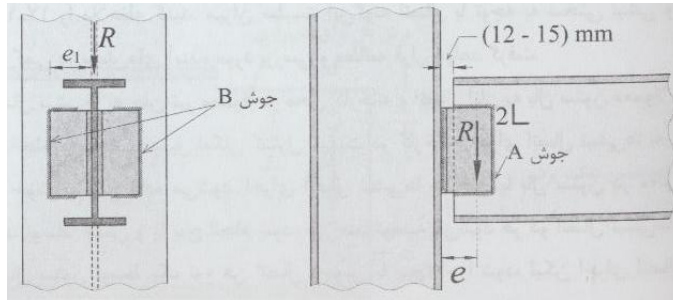
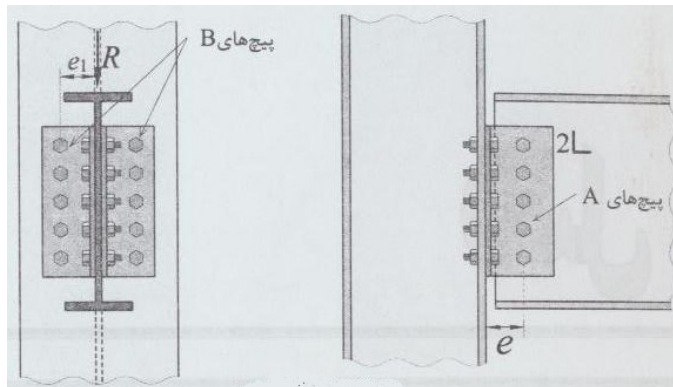


## اتصال مفصلی (ساده) به کمک نبشی جان

استفاده از نبشی جان یکی از روش‌های ساده و معمول در اجرای اتصال مفصلی تیر به ستون و یا تیر به تیر می‌باشد. اتصال نبشی به جان تیر و یا به بال یا جان ستون می‌تواند توسط فن جوشکاری و یا پیچ انجام گیرد. در شکل ۴-۱-الف و ب اتصال یک تیر I به بال ستون توسط یک جفت نبشی و با استفاده از جوش و پیچ نشان داده شده است. در مراجع سازه‌های فولادی این نوع اتصالات را اتصالات ساده قاب شده می‌نامند.



شکل ۴-۱-الف - اتصال به کمک جوش



شکل ۴-۱-ب - اتصال به کمک پیچ

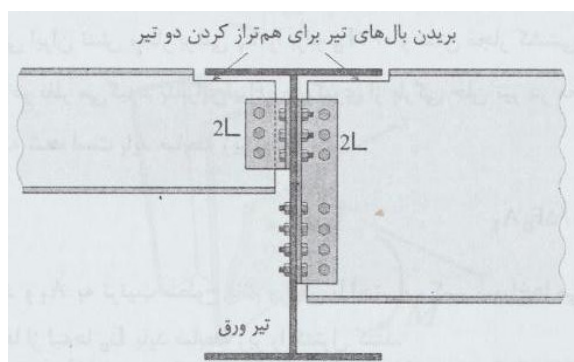
اتصال نبشی‌ها به جان تیر و بال یا جان ستون می‌تواند توسط پیچ انجام گیرد. آیین‌نامه‌های طراحی ایجاد فاصله آزادی حدود ۱۲ تا ۱۵ میلی‌متر بین تیر و بال یا جان ستون را برای اتصال تیر به ستون به کمک نبشی جان توصیه می‌کنند. این فاصله علاوه بر تأمین فضای کافی برای چرخش آزاد در تیر برای حالتی که تیر در حد رواداری مجاز می‌باشد امکان نصب و اجرای اتصال را بدون نیاز به بریدن سر تیر، تنها با جابجا کردن نبشی فراهم می‌کند.

در تیرهای I شکل عمده نیروی برشی توسط جان تیر تحمل و منتقل می‌شوند. در اتصالات شکل ۴-۱ چون جان تیر به نبشی متصل شده است نیروهای انتقالی عمدتاً برشی هستند.

اتصالات ساده قاب شده به کمک نبشی جان در زمره اتصالات با میزان صلبیت کم جای دارند.

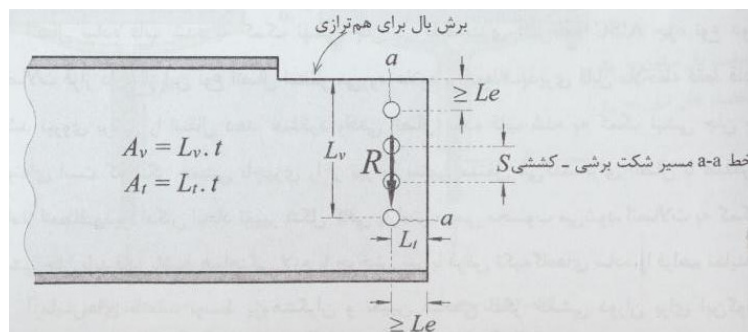
اتصال نبشی‌ها به جان تیر معمولاً در محل کارخانه و اتصال آنان به بال ستون معمولاً در محل کارگاه انجام می‌شود. به دلیل امکان کنترل کیفیت در کارخانه، اجرای اتصال نبشی‌ها به جان تیر توسط جوش ترجیح داده می‌شود. اجرای اتصال نبشی‌ها به جان یا بال ستون در محل کارگاه می‌تواند توسط جوش و یا پیچ انجام شود. هرچند توصیه می‌شود هر دو

اتصال نبشی‌ها به جان تیر و بال ستون توسط یک نوع فن اتصال (جوش یا پیچ) اجرا شود، لیکن اجرای اتصال توسط ترکیب دو فن جوشکاری و پیچ ممکن و قابل قبول است. معمولاً در نقشه‌های اجرایی سوراخ‌های اتصال در پیچ‌های کارخانه‌ای را با دواير توخالی و سوراخ‌های اتصال در پیچ‌های کارگاهی را با دواير توپر نشان می‌دهند. از اتصال نبشی جان (اتصال قاب شده) می‌توان برای اتصال مفصلی دو تیر با محورهای متعامد نیز استفاده نمود. شکل ۲-۴ اتصال دو تیر I شکل را به تیر ورق با مقطع I که محورهای آن‌ها بر یکدیگر عمودند به کمک پیچ نشان می‌دهد. امکان اجرای این اتصال به کمک جوش نیز میسر می‌باشد.



شکل ۲-۴ - اتصال ساده تیرهای I شکل به تیر ورق به کمک نبشی‌های جان

در این اتصال مطابق شکل ۲-۴ لازم است قسمتی از بال‌های دو تیر بریده شده و اتصال به گونه‌ای اجرا شود که بال‌های فوقانی دو تیر طرفین و تیر ورق در یک تراز قرار گیرند. هر چند بریدن بال‌های تیر برای عمل هم‌ترازی اثر چندانی بر ظرفیت برشی تیرها ندارد، لیکن هنگامی که از پیچ‌های پر مقاومت برای اتصال نبشی جان تیر آهن استفاده می‌شود امکان پارگی جان تیر در امتداد خط سوراخ برای عکس العمل‌های بزرگ وجود دارد.



شکل ۳-۴ - زوال جان تیر در محل اتصال هم‌تراز شده به نبشی در اثر پارگی

شکل ۳-۴ مسیر شکست جان تیری را که در آن سوراخ‌هایی جهت اتصال به نبشی تعبیه شده است به صورت خط چین a-a نشان می‌دهد.

وقوع پارگی در جان تیر هنگامی که سوراخ‌های اتصال در تمام عمق آن توزیع نشده باشد تشدید می‌گردد. سطوح قائم  $A_v$  تا  $A_t$  که به ترتیب تحت برش و کشش هستند مسیر بالقوه شکست برشی کششی در اتصال شکل ۳-۴ می‌باشند. پس برای جلوگیری از پارگی جان تیر در محل اتصال که در آن  $n$  سوراخ تعبیه شده است باید ضابطه زیر قرار باشد،

$$R_u \leq \phi (0.6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt}), \phi = 0.75$$

که در آن  $A_{nt}$  و  $A_{nv}$  به ترتیب سطوح قائم و افقی با احتساب کسر سوراخ‌ها می‌باشد. اندازه فواصل مراکز سوراخ‌ها از لبه‌ها  $L_e$  بایستی مطابق ضوابط آیین نامه کنترل شود.

### اتصال تیر فرعی به تیر اصلی یا تیر به ستون به کمک نبشی جان با استفاده از جوش

در طراحی اتصال به کمک نبشی جان و توسط جوش علاوه بر تأمین انعطاف پذیری لازم برای نبشی‌ها باید ابعاد نبشی، ابعاد جوش‌های  $A$  و  $B$  تعیین شود.

مراحل طراحی اتصال نشان داده شده در شکل ۴-۱-۴ الف به شرح زیر است؛

#### الف- تعیین ابعاد نبشی‌های اتصال

طول نبشی‌های اتصال بر اساس مقاومت موردنیاز جوش‌های  $A$  و  $B$  تعیین می‌شود. علاوه بر آن تنش برشی در نبشی-های اتصال بایستی محاسبه و کنترل شوند. چنانچه طول نبشی  $L$  و ضخامت آن  $t$  باشد. با فرض استفاده دو عدد نبشی در طرفین جان و  $\frac{L}{t} \leq 35$ :

$$t \geq \frac{R_u}{1.08 L F_y}$$

در رابطه فوق:

$R_u$ : عکس العمل تکیه‌گاه بر حسب kg

$L$ : ارتفاع (طول) نبشی بر حسب cm

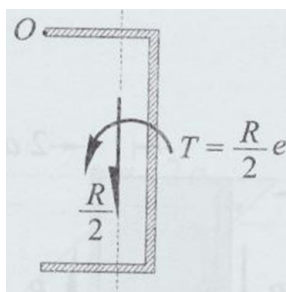
$F_y$ : تنش تسلیم فولاد نبشی بر حسب  $kg/cm^2$  است.

طول نبشی  $L$  معمولاً بین 0.5 تا 0.75 ارتفاع جان تیر در نظر گرفته می‌شود.

#### ب- تعیین ابعاد اندازه جوش ساق‌های نبشی به جان تیر (جوش A)

برای تعیین اندازه جوش ساق‌های نبشی به جان تیر (جوش A) کلیه کتب طراحی سازه‌های فولادی پیشنهاد می‌کنند نیروی عکس العمل  $R_u$  را در محل جوش B (بال ستون) قرار داده و با انتقال آن به مرکز هندسی جوش A، آن را بر اساس نیروی برشی و لنگر پیچشی طراحی نمود. چون جوش A در طرفین جان تیر اجرا می‌شود می‌توان بر اساس

نیروی برشی  $\frac{R_u}{2}$  و لنگر پیچشی  $T_u = \frac{R_u e}{2}$  طراحی نمود. (شکل ۴-۴)



شکل ۴-۴ - نیروهای طراحی جوش A

نقطه O در جوش A تحت بیشترین تنش برشی قرار دارد که نحوه محاسبه آن در این فصل نیز در مثال مربوطه ذکر خواهد گردید.

### ج- تعیین اندازه جوش B

برای تعیین نیروهای اعمالی بر جوش‌های B (شکل ۴-۱ الف) و محاسبه تنش‌های حاصله در آن توافق نظر وجود ندارد. برای تعیین ابعاد جوش B سه روش که توسط مراجع فنی پیشنهاد شده است ذکر می‌گردد؛

۱- روش اول: بلاجت و گیلورد

۲- روش دوم: روش سالمون و جانسون ( که طراحی در این جزوه بر اساس این روش ارائه شده است)

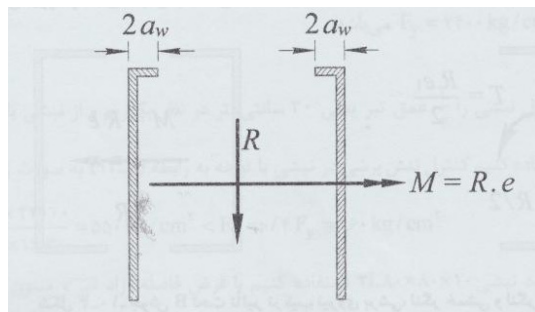
۳- روش سوم: روش ترکیبی از دو روش فوق

### روش سالمون و جانسون برای محاسبه ابعاد جوش B

سالمون و جانسون معتقدند ساق‌های نبشی در پایین تمایلی به جدا شدن از یکدیگر ندارند. آن‌ها به این باورند که جوش‌های B علاوه بر نیروی برشی ناشی از عکس العمل تکیه‌گاهی  $R_u$  تحت اثر لنگر خمشی  $M_u = R_u e$  (شکل ۴-۱-الف) مطابق شکل ۴-۵ قرار دارند.

$q_x''$  مؤلفه تنش خمشی ناشی از لنگر  $M_u$  با فرض صرف‌نظر کردن از جوش‌های برگشتی برابر است با.

$$q_x'' = \frac{M_u}{S} = \frac{R_u e}{2L^2/6} = \frac{3R_u e}{L^2}$$



شکل ۴-۵ - جوش B تحت اثر برش و لنگر خمشی  $M_u$

$q_y'$  مؤلفه برش مستقیم برابر  $\frac{R_u}{2L}$  می‌باشد. بنابراین مؤلفه برآیند تنش در واحد طول  $q_u$  برابر خواهند بود با.

$$q_u = \sqrt{\left(\frac{R_u}{2L}\right)^2 + \left(\frac{3R_u e}{L^2}\right)^2}$$

با مقایسه و کنترل جریان برش  $q_u$ ، با جریان برش طراحی (ارزش جوش)، ضخامت گلوی جوش تعیین می‌شود. با فرض استفاده از الکتروود E60، جوش دستی با کنترل چشمی کارگاهی، از رابطه زیر برای محاسبه بعد جوش استفاده می‌شود:

$$q_u = 1000 a$$

### مراحل طراحی اتصال قاب شده تیر به ستون به کمک پیچ

مراحل طراحی اتصال نبشی جان به وسیله اتصال پیچ مشابه حالت با اتصال جوشی است.

طول نبشی‌های اتصال بر اساس مقاومت مورد نیاز برای پیچ‌های ردیف  $A$  ،  $B$  محاسبه و تعیین می‌شود. ضخامت نبشی معمولاً بر اساس کنترل لهیدگی تعیین می‌گردد. تنش برشی روی سطح مقطع کل و بدون کسر سوراخ بایستی محاسبه و کنترل شود. هرچند در تعدادی از کتب طراحی سازه‌های فولادی توصیه می‌شود تعداد پیچ‌های پرمقاومت در هر دو ردیف  $A$  و  $B$  بر اساس برش مستقیم و با صرف نظر از خروج از مرکزیت نیرو تعیین گردند، لیکن در جهت اطمینان مناسب‌تر است پیچ‌های ردیف  $A$  بر اساس ترکیب نیروی برشی  $R_u$  و لنگر پیچشی  $R_{ue}$  و پیچ‌های ردیف  $B$  بر مبنای نیروی برشی  $R_u$  و لنگر خمشی  $R_{ue1}$  طراحی شوند (شکل ۴-۱- ب)

مثال ۴-۱ :

اتصال نیمرخ IPE400 با نیروی عکس العمل تکیه‌گاهی ۳۲ تن به ستونی از نیمرخ IPB300 به کمک نبشی جان و با وسیله اتصال جوش طراحی کنید. الکتروود مصرفی E60،  $\beta = 0.85$ ،  $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$  می‌باشد.

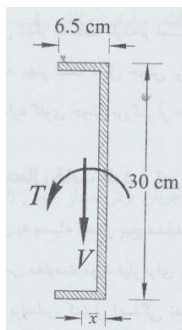
حل :

چنانچه طول نبشی را  $\frac{3}{4}$  عمق تیر یعنی ۳۰ سانتی متر در نظر بگیریم، حداقل ضخامت نبشی مورد نیاز برابر است با:

$$t \geq \frac{32000}{1.08 \times 30 \times 2400} = 0.41 \text{ cm}$$

با فرض اینکه  $t = 1 \text{ cm}$  نسبت  $L/t = 30/1 = 30 < 35$  پس مناسب است.

چنانچه از دو عدد نبشی  $2L80 \times 80 \times 10$  استفاده کنیم با فرض فاصله آزاد تیر و ستون برابر ۱۵ میلی‌متر، جوش A تحت اثر نیروی برشی و لنگر پیچشی مطابق شکل ۴-۸ قرار دارد.



شکل ۴-۸- جوش A تحت مثال ۴-۱

$\bar{x}$  فاصله مرکز سطح جوش برابر است با،

$$\bar{x} = \frac{2 \times 6.5 \times 3.25}{2 \times 6.5 + 30} = 0.98 \text{ cm}$$

بنابراین V و T برابر خواهد بود با،

$$V_u = \frac{R_u}{2} = 16000 \text{ kg} \quad , \quad T_u = 16000(8 - 0.98) = 112320 \text{ kg} - \text{cm}$$

خصوصیات هندسی جوش A (شکل ۴-۸) با فرض ضخامت گلوی موثر جوش برابر یک سانتی متر به شرح زیر است،

$$A = 2 \times 6.5 + 30 = 43 \text{ cm}^2$$

$$j = I_x + I_y = (2 \times 6.5 \times 15^2 + \frac{30^3}{12}) + (\frac{2}{3}(5.52^3 + 0.98^3) + 30 \times 0.98^2) = 5316.6 \text{ cm}^4$$

تنش برشی مستقیم ناشی از نیروی  $V_u = 16000 \text{ kg}$  در جوش برابر است با،

$$f'_y = \frac{16000}{43} = 372 \text{ kg/cm}$$

تنش‌های برشی ناشی از لنگر پیچشی  $T_u = 112320 \text{ kg.cm}$  در جوش برابر خواهد بود با،

$$f''_x = \frac{T_u y}{j} = \frac{112320 \times 15}{5316.6} = 316.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$f''_y = \frac{T_u x}{j} = \frac{112320(6.5 - 0.98)}{5316.6} = 116.6 \text{ kg/cm}^2$$

$F_u$  برآیند تنش برشی در جوش گوشه A برابر است با،

$$f_u = \sqrt{(316.9)^2 + (372 + 116.6)^2} = 582.4 \text{ kg/cm}^2$$

در نتیجه برای تعیین اندازه گلوی جوش  $a_w$  می‌توان نوشت،

$$f_u = 582.4 \leq \beta \times 0.707 a_w \times \phi \times (0.6 F_{uw}) = 0.85 \times 0.707 a_w \times 0.75 \times (0.6 \times 4200)$$

$$f_u = 582.4 \leq 1135 a_w \Rightarrow a_w \geq 0.51$$

حداقل بعد جوش گوشه بر مبنای جدول مربوطه برابر ۵ میلی‌متر و حداکثر بعد جوش گوشه برابر ۸ میلی‌متر می‌باشد. در این صورت ضخامت گلوی جوش  $a_w = 6 \text{ mm}$  ضابطه حداقل و حداکثر را کنترل می‌کند.

### تعیین اندازه جوش B

جوش B تحت اثر برش و لنگر خمشی مطابق شکل ۴-۶ قرار دارد. با توجه به رابطه مربوطه و صرف‌نظر کردن از

جوش‌های برگشتی می‌توان نوشت،

$$q_x'' = \frac{3 \times 32000(8-0.98)}{30^2} = 748.8 \text{ kg/cm}$$

مؤلفه برش مستقیم برابر خواهد بود با،

$$q_y'' = \frac{32000}{2 \times 30} = 533.3 \text{ kg/cm}$$

بنابراین مؤلفه برآیند تنش در واحد طول  $q_u$  برابر است با،

$$q_u = \sqrt{748.8^2 + 533.3^2} = 919.3 \text{ kg/cm}$$

برای تعیین اندازه گلوی جوش می‌توان نوشت،

$$919.3 = 1135 a_w \Rightarrow a_w = 0.81 \text{ cm}$$

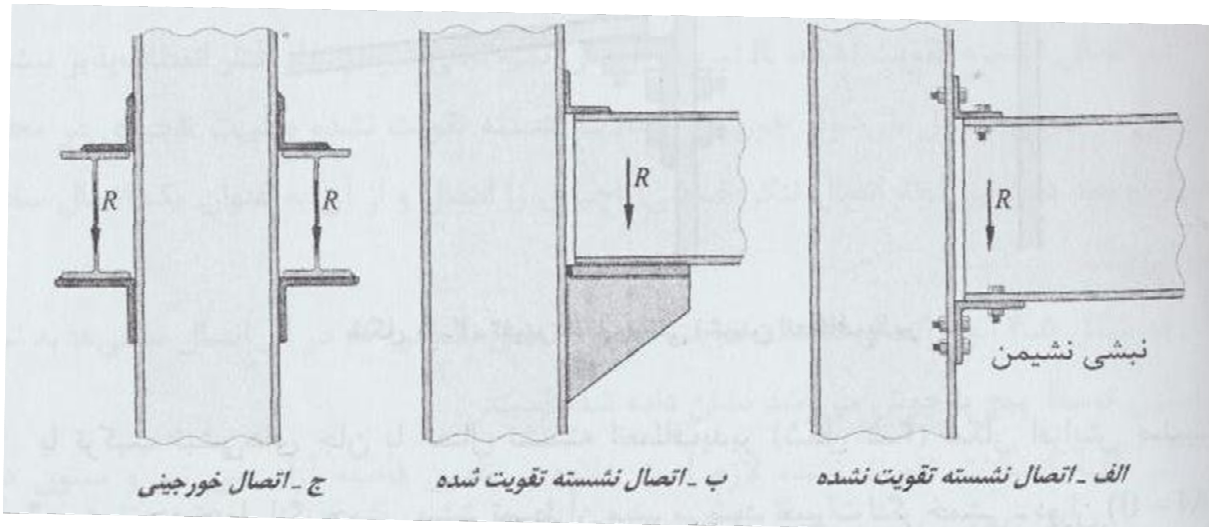
با توجه به این که جوش‌های برگشتی نیز در تحمل باربری می‌توانند مفید واقع شوند، می‌توان اندازه گلوی جوش را

۸ میلی‌متر در نظر گرفت که ضابطه حداقل و حداکثر بعد گلوی جوش نیز کنترل می‌شود. بنابراین بر اساس روش

پیشنهادی سالمون و جانسون اندازه جوش B برابر ۸ میلی‌متر می‌باشد.

## اتصالات ساده نشسته تیر به ستون

یکی از روش‌های متداول برای انتقال نیروهای تیر به ستون استفاده از اتصالات ساده نشسته است. در این نوع اتصال تیر بر روی یک نشیمن که می‌تواند انعطاف‌پذیر (تقویت نشده) و یا سخت (تقویت شده) باشد، قرار می‌گیرد. در اتصالات نشسته انعطاف‌پذیر معمولاً از نبشی به عنوان نشیمن استفاده می‌شود (شکل ۴-۱۰-الف). در اتصالات نشسته چنانچه محور تیر عمود بر طول نشیمن باشد به آن اتصال خورجینی گویند (شکل ۴-۱۰-ج)



شکل ۴-۱۰- اتصالات نشسته

در اتصالات نشسته در شکل ۴-۱۰ عمده نیرویی که از طرف تیر به ستون منتقل می‌شود واکنش تکیه‌گاهی  $R_{II}$  است. به دلیل انتقال ناچیزی لنگر خمشی از طرف تیر به ستون، اتصالات نشسته در طبقه‌بندی اتصالات ساده قرار دارند. میزان صلبیت اتصالات نشسته از اتصالات با نبشی جان (قاب شده) بیشتر است. معمولاً در کلیه اتصالات نشسته از یک نبشی فوقانی به عنوان تأمین‌کننده تکیه‌گاهی جانبی برای بال فوقانی تیر استفاده می‌شود. اتصال نبشی‌های نشیمن و فوقانی به تیر و ستون می‌تواند توسط فن جوشکاری و یا پیچ کاری انجام شود.

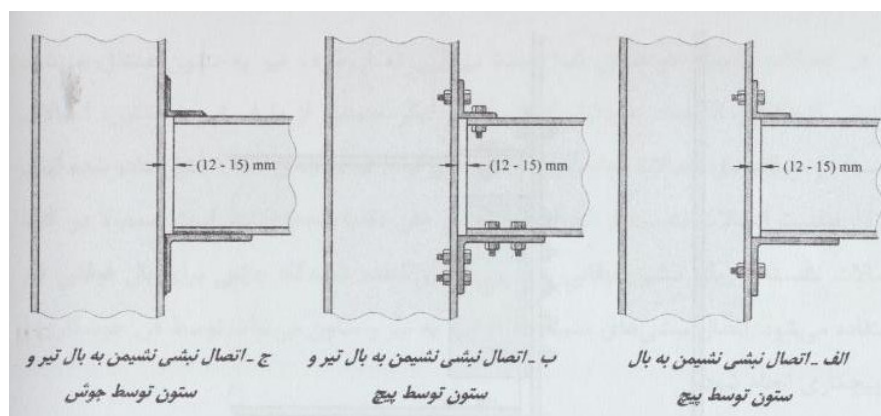
## اتصال نشسته تقویت نشده

در اتصال نشسته تقویت نشده،  $R_{II}$  نیروی واکنش تکیه‌گاهی تیر توسط رفتار انعطاف‌پذیر نبشی نشیمن به ستون منتقل می‌شود. چون در اتصالات نشسته تقویت نشده صلبیت ناچیزی در محل اتصال وجود دارد این‌گونه اتصال لنگر خمشی ناچیزی را انتقال و از آن به عنوان یک اتصال ساده نام می‌برند.

در شکل ۴-۱۱ انواع اتصال نشسته تقویت نشده با نبشی نشیمن که در آن اتصال نبشی‌ها به تیر و ستون توسط پیچ یا جوش می‌باشد نشان داده شده است.



در کلیه اتصالات تقویت نشده لازم است علاوه بر تأمین فاصله آزاد بین تیر و ستون در محدوده ۱۲ الی ۱۵ میلی متر یک عدد نبشی فوقانی با حداقل ضخامت ۶ میلی متر جهت تأمین تکیه گاه جانبی برای بال فوقانی تیر و جلوگیری از چرخش زیاد تیر تعبیه شود.



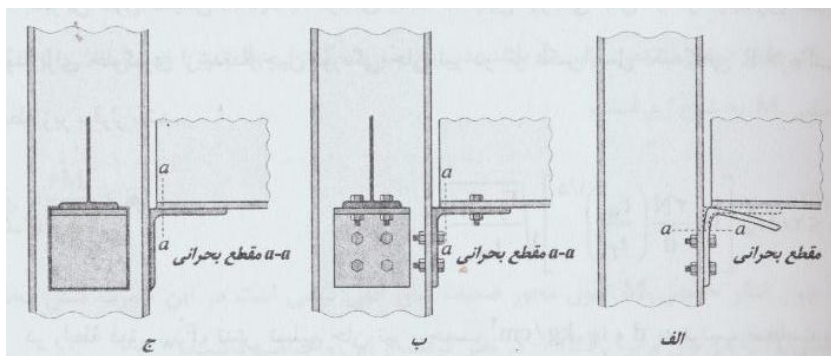
شکل ۴-۱۱- انواع اتصال نشسته تقویت نشده با نبشی نشیمن

### تعیین ابعاد نبشی نشیمن

انتخاب نبشی فوقانی به بزرگی عکس العمل تکیه گاهی  $R_{II}$  بستگی دارد. برای عکس العمل های تکیه گاهی حدود ۷ تن از نبشی  $L60 \times 60 \times 6$  و برای واکنش های تکیه گاهی در محدوده ۷ الی ۲۰ تن می توان از نبشی  $L80 \times 80 \times 8$  استفاده کرد. همان گونه که خواهید دید استفاده از اتصالات نشسته با نبشی انعطاف پذیر برای واکنش های تکیه گاهی بزرگ تر از ۲۰ تن راه حل مناسبی نمی باشد، نبشی نشیمن تحتانی بر اساس خمش ایجاد شده در آن طراحی می گردد.

در شکل ۴-۱۲- الف به دلیل عدم اتصال نبشی نشیمن به بال تیر مقطع بحرانی در محل اتصال ساق نبشی به بال ستون قرار دارد. چون در عمل معمولاً نبشی نشیمن را توسط جوش و یا پیچ به بال تیر متصل می کنند از این رو وقوع مقطع بحرانی در ساق قائم نبشی به ندرت رخ می دهد. چنانچه ساق افقی نبشی نشیمن به تیر توسط پیچ متصل شده باشد (شکل ۴-۱۲- ب) و یا از جوش برای اتصال ساق قائم نبشی نشیمن به ستون استفاده گردد (شکل ۴-۱۲- ج) در این صورت مقطع بحرانی خمش در محل آغاز گردی اتصال ساق افقی به ساق قائم نبشی می باشد.

برای تعیین لنگر خمشی در مقطع بحرانی a-a باید واکنش تکیه گاهی  $R_{II}$  در فاصله محل اثر آن تا مقطع a-a ضرب شود. نکته مهم در اینجا تعیین طولی است که بال زیرین تیر با ساق افقی نبشی در تماس قرار می گیرد. اصولاً تعیین طول تماس دو سطح از مسایل پیچیده در علم مکانیک جامدات است و یک راه حل برای بررسی آن، استفاده از روش تحلیلی اجزا محدود غیرخطی می باشد. توزیع تنش تماسی فشاری بین بال تیر و نشیمن به میزان صلبیت ساق افقی نبشی بستگی دارد. پژوهشگران نشان داده اند که چنانچه ساق افقی نبشی از صلبیت زیادی برخوردار باشد تنش تماسی در تمام طول نشیمن توزیع می شود و تنش حداکثر در لبه آزاد ساق افقی نبشی به وجود می آید. اگر ساق افقی نبشی انعطاف پذیر باشد در این صورت تمام طول ساق افقی نبشی با بال تیر در تماس قرار نگرفته و تنها بخشی از آن و در نزدیکی محل اتصال به ساق تماس خواهد داشت.



شکل ۴-۱۲- مقاطع بحرانی خمش در نبشی نشیمن

آیین نامه‌ها و کتب طراحی بر مبنای تحقیقات بلاجت پیشنهاد می‌کنند طول تماس ساق افقی نبشی با بال تیر از رابطه‌ای که برای جلوگیری از تسلیم موضعی جان ارائه شده است، محاسبه گردد. کنترل تسلیم در زیر واکنش تکیه‌گاهی  $R_u$  توسط رابطه زیر بیان می‌شود.

$$\mathcal{L}_b = \frac{P_u}{\phi F_{yw} \times t_w} - 2.5K \geq K, \quad \phi = 1.00$$

در این صورت  $\mathcal{L}_b$  طول تماس بین ساق افقی نبشی و بال تیر از رابطه زیر بدست می‌آید و مقدار آن بزرگتر از  $K$  توصیه می‌شود.

در رابطه فوق،

$K$ ، فاصله بین سطح بال تیر تا پایان گردی ریشه اتصال بال به جان تیر.

$t_w$ ، ضخامت جان تیر می‌باشد.

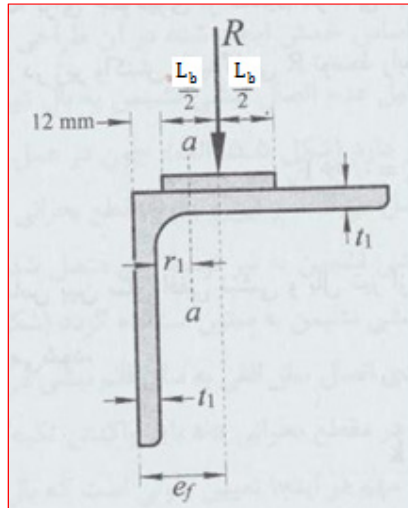
مقادیر پیشنهادی  $\mathcal{L}_b$  که توسط کتب دستی آیین نامه AISC ارائه شده بر مبنای تسلیم موضعی جان تنظیم گردیده است. بر اساس تحقیقات جانسون و کوبو، چنانچه چین خوردگی جان از تسلیم موضعی آن بحرانی‌تر باشد طول نشیمن  $\mathcal{L}_b$  باید تصحیح شود.

بنابراین طول نشیمن  $\mathcal{L}_b$  باید به گونه‌ای باشد که چین خوردگی جان در اثر ناپایداری کنترل شود. برای جلوگیری از پدیده چین خوردگی جان تیر در اثر عکس العمل تکیه‌گاهی  $R_u$  لازم است رابطه زیر برقرار باشد.

$$R_u \leq \phi R_n = 0.75 \times 0.4 \times t_w^2 \left[ 1 + \frac{3 \mathcal{L}_b}{d} \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E \times F_{yw} \times t_f}{t_w}}, \quad \phi = 0.75$$

در رابطه فوق  $F_{yw}$ ، تنش تسلیم تیر بر حسب  $\text{kg/cm}^2$ ،  $E$ ، ضریب ارتجاعی فولاد بر حسب  $\text{kg/cm}^2$ ،  $t_f$  و  $d$  به ترتیب ضخامت بال و عمق تیر است و  $\mathcal{L}_b$ ،  $t_w$  قبلاً تعریف شده اند.  $R_u$  در رابطه فوق بر حسب  $\text{kg}$  به دست می‌آید.

در شکل ۴-۱۳ نبشی نشیمن اتصال نشسته تقویت نشده همراه با محل تأثیر واکنش تکیه گاهی  $R_u$  نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۳- نبشی نشیمن انعطاف پذیر

لنگر خمشی  $M_{u1}$  در مقطع بحرانی a-a (آغاز گردی اتصال ساق افقی به ساق قائم نبشی) با توجه به شکل ۴-۱۳ از رابطه زیر به دست می آید،

$$M_{u1} = R_u \left( \frac{L_b}{2} + 1.2 - t_1 - r_1 \right)$$

اگر طول نبشی نشیمن برابر  $L_1$  باشد، چون لنگر خمشی  $M_1$  حول محور ضعیف ساق افقی نبشی است. از این رو خواهیم داشت،

$$t_1 \geq \sqrt{\frac{4M_{u1}}{0.9 \times L_1 \times F_y}}$$

با ملاحظه روابط فوق دیده می شود که با بزرگ شدن واکنش تکیه گاهی  $R_u$ ،  $L_b$  طول نشیمن و  $M_{u1}$  لنگر مورد نیاز افزایش یافته و در نهایت منجر به طراحی نبشی با ضخامت زیاد خواهد شد. چنانچه این افزایش از حد متعارف تجاوز کند، نبشی های موجود قادر به تحمل لنگر خمشی  $M_{u1}$  نخواهند بود.

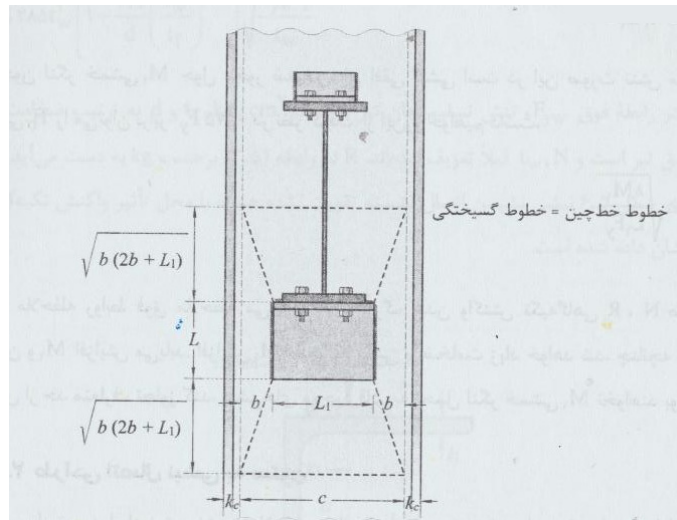
### طراحی اتصال نبشی به ستون

پس از تعیین ابعاد نبشی نشیمن لازم است اتصال آن به ستون توسط جوش یا پیچ طراحی شود. جوش و پیچ های اتصال نبشی نشیمن به بال ستون را باید برای نیروی برشی  $R_u$  و لنگر خمشی  $M_{u2}$  که با توجه به شکل ۴-۱۳ از رابطه زیر به دست می آید محاسبه و طراحی نمود.

$$M_{u2} = R_u \left( \frac{L_b}{2} + 1.2 \right) = R_u \times e_f$$

## کنترل خمش جان ستون

در اتصالات نشسته هنگامی که نبشی نشیمن به جان ستون توسط جوش متصل گردد در این صورت جان ستون در معرض خمش موضعی ناشی خروج از مرکزیت واکنش تکیه‌گاهی  $R_u$  قرار می‌گیرد. تاکنون پدیده خمش موضعی در جان ستون در اتصالات با نشیمن انعطاف‌پذیر به طور جامع مورد بررسی و تحقیق قرار نگرفته است. تامبولی روش مبتنی بر خطوط گسیختگی برای تعیین مقاومت خمشی جان ستون ارائه می‌کند که در ادامه به شرح آن می‌پردازیم. در شکل ۴-۱۴ خطوط گسیختگی در جان ستون در یک اتصال با نبشی نشیمن انعطاف پذیر نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴ خطوط گسیختگی در جان ستون در یک اتصال با نبشی نشیمن انعطاف پذیر

در شکل ۴-۱۴،  $k_c$  فاصله بین سطح بال ستون تا پایان گردی ریشه اتصال بال به جان ستون می‌باشد. با استفاده از تئوری خطوط گسیختگی می‌توان ظرفیت اسمی جان ستون را به صورت رابطه زیر به دست آورد،

$$R_{nw} = \frac{2M_p}{e_f} \left( 2\sqrt{\frac{c}{b}} + \frac{c}{L} + \frac{L}{2b} \right)$$

$L$ ،  $b$  و  $c$  در شکل ۴-۱۴ و  $e_f$  خروج از مرکزیت واکنش تکیه‌گاهی  $R_u$  نسبت به جوش بال ستون در شکل ۴-۱۳ نمایش داده شده‌اند. در رابطه فوق  $M_p$  برابر است با،

$$M_p = \frac{1}{4} t_{wc}^2 L F_{yc}$$

در رابطه بالا،  $t_{wc}$  ضخامت جان ستون و  $F_{yc}$  تنش تسلیم فولاد ستون است.

چون  $R_{uw}$  بر اساس مقاومت نهایی تعیین شده است مقایسه و کنترل آن باید با واکنش تکیه‌گاهی که در ضرایب بار ضرب گردیده است انجام شود. بنابراین برای جلوگیری از خمش موضعی جان ستون لازم است،

$$R_u \leq \phi R_{nw}$$

$\phi$  ضریب کاهشده مقاومت نهایی است که در این حالت برابر  $\phi = 0.9$  در نظر گرفته می‌شود.

بنابراین به طور خلاصه مراحل طراحی اتصال نشستہ تقویت نشده به شرح زیر است.

۱- طول نشیمن بر اساس روابط مربوط به کنترل تسلیم و چین خوردگی جان تعیین شود.

۲- لنگر خمشی  $M_{u1}$  و ابعاد نبشی با توجه به روابط مربوطه تعیین شود.

۳- جوش و یا پیچ‌های اتصال نشیمن به بال ستون بر اساس واکنش تکیه‌گاهی  $R_{u1}$  و لنگر خمشی  $M_{u2} = R_{u1} \times e_f$

طراحی می‌شوند.

۴- در مواردی که نبشی نشیمن به جان ستون متصل شده باشد باید مقاومت جان ستون در اثر خمش موضعی با

توجه به روابط مربوطه کنترل شود.

۵- برای بارگذاری‌های حین ساخت لازم است اتصال مکانیکی کافی در محل اتصال بال تحتانی تیر به ساق افقی

نبشی وجود داشته باشد. در هر حال توصیه می‌شود اتصال بال تحتانی تیر به ساق نبشی (جوش یا پیچ) برای نیرویی

معادل ۱۰ تا ۱۵ درصد واکنش تکیه‌گاهی  $R_{u1}$  طراحی شوند.

**مثال: ۴-۲:**

اتصال نشسته‌ای به کمک نبشی نشیمن برای انتقال واکنش تکیه‌گاهی ۱۶ تن از یک تیر با نیمرخ IPE360 به بال ستونی با نیمرخ IPB320 در حالات زیر طراحی کنید.

$$F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{و} \quad F_u = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

اتصال نبشی به بال ستون از جوش گوشه با در نظر گرفتن  $\beta = 0.85$  و الکتروود E60

**حل:**

مشخصات هندسی تیر و ستون به شرح زیر است،

$$\text{IPE360} \quad d = 36 \text{ cm} \quad k = 3.07 \text{ cm} \quad t_w = 0.8 \text{ cm} \quad t_f = 1.27 \text{ cm} \quad b_f = 17 \text{ cm}$$

$$\text{IPB320} \quad k_c = 4.75 \text{ cm} \quad t_w = 1.15 \text{ cm}$$

چنانچه از نبشی با بال دوطرف مساوی  $L100 \times 100 \times 10$  به عنوان نشیمن استفاده کنیم، مشخصات هندسی آن به قرار زیر است،

$$L100 \times 100 \times 10 \quad t_1 = 1 \text{ cm} \quad r_1 = 1.2 \text{ cm}$$

از رابطه مربوطه خواهیم داشت:

$$L_b = \frac{16000}{1.0 \times 2400 \times 0.8} - 2.5 \times 3.07 = 0.66 < k = 3.07 \Rightarrow L_b = 3.07 \text{ cm}$$

از رابطه مربوطه طول نشیمن گاه را تعیین می‌کنیم،

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.4 \times 0.8^2 \left[ 1 + \frac{3 \times 3.07}{79} \left( \frac{0.8}{1.27} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.03 \times 10^6 \times 2400 \times 1.27}{0.8}} = 17869 > P_u = 16000 \text{ kg} \quad \text{O.k}$$

بنابراین  $L_b = 3.07$  در نظر گرفته می‌شود. با توجه به رابطه مربوطه می‌توان نوشت،

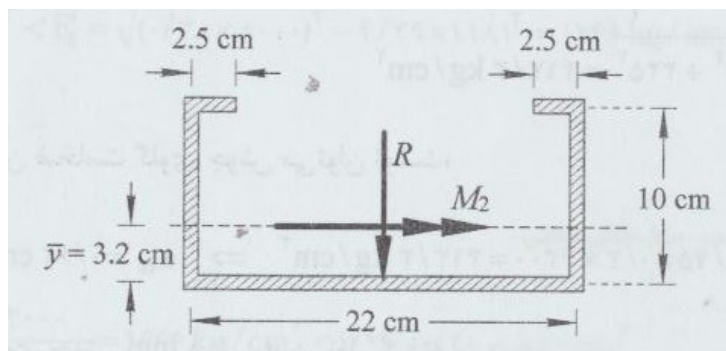
$$M_{u1} = 16000 \left( \frac{3.07}{2} + 1.2 - 1 - 1.2 \right) = 8560 \text{ kg.cm}$$

چنانچه طول نبشی  $L_1 = 22 \text{ cm}$  در نظر گرفته شود. با استفاده از رابطه مربوطه خواهیم داشت،

$$t_1 = 1 \text{ cm} > \sqrt{\frac{4 \times 8560}{0.9 \times 22 \times 2400}} = 0.72 \text{ cm} \quad \text{O.k}$$

بنابراین نبشی  $L 100 \times 100 \times 10$  به عنوان نشیمن و نبشی فوقانی  $L80 \times 80 \times 8$  برای جلوگیری از ناپایداری بال

فشاری تیر به کار برده می‌شوند.



شکل ۴-۱۵- جوش گوشه نبشی نشیمن به بال ستون

الف- طراحی جوش اتصال نبشی به بال ستون

چنانچه قسمت پایینی ساق قائم را به بال ستون جوش دهیم، شکل هندسی جوش مطابق شکل ۴-۱۵ می باشد.

خصوصیات هندسی جوش شکل ۴-۱۵ با فرض ضخامت موثر گلولی جوش برابر یک سانتی متر به شرح زیر است،

$$A_w = 2 \times 2.5 + 2 \times 10 + 22 = 47 \text{ cm}^2$$

$$\bar{y} = \frac{2 \times 2.5 \times 10 + 2 \times 10 \times 5}{47} = 3.2 \text{ cm}$$

$$I_w = 22 \times 3.2^2 + 2 \times 2.5 \times 6.8^2 + \frac{2}{3} (3.2^3 + 6.8^3) = 688 \text{ cm}^4$$

$$e_f = \frac{L_b}{2} + 1.2 = \frac{3.07}{2} + 1.2 = 2.74 \text{ cm}$$

نیروهای وارده بر جوش شکل ۴-۱۵ عبارتند از:

$$R_u = 16000 \text{ Kg} , \quad M_{u2} = 16000 e_f = 16000 \times 2.74 = 43840 \text{ kg.cm}$$

تنش برشی مستقیم در جوش گوشه برابر است با،

$$f'_y = \frac{R_u}{A_w} = \frac{16000}{47} = 340.4 \text{ kg/cm}^2$$

تنش کششی ناشی از لنگر خمشی  $M_{u2}$  در جوش گوشه برابر است با،

$$f''_x = \frac{M_{u2} y}{I_w} = \frac{43840 \times 6.8}{688} = 433.3 \text{ kg/cm}^2$$

تنش برآیند ( $f_u$ ) برابر خواهد بود با،

$$f_u = \sqrt{433.3^2 + 340.4^2} = 551.0 \text{ kg/cm}^2$$

در نتیجه برای تعیین ضخامت گلولی جوش می توان نوشت:

$$0.85 \times 0.707 a_w \times 0.75 \times 0.6 \times 4200 = 551 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow 1135 a_w = 551 \text{ kg/cm}^2$$

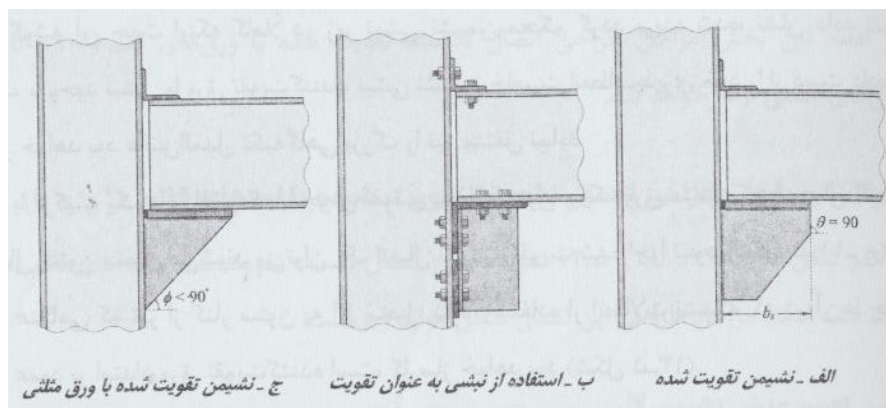
$$a_w = 0.49 \text{ cm}$$

بنابراین ضخامت گلولی جوش  $a_w = 0.6 \text{ cm}$  در نظر گرفته می شود.

### اتصالات نشسته تقویت شده:

همانگونه که در بخش قبلی ملاحظه گردید، برای انتقال واکنش‌های تکیه‌گاهی بزرگ تیر به ستون استفاده از نشیمن‌های انعطاف‌پذیر جوابگو نمی‌باشد. یک راه حل اصولی و مناسب برای انتقال واکنش‌های تکیه‌گاهی بزرگ، استفاده از اتصالات ساده نشسته تقویت شده است.

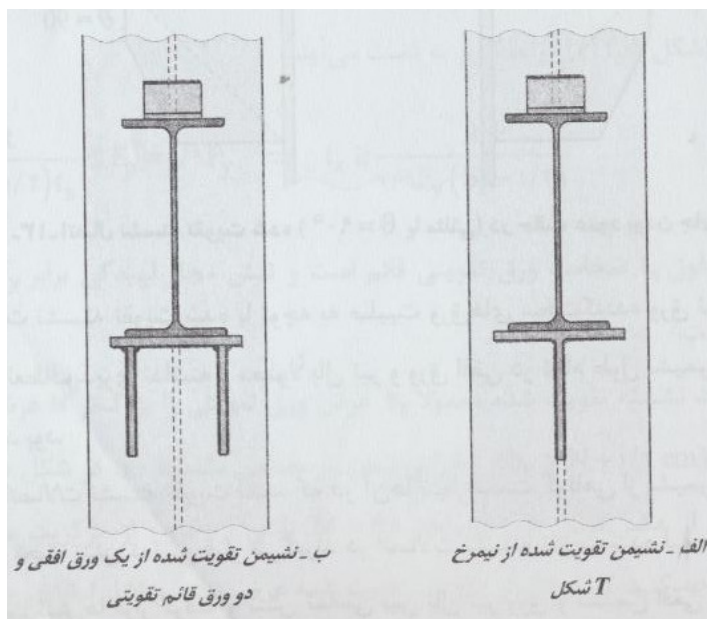
در شکل ۱۷-۴ چند نوع اتصال نشسته تقویت شده نشان داده شده است.



شکل ۱۷-۴- اتصالات نشسته تقویت شده

اتصالات نشسته تقویت شده هر چند قادر به انتقال واکنش‌های تکیه‌گاهی بزرگ هستند ولی برای انتقال لنگر خمشی طراحی نمی‌شوند. بنابراین اتصالات نشسته تقویت شده در طبقه‌بندی اتصالات ساده قرار دارند.

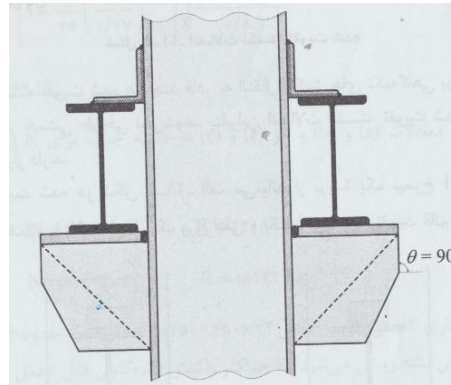
نشیمن تقویت شده در شکل ۱۷-۴- الف می‌تواند از بریده یک نیمرخ I به شکل سپری (شکل ۱۸-۴- الف) و یا با استفاده از یک ورق افقی و یک یا چند ورق تقویت قائم (شکل ۱۸-۴- ب) اجرا شود.



شکل ۱۸-۴- اتصالات نشسته تقویت شده با لبه‌های قائم



در شکل ۴-۱۷- ب نشیمن انعطاف‌پذیری که توسط یک نبشی یا ورق تقویت‌کننده (سخت‌کننده) که گوشه آن جهت اینکه کاملاً در زیر نبشی نشیمن محکم گردد بریده شده، نشان داده شده است. با وجود نبشی یا ورق تقویت‌کننده، نبشی نشیمن خاصیت انعطاف‌پذیری خود را از دست داده و قادر خواهد بود عکس‌العمل تکیه‌گاهی بزرگ را نیز منتقل نماید. با ترکیب یک ورق افقی که با جوش نفوذی به بال ستون و یک ورق مثلثی که با جوش گوشه به بال ستون متصل می‌شوند می‌توان یک اتصال نشسته تقویت شده اجرا نمود (شکل ۴-۱۷-ج). هنگامی که تیر از کنار ستون به آن متصل شود، استفاده از اتصالات نشسته که در آن‌ها جان تیر عمود بر امتداد ورق تقویت‌کننده است، کارساز خواهد بود (شکل ۴-۱۹).



شکل ۴-۱۹- اتصالات نشسته تقویت شده ( $\theta=90^\circ$  و یا مثلثی) در حالت عمود بودن جان تیر و ستون

در اتصالات نشسته تقویت شده با توجه به صلبیت ورق‌های سخت‌کننده ورق نشیمن زیر بال تیر خاصیت انعطاف‌پذیری نداشته و معمولاً بال تیر و ورق افقی در تمام طول نشیمن با یکدیگر در تماس خواهند بود. برخلاف اتصالات نشسته تقویت نشده که در آن‌ها تنها قسمت کوتاهی از نشیمن از لبه داخلی مجاور ستون تحت تنش تماسی قرار می‌گیرند، در اتصالات نشسته تقویت شده لبه خارجی نشیمن تحت بیشترین تنش‌ها قرار گرفته و تنش تماسی بین بال تیر و ورق نشیمن افقی تقریباً در تمام طول نشیمن توسعه می‌یابد. در اتصالات نشسته تقویت شده طول نشیمن از روابط ارائه شده به شرح ذیل قابل استخراج است: کنترل تسلیم در زیر واکنش تکیه‌گاهی  $R_{II}$  توسط رابطه زیر بیان می‌شود،

$$\mathcal{L}_b = \frac{P_u}{\phi F_{yw} \times t_w} - 2.5K \geq k, \quad \phi = 1.00$$

در این صورت  $\mathcal{L}_b$  طول تماس بین ورق افقی و بال تیر از رابطه زیر بدست می‌آید و مقدار آن بزرگتر از  $K$  توصیه می‌شود،

در رابطه فوق،

$K$ : فاصله بین سطح بال تیر تا پایان گردی ریشه اتصال بال به جان تیر،

$t_w$ : ضخامت جان تیر می‌باشد.

مقادیر پیشنهادی  $L_b$  که توسط کتب دستی آیین نامه AISC ارائه شده بر مبنای تسلیم موضعی جان تنظیم گردیده است. بر اساس تحقیقات جانسون و کوبو چنانچه چین خوردگی جان از تسلیم موضعی آن بحرانی تر باشد طول نشیمن  $L_b$  باید تصحیح شود.

بنابراین طول نشیمن  $L_b$  باید به گونه‌ای باشد که چین خوردگی جان در اثر ناپایداری کنترل شود. برای جلوگیری از پدیده چین خوردگی جان تیر در اثر عکس العمل تکیه‌گاهی  $R_u$  لازم است رابطه زیر برقرار باشد،

$$R_u \leq \phi R_n = 0.75 \times 0.4 \times t_w^2 \left[ 1 + \frac{3 L_b}{d} \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E \times F_{yw} \times t_f}{t_w}}, \quad \phi = 0.75$$

در رابطه فوق  $F_{yw}$  تنش تسلیم تیر بر حسب  $\text{kg/cm}^2$ ،  $E$  ضریب ارتجاعی فولاد بر حسب  $\text{kg/cm}^2$ ،  $t_f$  و  $d$  به ترتیب ضخامت بال و عمق تیر است و  $L_b$ ،  $t_w$  قبلاً تعریف شده اند.  $R_u$  در رابطه فوق بر حسب  $\text{kg}$  به دست می‌آید. در ادامه مراحل طراحی اتصال نشسته تقویت‌شده با ورق‌های قائم ( $\theta = 90^\circ$ ) و ورق‌های مثلثی ارائه خواهد شد.

### مراحل طراحی اتصال نشسته تقویت شده با لبه‌های قائم ( $\theta = 90^\circ$ )

در شکل‌های ۴-۱۷، الف و ۴-۱۸ نمونه‌هایی از اتصال نشسته تقویت شده با لبه‌های قائم نشان داده شده است. مراحل طراحی این اتصال شامل موارد زیر است،

#### الف - تعیین عرض نشیمن $L_b$

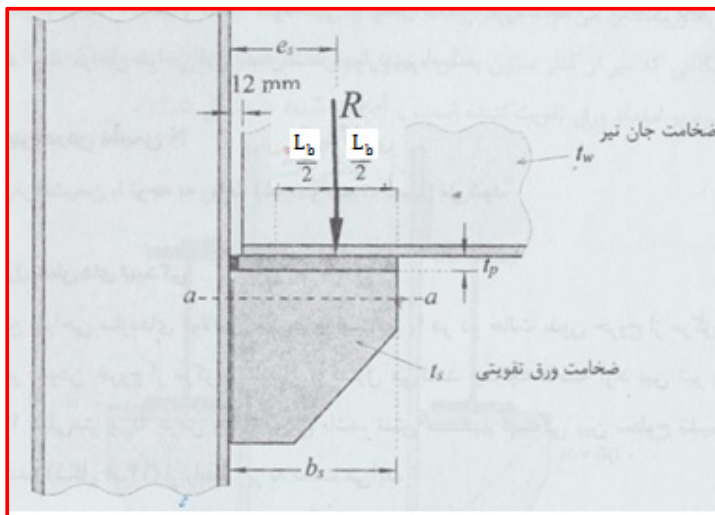
$L_b$  عرض نشیمن با توجه به روابط صفحه قبل تعیین می‌شود.

#### ب - کنترل تنش‌های فشاری در ورق سخت‌کننده

با توجه به شکل ۴-۲۰،  $e$  خروج از مرکزیت برابر با  $e = e_s - \frac{b_s}{2}$  خواهد بود. در این صورت تنش تماسی فشاری (لهیدگی) حداکثر در مقطع a-a برابر خواهد بود با،

$$\frac{R_u}{b_s t_s \phi_c F_y} + \frac{4 R_u \left( e_s - \frac{b_s}{2} \right)}{t_s b_s^2 \phi_b F_y} \leq 1 \quad \xrightarrow{\phi_c = \phi_b = 0.9} \quad t_s \geq \frac{R_u (4 e_s - b_s)}{0.9 F_y b_s^2} \implies t_s \geq \frac{R_u (3 b_s - 2 L_b)}{0.9 F_y b_s^2}$$

بنابراین  $t_s$  ضخامت ورق تقویتی از رابطه بالا بدست خواهد بود.



شکل ۴-۲۰- تعیین تنش‌ها در مقطع بحرانی

### ج- کنترل کمانش موضعی ورق تقویتی

برای جلوگیری از کمانش موضعی ورق تقویتی (سخت کننده) باید رابطه زیر برقرار باشد،

$$\frac{b_s}{t_s} \leq \frac{795}{\sqrt{F_{yst}}}$$

در رابطه فوق  $F_{yst}$  تنش تسلیم ورق تقویتی بر حسب  $\text{kg/cm}^2$  می‌باشد.

### د. محدودیت ضخامت ورق‌های اتصال

آیین نامه های طراحی محدودیت زیر را برای ورق‌های اتصال در نظر می‌گیرند.

$$t_p \geq t_s \geq t_w$$

در رابطه فوق  $t_p$  ضخامت ورق افقی،  $t_s$  ضخامت ورق تقویتی و  $t_w$  ضخامت جان تیر است.

### ه- محدودیت ضخامت جوش ورق تقویتی

آیین نامه‌های طراحی پیشنهاد می‌کنند نیروی برشی طراحی در ورق تقویت قائم بزرگ‌تر از نیروی برشی قابل انتقال در جوش گوشه بین ورق تقویتی قائم و بال ستون باشد. چنانچه  $a_w$  ضخامت گلوی جوش،  $F_{uw}$  تنش نهایی الکتروود مصرفی و  $L_s$  طول ورق تقویتی باشد، در این صورت با فرض دو خط جوش گوشه می‌توان نوشت،

$$L_s t_s \phi_V (0.6 F_y) \geq 2 \times \beta \times 0.707 a_w \times \phi \times 0.6 F_{uw} L_s \xrightarrow{\phi_V=0.9} t_s \geq \frac{1.18 \beta a_w F_{uw}}{F_y}$$

با فرض الکتروود E60 و  $\beta = 0.75$  و استفاده از فولاد نرمه جهت ورق تقویت کننده رابطه فوق به صورت زیر باز نویسی می‌شود،

$$t_s \geq 1.55 a_w$$

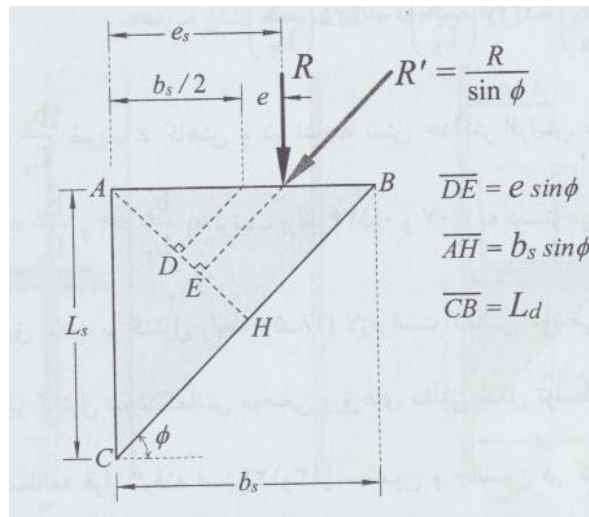
### طراحی اتصال نشسته با تقویت مثلثی شکل

در شکل‌های ۴-۱۷-ج و ۴-۱۹ نمونه‌هایی از اتصال نشسته تقویت شده با ورق مثلثی نشان داده شده است. رفتار اتصالات نشسته با ورق تقویتی مثلثی شکل و نیز توزیع تنش حداکثر در آن‌ها، با عملکرد اتصالات نشسته تقویت شده، با ورق‌های دارای لبه قائم متفاوت است. در ضمن صلبیت اتصال نشسته با ورق مثلثی شکل از اتصال نشسته با ورق‌های تقویت کننده مستطیلی بیشتر است.

بررسی کمانش موضعی ورق‌های مثلثی شکل در طراحی اتصال نشسته تقویت شده با این گونه ورق‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تحقیقات تجربی و نظری مؤید این مطلب است که ورق‌های مثلثی شکل از قدرت بعد از کمانش قابل توجهی برخوردار هستند و معمولاً در این گونه ورق‌ها به علت توزیع محدود تنش‌ها، جاری شدن در لبه آزاد قبل از وقوع کمانش موضعی رخ می‌دهد. بنابراین ظرفیت نهایی ورق‌های مثلثی شکل از بار کمانش اولیه آن‌ها به بیشتر است. در ادامه نحوه محاسبه‌ی تنش و طراحی اتصالات نشسته با ورق‌های مثلثی به روش الاستیک تقریبی ارائه می‌شود؛

#### محاسبه ابعاد سخت کننده‌های مثلثی به روش الاستیک تقریبی

روش الاستیک تقریبی که مبتنی بر فرضیات خمش تیرها است به عنوان یک روش جایگزین جهت تحلیل و طراحی ورق‌های مثلثی شکل در اتصالات نشسته تقویت شده برای سالیان متمادی مورد توجه طراحان و مهندسان بوده است. در شکل ۴-۲۴ ورق مثلثی شکلی که تحت واکنش تکیه‌گاهی  $R_u$  با خروج از مرکزیت  $e_s$  از لبه ستون قرار گرفته، نشان داده شده است. زاویه  $\phi$  بین لبه مایل سخت کننده و محور افقی می‌باشد.



شکل ۴-۲۴- ورق مثلثی شکل در اتصال نشسته تقویت شده (روش الاستیک تقریبی)

در این روش مقطع بحرانی فرضی که دارای بیشترین تنش می‌باشد، سطحی که از A عمود بر سطح BC است در نظر گرفته می‌شود (سطح AH). تنش حداکثر در نقطه H ناشی از نیروی مستقیم  $\frac{R_u}{\sin\phi}$  و لنگر خمشی  $R_u e$  برابر است با،

$$\frac{R_u}{b_s t_s \phi_c F_y \sin^2 \phi} + \frac{4R_u \left( e_s - \frac{b_s}{2} \right)}{t_s b_s^2 \phi_b F_y \sin^2 \phi} \leq 1 \quad \phi_c = \phi_b = 0.9 \quad t_s \geq \frac{R_u (3b_s - 2L_b)}{0.9 F_y b_s^2 \sin^2 \phi}$$

مثال: ۳-۴:

تکیه‌گاه نشسته‌ای از ورق تقویتی قائم برای انتقال ظرفیت برشی نیمرخ INP400 به ستونی با نیمرخ IPB320 طراحی کنید.  $F_y = F_{yst} = 2400 \text{ kg/cm}^2$ ، الکتروود مصرفی E60 و  $\beta = 0.75$  می‌باشد.

حل:

مشخصات نیمرخ INP = 400 به شرح زیر است،

$$d = 40 \text{ cm} \quad t_w = 1.44 \text{ cm} \quad K = 3.85 \text{ cm} \quad t_f = 2.16 \text{ cm}$$

نکته: چنانچه عکس العمل تکیه‌گاه داده نشده باشد، عکس العمل تکیه‌گاه را بر اساس ظرفیت برشی تیر حساب می‌کنیم، که این نیرو، حداکثر عکس‌العمل محتمل تیر خواهد بود.

تعیین ظرفیت برشی نیمرخ INP400

$$\frac{H}{t_w} = \frac{40 - 2 \times 2.16}{1.44} = 24.78 < \frac{3185}{\sqrt{2400}} = 65 \Rightarrow \phi V_n = 1 \times (0.6 \times F_y \times A_w \times C_v)$$

$$\phi V_n = 1 \times (0.6 \times 2400 \times 1.44 \times 40 \times 1) = 82944 \text{ kg} \cong 83000 \text{ kg}$$

$R_u$  ظرفیت برشی نیمرخ را مساوی ۸۳ تن در نظر می‌گیریم.

تعیین عرض نشیمن  $L_b$

با توجه به روابط مربوطه می‌توان نوشت،

$$L_b \geq \frac{83000}{1.0 \times 2400 \times 1.44} - 2.5 \times 3.85 = 14.4 \text{ cm}$$

$$83000 \leq 0.75 \times 1.44^2 \left[ 1 + \frac{3 \times 14.4}{40} \left( \frac{1.44}{2.16} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.03 \times 1000000 \times 2400 \times 2.16}{1.44}} = 211106 \text{ kg o.k}$$

$$\Rightarrow L_b \geq 14.4 \text{ cm}$$

بنابراین حداقل عرض نشیمن مورد نیاز 14.4 سانتی متر است.

اگر فاصله آزاد تیر و ستون ۱۲ میلی‌متر در نظر گرفته شود آنگاه  $b_s$  عرض ورق تقویتی باید از  $N + 1.2 = 15.6$  بزرگ‌تر باشد. با فرض  $b_s = 16 \text{ cm}$  تنش لهیدگی بین سطوح نشیمن و ورق قائم را از رابطه مربوطه کنترل می‌کنیم.

در این صورت،

$$t_s \geq \frac{83000(3 \times 16 - 2 \times 14.4)}{0.9 \times 2400 \times 16^2} = 2.88 \text{ cm}$$

چنانچه از دو ورق سخت‌کننده با ضخامت ۱۵ میلی‌متر استفاده کنیم:

$$2 \times 1.5 = 3 \text{ cm} > 2.88 \text{ cm o.k}$$

کنترل کمانش موضعی ورق تقویتی قائم از رابطه مربوطه به صورت زیر است،

$$\frac{b_s}{t_s} = \frac{16}{1.5} = 10.67 < \frac{795}{\sqrt{2400}} = 16.23$$

چنانچه ضخامت ورق افقی  $t_p = 18 \text{ mm}$  در نظر گرفته شود، داریم،

$$t_p = 1.8 \text{ cm} > t_s = 1.5 \text{ cm} > t_w = 1.44 \text{ cm}$$

برای کنترل جوش ورق سخت کننده توسط رابطه مربوطه می توان نوشت،

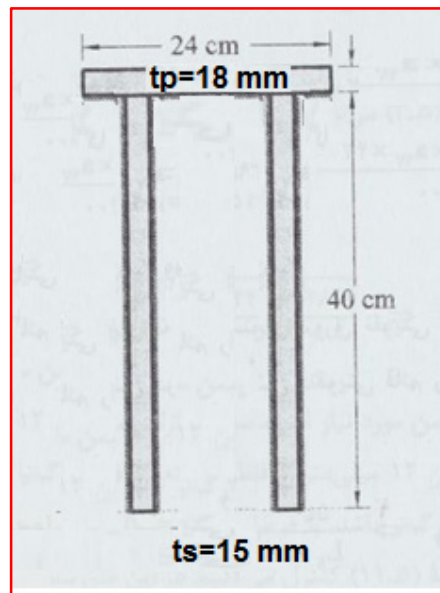
$$t_s = 1.5 \geq 1.55 a_w \Rightarrow a_w \leq 0.97 \text{ cm} \approx 1.0 \text{ cm}$$

### طراحی جوش ورق تقویتی به بال ستون

ورق تقویتی قائم توسط جوش گوشه به بال ستون و ورق تقویتی افقی متصل می شود. برای تخمین طول ورق (طول جوش) تنش برشی در ورق تقویتی قائم را کنترل می کنیم. بنابراین خواهیم داشت،

$$2L_s t_s \phi(0.6F_y) \geq R_u \Rightarrow L_s \geq \frac{83000}{2 \times 1.5 \times 0.9 \times (0.6 \times 2400)} = 21.3 \Rightarrow L_s \geq 21.3 \text{ cm}$$

چون جوش گوشه علاوه بر نیروی برشی  $R_u$  تحت اثر لنگر خمشی  $M_u = R_u \times e_s$  نیز قرار دارد، در این صورت مطابق شکل ۴-۲۱ طول جوش (طول ورق تقویتی قائم) را ۴۰ سانتی متر در نظر می گیریم.



شکل ۴-۲۱- جوش گوشه اتصال ورق تقویتی قائم به بال ستون و ورق افقی

خصوصیات هندسی جوش در شکل ۴-۲۱ با فرض ضخامت مؤثر گلوئی جوش به شرح زیر است،

$$\bar{y} = \frac{4 \times 40 \times 20}{4 \times 40} = 20 \text{ cm}$$

$$I = 4 \times \frac{1}{12} \times 1 \times 40^3 = 21333 \text{ cm}^4$$

$M_u$  لنگر خمشی وارد بر جوش برابر است با،

$$M_u = R_u \times e_s = 83000 \times 8.8 = 730400 \text{ kg.cm}$$

تنش حداکثر ناشی از لنگر خمشی  $M_u$  برابر خواهد بود با،

$$f_x'' = \frac{M_u y}{I} = \frac{730400 \times 20}{21333} = 685 \text{ kg/cm}^2$$

تنش برشی مستقیم در جوش ناشی از واکنش تکیه گاهی  $R_u = 83000 \text{ Kg}$  برابر است با،

$$f_y' = \frac{R_u}{A_w} = \frac{83000}{160} = 519 \text{ kg/cm}^2$$

$F_u$  برآیند تنش برشی در جوش گوشه برابر خواهد بود با،

$$f_u = \sqrt{(f_x'')^2 + (f_y')^2} = \sqrt{(685)^2 + (519)^2} = 859 \text{ kg/cm}^2$$

برای تعیین ضخامت گلوی جوش می‌توان نوشت،

$$859 \leq 1000a_w \Rightarrow a_w \geq 0.86 \text{ cm}$$

با فرض  $a_w = 1.0 \text{ cm}$  خواهیم داشت،

$$0.86 < a_w = 1.0 \text{ cm} \leq 1.0 \text{ cm}$$

ضخامت بال ستون IPB320 برابر  $t_{fc} = 2.05 \text{ cm}$  و ضخامت ورق تقویتی  $t_s = 1.5 \text{ cm}$  می‌باشد. حداقل ضخامت جوش

گوشه از جدول مربوطه برابر  $a_w(\min) = 8 \text{ mm}$  و حداکثر ضخامت جوش گوشه برابر است با،

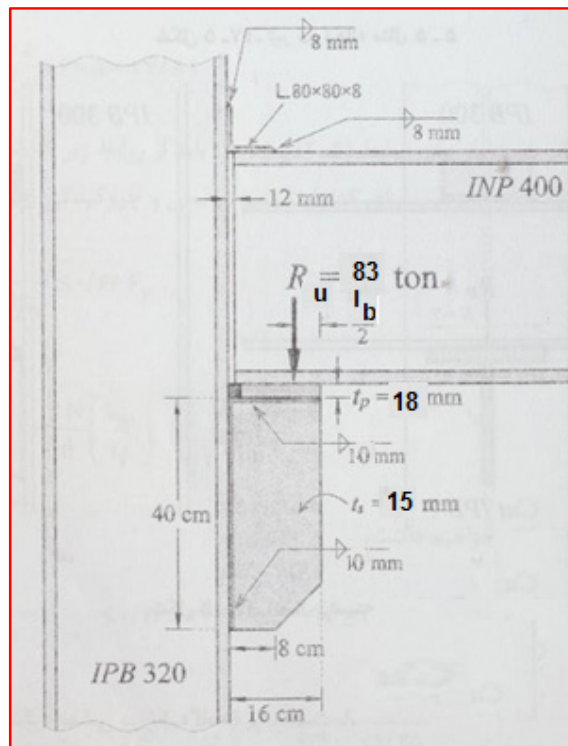
$$a_w(\max) = \min(t_{fc}, t_s) - 0.2 = \min(2.05 \text{ و } 1.5) - 0.2 = 1.3 \text{ cm}$$

بنابراین می‌توان نوشت،

$$a_w(\min) = 8 \text{ mm} < a_w = 10 \text{ mm} < a_w(\max) = 13 \text{ mm}$$

با فرض استفاده از نبشی  $L80 \times 80 \times 8$  برای اتصال بال فوقانی تیر به بال ستون، جزئیات اتصال در شکل ۲۲-۴ نشان

داده شده است.



شکل ۲۲-۴- جزئیات اتصال مثال ۲۲-۴

مثال ۴-۴:

تکیه‌گاه نشسته‌ای از ورق تقویتی مثلثی برای انتقال ظرفیت برشی تیرورقی با مقطع I شکل و مشخصات عرض بال  $b_f = 30\text{cm}$  و ضخامت بال  $t_f = 2\text{cm}$ ، ارتفاع جان  $h = 50\text{cm}$ ، ضخامت جان  $t_w = 1.4\text{cm}$  به ستونی با نیمرخ IPB340 را طراحی کنید. زاویه  $\varphi$  ۶۰ درجه فرض شود.

ورق‌های مصرفی از فولاد ST52 با  $F_y = 3600\text{kg/cm}^2$  و الکتروود مصرفی E70 و  $\beta = 0.75$  می‌باشد.

حل:

تعیین ظرفیت برشی تیر ورق

$$\frac{h}{t_w} = 35.7 < 1.1 \sqrt{\frac{K_v E}{F_y}} = 1.1 \sqrt{\frac{5 \times 2.03 \times 1000000}{2400}} = 71.5 \Rightarrow \phi V_n = 0.9 (0.6 h t_w F_y)$$

$$\phi V_n = 0.9 (0.6 \times 54 \times 1.4 \times 2400) \Rightarrow R_u = 97977 \text{ kg} \cong 98000 \text{ kg}$$

تعیین عرض نشیمن  $L_b$

با توجه به روابط مربوطه حداقل عرض نشیمن  $L_b$  تعیین می‌شود. برای تیر ورق‌ها  $k = t_f$  در نظر گرفته می‌شود.

$$L_b \geq \frac{98000}{1 \times 3600 \times 1.4} - 2.5 \times 2 = 14.45 \text{ cm}$$

$$98000 \leq 0.75 \times 1.4^2 \left[ 1 + \frac{3 \times 14.45}{54} \left( \frac{1.40}{2.0} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{2.03 \times 1000000 \times 3600 \times 2.0}{1.40}} = 245532 \text{ kg o.k}$$

$$\Rightarrow L_b \geq 14.45 \text{ cm}$$

بنابراین حداقل عرض نشیمن مورد نیاز 14.45 سانتی متر است.

اگر فاصله آزاد تیر و ستون ۱۲ میلی‌متر در نظر گرفته شود آنگاه  $b_s$  عرض ورق تقویتی باید از  $N + 1.2 = 15.65$  بزرگ‌تر باشد. با فرض  $b_s = 16\text{cm}$  تنش لهیدگی بین سطوح نشیمن و ورق سخت‌کننده را از رابطه مربوطه کنترل می‌کنیم.

$$t_s \geq \frac{R_u (3b_s - 2L_b)}{0.9 F_y b_s^2 \sin^2 \varphi} = \frac{98000 (3 \times 16 - 2 \times 14.45)}{0.9 \times 3600 \times 16^2 \sin^2 60} = 4.97 \text{ cm}$$

از سه ورق به ضخامت هر کدام 2 cm استفاده می‌شود

$$t_s = 3 \times 2 = 6 \text{ cm} > 4.97 \text{ cm o.k}$$

$$\tan(90 - \varphi) = \tan(90 - 30) = \frac{b_s}{L_s} = \frac{16}{L_s} \Rightarrow L_s = 27.7 \Rightarrow \text{use } L_s = 30 \text{ cm}$$

طراحی جوش ورق تقویتی به بال ستون

با توجه به ارتفاع ورق مثلثی طول هر ردیف خط جوش ورق به بال ستون ۳۰ سانتی‌متر خواهد بود..

$$R_u = 98000 \text{ kg}$$

$$M_u = R_u \left( b_s - \frac{L_b}{2} \right) = 98000 \left( 16 - \frac{14.45}{2} \right) = 859950 \text{ kg.cm}$$

$f'_y$  تنش برشی مستقیم در جوش گوشه با فرض ضخامت گلوی مؤثر جوش معادل یک سانتی متر برابر است با:



$$f'_y = \frac{R_u}{A_w} = \frac{98000}{6 \times 15} = 544 \text{ kg/cm}^2$$

$f'_x$  تنش خمشی کششی در جوش گوشه برابر خواهد بود با:

$$f''_x = \frac{M_u}{S} = \frac{859950 \times 6}{6 \times 30^2} = 955 \text{ kg/cm}^2$$

$f_u$  تنش برآیند در جوش گوشه برابر است با:

$$f_u = \sqrt{544^2 + 955^2} = 1099 \text{ kg/cm}^2$$

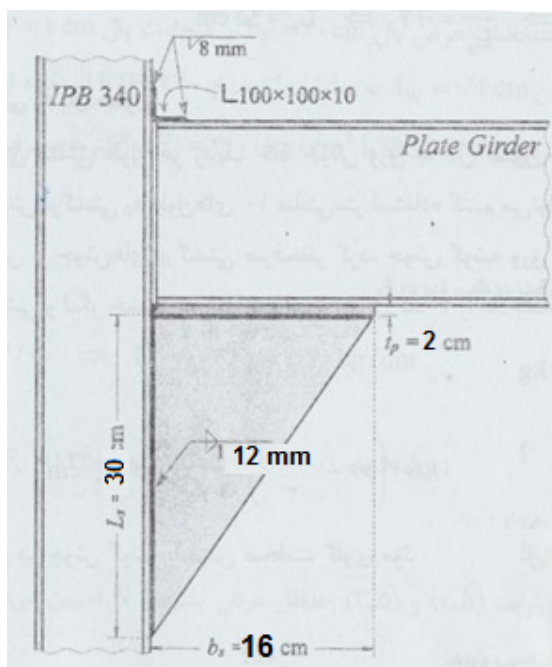
برای تعیین ضخامت گلوی جوش گوشه می‌توان نوشت.

$$1099 \leq 1000a_w \Rightarrow a_w \geq 1.1 \text{ cm}$$

چنانچه از جوش گوشه با ضخامت گلوی ۱۲ میلی‌متر استفاده کنیم. محدودیت حداقل و حداکثر ضخامت گلوی جوش

ارضا می‌شود. ضخامت ورق افقی نیز ۲۰م.م انتخاب می‌گردد.

در شکل ۴-۲۶ جزئیات اتصال مثال (۴-۴) نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۶- جزئیات اتصال مثال ۴-۴

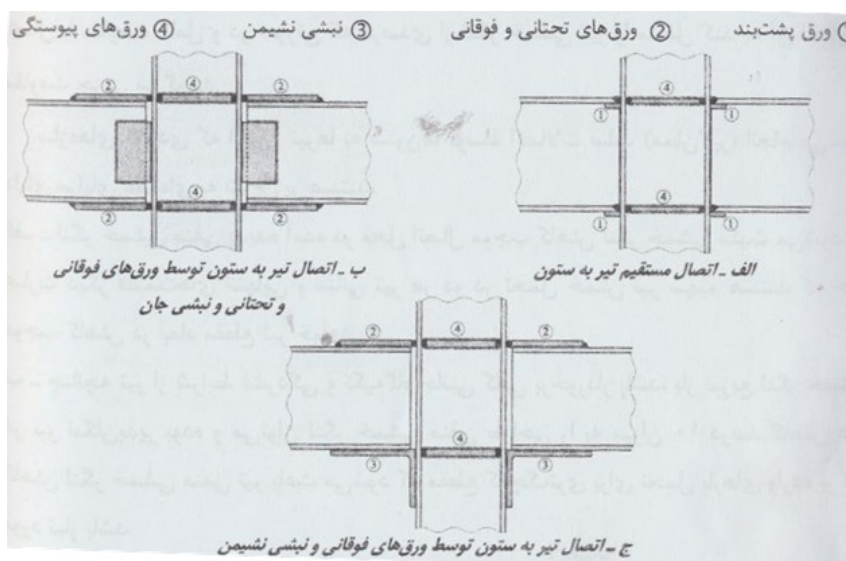
## اتصالات صلب (ممان گیر) تیر به ستون

در اتصالات صلب خمشی، لنگر خمشی انتهای تیر به صورت کامل به ستون منتقل گردیده و زاویه چرخش بین تیر و ستون در محل اتصال ثابت باقی می‌ماند. چنانچه اتصالی قادر باشد تمام ظرفیت خمشی تیر را به ستون منتقل کند به آن اتصال گیردار و در صورتی که درصدی از لنگر خمشی تیر را منتقل کند به آن اتصال نیمه‌گیردار می‌گویند. سازه‌های فولادی که اتصال تیرها به ستون‌ها توسط اتصالات صلب (ممان گیر) انجام می‌شود، دارای مزایای عمده‌ای به شرح زیر هستند:

- الف- لنگر خمشی منفی پدیده آمده در محل اتصال موجب کاهش لنگر خمشی مثبت می‌شود. به عبارت دیگر قسمت‌های انتهایی و میانی تیر هر دو در تحمل خمش تیر سهیم هستند که خود موجب کاهش در ابعاد مقطع تیر خواهد شد.
- ب- چنانچه تیر از شرایط فشردگی و تکیه‌گاه جانبی کافی برخوردار باشد، باز توزیع لنگر خمشی در تیر امکان پذیر بوده و می‌توان لنگر خمشی منفی طراحی را به میزان ۱۰ درصد کاهش داد. کاهش لنگر خمشی منفی تیر باعث می‌شود که مقطع کوچک‌تری برای تحمل بارهای وارده بر تیر مورد نیاز باشد.
- ج- در سازه‌های فولادی که امکان تعیین بادبند برای تحمل بارهای جانبی در آن‌ها به دلیل محدودیت‌های معماری میسر نباشد، استفاده از قاب‌های خمشی با اتصالات صلب یک راه حل مناسب جایگزین است.
- د- سازه‌های با اتصالات صلب عموماً دارای شکل‌پذیری مناسب هستند. از این رو سازه‌های فولادی با این‌گونه اتصالات عملکرد رضایت‌بخشی در برابر نیروهای ناشی از زلزله دارند.

## انواع اتصالات صلب متداول

هرچند تنوع اتصالات صلب تیر به ستون بسیار زیاد است، لیکن در این فصل به انواع رایج آن که به نحو گسترده‌ای در اسکلت‌های ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد اشاره خواهد شد.

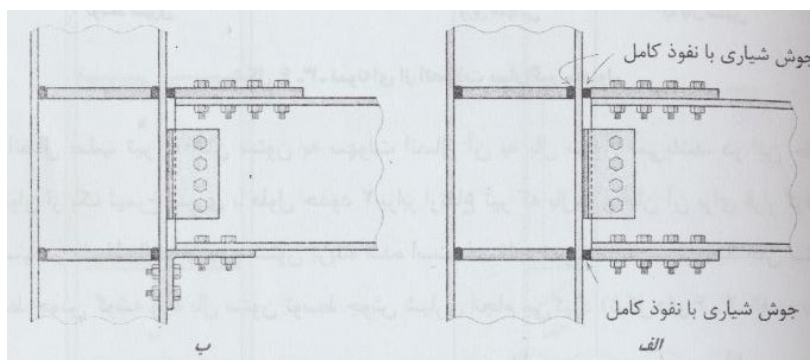


شکل ۴-۲۸- اتصال صلب متداول

چون عمده لنگر خمشی تیر در بال‌های آن توسعه می‌یابد، از این رو برای فراهم نمودن یک اتصال صلب باید به نحو مقتضی بال‌های تیر به ستون متصل گردند. اتصال بال‌های تیر به ستون می‌تواند به صورت مستقیم و با استفاده از جوش نفوذی (شکل ۴-۲۸-الف)، به صورت غیر مستقیم و توسط ورق‌های فوقانی و تحتانی (شکل ۴-۲۸-ب) و یا توسط ورق فوقانی و نشیمن (شکل ۴-۲۸-ج) انجام گیرد.

اتصال مستقیم بال‌های تیر به ستون به دلیل نیاز به پخ‌زنی بال برای جوش شیاری (شکل ۴-۲۸-الف) چندان متداول نیست و استفاده از ورق‌های فوقانی و تحتانی و یا نبشی نشیمن متداول تر است (شکل های ۴-۲۸-ب و ج).

شکل ۴-۲۹-الف نمونه‌ای از اتصال صلب را که بال‌های تیر توسط ورق‌های فوقانی و تحتانی به کمک جوش شیاری به بال ستون و توسط پیچ به بال‌های تیر متصل شده‌اند، نشان می‌دهد. انتقال نیروی برشی تیر به ستون توسط نبشی و با کمک پیچ در این اتصال انجام می‌گیرد. برای اتصال بال زیرین تیر به ستون از نبشی نشیمن مطابق شکل ۴-۲۹-ب می‌توان استفاده کرد.



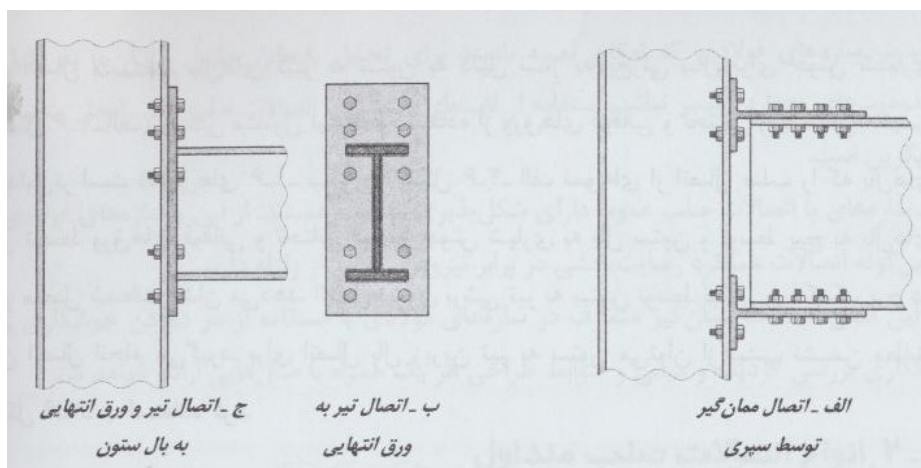
شکل ۴-۲۹- اتصال صلب متداول با کمک پیچ

همان‌گونه که در شکل‌های ۴-۲۸ و ۴-۲۹ ملاحظه می‌کنید جان ستون توسط ورق‌هایی که به آنان ورق‌های پیوستگی گویند، تقویت شده‌اند. لزوم به کارگیری ورق‌های تقویتی جان ستون (ورق‌های پیوستگی) در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار خواهد گفت.

به جای ورق‌های فوقانی و تحتانی و یا نبشی نشیمن می‌توان از سپری برای اتصال بال‌ها به ستون استفاده کرد (شکل ۴-۳۰-الف)

برای ایجاد یک اتصال صلب می‌توان تیر فولادی را در کارخانه به یک ورق انتهایی که در آن سوراخ‌هایی تعبیه شده است توسط جوش شیاری در بال و گوشه به جان متصل نمود. اتصال تیر به بال ستون توسط پیچ در محل کارگاه انجام می‌گیرد (شکل های ۴-۳۰-ب و ج).

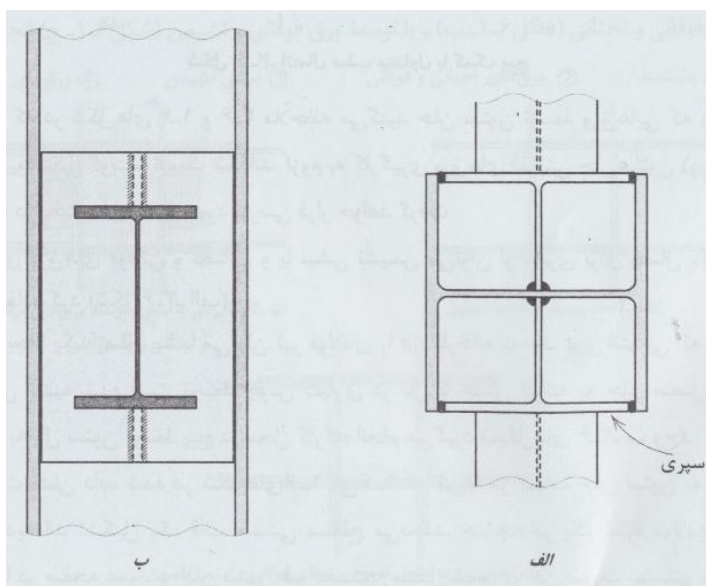
اتصالات نشان داده شده در شکل های ۴-۲۸ الی ۴-۳۰ که تیرها در صفحه جان ستون به ستون متصل گردیده‌اند تشکیل یک قاب خمشی مسطح می‌دهند. چنانچه در یک سازه فولادی لازم باشد تیرها در صفحه عمود بر جان ستون هم به ستون متصل شوند در این صورت سیستم سازه‌ای تشکیل یک قاب خمشی فضایی را خواهد داد.



شکل ۴-۳۰- نمونه‌ای از اتصال ممان گیر متداول

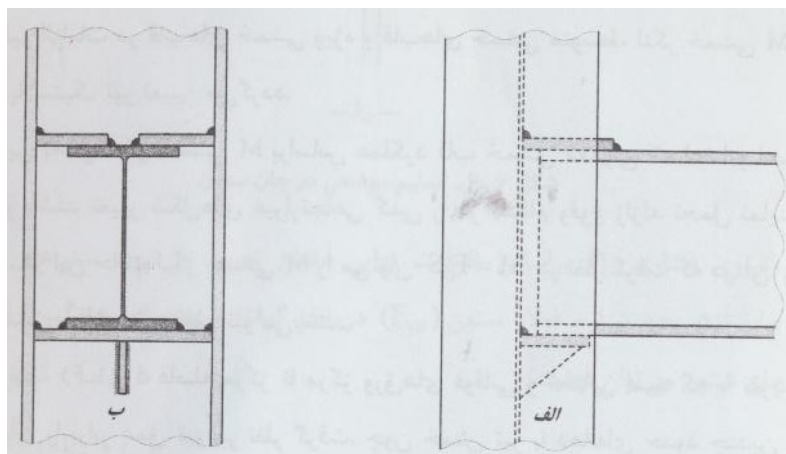
اتصال صلب تیر به جان ستون به سهولت اتصال آن به بال ستون نمی‌باشد. در این حالت می‌توان از یک نیمرخ سپری با طول حدود ۲ برابر ارتفاع تیر که بال‌ها و جان آن برای قرار گرفتن مناسب در فاصله بال‌ها و جان ستون بریده شده است، استفاده نمود. اتصال سپری به جان ستون توسط جوش گوشه و به بال ستون توسط جوش شیاری انجام می‌گیرد.

(شکل های ۴-۳۱-الف و ب)



شکل ۴-۳۱- اتصال تیر به جان ستون به کمک سپری

راهکار دیگر اتصال تیر به جان ستون، استفاده از ورق‌های فوقانی و نشیمن تقویت شده است. (شکل ۴-۳۲). در اتصال شکل ۴-۳۲ جان ستون به شدت در معرض خمش و تنش‌های موضعی قرار می‌گیرد. بنابراین استفاده از اتصال مطابق شکل ۴-۳۱ برای اتصال تیر به جان ستون مناسب‌تر خواهد بود. در ادامه این فصل به بررسی و تجزیه و تحلیل رفتار اتصالات نشان داده شده در شکل‌های ۴-۲۸ الی ۴-۳۲ پرداخته و ضمن ارائه اصول و ضوابط طراحی آن‌ها مثال‌هایی نیز در هر مورد ارائه خواهد شد.



شکل ۴-۳۲- اتصال ممان گیر تیر به جان ستون

### اتصال صلب توسط ورق‌های فوقانی و تحتانی (جان‌های تیر و ستون در یک صفحه)

در شکل‌های ۴-۲۸ ب و ۴-۲۹ الف نمونه‌ای از اتصال صلب تیر به ستون به کمک ورق‌های فوقانی و تحتانی که در آن جان‌های تیر و ستون در یک صفحه قرار دارند، نشان داده شده است.

لنگر خمشی منفی موجود در اتصال توسط یک زوج نیرو به صورت کشش در ورق فوقانی و فشار در ورق تحتانی به بال ستون منتقل می‌شود. انتقال نیروی برشی تیر به ستون توسط ورق یا نبشی که به جان تیر و بال ستون متصل می‌شود انجام می‌گردد.

ورق‌های فوقانی و تحتانی توسط جوش شیاری با نفوذ کامل به بال ستون و به کمک جوش گوشه یا پیچ به بال‌های تیر متصل می‌شوند. ورق‌های فوقانی و تحتانی و نبشی جان به ترتیب بر اساس نیروهای کششی، فشاری و برشی موجود در آن‌ها طراحی می‌شوند.

چنانچه لنگر خمشی منفی موجود در انتهای تیر را با  $M_u$  نشان دهیم در این صورت نیروهای کششی  $T_u$  و فشاری  $C_u$  به ترتیب در ورق‌های فوقانی و تحتانی برابر خواهند بود با،

$$T_u = C_u = \frac{M_u}{d}$$

لنگر خمشی  $M_u$  در رابطه فوق به عملکردی که از قاب خمشی انتظار می‌رود یا به عبارت دیگر الزامات قاب خمشی بستگی دارد. در حالتی که از قاب خمشی انتظار عملکرد ویژه وجود دارد، نظیر الزامات در قاب‌های خمشی متوسط، لنگر خمشی  $M_u$  بر اساس ظرفیت پلاستیک تیر تعیین می‌گردد.

در رابطه یاد شده،  $d$  فاصله مرکز ورق‌های فوقانی و تحتانی است که با تقریب خوبی می‌توان آن را برابر عمق تیر در نظر گرفت. چون خمش تیر با دهانه‌ای حدود چندین متر قرار است در بازوی با فاصله  $d$  به ستون منتقل شود، اصولاً  $C_u$ ،  $T_u$  نیروهای بزرگی خواهند بود.

نیروی فشاری  $C_u$  که در ارتفاع کوچکی (ضخامت ورق تحتانی) به ستون منتقل می‌شود موجب ایجاد لهیدگی به صورت تسلیم موضعی و چروکیدگی در جان ستون می‌شود. بنابراین لازم است جان ستون در مقابل نیروی فشاری  $C_u$  کنترل و در صورت لزوم تقویت شود.