فصل ۱۲

طراحی اتصالات مفصلی

طراحی کاربردی سازه های فولادی (جلد دو)- محسن گرامی

فهرست:

۱۲-۱	پیشگفتار	۲
۱۲-۲	طراحی اتصال ساده با نبشی نشیمن	۳
۱۲-۳	طراحی اتصال ساده با نبشی جان	۱۱
۱۲-۴	طراحی اتصال ساده با نشیمن تقویت شده (اتصال براکت)	۱۹
۱۲-۵	مسائل فصل	۲۸

۱۲-۱ پیشگفتار

بررسی دقیق عملکرد اتصالات در سازه‌های فولادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و عدم دقت در طراحی و اجرای اتصالات در این سازه‌ها، نه تنها موجب خرابی در خود اتصال می‌شود، بلکه اثرات ویران‌کننده‌ای نیز بر اعضای سازه و در نتیجه کل سازه خواهد داشت. براساس اطلاعات موجود، اغلب ویرانیها در سازه‌های فولادی در اثر ضعف عملکرد اتصالات گزارش شده است. بنابراین درک صحیح از رفتار سازه‌ای اتصال و آگاهی مناسب از نحوه انتقال نیرو توسط آن، برای طراحی یک اتصال ایمن و اقتصادی ضروری است. در طراحی یک اتصال در یک سازه فولادی باید علاوه بر حصول اطمینان از نحوه صحیح انتقال نیرو، به اجرایی بودن و امکان ساخت آن با امکانات موجود توجه نمود. این موضوع در مورد سازه‌هایی که قرار است در مقابل نیروهای ناشی از اثرات زلزله مقاوم باشند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این فصل به دو قسمت عمده زیر تقسیم می‌شود:

الف- اتصالات تیر به ستون

ب- وصله تیرها و ستونها

بر حسب درجه صلبیت، اتصالات تیر به ستون به سه رده زیر تقسیم می‌شوند:

الف) اتصالات ساده (S) [1]

در این اتصالات، گیرداری چرخشی در انتهای اعضا در حدی که عملاً امکان آن وجود دارد، پایین نگاه داشته می‌شود. اگر زاویه اصلی بین اعضای متقاطع امکان تغییری تا حدود ۸۰ درصد مقدار چرخش تئوریک اتصال مفصلی و کاملاً بدون اصطکاک را دارا باشد، اتصال را می‌توان ساده محسوب نمود.

ب) اتصالات نیمه صلب (PR) [2]

در این اتصالات، درجه صلبیت بین ۲۰ تا ۹۰ درصد است. به عبارت دیگر می‌توان فرض کرد که در اتصالات نیمه صلب لنگر انتقالی توسط اتصال، نه مانند اتصالات ساده صفر یا مقدار کوچکی است و نه مثل اتصال صلب انتقال کامل لنگر را داریم. محدودیت استفاده از این نوع اتصال عمدتا به خاطر اشکالاتی است که در تخمین صحیح درجه گیرداری آنها وجود دارد. در این فصل به طراحی اتصالات ساده و صلب می‌پردازیم.

ج) اتصالات صلب (FR) [3]

در این اتصالات پیوستگی کامل در محل اتصال برقرار است به گونه‌ای که زاویه اولیه بین اعضای متقاطع در محل اتصال ثابت نگاه داشته می‌شود. این عمل با تامین درجه گیرداری چرخشی در حدود ۹۰ درصد یا بیشتر که برای جلوگیری از تغییر زاویه ضرورت دارد، انجام می‌پذیرد.

در این نوع اتصال فرض می‌شود که تیر در محل اتصال می‌تواند کاملا دوران نماید. بدیهی است این فرض جنبه تئوری دارد و در عمل درصدی گیرداری ایجاد می‌شود. این اتصال برای انتقال نیروی برشی طرح می‌گردد. انواع اتصالات ساده عبارتند از:

---

[1] Simple Connection
[2] Partially Restrained
[3] Fully Restrained

الف) اتصال ساده با نبشی نشیمن

ب) اتصال ساده با نبشی جان

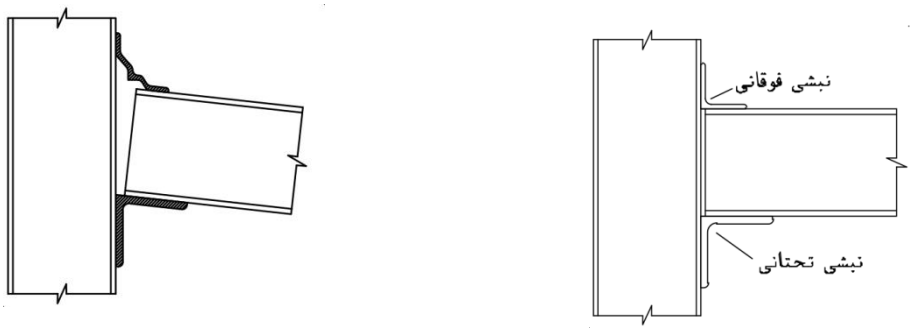
پ) اتصال ساده با نشیمن تقویت شده (اتصال براکت)

ت) اتصال خورجینی (اتصال قیچی)

ث) اتصال با نبشی‌های جان یکطرفه

۱۲-۲ طراحی اتصال ساده با نبشی نشیمن

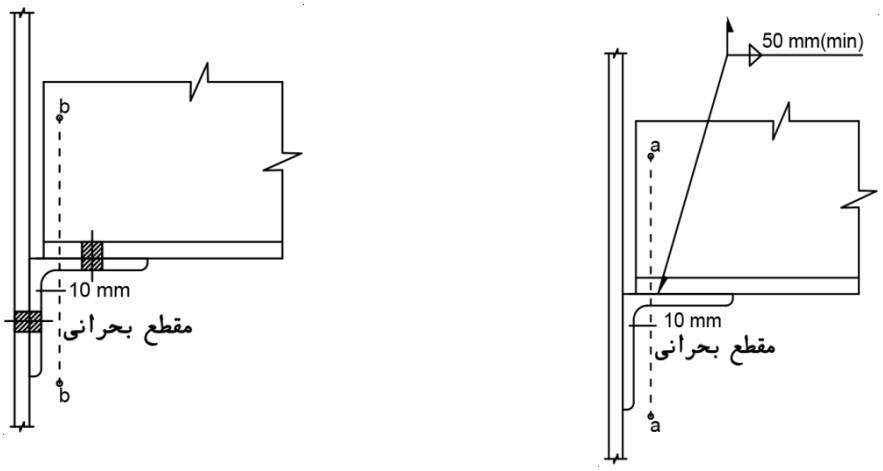
این اتصال، از اتصالات ساده ارتجاعی است که امکان دوران انتهایی تیر به همراه قطعات اتصال ممکن است. در این نوع اتصالات تیر بر روی یک نشیمن تقویت نشده (انعطاف پذیر) قرار می‌گیرد. این اتصال متشکل از یک نبشی نشیمن می‌باشد که به کمک جوش یا پیچ به ستون متصل است. برای جلوگیری از چپ شدن تیر، لازم است حداقل یک نبشی در بال فوقانی و یا جان تیر، برای اتصال به ستون در نظر گرفته شود. این نبشی باید انعطاف پذیر باشد تا از چرخش تکیه‌گاهی تیر جلوگیری ننماید. تیر باید به کمک پیچ و یا جوش به نبشی نشیمن متصل گردد. در شکل ۱۲-۱ اتصال ساده با نبشی نشیمن و چگونگی تغییر شکل اتصال نشان داده شده است. این نوع اتصالات برای تحمل عکس‌العملهای ۱۵ تا ۲۰ تن مورد استفاده قرار می‌گیرند.



الف) اتصال نشیمن تقویت نشده **ب) تغییر شکل نبشی نشیمن انعطاف پذیر**

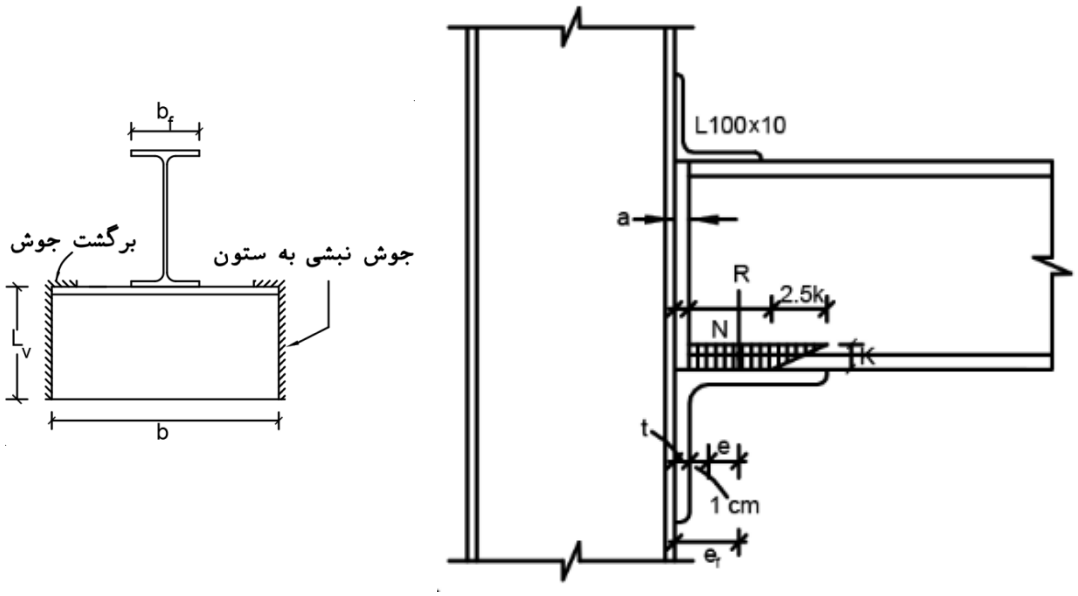
شکل ۱۲-۱ اتصال با نبشی نشیمن انعطاف پذیر

مطابق شکل ۱۲-۲ مقطع بحرانی برای تعیین ضخامت نبشی نشیمن، آغاز گردی گوشه نبشی در بال افقی در نظر گرفته می‌شود. این مقطع حدوداً در فاصله $r_1 = 10mm$ از وجه نبشی منظور می‌گردد.



شکل ۱۲-۲ مقطع بحرانی برای تعیین ضخامت نبشی

لنگر خمشی در مقطع بحرانی نبشی و محل اتصال به بال ستون، از ضرب واکنش تکیه‌گاهی در برون محوری‌های e_f, e بدست می‌آید. واکنش تکیه‌گاهی در مرکز هندسی توزیع تنش تماسی مانند آنچه در شکل ۱۲-۳ آمده در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۲-۳ اعمال واکنش تکیه‌گاهی در مرکز هندسی توزیع تنش تماسی

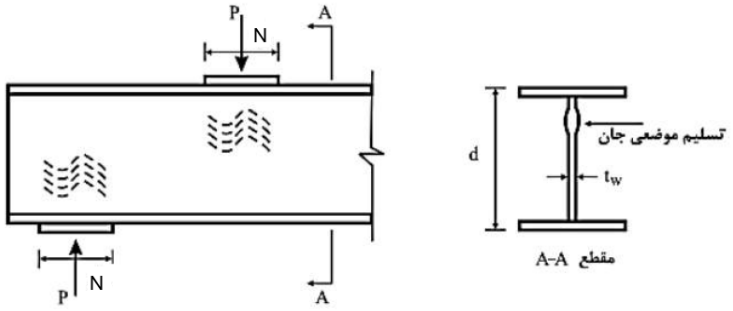
N طول تماس تیر و نبشی نشیمن

طراحی نشیمن تقویت نشده شامل مراحل زیر است:

a- تعیین واکنش تیر در حالت ضریبدار R_u

b- تعیین عرض نشیمن

طول تکیه‌گاه تیر با نبشی، با توجه به عدم جاری شدن موضعی جان محاسبه می‌شود:



بار متمرکز در فاصله بزرگتر از d از انتهای عضو وارد می‌شود.	بار متمرکز در فاصله کوچکتر یا مساوی از d از انتهای عضو وارد می‌شود.	
$R_u \le \phi R_n$ $R_u \le \phi(5K+N)F_{yw}t_w$ $N \ge \frac{R_u}{\phi F_{yw}t_w} - 5K \ge K \ , \ \phi = 1$	$R_u \le \phi R_n$ $R_u \le \phi(2.5K+N)F_{yw}t_w$ $N \ge \frac{R_u}{\phi F_{yw}t_w} - 2.5K \ge K \ , \ \phi = 1$	۱-۱۲

R_u عکس‌العمل ضریبدار تکیه‌گاهی

N طول تماس تیر با نبشی

t_w ضخامت جان تیر

K فاصله وجه بیرونی بال تا آغاز گردی بین جان و بال در مقاطع نوردشده و یا
فاصله وجه بیرونی بال تا انتهای جوش گوشه اتصال بال و جان در مقاطع ساخته‌شده از ورق

a' فاصله آزاد مونتاژ (فرض مناسب حدود ۱ تا ۲ سانتیمتر)

d ارتفاع کلی مقطع تیر

$$\text{عرض نشیمن} \ge N + a' \qquad ۲-۱۲$$

حداقل فاصله آزاد مونتاژ که فاصله آزاد میان تیر و ستون است، ۲ سانتیمتر و حداقل عرض نشیمن ۱۰ سانتی متر توصیه می‌شود (عملا با تعیین عرض نشیمن، شمارهٔ نبشی تعیین می‌گردد).

c- کنترل چروکیدگی جان تیر

با تعیین N، ضوابط چروکیدگی جان بررسی می‌شود:

$$R_u \le \phi R_n \quad ,(\phi = 0.75) \qquad ۳-۱۲$$

R_n به شرح زیر محاسبه می‌گردد.

در صورتی که $\frac{N}{d} \le 0.2$ باشد:

$$R_n = 0.4t_w^2\left[1 + 3\left[\frac{N}{d}\right]\left[\frac{t_w}{t_f}\right]^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \qquad ۴-۱۲$$

در صورتی که $\frac{N}{d} > 0.2$ باشد:

$$R_n = 0.4t_w^2\left[1 + (\frac{4N}{d} - 0.2)\left[\frac{t_w}{t_f}\right]^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \qquad ۵\text{-}۱۲$$

F_{yw} تنش تسلیم فولاد جان برحسب Kg/cm^2

t_w ضخامت جان تیر برحسب (cm)

d ارتفاع کلی مقطع (cm)

R_u واکنش تکیه گاهی ضریبدار

R_n مقاومت اسمی

ϕ ضریب کاهش مقاومت

N : طول تکیه‌گاهی تیر با نبشی (cm)

t_f ضخامت بال تیر برحسب (cm)

E مدول الاستیسیته فولاد

برای مقاطع IPE14~IPE30 مقدار t_f/t_w عددی بین ۱,۴۷ تا ۱,۵۱ است. چنانچه این نسبت با عدد تقریبی ۱,۵۰ جایگزین گردد، روابط فوق برای فولاد S235 به این صورت ساده می‌گردند:

$$\frac{N}{d} \le 0.2 \rightarrow R_n = 34.3\,t_w^2\left(1 + 1.63\frac{N}{d}\right) \rightarrow N_{req} \ge \frac{d}{1.63}\left(\frac{R_u/\phi}{34.3\,t_w^2} - 1\right)$$

$$\frac{N}{d} > 0.2 \rightarrow R_n = 34.3\,t_w^2\left(0.89 + 2.18\frac{N}{d}\right) \rightarrow N_{req} \ge \frac{d}{2.18}\left(\frac{R_u/\phi}{34.3\,t_w^2} - 0.89\right)$$

چنانچه چروکیدگی جوابگو نباشد، عرض تکیه‌گاه باید اصلاح شود و یا از جفت سخت‌کننده قائم و یا ورق تقویتی جان استفاده گردد.

d- تعیین طول نبشی

طول نبشی (b) طبق شکل ۱۲-۳ به اندازه ۱,۵ سانتیمتر از هر طرف، از b_f تیر بزرگتر انتخاب می‌شود.

$$b_{f_b} + 3cm \le b \le b_{f_c} - 3cm \qquad ۶\text{-}۱۲$$

e- تعیین بازوهای لنگر e, e_f

همانطور که قبلاً اشاره شد، مقطع بحرانی خمش در نبشی در فاصله ۱۰ میلیمتری از سطح داخلی نبشی در نظر گرفته می‌شود که با توجه به شکل ۱۲-۴ نتیجه می‌شود:

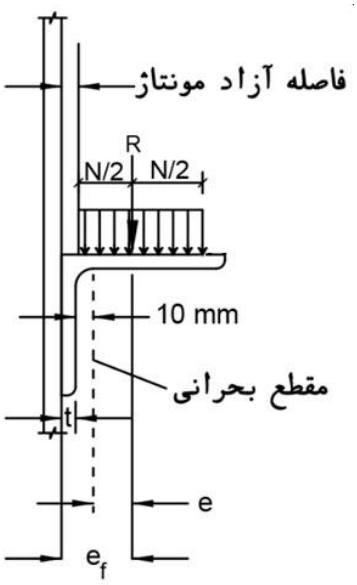
$$e_f = a' + \frac{N}{2} \qquad ۷\text{-}۱۲$$

$$e = e_f - t - 1\,cm \qquad ۸\text{-}۱۲$$

e برون محوری R_u از مقطع بحرانی خمش

e_f برون محوری R_u از هر ستون

t ضخامت بال نبشی



شکل ۱۲-۴ توزیع تنش در محل اعمال واکنش تکیه‌گاهی

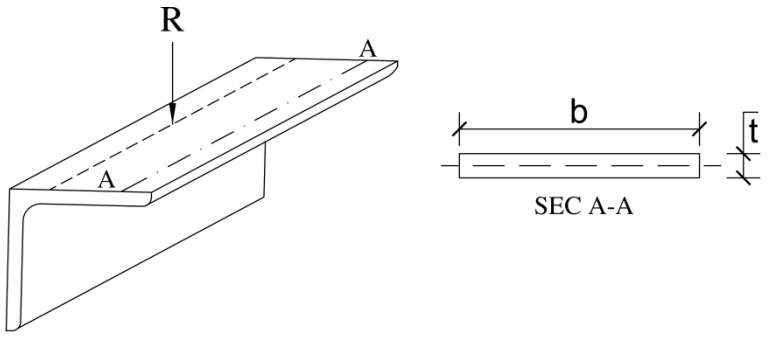
f- تعیین ضخامت نبشی t و بدست آوردن L_v

لنگر خمشی در مقطع بحرانی نبشی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$M_u = R_u e \leq \phi M_n \qquad ۹-۱۲$$

$\phi = 0.9$ ضریب کاهش مقاومت

از طرفی اساس مقطع نبشی در مقطع بحرانی، طبق شکل ۱۲-۵ برابر است با:



شکل ۱۲-۵ اساس مقطع نبشی در خمش حول محور y

$$S_y = \frac{bt^2}{6} \qquad ۱۰-۱۲$$

$$Z_y = \frac{bt^2}{4} \qquad ۱۱-۱۲$$

ضخامت نبشی بر اساس خمش:

$$M_n = M_P = Z_y F_y \leq 1.6 S_y F_y \qquad ۱۲-۱۲$$

در رابطه فوق مقدار $Z_y F_y$ کنترل کننده می باشد. با قرار دادن ۱۲-۱۱ در ۱۲-۱۱ ظرفیت خمشی بدست می‌آید. لازم به ذکر است در مقطع مستطیلی $Z = 1.5\,S$ می‌باشد. بنابراین برای محاسبه M_P عبارت $Z_y F_y$ تعیین کننده خواهد بود.

$$M_n = \frac{bt^2}{4} F_y \qquad ۱۳-۱۲$$

و در نتیجه ضخامت نبشی بر اساس رابطه زیر بدست می آید:

$$M_u \leq \phi_b M_n \quad , \quad (\phi_b = 0.9)$$
$$t \geq \sqrt{\frac{4M_u}{\phi_b b F_y}} \qquad ۱۴-۱۲$$

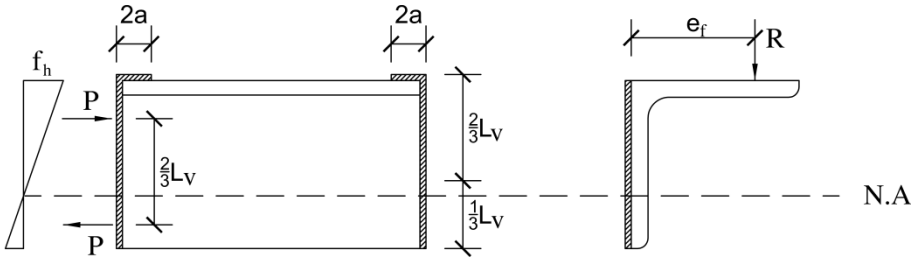
t: ضخامت نبشی

با تعیین ضخامت، نوع نبشی (شماره نبشی) و طول L_V تعیین می‌شود.

g- محاسبه جوش اتصال نبشی به ستون

در مورد طراحی جوشهای اتصال لازم به توضیح است که جوشهای تیر به نبشی نشیمن و نبشی فوقانی معمولاً نیازی به طراحی ندارند و حداقل مقدار جوش جوابگو است. و فقط جوش نبشی به ستون در این مرحله محاسبه می‌شود.

جوش اتصال نبشی به ستون بر اساس روابط ترکیب تنش برشی و خمشی طراحی می‌گردد، با توجه به شکل ۱۲-۶ نتیجه می‌شود:



شکل ۱۲-۶ نمایش مشخصات جوش اتصال

تنش برشی ناشی از بار وارده:

$$f_V = \frac{R_u}{A_w} = \frac{R_u}{2L_V t_e} \qquad ۱۵-۱۲$$

تنش برشی حاصل از لنگر خروج از مرکزیت از رابطه زیر برابر است با:

$$f_h = \frac{M}{S} = \frac{3R_u e_f}{L_V^2 t_e} \qquad ۱۶-۱۲$$

حداکثر تنش برشی برابر می‌شود با:

$$f_{ur} = \sqrt{f_h^2 + f_V^2} \qquad ۱۷-۱۲$$

در نتیجه:

$$f_{ur} = \frac{R_u}{L_V t_e}\sqrt{(\frac{3e_f}{L_V})^2 + 0.25} \qquad ۱۸-۱۲$$

با قرار دادن ۱۲-۱۸ در رابطه $f_{ur} \le \phi F_{nw}$ ضخامت موثر گلوی جوش بدست می آید:

$$t_e \ge \frac{R_u}{\phi F_{nw} L_V}\sqrt{(\frac{3e_f}{L_V})^2 + 0.25} \qquad ۱۹-۱۲$$

t_e ضخامت موثر گلوی جوش

h- کنترل بعد جوش بدست آمده:

بعد جوش بدست آمده باید بیشتر یا مساوی a_w^{min} (از جدول) باشد و از طرفی از a_w^{max} تجاوز نکند. $a_w^{max} = t - 2mm$ است.

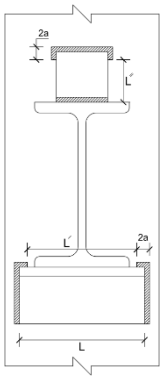
$$a_w^{min} \le a_w \le a_w^{max}$$

i- نکات اجرایی

الف) نبشی فوقانی از حرکت بال تیر جلوگیری می‌کند و محاسباتی نیست و معمولا از L8 یا L10 استفاده می‌شود.

ب) جوش نبشی نشیمن به ستون، جوش کارخانه‌ای و جوش نبشی بالا به ستون، جوش کارگاهی است.

ج) طبق شکل ۱۲-۷ نبشی نشیمن در فاصله L جوش نمی‌شود، زیرا این قسمت تحمل خمش را ندارد و فقط برش را تحمل می‌کند. فاصله L′ نیز به منظور قرارگیری صحیح تیر در اتصال جوش نمی‌شود. همچنین دو قسمت L″ در نبشی فوقانی به هیچ وجه نبایستی جوش شوند زیرا در این صورت فرض مفصلی بودن و دوران تکیه‌گاهی نقض می‌شود.



شکل ۱۲-۷ نمایش جوش نبشی فوقانی و تحتانی در اتصال

مثال ۱-۱۲

هر گاه عکس‌العمل ضریبدار تیری از IPE20 برابر 10ton باشد، اتصال آن را به بال ستون IPB24 به کمک نبشی نشیمن طرح کنید. الکترود E60 و جوش در محل فرض شود.

حل:

$IPE20: K = 2.05cm, t_{wb} = 0.56cm, b_f = 10cm, t_f = 0.85cm, d = 20cm, a' = 2cm$

گام ۱- تعیین واکنش تکیه‌گاهی ضریب دار

$R_u = 10ton$

گام ۲- تعیین عرض نشیمن

$$N = \frac{R_u}{\phi F_{yw} t_w} - 2.5k = \frac{10000}{1\times2400\times0.56} - 2.5 \times 2.05 = 2.31 \geq k$$

عرض نشیمن $\geq N + a' = 2.31 + 2 = 4.31cm$

گام ۳- کنترل چروکیدگی در جان تیر

$$\frac{N}{d} = \frac{2.31}{20} = 0.11 < 0.2$$

$$R_n = 0.4t_w^2 \left[1 + 3\left[\frac{N}{d}\right]\left[\frac{t_w}{t_f}\right]^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

$$R_n = 0.4 \times 0.56^2 \left[1 + 3(\frac{2.31}{20})(\frac{0.56}{0.85})^{1.5}\right]\sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 2400 \times 0.85}{0.56}} = 13004.45\ kg$$

$R_u \leq \phi R_n \quad , (\phi = 0.75)$

$10'000\ kg \leq 0.75 \times 13004.45 = 9753.34\ kg$

چروکیدگی در جان رخ می‌دهد. بنابراین می‌توان با تقویت ورق جان و یا تغییر شمارهٔ پروفیل مشکل جاری شدن جان را برطرف نمود. ضمناً با افزایش N این مشکل را بر طرف می‌کنیم.

N=4

عرض نشیمن $\geq N + a' = 4 + 2 = 6\ cm$

$$\frac{N}{d} = \frac{4}{20} = 0.2 \leq 0.2$$

$$R_n = 0.4t_w^2 \left[1 + 3\left[\frac{N}{d}\right]\left[\frac{t_w}{t_f}\right]^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

$$R_n = 0.4 \times 0.56^2 \left[1 + 3(\frac{4}{20})(\frac{0.56}{0.85})^{1.5}\right]\sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 2400 \times 0.85}{0.56}} = 14491.75\ kg$$

$R_u \leq \phi R_n \quad , (\phi = 0.75)$

$10000kg \leq 0.75 \times 14491.75 = 10868.82\ kg$

گام ٤- تعیین طول نبشی

(بعد ستون ۲۴ سانتیمتر است)

$b \le b_{fc} - 3cm \rightarrow b \le 24 - 3 = 21cm$

$b \ge b_{fb} + 3 = 10 + 3 = 13cm$

گام ٥- تعیین بازوهای لنگر

$e_f = a' + \frac{N}{2} = 2 + \frac{4}{2} = 4\ cm$

$e = e_f - t - 1 = 4 - t - 1 = 3 - t$

گام ٦- تعیین ضخامت نبشی

$M_u = R_u e = 10 \times 10^3 \times (3 - t)$

$M_u \le \phi_b M_n \quad , \quad \phi_b = 0.9 \quad , \quad M_n = \frac{bt^2}{4} F_y$

$10 \times 10^3 \times (3 - t) \le 0.9 \frac{13t^2}{4} 2400 \rightarrow t \ge 1.47cm$

نبشی L15x15x1.5 انتخاب می‌شود (لازم به ذکر است با انتخاب نبشی L15 مقدار عرض نشیمن برابر ۱۵ سانتیمتر می‌شود).

گام ۷- محاسبه جوش نبشی نشیمن به ستون

$t_e \ge \frac{R_u}{\phi F_{nw} L_v} \sqrt{(\frac{3e_f}{L_v})^2 + 0.25}$

$t_e \ge \frac{10 \times 10^3}{0.75(0.6 \times 4200) \times 15} \sqrt{(\frac{3 \times 4}{15})^2 + 0.25} = 0.34\ cm$

$\Rightarrow a'_w = \frac{t_e}{0.707} = \frac{0.34}{0.707} = 0.48\ cm$ مقدار اولیه بعد جوش

گام ۸- کنترل بعد جوش بدست آمده:

$\boldsymbol{a_w^{min} = 6mm \nleq a'_w = 4.8mm \le a_w^{max} = 15 - 2 = 13mm}$

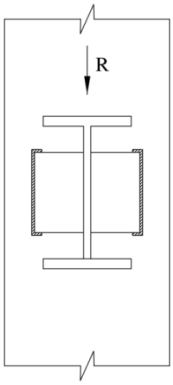
$\rightarrow a_w = 7\ mm$

ساق جوش ۷ میلیمتر قرار داده می‌شود.

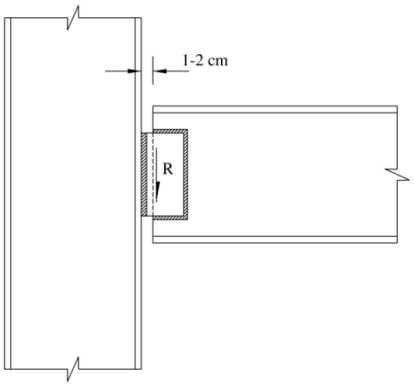
۱۲-۳ طراحی اتصال ساده با نبشی جان

استفاده از نبشی جان یکی از روشهای ساده و معمول در اجرای اتصال مفصلی تیر به ستون و یا تیر به تیر است. این اتصال نیز از اتصالات ساده ارتجاعی است که امکان دوران انتهایی تیر به همراه قطعات اتصال در آن ممکن است. بنابراین نبشی باید تا سرحدّ امکان انعطاف پذیر در نظر گرفته شود.

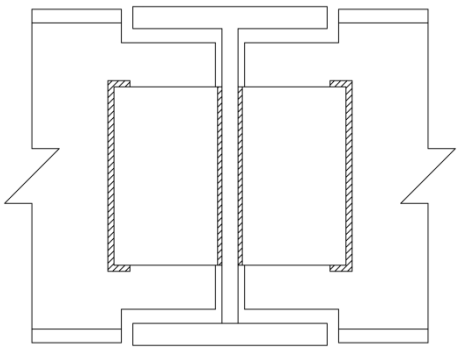
وقتی که از نبشی جان برای اتصال تیر به ستون استفاده می‌گردد، فاصله آزادی در حدود ۱ تا ۲ سانتیمتر در نظر گرفته می‌شود تا نصب تیر ساده باشد. در شکل ۱۲-۸ اتصال یک تیر I شکل به بال ستون توسط یک جفت نبشی نشان داده شده است. وقتی که اتصال تیر به شاهتیر به نحوی انجام می‌گیرد که بالهای فوقانی هر دو در یک تراز واقع می‌شوند، باید قسمتی از بال تیرچه را زبانه کرد، در این حالت مقطع فقط مقدار کمی از بال خود را که در تحمل برش نقش ناچیزی دارد، از دست می‌دهد، بنابراین زبانه کردن تیرها فقط مقدار کوچکی از مقاومت برشی اولیه می‌کاهد.



الف) اتصال نبشی جان از روبرو



ب) اتصال نبشی جان از نمای کناری

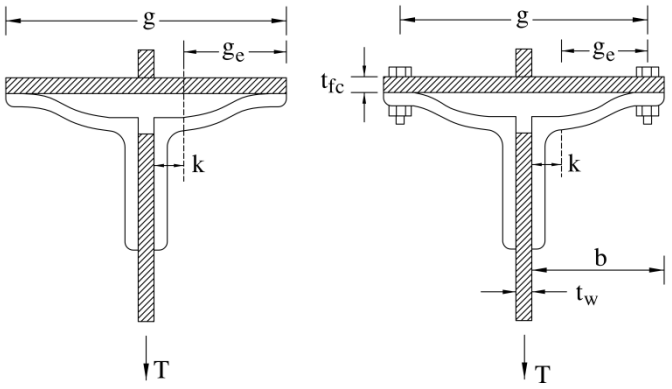


ج) اتصال تیرچه به تیر اصلی

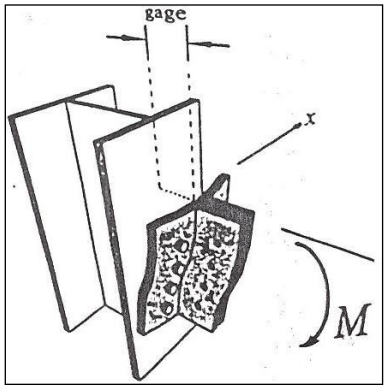
شکل ۱۲-۸ اتصال ساده تیر با نبشی جان

از این نوع اتصال انتظار می‌رود که علاوه بر انعطاف پذیری قابل ملاحظه، فقط قادر باشد نیروی برشی را انتقال دهد. عملکرد واقعی اتصال ساده به کمک نبشی جان به گونه‌ای است که لنگر خمشی ناچیزی را از تیر به ستون منتقل می‌کند. برای اتصال با عملکرد کاملاً انعطاف پذیر، امکان ایجاد تغییر شکل کافی، پارامتر مهمی محسوب می‌شود. اتصالات به کمک نبشی جان باید قادر باشند هماهنگی لازم با چرخش تیر با فرض تکیه‌گاه‌های ساده را فراهم نمایند. پس از اعمال نیرو و وقوع چرخش در اتصال، قسمت بالایی اتصال نبشی

به بال یا جان ستون تحت کشش و بخش پایینی آن تحت فشار خواهد بود. شکل ۱۲-۹ تغییر شکل نبشی‌ها در اتصال و عملکرد قسمت فوقانی نبشی‌های اتصال به ستون را نشان می‌دهد.



الف) تغییر شکل نبشی‌ها در اتصال



ب) عملکرد قسمت فوقانی نبشی‌های اتصال

شکل ۱۲-۹ تغییر شکل اتصال با نبشی جان

مراحل طراحی اتصال با نبشی جان به صورت زیر است:

a- تعیین واکنش تکیه‌گاهی ضریبدار

واکنش تکیه‌گاهی ضریبدار بر اساس بارگذاری بدست می‌آید. به عنوان مثال برای تیر ساده با بار گسترده داریم:

$$R_u = \frac{q_u \times l}{2}$$

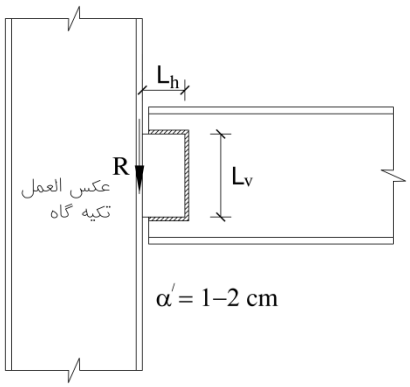
b- تعیین Lh برای حدس اولیه شماره نبشی

به عنوان حدس اولیه معمولاً از L6 یا L12 متناسب با نمرهٔ پروفیل استفاده می‌شود.

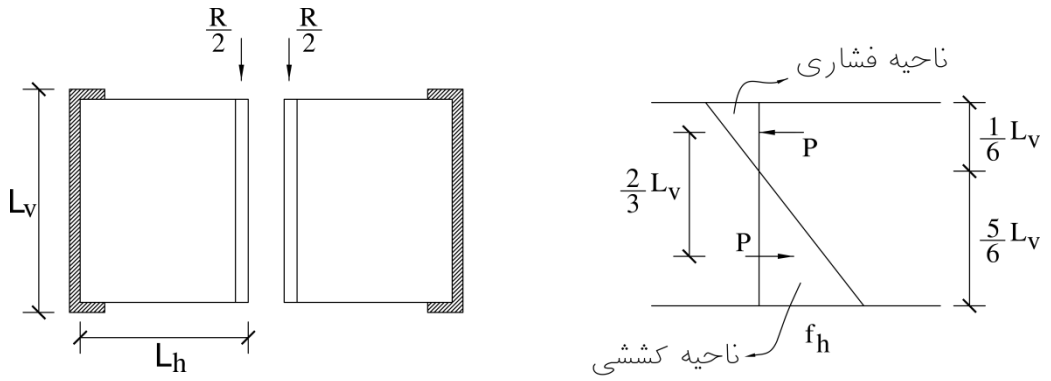
توجه: ضخامت نبشی در حدود ضخامت جان تیر، بعد نبشی ترجیحاً بعد پایین استفاده شود. اگر بعد زیاد شود گیرداری اتصال و بعد جوش آن بالا می رود. ارتفاع نبشی نیز طوری اختیار شود که نبشی داخل جان تیر بتواند قرار گیرد و فضای کافی برای جوشکاری وجود داشته باشد.

c- انتخاب L_v

L_v باید به گونه‌ای انتخاب شود که نبشی در ناحیه صاف جان تیر قرار گیرد. به عنوان توصیه می‌توان L_v را کوچکتر یا مساوی d-2K و یا $\frac{2}{3}d$ در نظر گرفت (d ارتفاع تیر است). در شکل ۱۲-۱۰ L_v و L_h در نبشی‌های اتصال نشان داده شده است.



الف) نمایش L_v و L_h در نبشی اتصال



ب) نمایش توزیع تنش در جوش نبشی به ستون

شکل ۱۲-۱۰ اتصال ساده با نبشی جان

d- کنترل کفایت سایز نبشی بر اساس معیار برش

برای کنترل کفایت نبشی انتخاب شده و ارتفاع آن برای تحمل واکنش های تکیه گاهی بر اساس معیار برش، به صورت زیر عمل می‌شود:

$$V_u \leq \phi_v V_n \qquad ۲۰\text{-}۱۲$$

$$V_u = \frac{R_u}{2}$$
$$V_n = 0.6F_yA_wC_v \quad , \quad A_w = L_vt$$

$\phi_v = 0.9$ضریب کاهش مقاومت

t ضخامت نبشی

L_v ارتفاع نبشی

C_v ضریب برشی جان به شرح زیر:

$$\frac{L_v}{t} \le 1.1\sqrt{\frac{k_vE}{F_y}} \Rightarrow C_v = 1.0 \quad , \quad (k_v = 5) \qquad \text{۲۱-۱۲}$$

اگر در ۱۲-۲۱ مقادیر k_v و E و F_y قرار داده شود، نتیجه می‌شود:

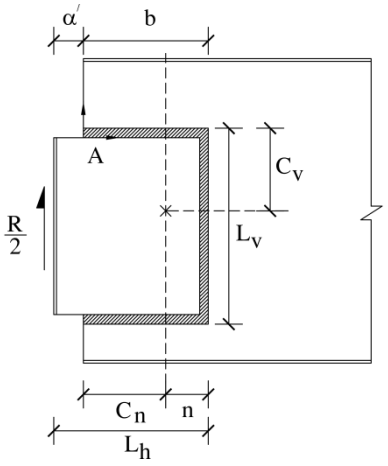
$$\frac{L_v}{t} \le 73 \qquad \text{۲۲-۱۲}$$

اگر نبشی مورد بررسی جوابگو نبود، باید ابعاد نبشی اصلاح گردد.

e- کنترل تنش در جوش نبشی به تیر (جوش ناودانی شکل)

با فرض آنکه واکنشی در لبه نبشی باشد، این واکنش نسبت به مرکز جوش ایجاد لنگر می کند که این لنگر حول محوری عمود بر صفحه جوش است که در این صورت به عنوان لنگر پیچشی خواهد بود. پس جوش مورد نظر تحت اثر همزمان نیروی برشی و لنگر پیچشی طراحی می‌شود.

در این صورت پارامترهای طراحی و مؤلفه های حاصل از تنش، طبق شکل ۱۲-۱۱ عبارتند از:



شکل ۱۲-۱۱ پارامترهای جوش نبشی جان به تیر

a': ۱ تا ۲ سانتیمتر

$$A_w = 2b + L_v \qquad \text{۲۳-۱۲}$$
$$b = L_h - a'$$

A_w مساحت جوش با فرض t_e=1cm

$$T_u = \frac{R_u}{2}(L_h - n) \qquad ۲۴-۱۲$$

T لنگر پیچشی اعمالی بر جوش

مرکز سطح و لنگر اینرسی قطبی جوش از روابط زیر تعیین می‌شود:

$$n = \frac{b^2}{2b+L_v} \qquad ۲۵-۱۲$$

$$I_p = \frac{(2b+L_v)^3}{12} - \frac{b^2(b+L_v)^2}{2b+L_v} \qquad ۲۶-۱۲$$

مؤلفه‌های تنش حاصل از پیچش در نقطه A (نقطه بحرانی) عبارتند از:

$$f_h = \frac{T_u(L_v/2)}{I_p} = \frac{R_u}{2}(L_h - n)\frac{(L_v/2)}{I_p} \qquad ۲۷-۱۲$$

$$f_v = \frac{T_u C_n}{I_p} = \frac{R_u}{2}(L_h - n)\frac{C_n}{I_p} \quad ; \quad C_n = b - n \qquad ۲۸-۱۲$$

f_h مولفه افقی حاصل از پیچش

f_v مولفه قائم حاصل از پیچش

مؤلفه تنش حاصل از برش در نقطه A برابر است با:

$$f'_v = \frac{R_u}{2A_w} = \frac{R_u}{2(2b+L_v)} \qquad ۲۹-۱۲$$

f_v' مولفه قائم حاصل از برش

از ترکیب دو مؤلفه افقی و قائم جوش و با فرض استفاده از الکترود E60 و بازرسی چشمی در محل، تنش کل برابر است با:

$$f_{ur} = \sqrt{f_h^2 + (f_v + f'_v)^2} \le R_{nw} \qquad ۳۰-۱۲$$

در صورتی که ۱۲-۳۰ برقرار نباشد، یعنی بعد جوش بدست آمده از a_{max} تجاوز کند، می‌توان با افزایش طول L_v، بعد جوش را کاهش داد. به گونه‌ای که $a_w^{min} \le a_w \le a_w^{max}$ شود. همانگونه که قبلاً اشاره شد در تعیین بعد جوش نبشی به تیر $a_w^{max} = 0.75\ t_{wb}$ در اکثر موارد تعیین‌کننده است. لازم به ذکر است که جوش نبشی به تیر، کارخانه‌ای و جوش نبشی به ستون کارگاهی است.

f- محاسبه بعد جوش نبشی به ستون

در طراحی این جوش، فرض می‌شود که تنش تکیه گاهی در مرکز ثقل جوش قرار دارد. از آنجا که محور لنگر در صفحه جوش قرار دارد، جوش تحت اثر لنگر خمشی می باشد. جوش مذکور که تحت اثر همزمان برش و خمش قرار دارد و در صفحه yz قرار دارد، نیروی برشی در راستای صفحه جوش، تنش ایجاد می کند و لنگر خمشی در راستای عمود بر صفحه جوش (X) تنش ایجاد می‌کند. در محاسبه تنش ناشی از نیروی برشی از برگشت جوش صرفنظر می‌شود. تنش ناشی از نیروی برشی برابر است با:

$$f_v = \frac{R_u}{2L_v} \qquad ۳۱\text{-}۱۲$$

$$f_x = \frac{M_u}{S} = \frac{R_u(L_h - n)}{S} \qquad ۳۲\text{-}۱۲$$

در محاسبه تنش کششی ناشی از خمش، از برگشت جوش صرف‌نظر نمی‌شود.

شکل جوش به صورت دو نبشی می‌باشد. با توجه به این موضوع و محاسبه اساس مقطع جوش f_x به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$f_x = \frac{M_u}{S} = \frac{3R_u(L_h - n)}{L_v^2} \qquad ۳۳\text{-}۱۲$$

از ترکیب تنشها نتیجه می‌شود:

$$f_{ur} = \sqrt{f_x^2 + f_v^2} = \frac{R_u}{L_v}\sqrt{(\frac{3(L_h - n)}{L_v})^2 + 0.25} \le R_{nw} \qquad ۳۴\text{-}۱۲$$

از ۱۲-۳۴ بعد جوش محاسبه می‌شود.

g- کنترل بعد جوش بدست آمده

بعد جوش بدست آمده باید در محدوده $a_w^{min} \le a_w \le a_w^{max}$ قرار گیرد. اگر جوش نبشی به ستون و جوش نبشی به جان تیر یکسان باشد، حتماً باید رابطه $a_w^{max} = 0.75\ t_{wb}$ کنترل شود، زیرا در اکثر موارد تعیین کننده است.

با تغییر L_v بعد جوش نبشی به ستون تغییر می‌کند و این دو، رابطه عکس دارند. حالت بهینه زمانی رخ می‌دهد که L_v انتخاب شود که $a_w^{min} \le a_w \le a_w^{max}$ برقرار شود.

مثال ۲-۱۲

مطلوبست طراحی اتصال تیر فرعی IPE18 به تیر اصلی با مقطع IPE22 در صورتیکه از الکترود E60 و جوش کارگاهی با کنترل چشمی استفاده شود. واکنش تیر فرعی ناشی از بار مرده 1.5tonf و ناشی از بار زنده 1.0tonf می‌باشد.

حل:

گام ۱- محاسبه واکنش تگیه گاهی نهایی:

$$\begin{cases} 1.4P_D = 1.4 \times 1.5 = 2.1\ ton \\ 1.2P_D + 1.6P_L = 1.2 \times 1.5 + 1.6 \times 1 = 3.4\ ton \end{cases} \rightarrow R_u = max(2.1\ , 3.4) = 3.4\ ton$$

مشخصات IPE18 و IPE22 به شرح زیر می باشد:

$IPE18\ (d = 18cm,\quad b_f = 9.1cm, t_f = 0.8cm, t_w = 0.53cm, K = 1.7cm)$

$IPE22\ (d = 22cm,\ b_f = 11cm, t_f = 0.92cm, t_w = 0.59cm, K = 2.12cm)$

گام ۲- انتخاب پروفیل نبشی

ارتفاع نبشی به گونه ای انتخاب می‌شود که در داخل مقطع تیر با ابعاد کوچکتر قرار گیرد و همچنین جا برای جوشکاری وجود داشته باشد. برای حدس اولیه L6 انتخاب می‌شود.

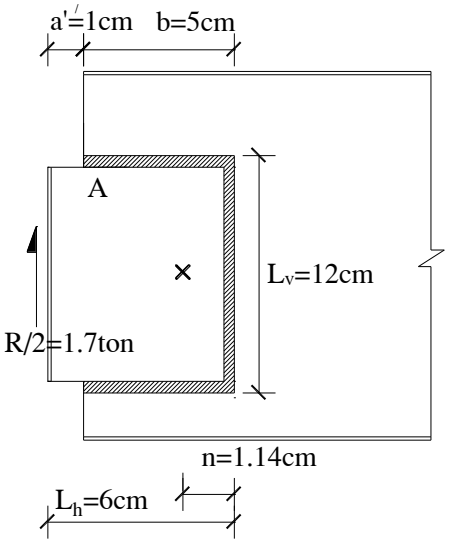
$$L_h = 6\ cm$$
$$L_v \le \frac{2}{3} \times 18 \Longrightarrow L_v \le 12\ cm \Longrightarrow L_v = 12\ cm$$

گام ۳- کنترل کفایت نبشی برای تحمل واکنش بر اساس برش

$$V_u \le \phi_v V_n = 0.9\ V_n$$
$$V_u = \frac{R_u}{2} = \frac{3400}{2} = 1700$$
$$V_n = 0.6 F_y A_w C_v = 0.6 \times 2400 \times (12 \times 0.6) \times 1 = 10368$$
$$1700\ kg \le 0.9 \times 10368 = 9331.2\ kg$$
$$\frac{L_v}{t} = \frac{12}{0.6} = 20 \le 73$$

ابعاد نبشی مناسب می باشد.

گام ٤- طراحی جوش نبشی به تیر (جوش ناودانی شکل)



با توجه به شکل فوق:

$$n = \frac{b^2}{2b + L_v} = \frac{5^2}{2 \times 5 + 12} = 1.14\ cm$$
$$L_h - n = 6 - 1.14 = 4.86\ cm$$
$$f_v' = \frac{R_u}{2A_w} = \frac{R_u}{2(2b + L_v)} = \frac{3400}{2(2 \times 5 + 12)} = 77.3\ \frac{kg}{cm}$$
$$I_p = \frac{(2b + L_v)^3}{12} - \frac{b^2(b + L_v)^2}{2b + L_v} = 559\ cm^3$$

$$f_h = \frac{T_u(L_v/2)}{I_p} = \frac{R_u}{2}(L_h - n)\frac{(L_v/2)}{I_p}$$

$$f_h = \frac{3400 \times 4.86 \times 12}{4 \times 559} = 88.7\ \frac{kg}{cm}$$

$$f_v = \frac{T_u C_n}{I_p} = \frac{R_u}{2}(L_h - n)\frac{C_n}{I_p}, \qquad C_n = b - n$$

$$f_v = \frac{3400 \times 4.86 \times (5 - 1.14)}{2 \times 559} = 57\ \frac{kg}{cm}$$

$$f_{ur} = \sqrt{f_h^2 + (f_v + f_v')^2} \le R_{nw}$$

$$\begin{cases} f_{ur} = \sqrt{88.7^2 + (77.3 + 57)^2} = 161\ \frac{kg}{cm} \\ R_{nw} = 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 a_w = 1336 a_w \end{cases} \rightarrow 161 \le 1336\ a_w$$

مقدار اولیه بعد جوش $a_w \ge 0.12\ cm \rightarrow a_w' = 2\ mm$

مقایسه با حداقل و حداکثر بعد جوش:

ورق نازکتر در جوش نبشی به تیر، جان IPE18 می‌باشد که دارای ضخامت ۰٫۵۳سانتی متر است.

مطابق جدول:

$$a_{min} = 3\ mm$$

از طرفی برای بعد حداکثر داریم:

$$a_{max} = min\{t_w,\ (t - 2mm\ or\ t)\} = min\{5.3\ ,\ (6)\} = 5.3$$

$$a_w^{min} = 3mm \le a_w' = 2mm \le a_w^{max} = 5.3 \rightarrow a_w = 4\ mm$$

$$a_w = 4\ mm \ge 2\ mm$$

اگر بعد جوش محاسباتی بیشتر شود، طرح باید اصلاح گردد و ترجیحاً ارتفاع نبشی افزایش یابد و در مرحله بعد، بعد نبشی افزایش یابد.

گام ۵- طراحی جوش نبشی به جان تیر اصلی

$$f_{ur} = \sqrt{f_x^2 + f_v^2} = \frac{R_u}{L_v}\sqrt{(\frac{3(L_h - n)}{L_v})^2 + 0.25} \le R_{nw}$$

$$\begin{cases} f_{ur} = \frac{3400}{12}\sqrt{(\frac{3(6 - 1.14)}{12})^2 + 0.25} = 372.25 \\ R_{nw} = 1336 a_w \end{cases} \Longrightarrow 372.75 \le 1336 a_w$$

$$\Longrightarrow a_w \ge 0.28\ cm$$

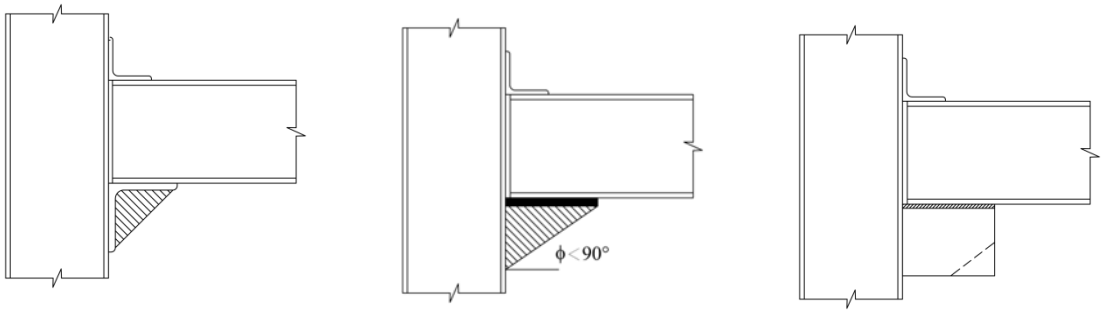
بعد جوش حداقل و حداکثر در اینجا بر اساس ضخامت ورق نازکتر که جان IPE22 و ضخامت نبشی تعیین می‌گردد. ضخامت جان ۵٫۹ میلیمتر و ضخامت نبشی ۶ میلیمتر می‌باشد بنابراین داریم:

$$a_{max} = min\{t_w,\ (t - 2mm\ or\ t)\} = min\{5.9\ ,\ (6)\} = 5.9$$

$$3 \le a_w \le 5.9 \Longrightarrow a_w = 4mm \ge 3mm$$

۱۲-۴ طراحی اتصال ساده با نشیمن تقویت شده (اتصال براکت)

وقتی که برای انتقال واکنشهای تکیه‌گاهی بزرگ تیر به ستون، استفاده از نشیمن‌های انعطاف پذیر جوابگو نباشد، یک راه حل اصولی و مناسب برای انتقال واکنشهای تکیه‌گاهی بزرگ، استفاده از اتصالات ساده نشیمن تقویت شده است. این اتصالات از نوع ساده غیر ارتجاعی هستند که هنگام دوران انتهای تیر، تکیه‌گاه بدون تغییر شکل باقی می‌ماند و حمل عکس‌العمل‌های بیش از 20ton را دارند. بدین معنا که در عکس‌العمل‌های کمتر از ۲۰ تن $(R_u \leq 20\ tonf)$ معمولا از نبشی نشیمن استفاده نمی‌شود. اما در عکس‌العمل‌های بزرگتر از ۲۰ تن از براکت استفاده می‌کنند. این اتصالات هر چند قادر به انتقال واکنشهای تکیه‌گاهی بزرگ هستند، ولی برای انتقال لنگر خمشی طراحی نمی‌شوند. در شکل ۱۲-۱۲ چند نمونه رایج از اتصالات براکت نشان داده شده است.



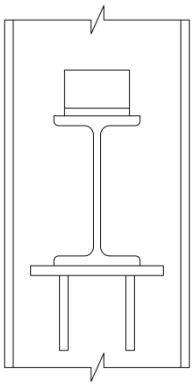
الف- اتصال با ورق مستطیلی شکل **ب- اتصال با ورق مثلثی شکل** **ج- اتصال با نبشی نشیمن سخت شده**

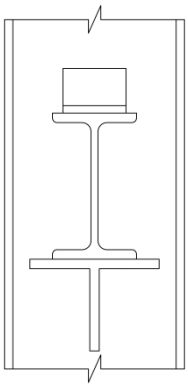
شکل ۱۲-۱۲ نمونه‌های رایج از اتصال براکت

در شکل ۱۲-۱۲-الف اتصال براکت می‌تواند طبق شکل ۱۲-۱۳ از بریده یک نیمرخ I به شکل سپری و یا با استفاده از یک ورق افقی و یک یا چند ورق تقویت قائم اجرا شود. صفحه قائم ممکن است مستطیلی بوده و یا با برش مطابق خط چین، به شکل پنج ضلعی درآورده شده باشد. لازم به ذکر است قسمتهای بریده شده تاثیر چندانی در مقاومت اتصال ندارند و گاهی برای محدودیتهای معماری بریده می‌شوند. در شکل ۱۲-۱۲-ب با ترکیب یک ورق افقی که با جوش نفوذی به بال ستون و یک یا چند ورق مثلثی که با جوش گوشه به بال ستون متصل می‌شوند می‌توان یک اتصال نشیمن تقویت شده (براکت) اجرا نمود.

در شکل ۱۲-۱۲-ج نبشی نشیمن که توسط ورق سخت کننده‌ای تقویت شده است، خاصیت انعطاف پذیری خود را از دست می‌دهد و قادر خواهد بود عکس‌العمل های تکیه‌گاهی بزرگ را منتقل نماید. البته در شکل ۱۲-۱۲-ج طول جوش براکت به نبشی، کمکی به انتقال نیروها به ستون نمی‌کند.

به بیان دیگر، چنانچه نبشی نشیمن مورد استفاده ضعیف باشد، معمولا استفاده از ورق لچکی (مثلثی) به منظور تقویت نبشی گزینه مناسبی است، اما از ورق لچکی نمی‌توان برای تقویت جوش بهره برد. دلیل این امر، انتقال نیروها از نبشی به ستون توسط جوش نبشی به ستون است که جوش ورق لچکی داخل نبشی، در این انتقال نیرو نقشی ایفا نخواهد نمود. از طرفی استفاده از ورق لچکی داخل نبشی موجب افزایش خروج از مرکزیت گردیده و لنگر وارد بر جوش نبشی به ستون، افزایش خواهد یافت.

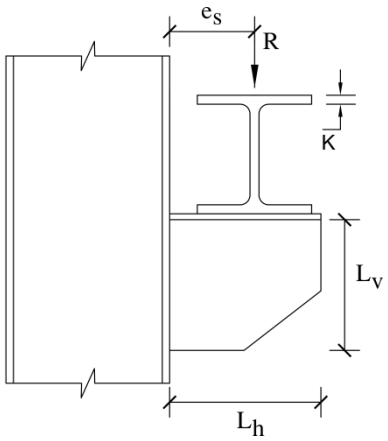


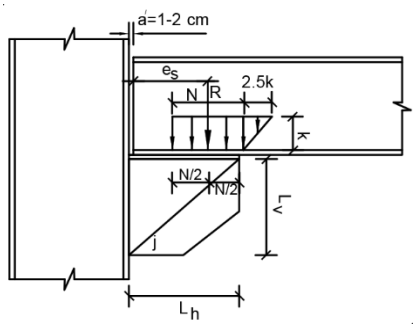


الف) اتصال از یک ورق افقی و دو ورق تقویتی قائم **ب) اتصال براکت از نیمرخ T شکل**

شکل ۱۲-۱۳ مقطع اتصال براکت در شکل ۱۲-۱۲

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





ب) جان تیر عمود بر صفحه قائم نشیمن **الف) جان تیر درامتداد صفحه قائم نشیمن**

شکل ۱۲-۱۴ نحوه قرارگیری تیر نسبت به نشیمن تقویت شده

شیوه طراحی در دو حالت مشابه است و اختلاف در محل تاثیر نیرو است که توضیحات تکمیلی در ادامه ارائه می‌شود. مراحل طراحی اتصال براکت به شرح زیر است:

a- تعیین عرض نشیمن N

در اینجا نیز مشابه طراحی اتصال با نشیمن تقویت نشده از رابطه عدم جاری شدن موضعی جان استفاده می‌شود:

$$N \geq \frac{R_u}{\phi F_{yw} t_w} - 2.5K \geq K \qquad ۳۵\text{-}۱۲$$

ϕ ضریب کاهش مقاومت برابر $\phi = 1$

R عکس‌العمل تکیه‌گاه

t_{wb} ضخامت جان تیر

K فاصله سطح خارجی بال تا آغاز گردی بین جان و بال

b- تعیین طول براکت L_h

طول براکت L_h طبق شکل ۱۲-۱۴ برابر است با:

$$L_h \geq N + a' \qquad \text{۳۶-۱۲}$$

a' فاصله مونتاژ (۱ تا ۲ سانتی متر)

c- کنترل چروکیدگی جان تیر

برای کنترل چروکیدگی در جان تیر از همان رابطه (۱۲-۳) و (۱۲-۴) در طراحی اتصال تقویت نشده استفاده می‌شود.

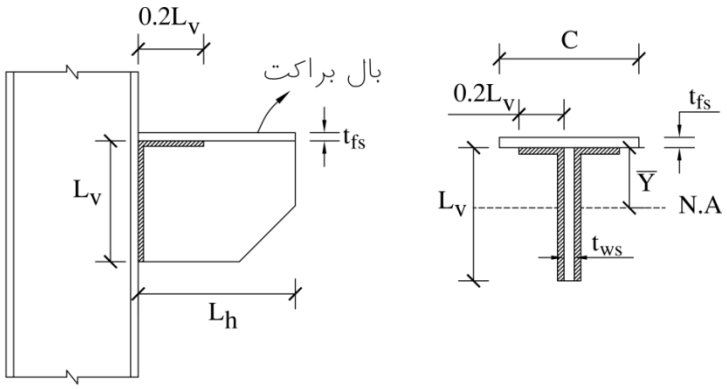
d- تعیین برون محوری اتصال e_s

در صورتی که جان تیر عمود بر صفحه قائم نشیمن باشد (شکل ۱۲-۱۴-ب)، برون محوری از مرکز جان تا بر ستون خواهد بود و در صورتی که جان تیر در امتداد صفحه قائم نشیمن باشد (شکل ۱۲-۱۴-الف)، مقدار برون محوری برابر است با:

$$e_s = L_h - \frac{N}{2} \qquad \text{۳۷-۱۲}$$

e- کنترل ضخامت جان براکت t_{ws}

با توجه به شکل ۱۲-۱۵ ضخامت سخت کننده باید شرایط زیر را ارضاء نماید:



الف) جوش براکت به ستون ب) مقطع A-A

شکل ۱۲-۱۵ جزئیات اتصال براکت به ستون

الف) رعایت ضخامت جان تیر

$$t_{ws} \geq t_{wb} \qquad \text{۳۸-۱۲}$$

ب) کمانش موضعی

$$t_{ws} \geq \frac{L_h}{0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}}} \qquad \text{۳۹-۱۲}$$

$$t_{ws} \geq \frac{R_u(6e_s-2L_h)}{\phi(1.8F_y)L_h^2}$$ ۴۰-۱۲

$\phi = 0.75$ ضریب کاهش مقاومت

t_{ws} ضخامت جان سخت کننده

t_{wb} ضخامت جان تیر

مقدار ضخامت براکت از حداکثر سه رابطه فوق بدست می‌آید.

تذکر : ضخامت ورق جان باید به گونه‌ای باشد که ضابطه $a_{max} = \min(t_1, t_2)$ را نیز ارضاء نماید و توجه شود که جان سخت کننده از دو طرف جوش می‌شود.

f- کنترل ضخامت بال براکت t_{fs}

به عنوان توصیه، بهتر است ضخامت بال سخت کننده به صورت زیر تعیین شود:

$$t_{fs} \geq max(t_{fb}, t_{ws})$$ ۴۱-۱۲

t_{fs} ضخامت بال سخت کننده

t_{fb} ضخامت بال تیر

این ضخامت معمولاً بین ۱۰ تا ۱۲ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود.

g- کنترل جوش گوشه براکت به ستون

بعد جوش سخت کننده به ستون باید به گونه‌ای انتخاب شود که در محدوده $a_w^{min} \leq a_w \leq a_w^{max}$ قرار گیرد. کنترل بعد جوش ماکزیمم دارای اهمیت ویژه‌ای است زیرا در بسیاری از موارد این ضابطه تعیین کننده است.

h- کنترل جوش صفحه قائم براکت به ستون

بر اساس مقطع A-A از شکل ۱۲-۱۵ ابتدا پارامتر $\overline{Y}$ تعیین می‌شود.

$$\overline{Y} = \frac{L_v^2}{2(L_v+0.2L_v)} = \frac{L_v}{2.4}$$ ۴۲-۱۲

$\overline{Y}$ فاصله از بالاترین تار تا مرکز ثقل جوش

با تعیین مرکز سطح جوش سخت کننده به ستون، اساس مقطع جوش از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$S_w = \frac{2[4\times0.2L_v^2+L_v^2]}{6} = 0.6L_v^2$$ ۴۳-۱۲

همچنین مساحت جوش برابر است با:

$$A_w = 2(L_v + 0.2L_v) = 2.4L_v$$ ۴۴-۱۲

لنگر خمشی وارده بر جوش از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$M_u = R_u e_s$$ ۴۵-۱۲

مؤلفه افقی تنش جوش حاصل از خمش برابر است با:

$$f_x = \frac{M_u}{S_w} = \frac{R_u e_s}{S_w} \qquad \text{۴۶-۱۲}$$

S_w اساس مقطع جوش

مؤلفه قائم تنش جوش حاصل از برش نیز برابر است با:

$$f_y = \frac{R_u}{A_w} = \frac{R_u}{2.4 L_v} \qquad \text{۴۷-۱۲}$$

از ترکیب ۱۲-۴۶ و ۱۲-۴۷ تنش در جوش بدست می‌آید:

$$f_{ur} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \frac{R_u}{2.4 L_v^2}\sqrt{L_v^2 + 16 e_s^2} \le R_{nw} \qquad \text{۴۸-۱۲}$$

در این قسمت با حدس L_v می‌توان بعد جوش را از ۱۲-۴۸ تعیین نمود و بر مبنای آن بعد جوش (ساق جوش) تعیین می‌گردد $(t_e = 0.7\ a_w)$. اگر این بعد جوش بین حداقل و حداکثر مجاز بود، ارتفاع براکت L_v مناسب است.

i- کنترل θ, L_h, L_v

در طراحی این اتصال باید $\theta \ge 45^\circ$ و یا به عبارت دیگر $L_v \ge L_h$ باشد.

j- تعیین C (شرط هندسی)

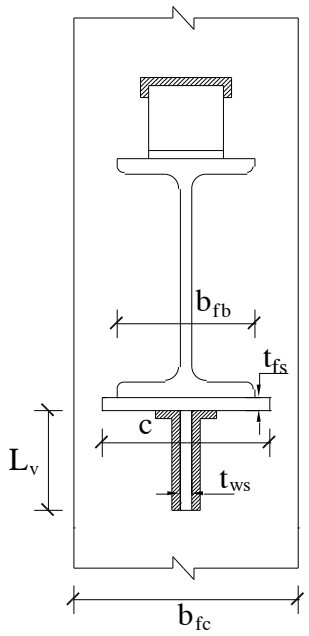
محدودیتهای ارائه شده در تعیین C (عرض بال براکت در شکل) عبارتند از:

الف) عرض بال براکت بیشتر از عرض بال تیر باشد و از عرض بال ستون تجاوز نکند $(b_{fb} \le C \le b_{fc})$

ب) عرض بال براکت از $\frac{L_v}{2}, N$ بیشتر انتخاب شود $C \ge N, \frac{L_v}{2}$

ج) در محاسبات عملی C معمولا بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر انتخاب می‌شود.

در شکل ۱۲-۱۶ چگونگی قرارگیری بال و جان براکت (نشیمن و سخت کننده اتصال) نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۱۶ جزئیات اتصال سخت کننده و نشیمن به ستون

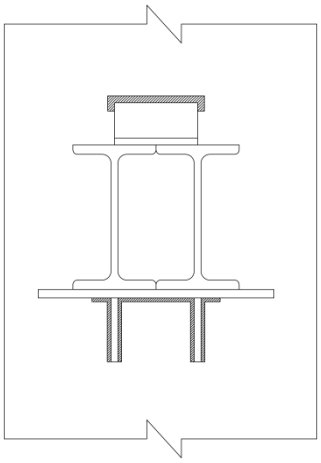
k- نکات اجرایی

الف) طول جوش جان براکت به بال براکت نباید کمتر از طول جوش بال براکت به ستون باشد.

ب) کلیه ضوابط مربوط به نبشی بالا مانند اتصال با نبشی نشیمن تقویت نشده است.

ج) ابتدا بال براکت به جان براکت جوش کارخانه‌ای می‌شود. سپس جوش جان براکت و بال براکت به ستون، جوش کارخانه‌ای است و در انتها جوش اجرایی تیر به بال براکت، کارگاهی است. پس از استقرار تیر روی براکت، لبه‌های نبشی بالا به ستون و تیر جوش کارگاهی می‌شود.

د) در اتصال تیرهای متشکل از چند پروفیل اگر از نشیمن تقویت شده استفاده می‌شود، توصیه می‌گردد که همانند شکل ۱۲-۱۷ زیر هر پروفیل یک سخت کننده قرار بگیرد.



شکل ۱۲-۱۷ جزئیات نشیمن تقویت شده برای تیرهای دوبل

مثال ۳-۱۲

چنانچه عکس‌العمل تکیه‌گاهی ضریبدار تیر IPE30 برابر 30ton باشد، اتصال آن را به بال ستون IPB22 به صورت براکت طراحی کنید. جوش کارگاهی و با کنترل چشمی باشد.

حل:

$IPE30(d = 30cm, t_w = 0.71cm, k = 2.55cm, b_f = 15cm, t_f = 1.07cm)$

گام ۱- تعیین N

$$N = \frac{R_u}{\phi F_{yw} t_w} - 2.5K = \frac{30000}{1 \times 2400 \times 0.71} - 2.5 \times 2.55 = 11.23 \quad cm > k = 2.55 \quad cm$$

گام ۲- تعیین L_h

$a' = 2 \quad cm$

$L_h \geq N + a' \Rightarrow L_h \geq 11.23 + 2 \Rightarrow L_h \geq 13.23 \quad cm \Rightarrow L_h = 15 \quad cm$

گام ۳- گام ۳: کنترل چروکیدگی جان تیر

$$\frac{N}{d} = \frac{11.23}{30} = 0.37 \geq 0.2$$

$$R_n = 0.4t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.2\right)\left[\frac{t_w}{t_f}\right]^{1.5}\right]\sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}}$$

$$R_n = 0.4 \times 0.71^2 \left[1 + \left(\frac{4 \times 11.23}{30} - 0.2\right)\left(\frac{0.71}{1.07}\right)^{1.5}\right]\sqrt{\frac{2.1 \times 10^6 \times 2400 \times 1.07}{0.71}} = 29631kg$$

با توجه به اینکه خطر چروکیدگی در جان تیر وجود دارد، از یک سری سخت کننده قائم در جان تیر در محل اتصال استفاده می‌شود.

گام ٤- گام ۴: تعیین برون محوری اتصال

$$e_s = L_h - \frac{N}{2} = 15 - \frac{11.23}{2} = 9.385cm$$

گام ٥- گام ۵: تعیین t_{ws}

$$\begin{cases} t_{ws} \geq t_{wb} \Rightarrow t_{ws} \geq 0.71cm \\ t_{ws} \geq \dfrac{L_h}{0.56\sqrt{\dfrac{E}{F_y}}} = \dfrac{15}{0.56\sqrt{\dfrac{2.1 \times 10^6}{2400}}} = 0.9cm \\ t_{ws} \geq \dfrac{P_u(6e_s - 2L_h)}{\phi \times 1.8 f_y \times L_h^2} = \dfrac{30000(6 \times 9.385 - 2 \times 15)}{0.75 \times 1.8 \times 2400 \times 15^2} = 1.08cm \end{cases}$$

$$\Rightarrow t_{ws} = 12mm$$

t_{ws} باید به گونه‌ای انتخاب شود که جوابگوی بعد جوش ماکزیمم نیز باشد.

گام ٦- گام ۶: تعیین t_{fs}

$$t_{fs} \geq max(t_{fb}, t_{ws}) \Rightarrow t_{fs} \geq max(10.7mm, 12mm) \Rightarrow t_{fs} = 12 \quad mm$$

گام ۷- گام ۷: محدودیت جوش گوشه

$$a_{max} \quad = t_{min} \; = min(t_{fc}, t_{ws}) = 10.7mm$$

گام ۸- گام ۸: محاسبه جوش براکت به ستون:

با فرض $L_v = 25cm$ نتیجه می‌شود:

$$f_{ur} = \sqrt{{f_x}^2 + {f_y}^2} = \frac{R_u}{2.4{L_v}^2}\sqrt{{L_v}^2 + 16{e_s}^2} \leq R_{nw}$$

$$\begin{cases} f_{ur} = \dfrac{30000}{2.4 \times 25^2}\sqrt{25^2 + 16 \times 9.385^2} = 902.053 \\ R_{nw} = 0.75 \times 0.6 \times 4200 \times 0.707 a_w = 1336 a_w \end{cases} \Rightarrow 902.053 \leq 1336 a_w \Rightarrow a_w \geq 0.67cm$$

گام ۹- گام ۹: کنترل L_v, L_h

$$L_v > L_h \Rightarrow 25 > 15 \quad cm, \phi \geq 45°$$

گام ۱۰- گام ۱۰: تعیین C

$$\begin{cases} b_{fb} \le C \le b_{fc} \Rightarrow 15 \le C \le 22 \\ C \ge N, \frac{L_v}{2} \Rightarrow C \ge (11.23, 12.5) \end{cases} \Rightarrow C = 20 \quad cm$$

در صورتی که یک سخت کننده قائم جوابگو نباشد، از تعداد سخت‌کننده‌های قائم بیشتری برای تحمل برش در تکیه‌گاه استفاده می‌شود. طراحی نبشی بالا و جوشهای آن با ضوابط حداقل مربوطه می باشد.

توجه:

در صورت اتصال تیر به جان ستون می توان قبل از برقراری این اتصال، با قرار دادن صفحه ای (به موازات جان و در امتداد بالهای ستون) اتصال تیر را به جای جان به این صفحه انجام داد.

۱۲-۵ مسائل فصل

توجه:

- فولاد مصرفی پروفیلها و ورقها از نوع ST37 می‌باشد.
- در کلیه مسائل، مهار جانبی تیرها در محل تکیه‌گاه و در بارهای متمرکز در نظر گرفته شود.
- وزن تیر به صورت جداگانه در نظر گرفته نشود.
- پارامتر κ طبق مقادیر اعلام شده فرض می‌شود که در محدوده زیر قرار دارد:

$$15 \leq \kappa \leq 40$$

تمرین ۱-۱۲

در اتصال تیری از IPE27 به ستون IPB16 عکس‌العمل ضریب دار تیر برابر R_u می‌باشد. نبشی نشیمن این اتصال مفصلی را طرح نمایید.

$$R_u = (0.3\kappa)ton$$

تمرین ۲-۱۲

در اتصال تیری از IPE20 به ستون IPB26 عکس‌العمل ضریب دار تکیه‌گاهی بدست آمده برابر با R_u است. نبشی نشیمن این اتصال مفصلی را طرح کنید.

$$R_u = (0.2\kappa)ton$$

تمرین ۳-۱۲

در یک اتصال مفصلی با نبشی نشیمن، تیرIPE30 به ستون IPB28 نیروی برشی برابر V_u را اعمال می‌کند. اتصال تیر به ستون را طرح کنید.

$$V_u = (0.3\kappa)ton$$

تمرین ۴-۱۲

اتصال تیر IPE20 به ستون IPB22 را با نیروی برشی ضریب دار V_u به وسیله نبشی جان طراحی کنید.

$$V_u = (0.3\kappa)ton$$

تمرین ۵-۱۲

در یک اتصال مفصلی با نبشی جان، تیرIPE30 به ستون IPB28 نیروی برشی برابر V_u را اعمال می‌کند. اتصال تیر به ستون را طرح کنید.

$$V_u = (0.3\kappa)ton$$

تمرین ۶-۱۲

در سازه‌ای با اتصالات مفصلی، مقرر است اتصال بین تیر IPE40 که دارای نیروی برشی ضریبدار V_u می‌باشد، با ستون 2IPE24 را از نوع اتصال با براکت طراحی گردد. مشخصات مربوط به این اتصال را بدست آورید.

$$V_u = (0.7\kappa)ton$$

تمرین ۷-۱۲

تمرین ۲ و ۳ را به وسیله براکت طراحی کنید و در پاسخهای بدست آمده از تمرین ۲ و ۳ با این تمرین، بحث کنید.