمتر به بالا ۸ تا ۱۸ متر

و پروفیل‌های مخصوص با لبه پهن

رادر صفحه ۳۱ ملاحظه کنند $S_x S_x J_D CM$

علامت اختصاری	اندازه به میلیمتر برای						F cm ²	G kg/m	برای محور خمش						سوراخ‌های لبه طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷۰			
	h	b	s	t	r	c			h-2c	x-x			y-y			d ₁ mm	w ₁ w ₂ mm	w ₃ mm
										J _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm			
IPBv HE-M	تیر آهن عریض با لبه موازی نوع سنگین ردیف IPBv (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۴ ردیف IPBv معادل نرم اروپایی (HE-M) ۶۲ - ۵۳ میباشد انتشار اکتبر ۱۹۶۳																	
100	120	106	12	20	12	32	56	53,2	41,8	1 140	190	4,63	399	75,3	2,74	13	60	-
120	140	126	12,5	21	12	33	74	66,4	52,1	2 020	288	5,51	703	112	3,25	17	68	-
140	160	146	13	22	12	34	92	80,8	63,2	3 290	411	6,39	1 140	157	3,77	21	76	-
160	180	166	14	23	15	38	104	97,1	76,2	5 100	566	7,25	1 760	212	4,26	23	86	-
180	200	186	14,5	24	15	39	122	113	88,9	7 480	748	8,13	2 580	277	4,77	25	100	-
200	220	206	15	25	18	43	134	131	103	10 640	987	9,00	3 650	354	5,27	25	110	-
220	240	226	15,5	26	18	44	152	149	117	14 600	1 220	9,89	5 010	444	5,79	25	120	-
240	270	248	18	32	21	53	164	200	157	24 290	1 800	11,0	8 150	657	6,39	25 23	100	35
260	290	268	18	32,5	24	56,5	177	220	172	31 310	2 160	11,9	10 450	780	6,90	25	110	40
280	310	288	18,5	33	24	57	196	240	189	39 550	2 550	12,8	13 160	914	7,40	25	116	45
300	340	310	21	39	27	66	208	303	238	59 200	3 480	14,0	19 400	1250	8,00	25	120	50
320/330	320	305	16	26	27	56	208	225	177	40 950	2 590	13,5	13 740	901	7,81	28	120	50
320	359	309	21	40	27	67	225	312	245	68 130	3 800	14,8	19 710	1280	7,95	28	126	47
340	377	309	21	40	27	67	243	316	248	76 370	4 050	15,6	19 710	1280	7,90	28	126	47
360	395	308	21	40	27	67	261	319	250	84 870	4 300	16,3	19 520	1270	7,83	28	126	47
400	432	307	21	40	27	67	298	328	256	104 100	4 820	17,9	19 340	1260	7,70	28	126	47
450	478	307	21	40	27	67	344	336	263	131 500	5 500	19,8	19 340	1260	7,59	28	126	47
500	524	306	21	40	27	67	390	344	270	161 900	6 180	21,7	19 150	1250	7,46	28	130	45
550	572	306	21	40	27	67	438	354	278	198 000	6 920	23,6	19 160	1250	7,35	28	130	45
600	620	305	21	40	27	67	486	364	285	237 400	7 660	25,6	18 980	1240	7,22	28	130	45
650	668	305	21	40	27	67	534	374	293	281 700	8 430	27,5	18 980	1240	7,13	28	130	45
700	716	304	21	40	27	67	582	383	301	329 300	9 200	29,3	18 800	1240	7,01	28	130	42
800	814	303	21	40	30	70	674	404	317	442 600	10 870	33,1	18 630	1230	6,79	28	132	42
900	910	302	21	40	30	70	770	424	333	570 400	12 540	36,7	18 450	1220	6,60	28	132	42
1000	1008	302	21	40	30	70	868	444	349	722 300	14 330	40,3	18 460	1220	6,45	28	132	42
IPBv (*)	پروفیل مخصوص با لبه پهن استاندارد نشده (اندازه‌های بین اینها بر حسب قرار داد تهیه میشود)																	
300/330	360	380	14	22,5	27	49,5	261	221	174	53 850	2 990	15,6	20 600	1080	9,65	28	132	70
	363	382	14,8	24	27	51	261	236	185	58 080	3 200	15,7	22 320	1170	9,72			
	371	385	17,1	28	27	55	261	276	216	69 450	3 740	15,9	26 660	1380	9,83			
	379	387	19,4	32	27	59	261	315	247	81 260	4 290	16,1	30 950	1600	9,91			
	387	389	21,7	36	27	63	261	355	278	93 660	4 840	16,3	35 370	1820	9,99			
	395	392	24	40	27	67	261	395	310	106 900	5 410	16,4	40 220	2050	10,1			
500/530	480	348	12	23	27	50	390	220	172	99 030	4 040	21,2	16 170	929	8,58	28	132	65
	500	350	14,5	28	27	55	390	267	209	122 800	4 910	21,5	20 000	1150	8,67			
	524	357	21	40	27	67	390	365	302	165 900	7 090	22,0	30 390	1700	8,88			
600/650	590	348	13	25	27	52	486	250	197	160 400	5 440	25,3	17 580	1010	8,38	28	132	65
	600	350	15,5	30	27	57	486	300	235	195 400	6 510	25,5	21 470	1230	8,46			
	620	355	21	40	27	67	486	405	318	271 600	8 770	25,9	30 140	1690	8,63			
700/730	680	378	14,5	27	27	54	582	303	238	261 600	7 590	29,4	24 330	1290	8,97	28	132	70
	700	380	17	32	27	59	582	358	281	314 100	8 970	29,6	29 300	1540	9,05			
	716	384	21	40	27	67	582	447	351	402 500	11 240	30,0	37 820	1970	9,20			
800/850	990	398	16,5	31	30	61	868	408	320	693 600	14 010	41,3	32 630	1640	8,95	28	132	70
	1000	400	19	36	30	66	868	472	371	812 100	16 240	41,5	38 480	1920	9,03			
	1008	402	21	40	30	70	868	524	412	909 800	18 050	41,7	43 410	2160	9,10			

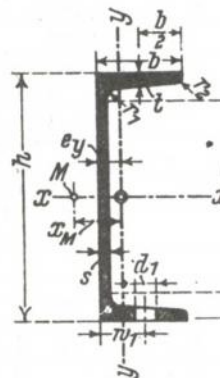
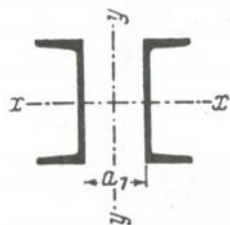
(۱) طبق نرم اروپائی 53-62 (HE-C)

(*) علامت اختصاری این پروفیل‌ها باید با تعیین اندازه و تکمیل شود.

تیر آهن ناودانی

طول استاندارد

پروفیل هایی با ارتفاع کمتر از ۳۰۰ میلیمتر ۸ تا ۱۶ متر
از ۳۰۰ میلیمتر به بالا ۸ تا ۱۸ متر



e_y = فاصله بین دو ناودانی بطوری که هر دو گشتاور ماند مساوی هم و معادل $2I_x$ شوند

شیب داخلی لبه ها
۸٪ برای پروفیل های $h \leq 300$
۵٪ برای پروفیل های $h > 300$

e_y = فاصله محور ثقل $y-y$
 x_M = فاصله مرکز انحراف (برش یا قیچی شدن)

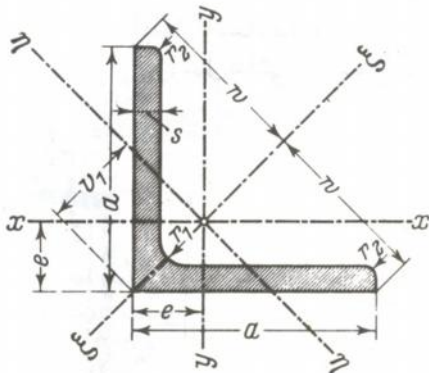
CM JD S_x S_y راد در صفحه ۳۱ ملاحظه کنید

علامت اختصاری	اندازه به میلیمتر برای							F cm ²	G kg/m	برای محور خمش							e _y cm	x _M cm	a ₁ mm	سوراخ های لبه طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷۰	
	h	b	s	t=r ₁ (°)		c	h-2c			x-x			y-y							d ₁ mm	w ₁ mm
				J _x cm ⁴	W _x cm ³					i _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm								
□	آهن ناودانی گوشه گرد (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۶ انتشار اکتبر ۱۹۶۳																				
30 x 15	30	15	4	4,5	2	9	12	2,21	1,74	2,53	1,69	1,07	0,38	0,39	0,42	0,52	0,74	-	-	4,3	10
30	30	33	5	7	3,5	14,5	1	5,44	4,27	6,39	4,26	1,08	5,33	2,68	0,99	1,31	2,22	-	-	8,4	20
40 x 20	40	20	5	5,5	2,5	11	18	3,66	2,87	7,58	3,79	1,44	1,14	0,86	0,56	0,67	1,01	-	-	6,4	11
40	40	35	5	7	3,5	14,5	11	6,21	4,87	14,1	7,05	1,50	6,68	3,08	1,04	1,33	2,32	-	-	8,4	20
50 x 25	50	25	5	6	3	12,5	25	4,92	3,86	16,8	8,73	1,85	2,49	1,48	0,71	0,81	1,34	-	-	8,4	16
50	50	38	5	7	3,5	15	20	7,12	5,59	26,4	10,6	1,92	9,12	3,75	1,13	1,37	2,47	4	11	20	
60	60	30	6	8	3	12,5	35	6,46	5,07	31,6	10,5	2,21	4,51	2,16	0,84	0,91	1,50	-	-	8,4	18
65	65	42	5,5	7,5	4	16	33	9,03	7,09	57,5	17,7	2,52	14,1	5,07	1,25	1,42	2,60	18	11	25	
80	80	45	6	8	4	17	47	11,0	8,64	106	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	1,45	2,67	28	13**	25	
100	100	50	6	8,5	4,5	18	64	13,5	10,6	206	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	1,55	2,93	42	13	30	
120	120	55	7	9	4,5	19	82	17,0	13,4	364	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	1,60	3,03	58	17 13	30	
140	140	60	7	10	5	21	97	20,4	16,0	605	86,4	5,45	62,7	14,8	1,75	1,75	3,37	70	17	35	
160	160	65	7,5	10,5	5,5	22,5	116	24,0	18,8	925	116	6,21	85,3	18,3	1,89	1,84	3,56	82	21 17	35	
180	180	70	8	11	5,5	23,5	133	28,0	22,0	1350	150	6,95	114	22,4	2,02	1,92	3,75	96	21	40	
200	200	75	8,5	11,5	6	24,5	151	32,2	25,3	1910	191	7,70	148	27,0	2,14	2,01	3,94	108	23 21	40	
220	220	80	9	12,5	6,5	26,5	166	37,4	29,4	2690	245	8,48	197	33,6	2,30	2,14	4,20	122	23	45	
240	240	85	9,5	13	6,5	28	185	42,3	33,2	3600	300	9,22	248	39,6	2,42	2,23	4,39	134	25 23	45	
260	260	90	10	14	7	30	201	48,3	37,9	4820	371	9,99	317	47,7	2,56	2,36	4,66	146	25	50	
280	280	95	10	15	7,5	32	216	53,3	41,8	6280	448	10,9	399	57,2	2,74	2,53	5,02	160	25	50	
300	300	100	10	16	8	34	232	58,8	46,2	8030	535	11,7	495	67,8	2,90	2,70	5,41	174	28	55	
320	320	100	14	17,5	8,75	37	247	75,8	59,5	10870	679	12,1	597	80,6	2,81	2,60	4,82	182	28	58	
350	350	100	14	16	8	34	283	77,3	60,6	12840	734	12,9	570	75,0	2,72	2,40	4,45	204	28	58	
380	380	102	13,5	16	8	33,5	313	80,4	63,1	15760	829	14,0	615	78,7	2,77	2,38	4,58	227	28	60	
400	400	110	14	18	9	38	325	91,5	71,8	20350	1020	14,9	846	102	3,04	2,65	5,11	240	28	60	

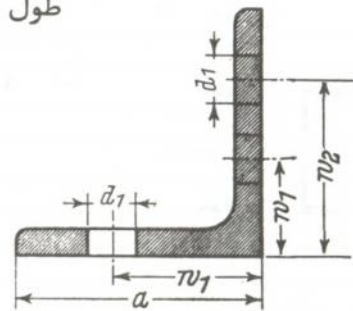
چنانچه برای d_1 اندازه های زیادتری داده شده باشد باید توضیح مربوطه در صفحه ۳ مراعات شود. (x در 20×40 $50 = t$ میلیمتر، $50 = r_1$ میلیمتر است.
***) پیچ های استاندارد شده برای اتصال های HV در اینجا بکار نمیروند.

آهن نبشی دو طرف مساوی L

طول استاندارد ۶ تا ۱۲ متر



برای هر فاصله a_1 گشتاور
ماند اصلی نسبت به محور
بزرگ تر از گشتاور
اصلی نسبت به محور
 $x-x$ میشود.



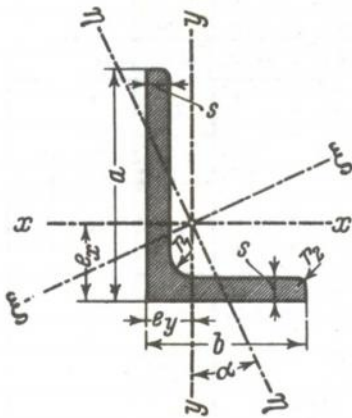
اندازه بمیلیمتر				F	G	فاصله محورها			برای محور خمش									سوراخ‌های لبه			
a	s	r ₁	r ₂			e	w	v ₁	x-x = y-y			ξ-ξ		η-η		طبق دین ۹۹۷ (*) انتشار اکتبر ۱۹۷۰					
									J _x =J _y	W _x =W _y	i _x =i _y	J _ξ	i _ξ	J _η	W _η	i _η	d ₁	w ₁			
				cm ⁴	kg/m	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm	cm ⁴	cm ³	cm	mm	mm			
نبشی دو طرف مساوی گوشه گرد (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۸ انتشار اکتبر ۱۹۶۳																					
نرم اروپائی ۶۵ - ۵۶ قسمتی از این ۱۰۲۸ منحرف میشود																					
20 x 3	3,5	2		1,12	0,88	0,60	1,41	0,85	0,39	0,28	0,59	0,62	0,74	0,15	0,18	0,37	4,3	12			
4				1,45	1,14	0,64		0,90	0,48	0,35	0,58	0,77	0,73	0,19	0,21	0,36					
25 x 3	3,5	2		1,42	1,12	0,73	1,77	1,03	0,79	0,45	0,75	1,27	0,95	0,31	0,30	0,47	6,4	15			
4				1,85	1,45	0,76		1,08	1,01	0,58	0,74	1,61	0,93	0,40	0,37	0,47					
5				2,26	1,77	0,80		1,13	1,18	0,69	0,72	1,87	0,91	0,50	0,44	0,47					
30 x 3	5	2,5		1,74	1,36	0,84	2,12	1,18	1,41	0,65	0,90	2,24	1,14	0,57	0,48	0,57	8,4	17			
4				2,27	1,78	0,89		1,24	1,81	0,86	0,89	2,85	1,12	0,76	0,61	0,58					
5				2,78	2,18	0,92		1,30	2,16	1,04	0,88	3,41	1,11	0,91	0,70	0,57					
35 x 3	5	2,5		2,04	1,60	0,96	2,47	1,36	2,29	0,90	1,06	3,63	1,34	0,95	0,70	0,68	11	18			
4				2,67	2,10	1,00		1,41	2,96	1,18	1,05	4,68	1,33	1,24	0,88	0,68					
5				3,28	2,57	1,04		1,47	3,56	1,45	1,04	5,63	1,31	1,49	1,01	0,67	11	8,4			
6				3,87	3,04	1,08		1,53	4,14	1,71	1,04	6,50	1,30	1,77	1,16	0,68					
40 x 3	6	3		2,35	1,84	1,07	2,83	1,52	3,45	1,18	1,21	5,45	1,52	1,44	0,95	0,78	11	22			
4				3,08	2,42	1,12		1,58	4,48	1,56	1,21	7,09	1,52	1,86	1,18	0,78					
5				3,79	2,97	1,16		1,64	5,43	1,91	1,20	8,64	1,51	2,22	1,35	0,77					
6				4,48	3,52	1,20		1,70	6,33	2,26	1,19	9,98	1,49	2,67	1,57	0,77					
45 x 4	7	3,5		3,49	2,74	1,23	3,18	1,75	6,43	1,97	1,36	10,2	1,71	2,68	1,53	0,88	13	25			
5				4,30	3,38	1,28		1,81	7,83	2,43	1,35	12,4	1,70	3,25	1,80	0,87					
6				5,09	4,00	1,32		1,87	9,16	2,88	1,34	14,5	1,69	3,83	2,05	0,87	13**				
7				5,86	4,60	1,36		1,92	10,4	3,31	1,33	16,4	1,67	4,39	2,29	0,87					
50 x 4	7	3,5		3,89	3,06	1,36	3,54	1,92	8,97	2,46	1,52	14,2	1,91	3,73	1,94	0,98	13	30			
5				4,80	3,77	1,40		1,98	11,0	3,05	1,51	17,4	1,90	4,59	2,32	0,98					
6				5,69	4,47	1,45		2,04	12,8	3,61	1,50	20,4	1,89	5,24	2,57	0,96					
7				6,56	5,15	1,49		2,11	14,6	4,15	1,49	23,1	1,88	6,02	2,85	0,96					
8				7,41	5,82	1,52		2,16	16,3	4,68	1,48	25,7	1,86	6,87	3,19	0,96					
9				8,24	6,47	1,56		2,21	17,9	5,20	1,47	28,1	1,85	7,67	3,47	0,97					
55 x 5	8	4		5,32	4,18	1,52	3,89	2,15	14,7	3,70	1,66	23,3	2,09	6,11	2,84	1,07	17	30			
6				6,31	4,95	1,56		2,21	17,3	4,40	1,66	27,4	2,08	7,24	3,28	1,07					
8				8,23	6,46	1,64		2,32	22,1	5,72	1,64	34,8	2,06	9,35	4,03	1,07	17	13			
10				10,1	7,90	1,72		2,43	26,3	6,97	1,62	41,4	2,02	11,3	4,65	1,06	13*				
60 x 5	8	4		5,82	4,57	1,64	4,24	2,32	19,4	4,45	1,82	30,7	2,30	8,03	3,46	1,17	17	35			
6				6,91	5,42	1,69		2,39	22,8	5,29	1,82	36,1	2,29	9,43	3,95	1,17					
8				9,03	7,09	1,77		2,50	29,1	6,88	1,80	46,1	2,26	12,1	4,84	1,16					
10				11,1	8,69	1,85		2,62	34,9	8,41	1,78	55,1	2,23	14,6	5,57	1,15					

فاصله سوراخ ها در آهن نبشی دو طرف مساوی: طبق دین ۹۹۹ انتشار اکتبر ۱۹۷۰.
(*) چنانچه برای d_1 یا w_1 اندازه های زیادتری داده شده باشد باید توضیح مربوطه در صفحه ۳ مراعات شود.
(**) پیچ های استاندارد شده برای اتصال های HV در اینجا بکار نمیروند.

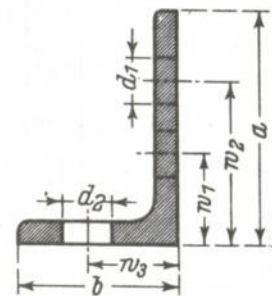
اندازه به میلیمتر				F	G	فاصله برای محورها			برای محور خمش										سوراخ های لبه طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷۰		
a	s	r ₁	r ₂			محورها			x-x=y-y			ξ-ξ		η-η			d ₁	w ₁	w ₂		
علامت اختصاری						e	w	v _i	J _x =J _y	W _x =W _y	i _x =i _y	J _ξ	i _ξ	J _η	W _η	i _η	mm	mm	mm		
نبشی گوشه گرد دو طرف مساوی (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۸ انتشار اکتبر ۱۹۶۳																					
65 x 6				7,53	5,91	1,80		2,55	29,2	6,21	1,97	46,3	2,48	12,1	4,74	1,27	21	35	-		
7				8,70	6,83	1,85		2,62	33,4	7,18	1,96	53,0	2,47	13,8	5,27	1,26					
8	9	4,5		9,85	7,73	1,89	4,60	2,67	37,5	8,13	1,95	59,4	2,46	15,6	5,84	1,26					
9				11,0	8,62	1,93		2,73	41,3	9,04	1,94	65,4	2,44	17,2	6,30	1,25	21	17			
11				13,2	10,3	2,00		2,83	48,8	10,8	1,91	76,8	2,42	20,7	7,31	1,25	17				
70 x 6				8,13	6,38	1,93		2,73	36,9	7,27	2,13	58,5	2,68	15,3	5,60	1,37	21	40	-		
7	9	4,5		9,40	7,38	1,97	4,95	2,79	42,4	8,43	2,12	67,1	2,67	17,6	6,31	1,37					
8				11,9	9,34	2,05		2,90	52,6	10,6	2,10	83,1	2,64	22,0	7,59	1,36					
9				14,3	11,2	2,13		3,01	61,8	12,7	2,08	97,6	2,61	26,0	8,64	1,35					
75 x 6				8,75	6,87	2,04		2,89	45,6	8,35	2,28	72,2	2,87	18,9	6,54	1,47	23	40	-		
7	10	5		10,1	7,94	2,09	5,30	2,95	52,4	9,67	2,28	83,6	2,88	21,1	7,15	1,45					
8				11,5	9,03	2,13		3,01	58,9	11,0	2,26	93,3	2,85	24,4	8,11	1,46					
10				14,1	11,1	2,21		3,12	71,4	13,5	2,25	113	2,83	29,8	9,55	1,45	23	21			
12				16,7	13,1	2,29		3,24	82,4	15,8	2,22	130	2,79	34,7	10,7	1,44					
80 x 7				10,8	8,49	2,21		3,13	64,2	11,1	2,44	102	3,07	26,5	8,48	1,57	23	45	-		
8	10	5		12,3	9,66	2,26	5,66	3,20	72,3	12,6	2,42	115	3,06	29,6	9,25	1,55					
10				15,1	11,9	2,34		3,31	87,5	15,5	2,41	139	3,03	35,9	10,9	1,54					
12				17,9	14,1	2,41		3,41	102	18,2	2,39	161	3,00	43,0	12,6	1,53					
14				20,6	16,1	2,48		3,51	115	20,8	2,36	181	2,96	48,6	13,9	1,54					
90 x 8				13,9	10,9	2,50		3,53	104	16,1	2,74	165	3,45	43,5	12,3	1,77	25	50	-		
9	11	5,5		15,5	12,2	2,54	6,36	3,59	116	18,0	2,74	184	3,45	47,8	13,3	1,76					
11				18,7	14,7	2,62		3,70	138	21,6	2,72	218	3,41	57,1	15,4	1,75					
13				21,8	17,1	2,70		3,81	158	25,1	2,69	250	3,39	65,9	17,3	1,74					
16				26,4	20,7	2,81		3,97	186	30,1	2,66	294	3,34	79,1	19,9	1,73					
100 x 8				15,5	12,2	2,74		3,87	145	19,9	3,06	230	3,85	59,9	15,5	1,96	25	55	-		
10	12	6		19,2	15,1	2,82	7,07	3,99	177	24,7	3,04	280	3,82	73,3	18,4	1,95					
12				22,7	17,8	2,90		4,10	207	29,2	3,02	328	3,80	86,2	21,0	1,95					
14				26,2	20,6	2,98		4,21	235	33,5	3,00	372	3,77	98,3	23,4	1,94					
16				29,6	23,2	3,06		4,32	262	37,7	2,97	413	3,74	111	25,6	1,93					
20				36,2	28,4	3,20		4,53	311	45,7	2,93	487	3,67	135	29,8	1,93					
110 x 10				21,2	16,6	3,07		4,34	239	30,1	3,36	379	4,23	98,6	22,7	2,16	25	45	70		
12	12	6		25,1	19,7	3,15	7,78	4,45	280	35,7	3,34	444	4,21	116	26,1	2,15	45	50			
14				29,0	22,8	3,21		4,54	319	41,0	3,32	505	4,18	133	29,3	2,14					
120 x 11				25,4	19,9	3,36		4,75	341	39,5	3,66	541	4,62	140	29,5	2,35	25	50	80		
12	13	6,5		27,5	21,6	3,40	8,49	4,80	368	42,7	3,65	584	4,60	152	31,6	2,35					
13				29,7	23,3	3,44		4,86	394	46,0	3,64	625	4,59	162	33,3	2,34					
15				33,9	26,6	3,51		4,96	446	52,5	3,63	705	4,56	186	37,5	2,34					
130 x 12				30,0	23,6	3,64		5,15	472	50,4	3,97	750	5,00	194	37,7	2,54	25	50	90		
14	14	7		34,7	27,2	3,72	9,19	5,26	540	58,2	3,94	857	4,97	223	42,4	2,53		50	55		
16				39,3	30,9	3,80		5,37	605	65,8	3,92	959	4,94	251	46,7	2,52					
140 x 13				35,0	27,5	3,92		5,54	638	63,3	4,27	1010	5,38	262	47,3	2,74	28	55	95		
15	15	7,5		40,0	31,4	4,00	9,90	5,66	723	72,3	4,25	1150	5,36	298	52,7	2,73					
150 x 12				34,8	27,3	4,12		5,83	737	67,7	4,60	1170	5,80	303	52,0	2,95	28	60	105		
14	16	8		40,3	31,6	4,21	10,6	5,95	845	78,2	4,58	1340	5,77	347	58,3	2,94					
15				43,0	33,8	4,25		6,01	898	83,5	4,57	1430	5,76	370	61,6	2,93					
16				45,7	35,9	4,29		6,07	949	88,7	4,56	1510	5,74	391	64,4	2,93					
18				51,0	40,1	4,36		6,17	1050	99,3	4,54	1670	5,70	438	71,0	2,93					
20				56,3	44,2	4,44		6,28	1150	109	4,51	1820	5,68	477	76,0	2,91		60	65		
160 x 15				46,1	36,2	4,49		6,35	1100	95,6	4,88	1750	6,15	453	71,3	3,14	28	60	115		
17	17	8,5		51,8	40,7	4,57	11,3	6,46	1230	108	4,86	1950	6,13	506	78,3	3,13		60	65		
19				57,5	45,1	4,65		6,58	1350	118	4,84	2140	6,10	558	84,8	3,12					
180 x 16				55,4	43,5	5,02		7,11	1680	130	5,51	2690	6,96	679	95,5	3,50	28	60	135		
18	18	9		61,9	48,6	5,10	12,7	7,22	1870	145	5,49	2970	6,93	757	105	3,49		60	65		
20				68,4	53,7	5,18		7,33	2040	160	5,47	3260	6,90	830	113	3,49					
22				74,7	58,6	5,26		7,44	2210	174	5,44	3510	6,86	918	123	3,50					
200 x 16				61,8	48,5	5,52		7,80	2340	162	6,15	3740	7,78	943	121	3,91	28	65	150		
18	18	9		69,1	54,3	5,60	14,1	7,92	2600	181	6,13	4150	7,75	1050	133	3,90		65	70		
20				76,4	59,9	5,68		8,04	2850	199	6,11	4540	7,72	1160	144	3,89		70	75		
24				90,6	71,1	5,84		8,26	3330	235	6,06	5280	7,64	1380	167	3,90					
28				105	82,0	5,99		8,47	3780	270	6,02	5990	7,57	1580	186	3,89					
نبشی گوشه گرد دو طرف مساوی (گرم غلطک خورده) استاندارد نشده																					
250 x 18				87,2	68,4	6,84		9,67	5210	287	7,73	7350	9,17	2130	220	4,94	28	70	200		
20	20	10		96,4	75,7	6,92	17,7	9,79	5730	317	7,70	8080	9,15	2340	240	4,93					
22				106	82,9	7,00		9,90	6240	347	7,68	8790	9,12	2550	258	4,91					
24				115	90,0	7,08		10,0	6730	376	7,66	9490	9,09	2760	276	4,90					

آهن نبشی دو طرف نامساوی

طول استاندارد ۶ تا ۱۲ متر



فاصله دوشی از هم بطوری که
هر دو گشتاور مانداصلی مساوی
هم و برابر $2J_x$ هریک از نبشی
ها شوند.



در صورت بودن سطح مقطع به شکل ۳-۴ و در صورت معلوم نکردن a_1
در نبشی ها a جمع b همیشه بزرگتر از $2J_x$ هریک از نبشی ها است

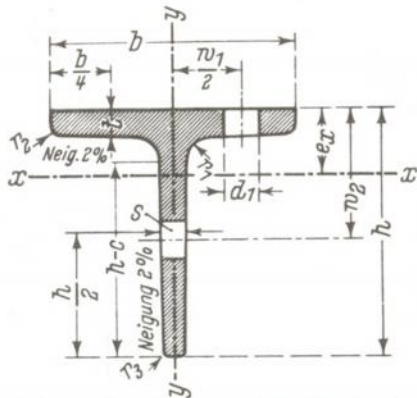
اندازه میلی متر			F	G	محل محورها		برای محور خمشی										a ₁	سوراخ های لبه طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷۰ (*)					
a	b	s			r ₁	r ₂	محور η-η	فواصل	x-x			y-y			ξ-ξ			η-η		d ₁	d ₂	w ₁	w ₃
علامت اختصاری					cm ³	kg/m	cm	cm	tan α	J _x cm ⁴	W _x cm ³	I _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	I _y cm	J _ξ cm ⁴		I _ξ cm	J _η cm ⁴	I _η cm	mm	mm	mm
نبشی گوشه گرد دو طرف نامساوی (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۹ انتشار اکتبر ۱۹۶۳ نرم اروپائی ۶۵ - ۵۷ قسمتی از دین ۱۰۲۹ منحرف میشود																							
L																							
30x20x3 4	3,5	2	1,42 1,85	1,11 1,45	0,99 1,03	0,50 0,54	0,431 0,423	1,25 1,59	0,62 0,81	0,94 0,93	0,44 0,55	0,29 0,38	0,56 0,55	1,43 1,81	1,00 0,99	0,25 0,33	0,42 0,42	5,2 4,2	8,4	4,3	17	12	
40x20x3 4	3,5	2	1,72 2,25	1,35 1,77	1,43 1,47	0,44 0,48	0,259 0,252	2,79 3,59	1,08 1,42	1,27 1,26	0,47 0,60	0,30 0,39	0,52 0,52	2,96 3,79	1,31 1,30	0,30 0,39	0,42 0,42	14,6 13,8	11	4,3	22	12	
45x30x3 4 5	4,5	2	2,19 2,87	1,72 2,25	1,43 1,48	0,70 0,74	0,436 0,436	4,47 5,78	1,46 1,91	1,43 1,42	1,60 2,05	0,70 0,91	0,86 0,85	5,15 6,65	1,53 1,52	0,93 1,18	0,65 0,64	9,0 8,0	13	8,4	25	17	
50x30x5	4,5	2	3,78 4,27	2,96 3,35	1,73 1,56	0,74 1,07	0,353 0,625	9,41 10,4	2,88 3,02	1,58 1,56	2,54 5,89	1,12 2,01	0,82 1,18	10,4 13,3	1,66 1,76	1,56 3,02	0,64 0,84	12,2 —	13	8,4	30	17	
50x40x4 5	4	2	3,46 4,27	2,71 3,35	1,52 1,56	1,03 1,07	0,629 0,625	8,54 10,4	2,47 3,02	1,57 1,56	4,86 5,89	1,64 2,01	1,19 1,18	10,9 13,3	1,78 1,76	2,46 3,02	0,84 0,84	— —	13	11	30	22	
60x30x5 7	6	3	4,29 5,85	3,37 4,59	2,15 2,24	0,68 0,76	0,256 0,248	15,6 20,7	4,04 5,50	1,90 1,88	2,60 3,41	1,12 1,52	0,78 0,76	16,5 21,8	1,96 1,93	1,69 2,28	0,63 0,62	21,4 19,2	17	8,4	35	17	
60x40x5 6 7	6	3	4,79 5,68 6,55	3,76 4,46 5,14	1,96 2,00 2,04	0,97 1,01 1,05	0,437 0,433 0,429	17,2 20,1 23,0	4,25 5,03 5,79	1,89 1,88 1,87	6,11 7,12 8,07	2,02 2,38 2,74	1,13 1,12 1,11	19,8 23,1 26,3	2,03 2,02 2,00	3,50 4,12 4,73	0,86 0,85 0,85	11,2 10,2 9,2	17	11	35	22	
65x50x5 7 9	6,5	3,5	5,54 7,60 9,58	4,35 5,97 7,52	2,99 3,07 2,15	1,25 1,33 1,41	0,583 0,574 0,567	23,1 31,0 38,2	5,11 6,99 8,77	2,04 2,02 2,00	11,9 15,8 19,4	3,18 4,31 5,39	1,47 1,44 1,42	28,8 38,4 47,0	2,28 2,25 2,22	6,21 8,37 10,5	1,06 1,05 1,05	3,6 1,8 —	21	13	35	30	
75x50x5 7 9	6,5	3,5	6,04 8,30 10,5	4,74 6,51 8,23	2,40 2,48 2,56	1,17 1,25 1,32	0,437 0,433 0,427	34,4 46,4 57,4	6,74 9,24 11,6	2,39 2,36 2,34	12,3 16,5 20,2	3,21 4,39 5,49	1,43 1,41 1,39	39,6 53,3 65,7	2,56 2,53 2,50	7,10 9,56 11,9	1,08 1,07 1,07	15,0 13,0 11,0	23	13	40	30	
75x55x5 7 9	7	3,5	6,30 8,66 10,9	4,95 6,80 8,59	2,31 2,40 2,47	1,33 1,41 1,48	0,530 0,525 0,518	35,5 47,9 59,4	6,84 9,39 11,8	2,37 2,35 2,33	16,2 21,8 26,8	3,89 5,32 6,66	1,60 1,59 1,57	43,1 57,9 71,3	2,61 2,59 2,55	8,68 11,8 14,8	1,17 1,17 1,16	8,4 6,6 5,0	23	17 13	40	30	

فواصل سوراخ ها در نبشی دو طرف نامساوی طبق دین ۹۹۸ انتشار اکتبر ۱۹۷۰ است.
(*) چنانچه برای d_2 و w_3 اندازه های بیشتری داده شود باید توضیح مربوطه در صفحه ۳ رعایت شود.
(**) پیچ های استاندارد شده برای اتصال های HV در اینجا بکار نمیروند.

اندازه به میلیمتر					محل محورها		برای محور خمشی												سوراخ‌های لبه						
a	b	s	r ₁	r ₂	F	G	محور محور	فواصل	x-x			y-y			z-z			η-η	a _i	طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتر ۱۹۷۰*)					
علامت اختصاری					cm ³	kg/m	η-η		J _x	W _x	i _x	J _y	W _y	i _y	J _z	i _z	J _η	i _η	mm	d ₁	d ₂	w ₁	w ₂	w ₃	
نشی گوشه گرد دو طرف تا مساوی اگر غلطک خورده طبق دین ۱۰۲۹ انتشار اکتر ۱۹۶۳																									
80x40x6	8	7	3,5		6,89	5,41	2,85	0,88	0,259	44,9	8,73	2,55	7,59	2,44	1,05	47,6	2,63	4,90	0,84	29,0	23	11	45	-	22
					9,01	7,07	2,94	0,95	0,253	57,6	11,4	2,53	9,68	3,18	1,04	60,9	2,60	6,41	0,84	27,2					
80x65x6	8	8	4		8,41	6,60	2,39	1,65	0,649	52,8	9,41	2,51	31,2	6,44	1,93	68,5	2,85	15,6	1,36	—	23	21	45	-	35
					11,0	8,66	2,47	1,73	0,645	68,1	12,3	2,49	40,1	8,41	1,91	88,0	2,82	20,3	1,36	—					
					13,6	10,7	2,55	1,81	0,640	82,2	15,1	2,46	48,3	10,3	1,89	106	2,79	24,8	1,35	—		21	17		
90x60x6	8	7	3,5		8,69	6,82	2,89	1,41	0,442	71,7	11,7	2,87	25,8	5,61	1,72	82,8	3,09	14,6	1,30	17,8	25	17	50	-	35
					11,4	8,96	2,97	1,49	0,437	92,5	15,4	2,85	33,0	7,31	1,70	107	3,06	19,0	1,29	16,0					
90x75x7	8,5	4,5			11,1	8,74	2,67	1,93	0,683	88,1	13,9	2,81	55,5	9,98	2,23	117	3,24	27,1	1,56	—	25	23	50	-	40
100x50x6	8	9	4,5		8,73	6,85	3,49	1,04	0,263	89,7	13,8	3,20	15,3	3,86	1,32	95,2	3,30	9,78	1,06	37,6	25	13	55	-	30
					11,5	8,99	3,59	1,13	0,258	116	18,0	3,18	19,5	5,04	1,31	123	3,28	12,6	1,05	35,4					
					14,1	11,1	3,67	1,20	0,252	141	22,2	3,16	23,4	6,17	1,29	149	3,25	15,5	1,04	33,8		13			
100x65x7	9	10	5		11,2	8,77	3,23	1,51	0,419	113	16,6	3,17	37,6	7,54	1,84	128	3,39	21,6	1,39	21,8	25	21	55	-	35
					14,2	11,1	3,32	1,59	0,415	141	21,0	3,15	46,7	9,52	1,82	160	3,36	27,2	1,39	19,8		17			
					17,1	13,4	3,40	1,67	0,410	167	25,3	3,13	55,1	11,4	1,80	190	3,34	32,6	1,38	17,8		17			35
100x75x7	9	10	5		11,9	9,32	3,06	1,83	0,553	118	17,0	3,15	56,9	10,0	2,19	145	3,49	30,1	1,59	8,8	25	23	55	-	40
					15,1	11,8	3,15	1,91	0,549	148	21,5	3,13	71,0	12,7	2,17	181	3,47	37,8	1,59	7,0					
					18,2	14,3	3,23	1,99	0,545	176	25,9	3,11	84,0	15,3	2,15	214	3,44	45,4	1,58	5,2		23	21		
120x80x8	10	11	5,5		15,5	12,2	3,83	1,87	0,441	226	27,6	3,82	80,8	13,2	2,29	261	4,10	45,8	1,72	24,0	25	23	50	80	45
					19,1	15,0	3,92	1,95	0,438	276	34,1	3,80	98,1	16,2	2,27	318	4,07	56,1	1,71	22,2					
					22,7	17,8	4,00	2,03	0,433	323	40,4	3,77	114	19,1	2,25	371	4,04	66,1	1,71	20,2					
					26,2	20,5	4,08	2,10	0,429	368	46,4	3,75	130	22,0	2,23	421	4,01	75,8	1,70	18,4					
130x65x8	10	11	5,5		15,1	11,9	4,56	1,37	0,263	263	31,1	4,17	44,8	8,72	1,72	280	4,31	28,6	1,38	48,6	25	21	50	90	35
					18,6	14,6	4,65	1,45	0,259	321	38,4	4,15	54,2	10,7	1,71	340	4,27	35,0	1,37	46,8		17			36
					22,1	17,3	4,74	1,53	0,255	376	45,5	4,12	63,0	12,7	1,69	397	4,24	41,2	1,37	44,6		17			38
130x75x8	10	10,5	5,5		15,9	12,5	4,36	1,65	0,339	276	31,9	4,17	68,3	11,7	2,08	303	4,37	41,3	1,61	39,2	25	23	50	90	40
					19,6	15,4	4,45	1,73	0,336	337	39,4	4,14	82,9	14,4	2,06	369	4,34	50,6	1,61	37,4		21			42
					23,3	18,3	4,53	1,81	0,332	395	46,6	4,12	96,5	17,0	2,04	432	4,31	59,6	1,60	35,4					
130x90x10	12	12	6		21,2	16,6	4,15	2,18	0,472	358	40,5	4,11	141	20,6	2,58	420	4,46	78,5	1,93	20,4	25	25	50	90	50
					25,1	19,7	4,24	2,26	0,468	420	48,0	4,09	165	24,4	2,56	492	4,43	92,6	1,92	18,6					
150x75x9	11	10,5	5,5		19,5	15,3	5,28	1,57	0,265	455	46,8	4,83	78,3	13,2	2,00	484	4,98	50,0	1,60	56,4	28	23	60	105	40
					23,6	18,6	5,37	1,65	0,261	545	56,6	4,80	93,0	15,9	1,98	578	4,95	59,8	1,59	54,4		23	21		
150x90x10	12	12,5	6,5		23,2	18,2	4,99	2,03	0,360	532	53,1	4,79	145	20,9	2,51	589	5,05	88,0	1,95	41,0	28	25	60	105	50
					27,5	21,6	5,08	2,11	0,358	626	63,1	4,77	170	24,7	2,49	693	5,02	103	1,94	39,2					
150x100x10	12	13	6,5		24,2	19,0	4,80	2,34	0,442	552	54,1	4,78	198	25,8	2,86	637	5,13	112	2,15	29,8	28	25	60	105	55
					28,7	22,6	4,89	2,42	0,439	650	64,2	4,76	232	30,6	2,84	749	5,10	132	2,15	28,0					
					33,2	26,1	4,97	2,50	0,435	744	74,1	4,73	264	35,2	2,82	856	5,07	152	2,14	26,2					
160x80x10	12	13	6,5		23,2	18,2	5,63	1,69	0,263	611	58,9	5,14	104	16,5	2,12	648	5,29	67,0	1,70	59,7	28	23	60	115	45
					27,5	21,6	5,72	1,77	0,259	720	70,0	5,11	122	19,6	2,10	763	5,26	78,9	1,69	57,9					
					31,8	25,0	5,81	1,85	0,256	823	80,7	5,09	139	22,5	2,09	871	5,23	90,5	1,69	55,8		23	21		
180x90x10	12	14	7		26,2	20,6	6,28	1,85	0,262	880	75,1	5,80	151	21,2	2,40	934	5,97	97,4	1,93	69,0	28	25	60	135	50
					31,2	24,5	6,37	1,93	0,261	1040	89,3	5,77	177	25,1	2,38	1100	5,94	114	1,92	67,0					
					36,1	28,3	6,46	2,01	0,259	1190	103	5,75	202	28,9	2,37	1260	5,92	131	1,91	65,0					
200x100x10	12	15	7,5		29,0	23,0	6,93	2,01	0,266	1220	93,2	6,46	210	26,3	2,68	1300	6,66	133	2,14	77,4	28	25	65	150	55
					34,8	27,3	7,03	2,10	0,264	1440	111	6,43	247	31,3	2,67	1530	6,63	158	2,13	75,2					
					40,3	31,6	7,12	2,18	0,262	1650	128	6,41	282	36,1	2,65	1760	6,60	181	2,12	73,0					
					45,7	35,9	7,20	2,26	0,259	1860	145	6,38	316	40,8	2,63	1970	6,57	204	2,11	71,0					
250x90x10	12	15	7,5		33,2	26,1	9,45	1,56	0,154	2170	140	8,08	161	21,7	2,20	2220	8,17	112	1,84	126	28	25	65	200	50
					39,6	31,1	9,55	1,65	0,153	2570	166	8,05	189	25,8	2,19	2630	8,14	132	1,83	124					
					45,9	36,0	9,65	1,73	0,152	2960	192	8,03	216	29,7	2,17	3020	8,11	152	1,82	120					
					52,1	40,9	9,74	1,81	0,150	3330	218	8,00	242	33,6	2,16	3400	8,08	171	1,81	118					50
																									50

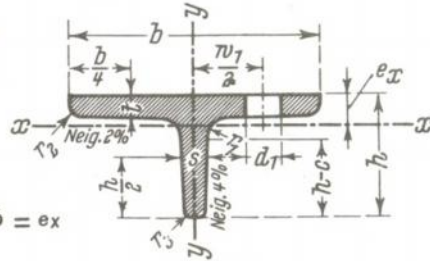
آهن سیری

طول استاندارد ۶ تا ۱۲ متر



b : h
1 : 1

b : h
2 : 1



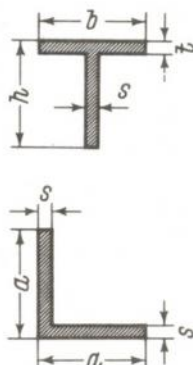
e_x = فاصله محور ثقل x-x

علامت اختصاری	اندازه برای							F	G	ex	برای محور خم						سوراخ های لبه طبق دین ۹۹۷ انتشار اکتبر ۱۹۷		
	h	b	s = t = r ₁	r ₂	r ₃	c	h-c				x-x			y-y			d ₁	w ₁	w ₂
											J _x	W _x	i _x	J _y	W _y	i _y			
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	mm	mm	mm	
T	سپری گوشه گرد (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۴ انتشار اکتبر ۱۹۶۳																		
20	20	20	3	1,5	1	7	13	1,12	0,88	0,58	0,38	0,27	0,53	0,20	0,20	0,42	3,2	-	-
25	25	25	3,5	2	1	8	17	1,64	1,29	0,73	0,87	0,49	0,73	0,43	0,34	0,51	3,2	15	14
30	30	30	4	2	1	9	21	2,26	1,77	0,85	1,72	0,80	0,87	0,87	0,58	0,62	4,3	17	17
35	35	35	4,5	2,5	1	10	25	2,97	2,33	0,99	3,10	1,23	1,04	1,57	0,90	0,73	4,3	19	19
40	40	40	5	2,5	1	11	29	3,77	2,96	1,12	5,28	1,84	1,18	2,58	1,29	0,83	6,4	21	22
45	45	45	5,5	3	1,5	12	33	4,67	3,67	1,26	8,13	2,51	1,32	4,01	1,78	0,93	6,4	24	25
50	50	50	6	3	1,5	13	37	5,66	4,44	1,39	12,1	3,36	1,46	6,06	2,42	1,03	6,4	30	30
60	60	60	7	3,5	2	15	45	7,94	6,23	1,66	23,8	5,48	1,73	12,2	4,07	1,24	8,4	34	35
70	70	70	8	4	2	17	53	10,6	8,32	1,94	44,5	8,79	2,05	22,1	6,32	1,44	11	38	40
80	80	80	9	4,5	2	19	61	13,6	10,7	2,22	73,7	12,8	2,33	37,0	9,25	1,65	11	45	45
90	90	90	10	5	2,5	21	69	17,1	13,4	2,48	119	18,2	2,64	58,5	13,0	1,85	13	50	50
100	100	100	11	5,5	3	23	77	20,9	16,4	2,74	179	24,6	2,92	88,3	17,7	2,05	13	60	60
120	120	120	13	6,5	3	27	93	29,6	23,2	3,28	366	42,0	3,51	178	29,7	2,45	17	70	70
140	140	140	15	7,5	4	31	109	39,9	31,3	3,80	660	64,7	4,07	330	47,2	2,88	21	80	75
TB	سپری گوشه گرد لبه پهن (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۲۴ انتشار اکتبر ۱۹۶۳																		
30	30	60	5,5	3	1,5	11	19	4,64	3,64	0,67	2,58	1,11	0,75	8,62	2,87	1,36	8,4	34	-
35	35	70	6	3	1,5	12	23	5,94	4,66	0,77	4,49	1,65	0,87	15,1	4,31	1,59	11	37	-
40	40	80	7	3,5	2	14	26	7,91	6,21	0,88	7,81	2,50	0,99	28,5	7,13	1,90	11	45	-
50	50	100	8,5	4,5	2	17	33	12,0	9,42	1,09	18,7	4,78	1,25	67,7	13,5	2,38	13	55	-
60	60	120	10	5	2,5	20	40	17,0	13,4	1,30	38,0	8,09	1,49	137	22,8	2,84	17	65	-

سپری و نبشی گوشه تیز

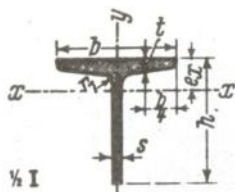
(گرم غلطک خورده) طول استاندارد ۶ تا ۱۲ متر

علامت اختصاری	h=b	s=t	F	G	W_x	W_y
	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ³	cm ³
TPS	سپری گوشه تیز با لبه و پهلوه های مساوی طبق دین ۵۹۰۵۱ انتشار اکتبر ۱۹۶۳					
20	20	3	1,11	0,871	0,29	0,20
25	25	3,5	1,63	1,28	0,53	0,37
30	30	4	2,24	1,76	0,88	0,61
35	35	4,5	2,95	2,31	1,36	0,93
40	40	5	3,75	2,94	1,97	1,35

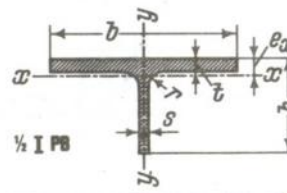
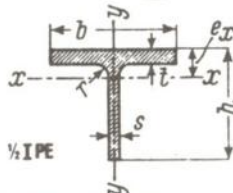


علامت اختصاری	a	s	F	G	$W_x = W_y$
	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ³
LS	نبشی گوشه تیز دو طرف مساوی طبق دین ۱۰۲۴ انتشار اکتبر ۱۹۶۳				
20x3	20	3	1,11	0,871	0,28
4	20	4	1,44	1,13	0,37
25x3	25	3	1,41	1,11	0,47
4	25	4	1,84	1,44	0,60
30x3	30	3	1,71	1,34	0,68
4	30	4	2,24	1,76	0,88
35x4	35	4	2,64	2,07	1,22
40x4	40	4	3,04	2,39	1,62
5	40	5	3,75	2,94	1,97
45x5	45	5	4,25	3,34	2,53
50x5	50	5	4,75	3,73	3,15

تیر آهن نیمه شده



e_x = فاصله محور ثقل $x-x$



انواع تیر	اندازه برای					F cm ²	G kg/m	برای محور خمش						e _x cm	نوع تیر
	h mm	b mm	s mm	t mm	r ₁ mm			x-x			y-y				
								J _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm		
% I	تیر آهن نیمه باریک طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۱														% I
140	70	66	5,7	8,6	5,7	9,15	7,20	37,9	7,26	2,03	17,6	5,35	1,40	1,79	140
160	80	74	6,3	9,5	6,3	11,4	8,95	62,2	10,5	2,34	27,4	7,40	1,55	2,04	160
180	90	82	6,9	10,4	6,9	14,0	11,0	99,7	14,9	2,65	40,7	9,90	1,71	2,30	180
200	100	90	7,5	11,3	7,5	16,7	13,1	144	19,4	2,94	58,2	12,9	1,87	2,56	200
220	110	98	8,1	12,2	8,1	19,8	15,5	208	25,4	3,24	81,0	16,6	2,02	2,83	220
240	120	106	8,7	13,1	8,7	23,0	18,1	289	32,5	3,54	110	20,8	2,20	3,09	240
260	130	113	9,4	14,1	9,4	26,7	20,9	396	41,1	3,85	144	25,4	2,32	3,37	260
280	140	119	10,1	15,2	10,1	30,5	23,9	528	51,1	4,16	182	30,5	2,45	3,66	280
300	150	125	10,8	16,2	10,8	34,5	27,1	691	62,6	4,47	225	36,0	2,56	3,96	300
320	160	131	11,5	17,3	11,5	38,9	30,5	888	75,7	4,78	277	42,3	2,67	4,26	320
340	170	137	12,2	18,3	12,2	43,3	34,0	1130	90,6	5,10	336	49,1	2,80	4,56	340
360	180	143	13,0	19,5	13,0	48,5	38,1	1420	108	5,40	408	57,1	2,90	4,86	360
380	190	149	13,7	20,5	13,7	53,5	42,0	1750	126	5,72	486	65,3	3,02	5,16	380
400	200	155	14,4	21,6	14,4	58,9	46,2	2140	147	6,02	578	74,6	3,13	5,46	400
425	212,5	163	15,3	23,0	15,3	66,2	51,9	2710	176	6,40	717	88,0	3,30	5,82	425
450	225	170	16,2	24,3	16,2	73,4	57,6	3400	209	6,80	861	101	3,43	6,21	450
475	237,5	178	17,1	25,6	17,1	81,4	63,9	4210	245	7,19	1040	117	3,60	6,58	475
500	250	185	18,0	27,0	18,0	89,7	70,4	5150	286	7,58	1240	134	3,72	6,96	500
% IPE	تیر آهن نیمه متوسط با لبه موازی طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۵														% IPE
140	70	73	4,7	6,9	7	8,21	6,45	33,0	6,14	2,01	22,4	6,15	1,65	1,62	140
160	80	82	5,0	7,4	9	10,0	7,89	52,9	8,57	2,29	34,1	8,34	1,84	1,84	160
180	90	91	5,3	8,0	9	12,0	9,40	80,3	11,5	2,59	50,4	11,1	2,05	2,05	180
200	100	100	5,6	8,5	12	14,2	11,2	117	15,1	2,87	71,2	14,2	2,24	2,25	200
220	110	110	5,9	9,2	12	16,7	13,1	165	19,3	3,15	102	18,6	2,48	2,45	220
240	120	120	6,2	9,8	15	19,6	15,4	227	24,3	3,41	142	23,7	2,69	2,63	240
270	135	135	6,6	10,2	15	23,0	18,0	346	32,8	3,88	210	31,1	3,02	2,97	270
300	150	150	7,1	10,7	15	26,9	21,1	509	43,6	4,35	302	40,3	3,35	3,32	300
330	165	160	7,5	11,5	18	31,3	24,6	717	55,8	4,78	394	49,3	3,55	3,65	330
360	180	170	8,0	12,7	18	36,4	28,5	992	70,8	5,22	521	61,3	3,79	3,99	360
400	200	180	8,6	13,5	21	42,2	33,2	1450	93,7	5,86	659	73,4	3,95	4,52	400
450	225	190	9,4	14,6	21	49,4	38,8	2220	129	6,70	838	88,4	4,12	5,28	450
500	250	200	10,2	16,0	21	57,8	45,3	3260	172	7,52	1070	107	4,31	6,01	500
550	275	210	11,1	17,2	24	67,2	52,8	4670	225	8,33	1330	127	4,45	6,77	550
600	300	220	12,0	19,0	24	78,0	61,2	6500	288	9,13	1690	154	4,66	7,48	600
% IPEv	تیر آهن نیمه متوسط با لبه موازی استاندارد نشده														% IPEv
180 o	91	92	6,0	9,0	9	13,6	10,6	92,4	13,2	2,61	58,6	12,7	2,08	2,12	180 o
200 o	101	102	6,2	9,5	12	16,0	12,6	132	17,0	2,88	84,4	16,5	2,30	2,30	200 o
220 o	111	112	6,6	10,2	12	18,7	14,7	188	21,9	3,17	120	21,4	2,53	2,51	220 o
240 o	121	122	7,0	10,8	15	21,9	17,2	259	27,6	3,44	164	26,9	2,74	2,71	240 o
270 o	137	136	7,5	12,2	15	26,9	21,2	407	38,1	3,89	257	37,7	3,09	3,02	270 o
300 o	152	152	8,0	12,7	15	31,4	24,7	594	50,2	4,34	373	49,0	3,45	3,36	300 o
330 o	167	162	8,5	13,5	18	36,3	28,5	835	64,3	4,79	480	59,3	3,64	3,72	330 o
360 o	182	172	9,2	14,7	18	42,1	33,0	1160	82,5	5,26	626	72,7	3,86	4,10	360 o
400 o	202	182	9,7	15,5	21	48,2	37,9	1670	107	5,88	782	85,9	4,03	4,61	400 o
400 v	204	182	10,6	17,5	21	53,6	42,0	1860	119	5,90	883	97,0	4,06	4,69	400 v
450 o	228	192	11	17,6	21	58,9	46,2	2670	153	6,73	1040	109	4,21	5,41	450 o
450 v	230	194	12,4	19,6	21	66,0	51,8	3040	174	6,79	1200	124	4,26	5,56	450 v
500 o	253	202	12	19	21	68,4	53,7	3920	205	7,57	1310	130	4,38	6,18	500 o
500 v	257	204	14,2	23,0	21	82,1	64,4	4780	247	7,63	1640	160	4,46	6,39	500 v
550 o	278	212	12,7	20,2	24	78,1	61,3	5460	261	8,36	1610	152	4,55	6,89	550 o
550 v	283	216	17,1	25,2	24	101	79,3	7400	355	8,56	2130	197	4,59	7,48	550 v
600 o	305	224	15	24	24	98,4	77,3	8360	368	9,21	2260	202	4,79	7,77	600 o
600 v	309	228	18	28	24	117	91,8	10170	446	9,32	2780	244	4,88	8,12	600 v

تمام تیر آهن ها نه فقط می توانند از وسط دیواره تقسیم شوند بلکه از جای دیگر هم ممکن است .
 در این صورت سپری دیواره بلند یا لبه پهن بوجود می آید (به کتاب "فولاد در ساختمان های بلند" چاپ سیزدهم صفحه ۱۹۹ تا ۲۰۹ مراجعه شود) همچنین ممکن است بین تیر آهن های نیمه شده ورق جوش داده شود (به کتاب "فولاد در ساختمان های بلند" صفحه ۲۵۰ تا ۲۵۷ چاپ سیزدهم مراجعه شود) .

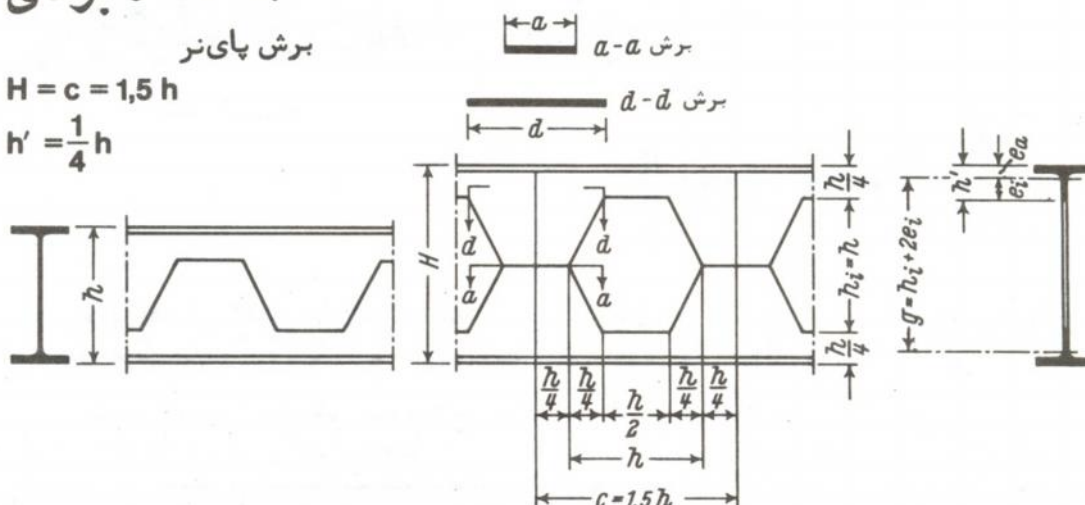
علامت اختصاری	اندازه برای					F cm ³	G kg/m	برای محور خمشی						e _x cm	علامت اختصاری
	h mm	b mm	s mm	t mm	r mm			x-x			y-y				
								J _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	J _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm		
۱/۲ IPB	تیر آهن نیمه لبه پهن با لبه موازی طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۲														۱/۲ IPB
140	70	140	7	12	12	21,5	16,9	53,5	9,36	1,58	275	39,3	3,58	1,29	140
160	80	160	8	13	15	27,1	21,3	91,3	14,0	1,83	444	55,5	4,05	1,48	160
180	90	180	8,5	14	15	32,6	25,6	139	18,9	2,07	681	75,7	4,57	1,62	180
200	100	200	9	15	18	39,0	30,6	204	24,8	2,29	1000	100	5,07	1,77	200
220	110	220	9,5	16	18	45,5	35,7	289	31,8	2,52	1420	129	5,59	1,92	220
240	120	240	10	17	21	53,0	41,6	397	40,0	2,74	1960	163	6,08	2,06	240
260	130	260	10	17,5	24	59,2	46,5	512	47,3	2,94	2570	198	6,58	2,17	260
280	140	280	10,5	18	24	65,7	51,6	673	57,7	3,20	3300	236	7,09	2,32	280
300	150	300	11	19	27	74,5	58,5	871	69,5	3,42	4280	285	7,58	2,47	300
320	160	300	11,5	20,5	27	80,7	63,3	1100	82,3	3,69	4620	308	7,57	2,68	320
340	170	300	12	21,5	27	85,4	67,1	1360	96,7	3,99	4840	323	7,53	2,91	340
360	180	300	12,5	22,5	27	90,3	70,9	1670	113	4,30	5070	338	7,49	3,15	360
400	200	300	13,5	24	27	98,9	77,6	2440	149	4,96	5410	361	7,40	3,66	400
450	225	300	14	26	27	109	85,6	3570	195	5,72	5860	391	7,33	4,23	450
500	250	300	14,5	28	27	119	93,7	5020	249	6,49	6310	421	7,27	4,82	500
550	275	300	15	29	27	127	99,7	6830	310	7,33	6540	436	7,17	5,49	550
600	300	300	15,5	30	27	135	106	9060	381	8,19	6760	451	7,08	6,20	600
650	325	300	16	31	27	143	112	11750	459	9,06	6990	466	6,99	6,94	650
700	350	300	17	32	27	153	120	15280	562	9,99	7220	481	6,87	7,82	700
800	400	300	17,5	33	30	167	131	23000	751	11,7	7450	497	6,68	9,39	800
900	450	300	18,5	35	30	186	146	33770	996	13,5	7910	525	6,53	11,1	900
1000	500	300	19	36	30	200	157	46560	1250	15,3	8140	545	6,38	12,9	1000
۱/۲ IPB1	تیر آهن نیمه لبه پهن با لبه موازی نوع سبک طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۳														۱/۲ IPB1
140	66,5	140	5,5	8,5	12	15,7	12,3	37,5	6,79	1,55	195	27,8	3,52	1,13	140
160	76,0	160	6	9	15	19,4	15,2	61,5	9,72	1,78	308	38,4	3,98	1,28	160
180	85,5	180	6	9,5	15	22,6	17,8	89,1	12,4	1,98	462	51,4	4,52	1,37	180
200	95,0	200	6,5	10	18	26,9	21,1	133	16,6	2,22	668	66,8	4,98	1,52	200
220	105	220	7	11	18	32,2	25,3	194	21,9	2,45	977	88,8	5,51	1,66	220
240	115	240	7,5	12	21	38,4	30,2	273	28,2	2,67	1380	115	6,00	1,81	240
260	125	260	7,5	12,5	24	43,4	34,1	355	33,5	2,86	1830	141	6,50	1,91	260
280	135	280	8	13	24	48,6	38,2	477	41,8	3,13	2380	170	7,00	2,06	280
300	145	300	8,5	14	27	56,3	44,2	630	51,2	3,35	3150	210	7,49	2,21	300
320	155	300	9	15,5	27	62,2	48,8	808	61,7	3,60	3490	233	7,49	2,41	320
340	165	300	9,5	16,5	27	66,7	52,4	1020	73,5	3,91	3720	248	7,46	2,64	340
360	175	300	10	17,5	27	71,4	56,0	1270	86,7	4,22	3940	263	7,43	2,87	360
400	195	300	11	19	27	79,5	62,4	1900	118	4,88	4280	285	7,34	3,39	400
450	220	300	11,5	21	27	89,0	69,9	2820	156	5,62	4730	316	7,29	3,94	450
500	245	300	12	23	27	98,8	77,5	4020	201	6,38	5180	346	7,24	4,51	500
550	270	300	12,5	24	27	106	83,1	5530	253	7,23	5410	361	7,15	5,17	550
600	295	300	13	25	27	113	88,9	7400	313	8,08	5640	376	7,05	5,87	600
650	320	300	13,5	26	27	121	94,8	9670	381	8,95	5860	391	6,97	6,61	650
700	345	300	14,5	27	27	130	102	12740	472	9,89	6090	406	6,84	7,50	700
800	395	300	15	28	30	143	112	19330	635	11,6	6320	421	6,65	9,06	800
900	445	300	16	30	30	160	126	28710	851	13,4	6770	452	6,50	10,8	900
1000	495	300	16,5	31	30	173	136	39840	1080	15,2	7000	467	6,35	12,5	1000
۱/۲ IPBv	تیر آهن نیمه لبه پهن با لبه موازی نوع سنگین طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۴														۱/۲ IPBv
140	80	146	13	22	12	40,3	31,6	132	21,5	1,81	572	78,4	3,77	1,87	140
160	90	166	14	23	15	48,5	38,1	205	29,5	2,05	879	106	4,26	2,05	160
180	100	186	14,5	24	15	56,6	44,5	296	37,9	2,29	1290	139	4,77	2,20	180
200	110	206	15	25	18	65,6	51,5	413	47,8	2,51	1830	177	5,27	2,35	200
220	120	226	15,5	26	18	74,7	58,7	561	59,1	2,74	2510	222	5,79	2,50	220
240	135	248	18	32	21	99,8	78,4	918	86,5	3,03	4080	329	6,39	2,89	240
260	145	268	18	32,5	24	110	86,2	1160	101	3,24	5220	390	6,90	3,01	260
280	155	288	18,5	33	24	120	94,3	1460	119	3,49	6580	457	7,40	3,15	280
300	170	310	21	39	27	152	119	2170	161	3,78	9700	626	8,00	3,55	300
320/305	160	305	16	29	27	113	88,3	1450	111	3,59	6870	450	7,81	3,00	320/305
320	179,5	309	21	40	27	156	122	2550	179	4,04	9850	638	7,95	3,74	320
340	188,5	309	21	40	27	158	124	2950	198	4,32	9850	638	7,90	3,91	340
360	197,5	308	21	40	27	159	125	3390	217	4,61	9760	637	7,83	4,10	360
400	216	307	21	40	27	163	128	4430	259	5,22	9670	630	7,70	4,50	400
450	239	307	21	40	27	168	132	6000	318	5,98	9670	630	7,59	5,03	450
500	262	306	21	40	27	172	135	7880	382	6,76	9580	626	7,46	5,59	500
550	286	306	21	40	27	177	139	10210	456	7,59	9580	626	7,35	6,22	550
600	310	305	21	40	27	182	143	12920	536	8,43	9490	622	7,22	6,88	600
650	334	305	21	40	27	187	147	16070	622	9,27	9490	622	7,13	7,56	650
700	358	304	21	40	27	192	151	19650	714	10,1	9400	618	7,01	8,28	700
800	407	303	21	40	30	202	159	28430	920	11,9	9310	615	6,79	9,81	800
900	455	302	21	40	30	212	166	39050	1150	13,6	9230	611	6,60	11,4	900
1000	504	302	21	40	30	222	174	52170	1400	15,3	9230	611	6,45	13,1	1000

حماله لانه زنبوری

برش پای نر

$$H = c = 1,5 h$$

$$h' = \frac{1}{4} h$$



حماله غلطک خورده	h mm	H mm	e _a mm	e _i mm	g mm	برای یک سطح مقطع کمربندی					سطح مقطع ستون					
						F _g cm ²	J _{xg} cm ⁴	W _{xi} cm ³	W _{xa} cm ³	S _{xg} cm ³	F _a cm ²	J _a cm ⁴	W _a cm ³	F _d cm ²	J _d cm ⁴	W _d cm ³
حماله لانه زنبوری از تیر آهن نیم عریض IPE IPE _o IPE _v																
IPE 180	180	270	8,8	36,2	252	9,6	10,5	2,9	11,9	3,5	4,8	32,2	7,2	9,5	258	28,6
IPE _o 180	182	273	9,3	36,2	254	10,8	12	3,3	12,9	4	5,5	37,7	8,3	10,9	301	33,1
IPE 200	200	300	9,7	40,3	281	11,4	15,3	3,8	15,8	4,7	5,6	46,7	9,3	11,2	373	37,3
IPE _o 200	202	303	10,1	40,4	283	12,9	17,2	4,3	17	5,2	6,3	53,2	10,5	12,5	426	42,2
IPE 220	220	330	10,5	44,5	309	13,4	21,6	4,9	20,7	6	6,5	65,4	11,9	13	523	47,6
IPE _o 220	222	333	10,9	44,6	311	15	24,4	5,5	22,3	6,7	7,3	75,2	13,6	14,7	602	54,2
IPE 240	240	360	11,3	48,7	337	15,8	29,7	6,1	26,3	7,6	7,4	89,3	14,9	14,9	714	59,5
IPE _o 240	242	363	11,9	48,6	339	17,6	33,8	6,9	28,5	8,5	8,5	103	17,1	16,9	827	68,3
IPE 270	270	405	12,4	55,1	380	18,5	45,4	8,2	36,5	10,2	8,9	135	20	17,8	1080	80,2
IPE _o 270	274	411	13,2	55,3	385	22,4	52,9	9,6	40,2	11,8	10,3	161	23,5	20,5	1290	93,8
IPE 300	300	450	13,7	61,3	423	21,6	67,3	11	49,2	13,5	10,6	200	26,6	21,3	1600	106
IPE _o 300	304	456	14,3	61,7	427	25,3	77,5	12,6	54,2	15,4	12,2	234	30,8	24,3	1870	123
IPE 330	330	495	15	67,5	465	25,1	94,8	14,1	63,1	17,3	12,4	281	34	24,8	2250	136
IPE _o 330	334	501	15,8	67,7	469	29,2	109	16,1	69,4	19,8	14,2	330	39,5	28,4	2640	158
IPE 360	360	540	16,4	73,6	507	29,2	131	17,8	80,1	21,9	14,4	389	43,2	28,8	3110	173
IPE _o 360	364	546	17,3	73,7	511	33,7	152	20,7	88,2	25,3	16,7	462	50,8	33,5	3700	203
IPE 400	400	600	18,5	81,5	563	33,6	193	23,6	104	28,9	17,2	573	57,3	34,4	4590	229
IPE _o 400	404	606	19,3	81,7	567	38,4	220	26,9	114	32,8	19,6	666	66	39,2	5330	264
IPE _v 400	408	612	20	82	572	42,7	244	29,7	122	36,1	21,6	750	73,5	43,2	6000	294
IPE 450	450	675	21,2	91,3	633	38,8	297	32,6	140	39,3	21,1	892	79,3	42,3	7140	317
IPE _o 450	456	684	22,4	91,6	639	46,3	353	38,6	158	46,4	25,1	1090	95,3	50,2	8690	381
IPE _v 450	460	690	23,5	91,5	643	51,7	400	43,8	171	52,3	28,5	1260	109	57	10060	437
IPE 500	500	750	24	101	702	45	440	43,5	183	52,2	25,5	1330	106	51	10620	425
IPE _o 500	506	759	25,3	101	708	53,2	522	51,6	206	61,6	30,4	1620	128	60,7	12950	512
IPE _v 500	514	771	27,1	101	717	63,8	629	62	232	73,4	36,5	2010	156	73	16070	625
IPE 550	550	825	26,9	111	771	51,9	632	57,1	234	68	30,5	1920	140	61	15390	560
IPE _o 550	556	834	28,1	111	778	60,4	732	66	260	78,3	35,3	2270	164	70,6	18190	654
IPE _v 550	566	849	31,5	110	786	76,8	983	89,3	312	104	48,4	3230	228	96,8	25840	913
IPE 600	600	900	29,8	120	840	60	881	73,3	296	86,8	36	2700	180	72	21600	720
IPE _o 600	610	915	32	120	851	75,5	1120	92,7	349	109	45,8	3550	233	91,5	28370	930
IPE _v 600	618	927	34,3	120	858	89,1	1350	112	393	130	55,6	4420	286	111	35400	1150

مقادیر تابلو برای محاسبات ساده شده استاتیکی بکار می‌روند. انواع دیگر برش ممکن است. برای محاسبه سطح مقطع لازم باید به‌طور خاص بدست آیند. برای بدست آوردن حماله لانه زنبوری تیر آهن غلطک خورده (به صفحه ۵ تا ۸ مراجعه شود) را به‌طور دندانه‌ای از دیواره می‌برند. قطعات بریده شده را بصورت حماله‌ای با ارتفاع بیشتر بهم جوش می‌دهند. در این ضمن ممکن است ورقه‌هایی با ارتفاع‌های مختلف بصورت لائی بین آنها اضافه کنند. حماله‌های لانه زنبوری را ممکن است بصورت قوسی یا خم شده به‌شکل زین و یا بصورت حماله دوزنقه‌ای ارسال داشت.

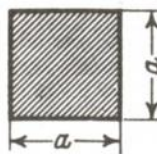
حاله غلطک خورده	برای یک سطح مقطع کمر بندی					سطح مقطع ستون										
	h mm	H mm	e_a mm	e_j mm	g mm	F_g cm ²	J_{xg} cm ⁴	W_{xi} cm ³	W_{xa} cm ³	S_{xg} cm ³	F_a cm ²	J_a cm ⁴	W_a cm ³	F_d cm ²	J_d cm ⁴	W_d cm ³
IPB	حاله لانه زنبوری از تیر آهن عریض طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۲															
180	180	270	9,4	35,6	251	28,8	19	5,3	20,2	8	7,6	51,6	11,5	15,3	413	45,9
200	200	300	10,2	39,8	279	34,5	27,9	7	27,3	10,5	9	75	15	18	600	60
220	220	330	10,9	44,1	308	40,3	38,9	8,8	35,5	13,2	10,4	105	19,2	20,9	843	76,6
240	240	360	11,8	48,2	336	47	53,7	11,1	45,6	16,6	12	144	24	24	1150	96
260	260	390	12,3	52,7	365	52,7	69,3	13,2	56,2	19,8	13	183	28,2	26	1470	113
280	280	420	12,9	57,1	394	58,3	89,6	15,7	69,5	23,2	14,7	240	34,3	29,4	1920	137
300	300	450	13,7	61,3	423	66,3	116	19	84,9	28,2	16,5	309	41,2	33	2470	165
320	320	480	14,8	65,2	450	71,5	146	22,3	96,4	32,8	18,4	392	49,1	36,8	3140	196
340	340	510	15,8	69,2	478	75,2	179	25,8	114	37,2	20,4	491	57,8	40,8	3930	231
360	360	540	16,7	73,3	506	79,1	218	29,7	130	42	22,5	607	67,5	45	4860	270
400	400	600	18,7	81,3	563	85,4	313	38,5	168	52,3	27	900	90	54	7200	360
450	450	675	20,9	91,6	633	93,2	456	49,8	218	65,8	31,5	1330	118	63	10630	472
500	500	750	23,3	102	703	101	640	63	275	81,5	36,2	1890	151	72,5	15100	604
550	550	825	25,6	112	774	106	872	78	340	98,5	41,3	2600	189	82,5	20800	756
600	600	900	28,1	122	844	112	1160	95,2	413	118	46,5	3490	232	93	27900	930
650	650	975	30,7	132	914	117	1510	115	493	141	52	4580	282	104	36620	1130
700	700	1050	33,8	141	982	123	1980	140	587	171	59,5	6070	347	119	48590	1390
800	800	1200	39,3	161	1121	132	3030	188	770	227	70	9330	467	140	74670	1870
900	900	1350	45,6	179	1259	144	4500	251	986	298	83,2	14050	624	166	112400	2500
1000	1000	1500	51,9	198	1396	152	6290	317	1210	373	95	19790	792	190	158300	3170
IPBI	حاله لانه زنبوری از تیر آهن عریض نوع سبک طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۳															
180	171	256	7,3	35,5	242	20,1	11,7	3,3	16,1	4,8	5,1	31,3	7,3	10,3	250	29,2
200	190	285	8	39,5	269	23,8	17,5	4,4	22	6,3	6,2	46,4	9,8	12,3	371	39,1
220	210	315	8,6	43,9	298	28,5	25,2	5,8	29,2	8,2	7,3	67,5	12,9	14,7	540	51,4
240	230	345	9,5	48	326	34,1	35,9	7,5	37,9	10,8	8,6	95,1	16,5	17,3	760	66,1
260	250	375	10	52,5	355	38,7	47	9	46,9	13	9,4	122	19,5	18,8	977	76,1
280	270	405	10,6	56,9	384	43,2	62,4	11	58,9	15,7	10,8	164	24,3	21,6	1310	97,2
300	290	435	11,4	61,1	412	50,1	82,7	13,5	72,5	19,5	12,3	216	29,8	24,6	1730	119
320	310	465	12,4	65,1	440	55,2	105	16,2	84,8	23,2	13,9	279	36	27,9	2230	144
340	330	495	13,4	69,1	468	58,9	132	19,1	98,7	26,9	15,7	356	43,1	31,3	2840	172
360	350	525	14,4	73,1	496	62,6	164	22,4	114	31	17,5	447	51	35	3570	204
400	390	585	16,3	81,2	552	68,8	243	29,9	149	40	21,4	680	69,7	42,9	5440	279
450	440	660	18,5	91,5	623	76,4	360	39,4	194	51,6	25,3	1020	92,8	50,6	8160	371
500	490	735	20,9	102	693	84,1	514	50,5	246	65,2	29,4	1470	120	58,8	11760	480
550	540	810	23,2	112	764	89	709	63,4	306	80,4	33,8	2050	152	67,5	16400	607
600	590	885	25,6	122	834	94,1	954	78,3	373	98,3	38,3	2780	189	76,7	22250	754
650	640	960	28,2	132	904	99,2	1260	95,3	445	119	43,2	3690	230	86,4	29490	922
700	690	1035	31,4	141	972	105	1670	118	531	145	50	4960	288	100	39700	1150
800	790	1185	36,9	161	1111	113	2570	160	697	194	59,3	7700	390	118	61630	1560
900	890	1335	43,2	179	1249	125	3860	215	895	257	71,2	11750	528	142	94000	2110
1000	990	1485	49,5	198	1386	133	5430	274	1100	323	81,7	16680	674	163	133400	2700
IPBv	حاله لانه زنبوری از تیر آهن عریض نوع سنگین طبق دین ۱۰۲۵ برگ ۴															
180	200	300	14,2	35,8	272	49,4	47,1	13,1	33,1	18,8	14,5	121	24,2	29	967	96,7
200	220	330	15,1	39,9	300	57,4	64,4	16,1	42,8	23,4	16,5	166	30,3	33	1330	121
220	240	360	15,8	44,2	328	65,4	84,7	19,2	53,7	28,1	18,6	223	37,2	37,2	1790	149
240	270	405	18,9	48,6	367	87,6	148	30,5	78,4	44,3	24,3	369	54,7	48,6	2950	219
260	290	435	19,5	53	396	96,8	183	34,5	93,7	50,9	26,1	457	63,1	52,2	3660	252
280	310	465	20	57,5	425	106	223	38,7	111	57,8	28,7	574	74,1	57,3	4590	296
300	340	510	23,2	61,8	464	134	348	56,3	150	83,2	35,7	860	101	71,4	6880	405
320	359	538	24	65,7	490	137	397	60,3	165	89,1	37,7	1010	113	75,4	8100	451
340	377	565	24,5	69,8	516	138	440	63,1	180	92,6	39,6	1170	124	79,2	9380	497
360	395	592	25	73,8	542	139	488	66,2	195	96,1	41,5	1350	136	82,9	10790	546
400	432	648	26,1	81,9	596	140	605	73,9	232	104	45,4	1760	163	90,7	14110	653
450	478	717	27,6	91,9	662	143	788	85,7	286	117	50,2	2390	200	100	19110	800
500	524	786	29,2	102	728	145	1010	99,6	347	131	55	3150	240	110	25180	961
550	572	858	31,1	112	796	147	1300	116	419	148	60,1	4090	286	120	32750	1150
600	620	930	33,1	122	864	149	1650	135	497	167	65,1	5210	336	130	41710	1350
650	668	1002	35,2	132	932	152	2050	156	583	189	70,1	6520	390	140	52160	1560
700	716	1074	37,5	141	999	154	2520	178	672	214	75,2	8030	449	150	64240	1790
800	814	1221	42,6	161	1136	159	3700	230	869	274	85,5	11800	580	171	94390	2320
900	910	1365	47,9	180	1269	164	5160	287	1080	339	95,5	16480	725	191	131900	2900
1000	1008	1512	53,8	198	1404	169	7000	353	1300	413	106	22400	889	212	179200	3560

میل گرد و چهار گوش



طول استاندارد در قطرهای d

۵ تا کمتر از ۷۰ مم ۶ تا ۱۲ متر
۷۰ تا کمتر از ۱۲۰ مم ۳ تا ۹ متر
۱۲۰ مم به بالا ۳ تا ۷ متر



طول استاندارد در اضلاع a

۸ تا کمتر از ۷۰ مم ۶ تا ۱۲ متر
۷۰ مم به بالا ۳ تا ۹ متر

آهن گرد (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۱۳ انتشار اکتبر ۱۹۶۳							
d mm	F cm ²	G kg/m	W cm ³	d mm	F cm ²	G kg/m	W cm ³
5*	0,196	0,154	0,012	40*	12,6	9,86	6,28
5,5	0,238	0,187	0,016	41	13,2	10,4	6,77
6*	0,283	0,222	0,021	42	13,9	10,9	7,27
6,5	0,332	0,260	0,027	43	14,5	11,4	7,81
7	0,385	0,302	0,034	44	15,2	11,9	8,36
7,5	0,442	0,347	0,041	45	15,9	12,5	8,95
8*	0,503	0,395	0,050	46	16,6	13,0	9,56
8,5	0,567	0,445	0,060	47	17,3	13,6	10,2
9	0,636	0,499	0,072	48	18,1	14,2	10,9
9,5	0,709	0,556	0,084	49	18,9	14,8	11,6
10*	0,785	0,617	0,098	50	19,6	15,4	12,3
10,5	0,866	0,680	0,114	51	20,4	16,0	13,0
11	0,950	0,746	0,131	52	21,2	16,7	13,8
11,5	1,04	0,815	0,149	53	22,1	17,3	14,6
12*	1,13	0,888	0,170	54	22,9	18,0	15,5
12,5	1,23	0,963	0,192	55	23,8	18,7	16,3
13	1,33	1,04	0,216	56	24,6	19,3	17,2
13,5	1,43	1,12	0,241	57	25,5	20,0	18,2
14*	1,54	1,21	0,269	58	26,4	20,7	19,2
14,5	1,65	1,30	0,299	59	27,3	21,5	20,2
15	1,77	1,39	0,331	60	28,3	22,2	21,2
15,5	1,89	1,48	0,366	62	30,2	23,7	23,4
16*	2,01	1,58	0,402	63	31,2	24,5	24,5
16,5	2,14	1,68	0,441	64	32,2	25,3	25,8
17	2,27	1,78	0,482	65	33,2	26,0	27,0
17,5	2,41	1,89	0,526	66	34,2	26,8	28,2
18*	2,55	2,00	0,573	67	35,3	27,7	29,5
18,5	2,69	2,11	0,622	68	36,3	28,5	30,9
19	2,84	2,23	0,673	70	38,5	30,2	33,7
19,5	2,99	2,34	0,728	72	40,7	32,0	36,6
20*	3,14	2,47	0,785	73	41,9	32,9	38,2
20,5	3,30	2,59	0,846	75	44,2	34,7	41,4
21	3,46	2,72	0,909	76	45,4	35,6	43,1
21,5	3,63	2,85	0,976	78	47,8	37,5	46,6
22*	3,80	2,98	1,05	80	50,3	39,5	50,3
22,5	3,98	3,12	1,12	83	54,1	42,5	56,1
23	4,15	3,26	1,19	85	56,7	44,5	60,3
23,5	4,34	3,40	1,27	88	60,8	47,7	66,9
24	4,52	3,55	1,36	90	63,6	49,9	71,6
24,5	4,71	3,70	1,44	95	70,9	55,6	84,2
25*	4,91	3,85	1,53	100	78,5	61,7	98,2
25,5	5,11	4,01	1,63	105	86,6	68,0	114
26	5,31	4,17	1,73	110	95,0	74,6	131
26,5	5,52	4,33	1,83	115	104	81,5	149
27	5,73	4,49	1,93	120	113	88,8	170
27,5	5,94	4,66	2,04	125	123	96,3	192
28*	6,16	4,83	2,16	130	133	104	216
28,5	6,38	5,01	2,27	135	143	112	241
29	6,61	5,19	2,39	140	154	121	269
29,5	6,83	5,37	2,52	145	165	130	299
30	7,07	5,55	2,65	150	177	139	331
31	7,55	5,92	2,92	155	189	148	366
31,5	7,79	6,12	3,07	160	201	158	402
32*	8,04	6,31	3,22	165	214	168	441
33	8,55	6,71	3,53	170	227	178	482
34	9,08	7,13	3,86	(175)	241	189	527
35	9,62	7,55	4,21	180	255	200	573
36*	10,2	7,99	4,58	(185)	269	211	622
37	10,8	8,44	4,97	190	284	223	673
38	11,3	8,90	5,39	200	314	247	785
39	11,9	9,38	5,82	210	346	278	909
				220	380	298	1050

از اندازه‌هایی
که در پرانتز جا
دارند حتی المقدور
صرف نظر شود.

(*) این قطرها
هم تراز دین
۴۸۸ برگ ۲
فولاد بتون
(انتشار آوریل
باطول (۱۹۷۲
استاندارد ۱۲
تا ۱۴ متری
هستند.

فولاد ستون با
 $d = 32, 36$ و
۴۰ میلیمتر فقط
با پره‌های عریض
یافت میشوند.

آهن چهار گوش (گرم غلطک خورده) طبق دین ۱۰۱۴		
a mm	F cm ²	G kg/m
6	0,360	0,283
7	0,490	0,385
8	0,640	0,502
9	0,810	0,636
10	1,00	0,785
(11)	1,21	0,950
12	1,44	1,13
13	1,69	1,33
14	1,96	1,54
15	2,25	1,77
16	2,56	2,01
17	2,89	2,27
18	3,24	2,54
19	3,61	2,83
20	4,00	3,14
21	4,41	3,46
21,5	4,62	3,63
22	4,84	3,80
23	5,29	4,15
24	5,76	4,52
25	6,25	4,91
26	6,76	5,31
26,5	7,02	5,51
28	7,84	6,15
29	8,41	6,60
30	9,00	7,07
32	10,2	8,04
(33)	10,9	8,55
34	11,6	9,07
35	12,3	9,62
(36)	13,0	10,2
37	13,7	10,7
38	14,4	11,3
40	16,0	12,6
42	17,6	13,8
43	18,5	14,5
45	20,3	15,9
47	22,1	17,3
48	23,0	18,1
50	25,0	19,6
52	27,0	21,2
55	30,3	23,7
56	31,4	24,6
(57)	32,5	25,5
60	36,0	28,3
63	39,7	31,2
65	42,3	33,2
70	49,0	38,5
(73)	53,3	41,8
75	56,3	44,2
80	64,0	50,2
(83)	68,9	54,1
85	72,3	56,7
90	81,0	63,6
(93)	86,5	67,9
100	100	78,5
(103)	106	83,3
110	121	95,0
120	144	113
130	169	133
140	196	154
150	225	177

$I [cm] = d/4$ (در صورتی که d بر
حسب سم باشد)