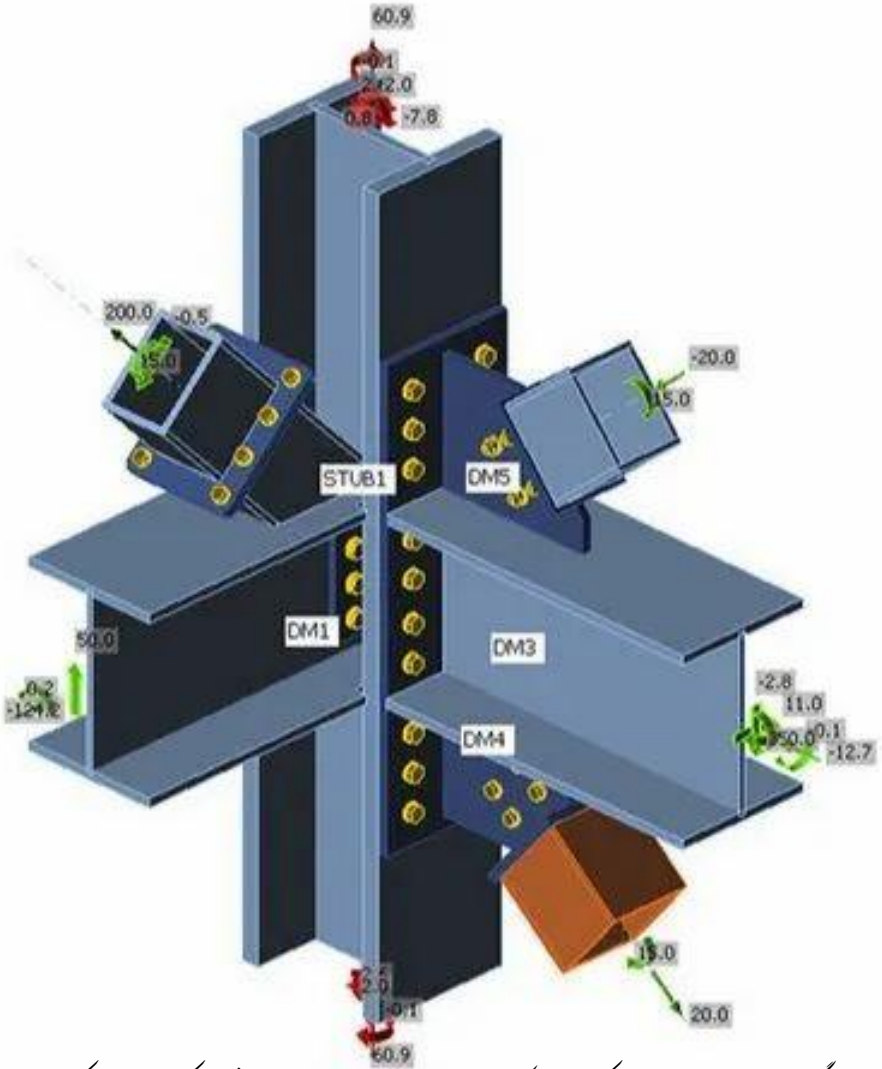
دانشگاه یزد

# طراحی سازه های فولادی ۲

## مبحث اول:

# آشنایی با اتصالات فولادی

مدرس: دکتر محمدرضا میرجلیلی




توجه: این درسنامه برگرفته از جزوه جناب آقای دکتر رحیمی و کتاب طراحی سازه های فولادی (جلد ششم) دکتر ازهری و دکتر میرقادری می باشد. جهت رعایت حقوق ناشر و مولفان لازم است که دانشجویان محترم این کتاب را تهیه کنند. در غیر این صورت مجاز به چاپ و انتشار صفحات کتاب نمی باشند.

## ۱-۱ مقدمه

در جلد پنجم کتاب طراحی سازه‌های فولادی با طراحی به روش حالات حدی (LRFD) اعضای اصلی سازه‌های فولادی نظیر اعضای کششی، انواع ستون‌ها، تیرها شامل تیرهای معمولی، تیرهای تحت اثر خمش دومحوره، تیرورق‌ها، تیرهای مرکب، ستون‌های مرکب و تیرستون‌ها آشنا شدید. طراحی با نگرش حالات حدی عناصر اصلی باربر یک سازه تحت اثر بارگذاری‌های مختلف که به صورت کشش، فشار، خمش، برش و پیچش و یا ترکیب آن‌ها به عضو وارد می‌شود، با استفاده از فرمول‌های نظری موجود در علم مکانیک سازه‌ها و روابط و ضوابط بیان شده‌ی توسط آئین‌نامه‌های طراحی با رعایت اصول ایمنی و اقتصادی ارائه شد. برای دست‌یابی به یک سازه‌ی ایمن و کارا لازم است، اعضای اصلی آن نظیر تیرها و ستون‌ها به نحو مناسبی به یکدیگر متصل شده تا بتوانند با عمل یکپارچه خود بهره‌وری مورد نظر را تأمین کنند. به بیانی دیگر اتصالات وظیفه‌ی انتقال نیروها و تأمین یکپارچگی از یک عضو سازه‌ای به عضو دیگر آن و یا به تکیه‌گاه را انجام می‌دهند.

هرچند تدوین اصول طراحی اعضای اصلی سازه‌ها نظیر تیرها، ستون‌ها و بادبندها به کمک روابط و ضوابط ارائه شده توسط آئین‌نامه‌های طراحی که خود متکی بر فرمول‌های نظری علم مکانیک سازه‌ها است تقریباً بدون هرگونه پیچیدگی و مشکلی ممکن می‌باشد، لیکن تجزیه و تحلیل رفتار اتصالات یک سازه عمدتاً دارای پیچیدگی‌های خاصی است که بیان آن به تنهایی توسط روابط نظری در اغلب حالات به آسانی میسر نیست و نیاز به انجام آزمایش‌های تجربی برای اطمینان از صحت رفتار آن‌ها می‌باشیم.

دو وظیفه‌ی عمده‌ی اتصالات در سازه‌ها را می‌توان چنین بیان کرد،

- انتقال نیرو بین اعضای سازه جهت ارضای شرایط تعادل
- تأمین یکپارچگی و انسجام بین اعضای مختلف آن جهت تأمین شرایط سازگاری

بررسی دقیق عملکرد اتصالات در یک سازه فولادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و عدم دقت در طراحی و اجرای اتصالات در سازه‌های فولادی 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 نحوه‌ی انتقال نیرو یا تأمین قیود تغییر مکان 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 نحوه‌ی صحیح انتقال نیرو و تأمین پیوستگی، 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.

اتصالات در سازه‌های فولادی را می‌توان به صورت‌های زیر طبقه‌بندی نمود:

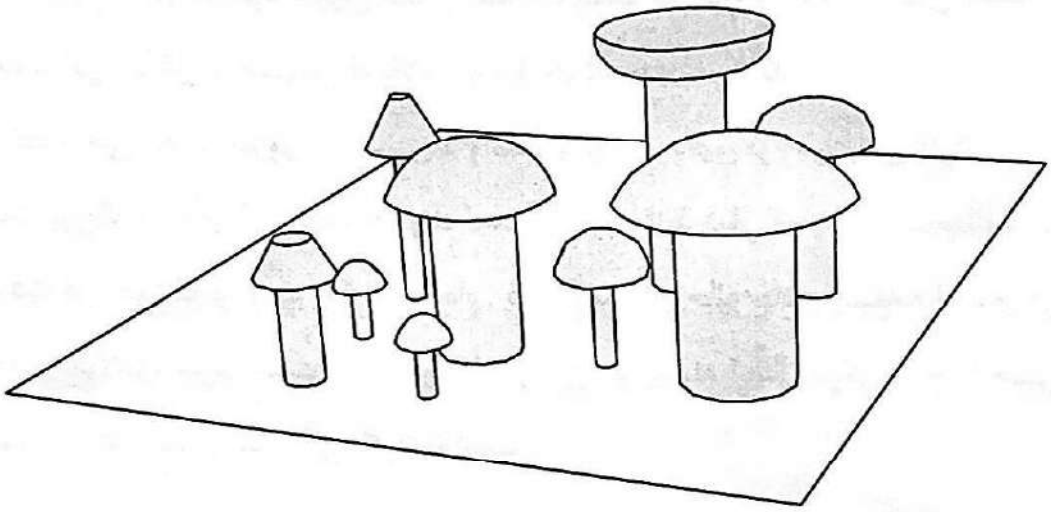
## ۱ـ۲ انواع اتصالات برحسب فن اتصال

سه نوع وسیله‌ی اتصال شامل پرچ، پیچ و جوش برای اتصالات سازه‌های فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرد:

### ۱ـ۲ـ۱ پرچ

پرچ‌ها یکی از وسایل بسیار قدیمی برای اتصالات سازه‌های فولادی است. در اغلب پل‌های قدیمی فلزی از پرچ به عنوان یک وسیله اتصال استفاده می‌کردند. در کشور ما نیز پل‌های با دهانه‌های نسبتاً بزرگ، نظیر پل‌های در مسیر راه‌های کناره‌ی دریای خزر، پل فلزی واقع بر رودخانه‌ی زاینده‌رود و پل قوسی راه‌آهن نزدیک شهر خوی و هم‌چنین پل قوسی بر روی رودخانه کارون واقع در شهر اهواز دارای اتصالات پرچی هستند. در کشورهای اروپایی و آمریکایی سازه‌هایی با تعداد طبقات زیاد، سازه‌های صنعتی و مخازن نفت نیز با اتصالات پرچی ساخته شده‌اند. مصالح پرچ‌ها از فولادهای مخصوص هستند و می‌توانند توسط نورد سرد یا گرم تهیه شوند. پرچ‌ها با قطرهای ۱تا۴ سانتی‌متر در کارخانه‌های سازنده تولید می‌شوند [۱-۳].

دو نوع پرچ با مشخصات استاندارد ASTM به نام‌های A502-Grade1 از فولاد کربنی برای مصارف عام و A502-Grade2 از فولاد اعلا برای مصارف خاص توسط کارخانه‌های سازنده تولید می‌شوند. پرچ A502-Grade1 دارای تنش تسلیم $F_y = ۱۹۵۰\ kg/cm^۲$ و تنش نهایی $F_u = ۳۶۰۰ - ۴۳۵۰\ kg/cm^۲$ و پرچ A502- Grade2 دارای تنش تسلیم $F_y = ۲۶۷۰\ kg/cm^۲$ و تنش نهایی $F_u = ۴۷۸۰ - ۵۷۶۰\ kg/cm^۲$ می‌باشند. شکل ۱-۱ تعدادی پرچ را در ابعاد و با شکل‌های مختلف کلاهک آن نشان می‌دهد.



**شکل ۱-۱**

نحوه‌ی عملیات اتصالات پرچی به قرار زیر است،

**الف** ـ اعضای مورد اتصال که به اندازه‌ای در حدود یک میلی‌متر بیشتر از قطر پرچ سوراخ شده‌اند بر روی یکدیگر قرار داده می‌شوند.

**ب** ـ پرچ در کوره تا حالت سرخ شدن کامل حرارت داده می‌شود.

**پ** ـ سطح بدنه‌ی قلم پرچ حرارت داده شده را به وسیله برس فلزی پاک کرده و به درون سوراخ‌هایی که قبلاً آماده شده‌اند وارد می‌کنند.

**ت** ـ با ثابت نگه‌داشتن سر کلاهک‌دار پرچ، سر دیگر آن را توسط یک چکش می‌کوبند تا به فرم کلاهک درآمده و پرچ محکم شود. عمل کوبیدن می‌تواند به وسیله یک دستگاه کوبنده که با هوای فشرده کار می‌کند، اجرا شود.

با انجام عملیات فوق بدنه‌ی پرچ به طور کامل داخل سوراخ فرو رفته و فضای داخل آن را پر می‌کند. علاوه بر آن هنگام سردشدن، پرچ منقبض شده که خود باعث ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی محدود در پرچ می‌شود. چون این نیروی پیش‌تنیدگی از یک پرچ به پرچ دیگر تفاوت می‌کند آن را در محاسبات منظور نمی‌کنند.

از مزایای عمده‌ی اتصالات پرچی امکان اتصال هر نوعی از فولاد توسط آن می‌باشد. علی‌رغم این امتیاز که اتصالات جوشی معمولاً فاقد آن هستند، امروزه از اتصالات پرچی به دلایل مشروحه در صفحه بعد به جز در موارد خاص مورد استفاده قرار نمی‌گیرند،

۱- در اتصالات پرچی سطح رویی قطعات برآمدگی داشته و امکان زنگ‌زدگی را افزایش می‌دهد و انجام عملیات رنگ‌آمیزی و ضدزنگ نمودن را مشکل می‌کند.

۲- عملیات پرچ‌کاری مستلزم سوراخ نمودن قطعات است که موجب ضعیف شدن مقطع فولادی می‌شود. این مشکل درخصوص اتصالات توسط جوش پدید نمی‌آید.

۳- اتصالات پرچی نیاز به نیروی انسانی زیاد و ماهر و نظارت دقیق بر اجرای آن دارد.

۴- عملیات پرچ‌کاری توأم با سر و صدای زیاد است که در شرایط فعلی محیط‌زیست مطلوب نیست. با پیشرفت فن جوشکاری و نیز تولید پیچ‌های پر مقاومت در حال حاضر استفاده از پرچ در اجرای سازه‌های فولادی تقریباً منسوخ شده و به جای آن دو وسیله اتصال دیگر (پیچ یا جوش) برای ساخت سازه‌های فلزی بسیار رایج گردیده است.

## ۱-۲-۲ پیچ

پیچ‌های موجود در بازار به دو صورت معمولی و یا اعلا (پرمقاومت) جهت اجرای اتصالات در سازه‌های فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. انتخاب نوع اتصال‌دهنده معمولاً به عواملی از قبیل نوع سازه، شرایط بارگذاری (استاتیکی ـ دینامیکی)، اقتصادی بودن، امکان فراهم نمودن آسان آن، شرایط محلی و وجود نیروهای کارگر جهت انجام مراحل اجرایی اتصال، محدودیت‌های آئین‌نامه‌های طراحی و نهایتاً به سلیقه و ترجیح طراح بستگی دارد. هر چند ارائه یک سری اصول قطعی برای برتری هر یک از انواع اتصال‌دهنده‌ها به آسانی میسر نیست، لیکن توجه به موارد کلی زیر می‌تواند به انتخاب مناسب نوع اتصال تا حدودی کمک نماید:

۱- در سازه‌های سبک که تحت بارهای استاتیکی قرار دارند و یا در اعضای ثانویه‌ی سازه مانند لاپه در سقف‌های شیروانی، بادبندها و مهارهای جانبی معمولاً استفاده از پیچ‌های معمولی (کم مقاومت) اقتصادی‌تر است.

۲- هنگامی که کارگر ماهر برای جوشکاری اتصالات فراهم نباشد، استفاده از اتصالات پیچی برتری دارد.

۳- چنانچه قرار باشد سازه فولادی پس از مدتی برچیده شود استفاده از اتصالات پیچی توصیه می‌شود.

۴- در سازه‌هایی که تحت اثر بارهای متناوب به قسمی قرار می‌گیرند که در اتصالات آن‌ها پدیده‌ی خستگی ایجاد می‌شود، استفاده از پیچ‌های پرمقاومت با عملکرد اصطکاکی دارای کارایی بهتری نسبت به اتصالات جوشی و یا اتصالات با پیچ‌های معمولی و یا پرمقاومت با عملکرد اتکایی است.

۵- در مواردی که به دلیل عدم امکان بازرسی‌های مستمر انجام جوشکاری میسر نباشد و یا در سازه‌های بلند که اجرای آن با صعوبت همراه است و نیز در شرایط محیطی سخت از قبیل وجود سرما، گرما که عملیات ساختمانی در تمام اوقات امکان‌پذیر نباشد، استفاده از اتصالات پیچی ارجح است.

## ۱-۲-۳ جوش

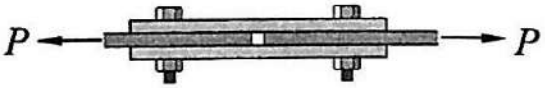
اتصال اعضای سازه به کمک حرارت و ذوب شدن موضعی نواحی اتصال و یکپارچه کردن مصالح به یکدیگر توسط فلز جوش را فن جوشکاری می‌نامند. در مورد اتصالات جوشی، موارد زیر قابل ذکر است:

۱- اتصالات جوشی به شرط اجرای مناسب و صحیح جوش دارای ظاهر بهتری نسبت به اتصالات پیچی بوده و دامنه کاربرد وسیع‌تری نیز دارند. امروزه با توجه به پیشرفت فن جوشکاری، امکان اتصال اعضا از انواع فولادها توسط جوش به آسانی میسر می‌باشد.

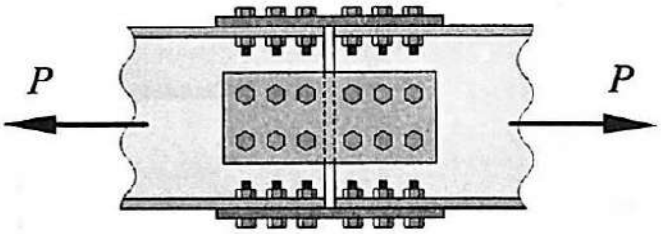
۲- به دلیل امکان کنترل کیفیت جوشکاری، معمولاً برای ساخت قطعات فلزی در کارخانه از فن جوشکاری استفاده می‌شود. در هر حال استفاده از وسایل جوشکاری در محل کارگاه (محل اجرای سازه) نیز بسیار متداول است.

۳- برای اتصالات در تیرهای سراسری و نیز تیرها با اتصالات صلب خمشی استفاده از جوش به عنوان یک وسیله‌ی اتصال کاربرد فراوانی دارد.

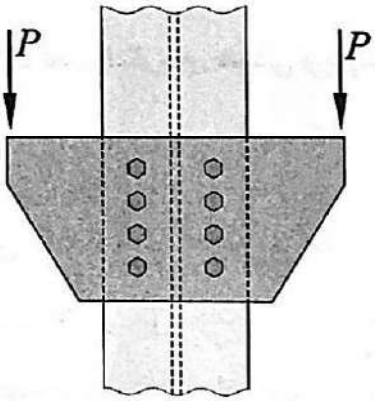
به دلیل عدم استقبال از اتصالات پرچی، در حد موارد مطرح شده در این بخش به موضوع پرچ بسنده می‌شود لیکن با توجه به رونق زیاد اتصالات جوشی و پیچی، دو فصل بعدی کتاب به این دو مورد اتصال‌دهنده اختصاص دارد.




الف ـ پیچ تحت برش دوطرفه




ب ـ پیچ اتصال بال و جان تحت برش



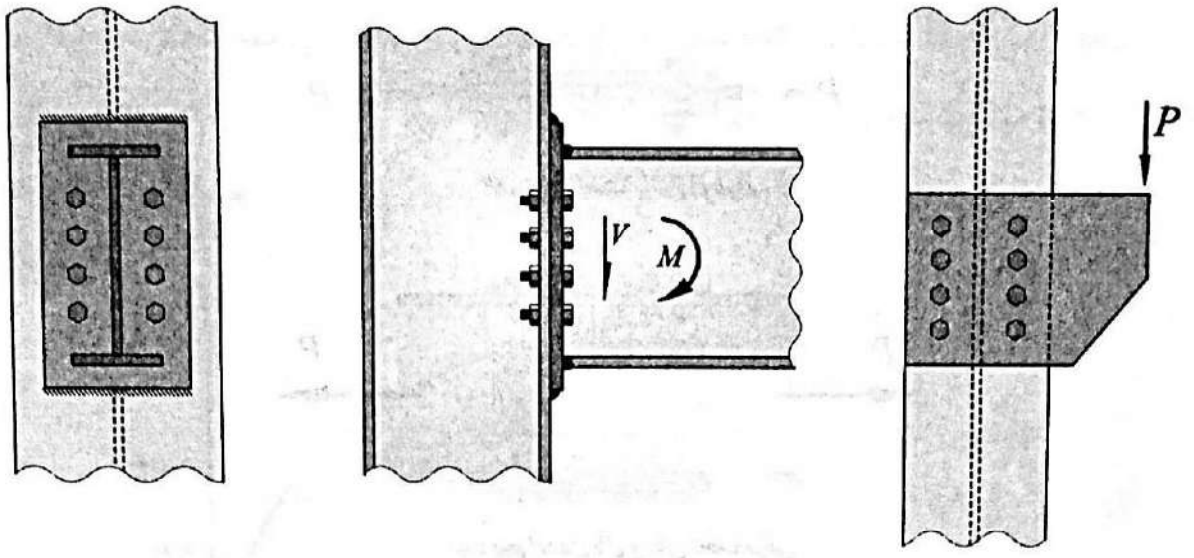

پ ـ ورق اتصال بال تحت برش

**شکل ۱ ـ ۸ ـ اتصالات تحت اثر نیروی برشی**

## ب ـ لنگرهای خمشی و پیچشی

در گروهی از اتصالات عمده‌ی نیروهای انتقالی به صورت لنگرهای خمشی و پیچشی در موضع اتصال نمایان می‌شوند.

معمولاً لنگرهای خمشی و پیچشی همراه با نیروهای برشی در اتصال پدید می‌آیند. اتصالات صلب و نیمه صلب در تیرهای ساختمانی عمدتاً تحت تأثیر لنگرهای خمشی و نیروهای برشی قرار دارند، در حالی که اتصال بادبندها به ستون و تیر و نیز اتصال به صورت براکت، در معرض نیروی برشی و لنگرهای پیچشی یا خمشی قرار می‌گیرد. شکل ۱-۹ نمونه‌هایی از اتصالات تحت لنگرهای خمشی و پیچشی توأم با نیروی برشی را نشان می‌دهد.

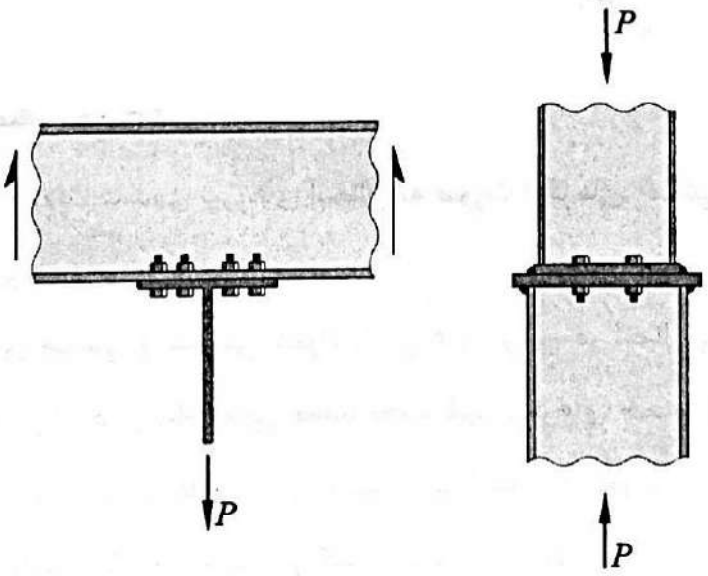



الف ـ اتصال براکتی تحت نیروی برشی و لنگر پیچشی ب ـ اتصال تیر به ستون تحت نیروی برشی و لنگر خمشی

**شکل ۱ ـ ۹ ـ اتصالات تحت لنگرهای خمشی و پیچشی توأم با برش**

### پ ـ کشش و فشار

در گروهی از اتصالات نیروهایی که از یک عضو به عضو دیگر منتقل می‌شوند به صورت نیروهای محوری (کششی یا فشاری) ظاهر می‌شوند. اتصالات وصله ستون، اتصالات خرپایی و اتصالات بادبندها را می‌توان در این طبقه‌بندی قرار داد. عمده‌ی اتصالات فشاری و یا کششی همراه با نیروی برشی در اتصال هستند. در شکل ۱-۱۰ دو نمونه از اتصالات تحت فشار و کشش نشان داده شده است.




الف ـ وصله‌ی ستون (اتصال تحت فشار) ب ـ اتصال کششی به صورت عضو اویزان

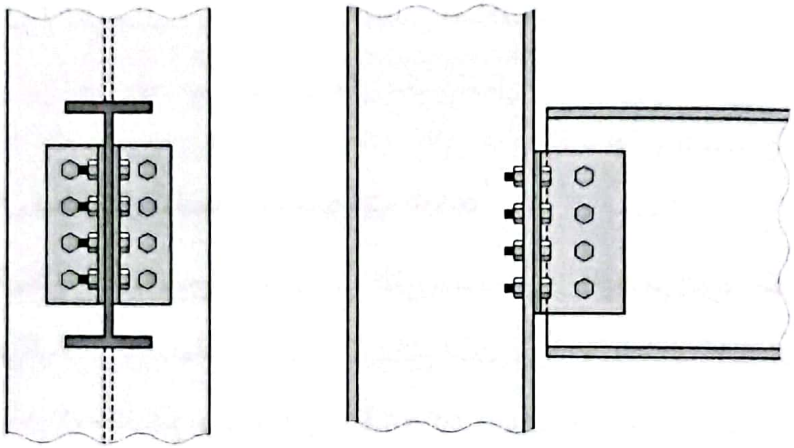
**شکل ۱ ـ ۱۰ ـ اتصالات تحت فشار و کشش**

## ۱-۵ انواع اتصالات برحسب شکل هندسی

اتصالات در سازه‌های فولادی را می‌توان برحسب شکل و نوع نیمرخ‌ها و مقاطع فولادی به کار گرفته شده در محل اتصال طبقه‌بندی نمود. هر چند نوع اتصالات در سازه‌های فولادی به قدری زیاد است که به آسانی نمی‌توان لیست کاملی را از آن‌ها ارائه نمود ولی در هر حال انواع رایج آن‌ها از لحاظ شکل هندسی و نیمرخ‌های گوناگون مورد استفاده به شرح زیر است؛

### ۱-۵-۱ اتصال ساده‌ی قاب شده[1]

در این نوع اتصال جان تیر توسط یک جفت نبشی در طرفین توسط پیچ یا جوش به بال ستون متصل می‌شود (شکل ۱-۱۱).



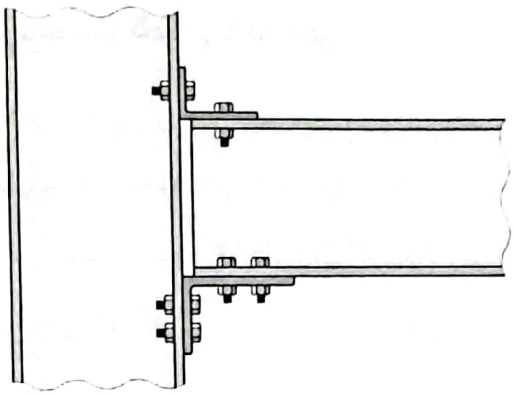

شکل ۱-۱۱-اتصال ساده‌ی قاب شده

اتصال ساده‌ی قاب شده از انواع رایج و استاندارد اتصالات فولادی است و عمده‌ی نیروی انتقالی توسط این اتصال نیروی برشی تیر است که توسط نبشی‌های اتصال از جان تیر به بال ستون منتقل می‌شود. این نوع اتصال از لحاظ صلبیت و مقاومت در طبقه‌بندی اتصالات ساده منظور می‌شود.

### ۱-۵-۲ اتصال ساده‌ی نشسته‌ی تقویت نشده[2]

در این نوع اتصال تیر بر روی یک نشیمن انعطاف‌پذیر که غالباً یک نبشی است قرار می‌گیرد. در این نوع اتصال همواره از یک نبشی بالایی برای تأمین مهار جانبی بال فشاری تیر استفاده می‌شود (شکل ۱-۱۲).

1- Simple Framed Beam Connection
2- Simple Unstiffened Seated Connection



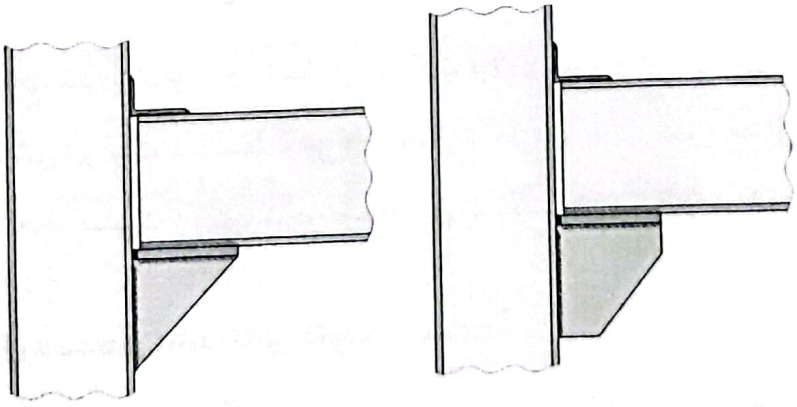
**شکل ۱ ـ ۱۲ ـ اتصال ساده‌ی نشسته (تقویت نشده)**

در اتصال ساده‌ی نشسته عکس‌العمل تکیه‌گاهی تیر توسط نبشی نشیمن به بال ستون منتقل می‌شود. اتصال ساق‌های نبشی به بال‌های تیر و ستون می‌تواند توسط جوش و یا پیچ تأمین شود.

این نوع اتصال نیز از نظر صلبیت و مقاومت در رده‌بندی اتصالات ساده جای دارد. به دلیل انعطاف‌پذیری زیاد نبشی نشیمن، این اتصال قادر به انتقال نیروهای عکس‌العمل تکیه‌گاهی زیاد نمی‌باشد.

## ۱ ـ ۵ ـ ۳ اتصال ساده‌ی نشسته‌ی تقویت شده[1]

در این نوع اتصال تیر بر روی یک نشیمن تقویت‌شده قرار داده می‌شود. یک نوع نشیمن تقویت‌شده متشکل از دو ورق متعامد با مقطع T شکل است. ورق تقویت زیرین می‌تواند به صورت چند ضلعی (شکل ۱-۱۳- الف) و یا به شکل مثلث به کار رود (شکل ۱-۱۳- ب). در اتصال نشیمن تقویت‌شده، ورق‌ها به یکدیگر و به بال‌های تیر و ستون توسط جوش متصل می‌شوند.

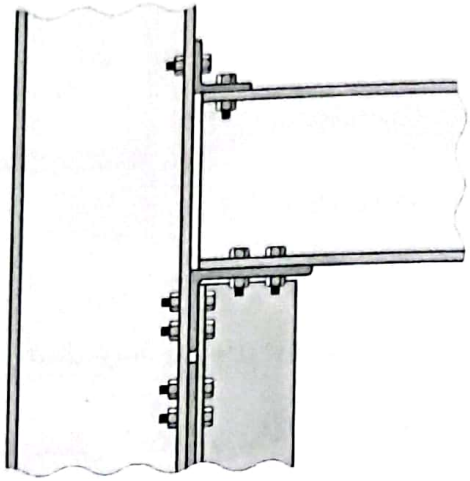


*الف ـ ورق تقویت چهار ضلعی* *ب ـ ورق تقویت مثلثی*

**شکل ۱ ـ ۱۳ ـ اتصال ساده‌ی نشسته‌ی تقویت‌شده**

1- Simple Stiffened Seated Connection

اتصال ساده‌ی نشسته‌ی تقویت‌شده می‌تواند توسط نبشی‌های نشیمن همراه با یک نبشی تقویتی اجرا شود (شکل ۱-۱۴).



**شکل ۱ ـ ۱۴ـ اتصال ساده‌ی نشسته‌ی تقویت شده به کمک نبشی**

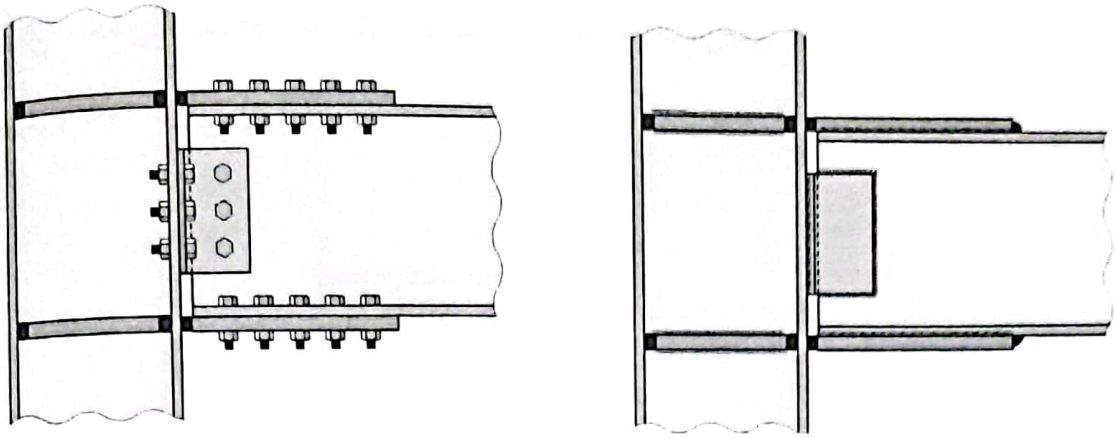
اتصالات ساده‌ی نشسته‌ی تقویت‌شده به منظور انتقال لنگر خمشی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و کاربرد آن‌ها انتقال عکس‌العمل تکیه‌گاهی است، ولی به دلیل خروج از مرکزیت بار، پیچ‌ها و یا جوش‌های اتصال‌دهنده‌ی نبشی‌ها به بال ستون تحت اثر لنگر خمشی نیز قرار می‌گیرند. این نوع اتصال نیز از لحاظ صلبیت و مقاومت در طبقه‌بندی اتصالات ساده محسوب می‌شود. هنگامی که مقدار عکس‌العمل تکیه‌گاهی بزرگ باشد استفاده از اتصال نشسته‌ی تقویت‌شده پیشنهاد می‌شود.

اتصالات ساده‌ی نشسته علی‌رغم قرارگیری در طبقه‌بندی اتصالات ساده، دارای صلبیت و مقاومت بیشتری نسبت به اتصالات قاب شده توسط نبشی هستند. به بیان دیگر میزان لنگر خمشی قابل انتقال توسط اتصال ساده‌ی نشسته از درصد ناچیز لنگر خمشی که اتصالات ساده‌ی قاب شده می‌توانند انتقال دهند بیشتر است. در هر حال این اتصال تا حدودی می‌تواند در طبقه‌بندی اتصالات نیمه صلب قرار گیرد.

## ۱-۵-٤ اتصال توسط ورق‌های فوقانی، تحتانی و نبشی جان

در این نوع اتصال بال‌های تیر توسط ورق‌های بالایی و پائینی و جان تیر توسط یک جفت نبشی به بال ستون وصل می‌شوند. ورق‌ها و نبشی‌ها می‌توانند توسط جوش (شکل ۱- ۱۵- الف) و یا به وسیله‌ی پیچ (شکل ۱- ۱۵- ب) به تیر و ستون متصل شوند.

CamScanner



الف ـ اتصال توسط جوش

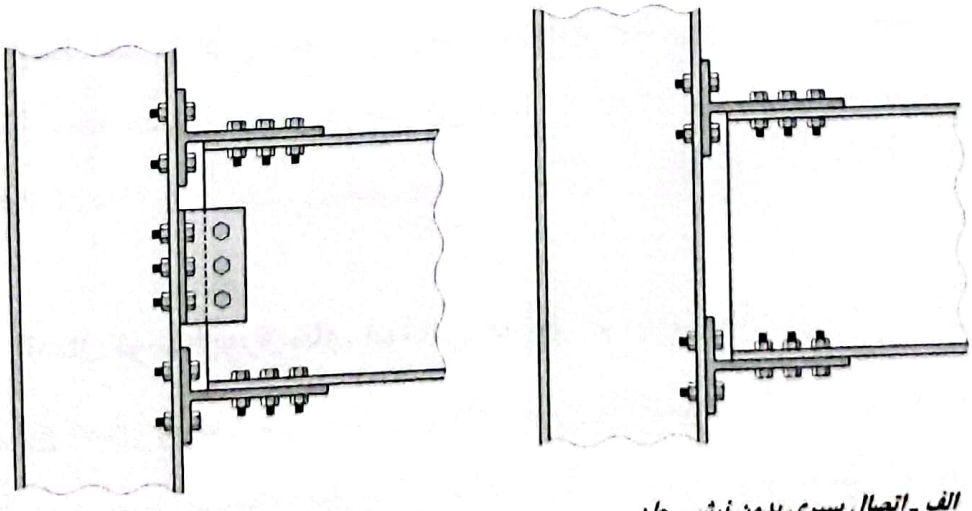
ب ـ اتصال توسط پیچ

**شکل ۱ ـ ۱۵ـ اتصال توسط ورق‌های فوقانی و تحتانی و نبشی جان**

به جای نبشی جان در اتصال شکل ۱-۱۵ می‌توان از یک یا دو ورق برای اتصال جان تیر به بال ستون استفاده نمود. این نوع اتصال علاوه بر انتقال نیروی برشی تیر، قادر به انتقال لنگر خمشی از تیر به ستون نیز هست. زاویه‌ی چرخش بین تیر و ستون بسته به صلبیت ورق‌های اتصال و تیر تا حد امکان ثابت نگه داشته می‌شود. بنابراین اتصال شکل ۱-۱۵ از لحاظ صلبیت و مقاومت در طبقه‌بندی اتصالات صلب محسوب می‌شود.

## ۱ـ۵ـ۵ اتصال توسط نیمرخ‌های سپری

در این نوع اتصال، بال‌های تیر به ساق‌های سپری و بال ستون به بال سپری توسط پیچ‌هایی متصل می‌شوند. در مواردی در این نوع اتصال، جان تیر را توسط نبشی به بال ستون به وسیله‌ی پیچ متصل می‌کنند (شکل ۱-۱۶).

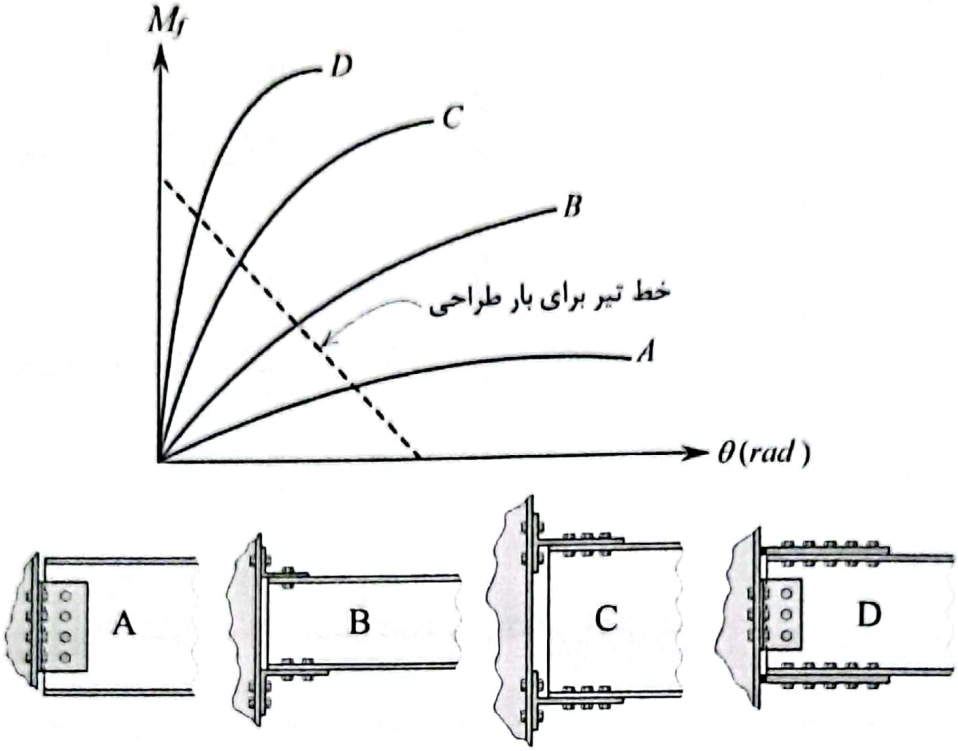


الف ـ اتصال سپری بدون نبشی جان

ب ـ اتصال سپری با نبشی جان

**شکل ۱ ـ ۱۶ ـ اتصال توسط سپری**

CamScanner



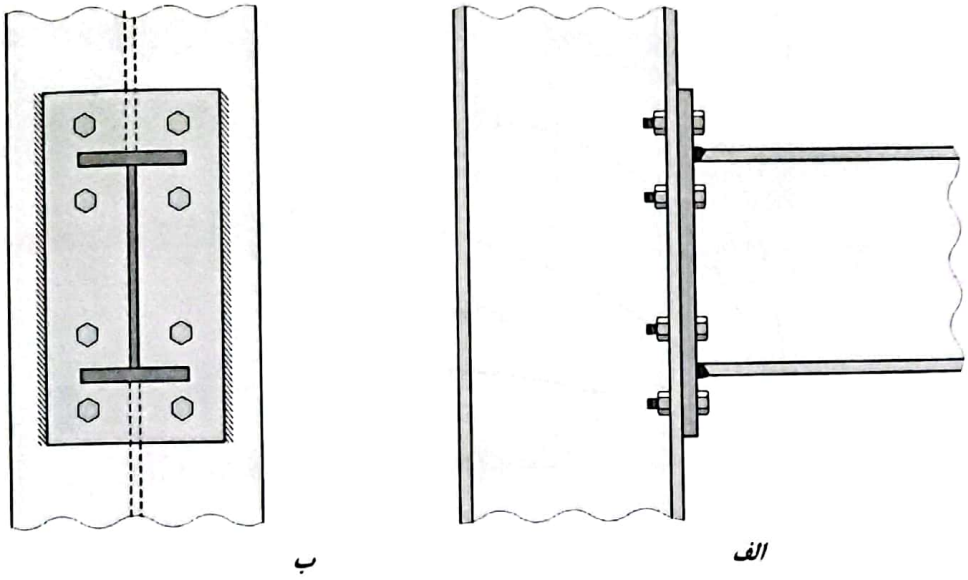

**شکل ۱ ـ ۱۷ـ میزان صلبیت اتصالات با توجه به مفهوم خط تیر**

اتصال توسط سپری نیز قادر به انتقال نیروی برشی و درصدی از لنگر خمشی است و بسته به ابعاد و اندازه‌ی سپری‌ها، نبشی و پیچ‌ها و نیز میزان صلبیت تیر، می‌تواند رفتاری از اتصال نیمه صلب تا صلب را از خود نشان دهد. با توجه به مفهوم خط تیر، صلبیت رفتار هر یک از اتصالاتی که تاکنون ارائه شد در شکل ۱-۱۷ نشان داده می‌شود.

## ۱ـ۵ـ۶ اتصال توسط ورق انتهایی جوش شده به تیر[1]

در این نوع اتصال، ورقی که پهنای آن تقریباً معادل عرض بال ستون و طول آن حدوداً دو برابر ارتفاع تیر است به طور کامل به تیرجوش داده شده و توسط پیچ به بال ستون متصل می‌شود (شکل ۱-۱۸).

1- End Plate Moment Connection




**شکل ۱ ـ ۱۸ ـ اتصال توسط ورق انتهایی جوش شده به تیر**

این نوع اتصال نیز قادر به انتقال نیروی برشی و لنگر خمشی از تیر به ستون است و در طبقه‌بندی اتصالات صلب منظور می‌شود. اتصال جوشی بال‌های تیر به ورق انتهایی به صورت جوش نفوذی کامل و اتصال جان تیر به ورق انتهایی به صورت جوش نفوذی یا گوشه انجام می‌گیرد.

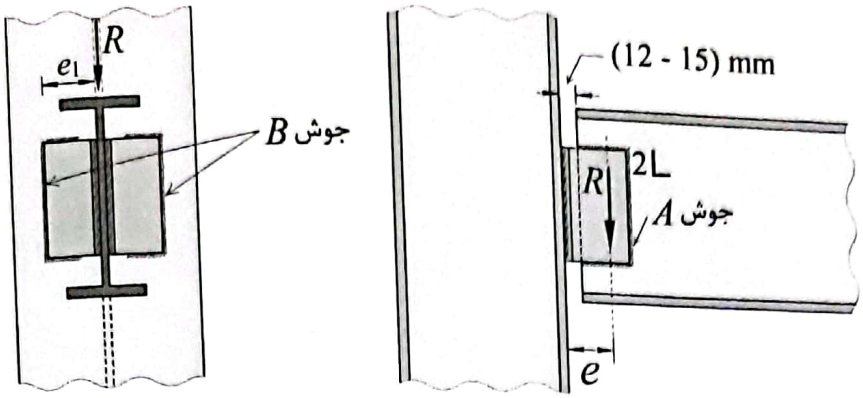
## ۱ـ۵ـ۷ اتصالات زانویی[1]

در اتصالات زانویی جان‌های تیر و ستون در یک صفحه قرار می‌گیرند. این نوع اتصال در قاب‌های ساختمانی و صنعتی یک طبقه که نیروهای قائم و جانبی زیادی را تحمل می‌نمایند دارای کاربرد فراوانی است. انواع گوناگون اتصالات زانویی در شکل ۱-۱۹ نشان داده شده است.

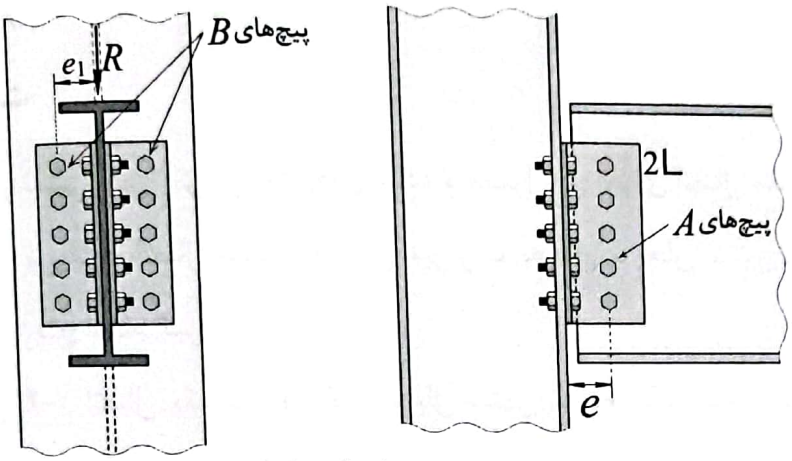
اتصالات زانویی قادر به انتقال کامل نیروهای برشی، محوری و نیز لنگر خمشی از تیر به ستون هستند و زاویه‌ی چرخش بین تیر و ستون پس از اعمال بار ثابت باقی می‌ماند. از این‌رو این‌گونه اتصالات از لحاظ صلبیت و مقاومت در طبقه‌بندی اتصالات صلب قرار می‌گیرند. شایان ذکر است میزان صلبیت اتصالات زانویی با ماهیچه‌های خطی شکل و یا منحنی شکل از میزان صلبیت اتصالات زانویی ساده به مراتب بیشتر است. علاوه بر آن اتصالات زانویی با ماهیچه قادر به تحمل لنگر خمشی منفی بیشتری بوده که خود یک مزیت است.

1- Knee Connection

CamScanner




*الف – اتصال به کمک جوش*




*ب – اتصال به کمک پیچ*

**شکل ۴ ـ ۱ـ اتصال جان تیر به بال ستون توسط نبشی جان**

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. هر چند 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.

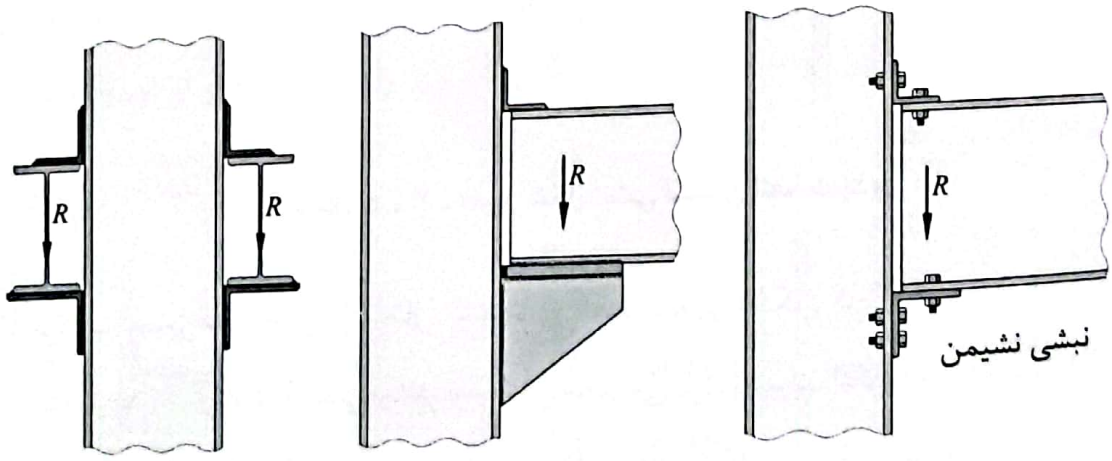
معمولاً در نقشه‌های اجرایی سوراخ‌های اتصال در پیچ‌های کارخانه‌ای را با دوایر توخالی و سوراخ‌های اتصال در پیچ‌های کارگاهی را با دوایر توپر نشان می‌دهند.

از اتصال نبشی جان (اتصال قاب شده) می‌توان برای اتصال مفصلی دو تیر با محورهای متعامد نیز استفاده نمود. شکل ۴-۲ اتصال دو تیر I شکل را به تیر ورقی با مقطع I که محورهای آن‌ها بر یکدیگر عمودند به کمک پیچ نشان می‌دهد. امکان اجرای این اتصال به کمک جوش نیز میسر می‌باشد.

CamScanner

## ۵-۱ کلیات

یکی از روش‌های متداول برای انتقال نیروهای تیر به ستون استفاده از اتصالات ساده‌ی نشسته[1] 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 نشسته‌ی انعطاف‌پذیر معمولاً از نبشی به عنوان نشیمن استفاده می‌شود (شکل ۵-۱- الف). در اتصالات نشسته چنان‌چه محور تیر عمود بر عرض نشیمن باشد، به آن اتصال خورجینی گویند (شکل ۵-۱- پ). تا اواخر دهه‌ی هفتاد شمسی اتصالات خورجینی از متداول‌ترین اتصالات نشسته در سازه‌های فولادی در کشورمان بود.




*الف ـ اتصال نشسته‌ی تقویت نشده* *ب ـ اتصال نشسته‌ی تقویت شده* *پ ـ اتصال خورجینی*

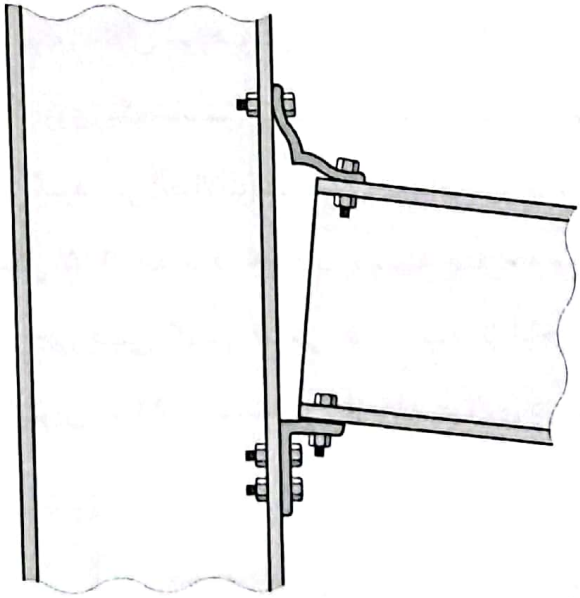
**شکل ۵ ـ ۱ـ اتصالات نشسته**

در اتصالات نشسته (شکل ۵-۱)، عمده‌ی نیرویی که از طرف تیر به ستون منتقل می‌شود، واکنش تکیه‌گاهی R است. به دلیل انتقال ناچیز لنگر خمشی از طرف تیر به ستون، اتصالات نشسته در طبقه‌بندی اتصالات ساده قرار دارند. همان‌گونه که در شکل ۱-۱۷ نشان داده شد، میزان

1- Simple Seated Beam Connections

صلبیت اتصالات نشسته از اتصالات با نبشی جان (قاب شده) بیشتر است. معمولاً در کلیه‌ی اتصالات نشسته از یک نبشی فوقانی به عنوان تأمین‌کننده‌ی تکیه‌گاه جانبی برای بال فوقانی تیر استفاده می‌شود. اتصال نبشی‌های نشیمن و فوقانی به تیر و ستون می‌تواند توسط فن جوشکاری و یا پیچکاری انجام شود.

شکل ۵-۲ تغییر شکل یک اتصال ساده‌ی نشسته‌ی انعطاف‌پذیر با نبشی نشیمن را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۵-۲ ملاحظه می‌شود، این اتصال صلبیت کافی در مقابل واکنش تکیه‌گاهی R را نداشته و انتقال نیرو توأم با تغییر شکل و ایجاد خمش در نبشی‌های اتصال است.

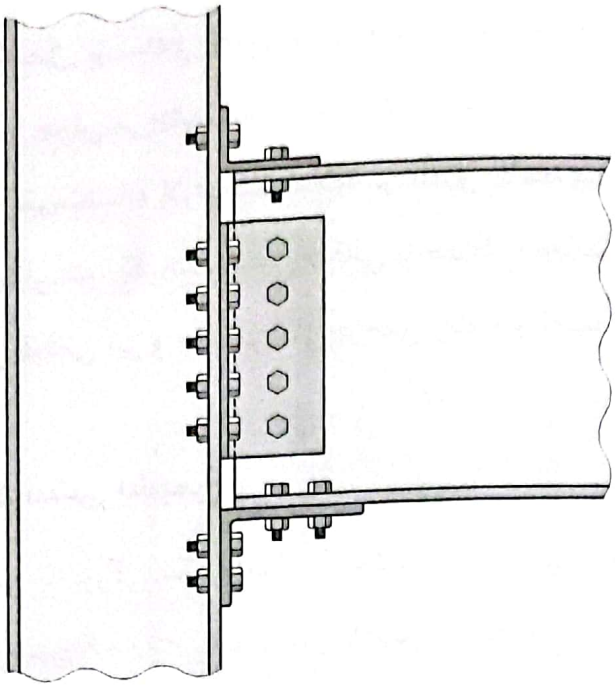


**شکل ۵ ـ ۲ ـ تغییر شکل نبشی نشیمن انعطاف‌پذیر**

با ترکیب نبشی‌های جان با اتصال نشسته‌ی انعطاف‌پذیر (شکل ۵-۳) امکان افزایش صلبیت اتصال و در نتیجه تحمل لنگر خمشی بیشتر توسط آن میسر می‌شود. تغییرات لنگر خمشی ـ دوران $(M-\theta)$ برای این اتصال دارای نموداری مابین دو منحنی B و C در شکل ۱-۱۷ می‌باشد.

اگر چه اتصال شکل ۵-۳ از صلبیت لازم جهت ایجاد لنگر خمشی در تکیه‌گاه و در نتیجه کاهش لنگر خمشی مثبت در وسط دهانه برخوردار می‌باشد، لیکن از صلبیت کافی برای جلوگیری از چرخش انتهای تیر برخوردار نیست. بنابراین اتصال نشان داده شده در شکل ۵-۳ در طبقه‌بندی اتصالات نیمه صلب قرار دارد. در ادامه‌ی این فصل چگونگی رفتار و نحوه‌ی طراحی انواع اتصالات نشسته تشریح و مثال‌هایی در هر مورد ارائه خواهد شد.

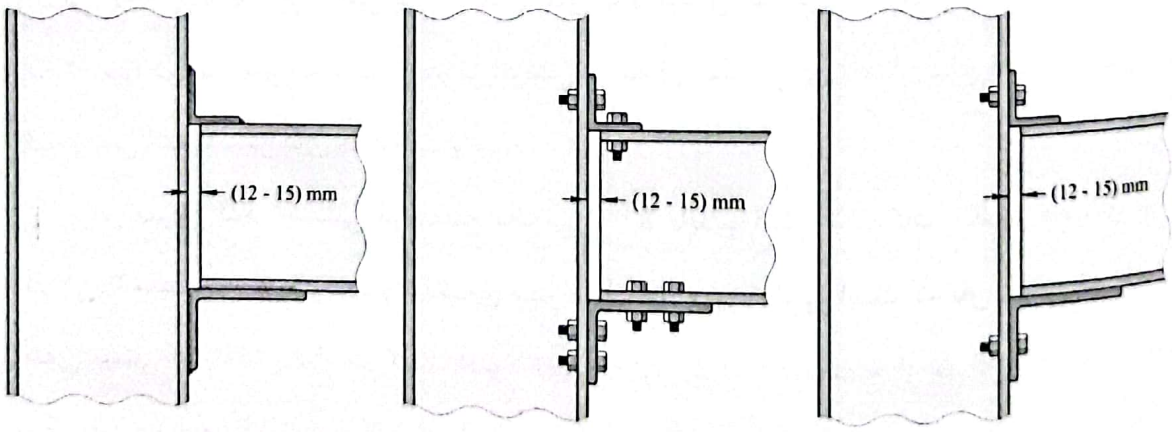
CamScanner



شکل ۵ ـ۳ ـ اتصال نشسته‌ی تقویت نشده همراه با نبشی جان

## ۵ ـ۲ اتصال نشسته‌ی تقویت نشده

در اتصال نشسته‌ی تقویت‌نشده، R نیروی واکنش تکیه‌گاهی تیر توسط رفتار انعطاف‌پذیر نبشی نشیمن به ستون منتقل می‌شود. چون در اتصالات نشسته‌ی تقویت‌نشده صلبیت ناچیزی در محل اتصال وجود دارد، این‌گونه اتصال لنگر خمشی ناچیزی را انتقال داده و از آن به عنوان یک اتصال ساده نام می‌برند.



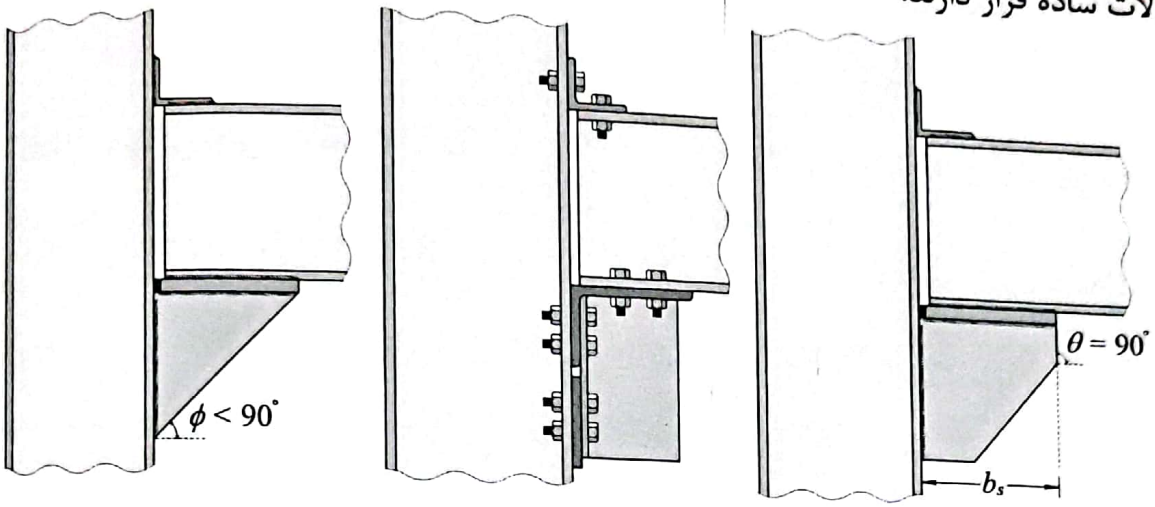

الف ـ اتصال نبشی نشیمن به بال ستون توسط پیچ

ب ـ اتصال نبشی نشیمن به بال تیر و ستون توسط پیچ

پ ـ اتصال نبشی نشیمن به بال تیر و ستون توسط جوش

شکل ۵ ـ۴ ـ انواع اتصال نشسته‌ی تقویت‌نشده با نبشی نشیمن

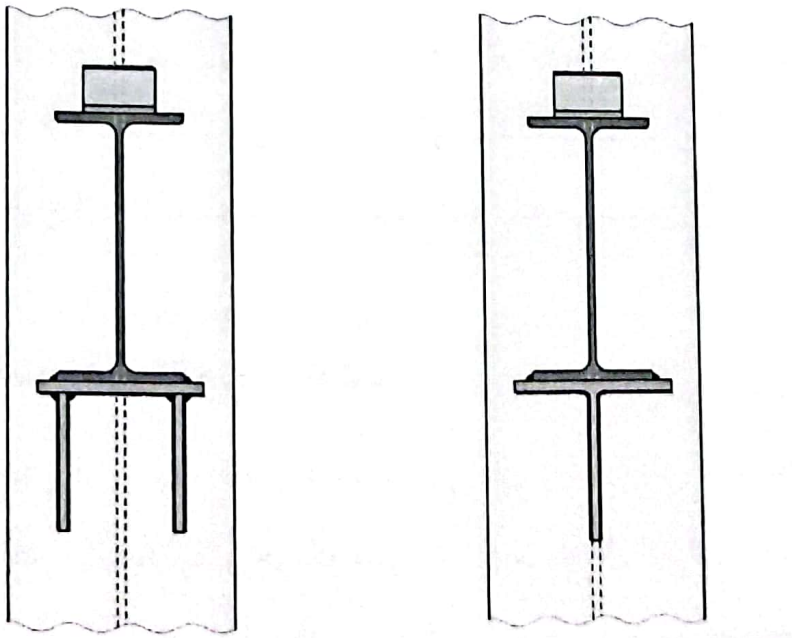
اتصالات نشسته‌ی تقویت شده هر چند قادر به انتقال واکنش‌های تکیه‌گاهی بزرگ هستند ولی برای انتقال لنگر خمشی طراحی نمی‌شوند. بنابراین اتصالات نشسته‌ی تقویت‌شده در طبقه‌بندی اتصالات ساده قرار دارند.




الف ـ نشیمن تقویت شده　　ب ـ استفاده از نبشی به عنوان تقویت　　پ ـ نشیمن تقویت شده با ورق مثلثی

**شکل ۵ ـ ۱۱ ـ اتصالات نشسته‌ی تقویت شده**

نشیمن تقویت شده در شکل ۵-۱۱- الف می‌تواند از بریده‌ی یک نیمرخ I به شکل سپری (شکل ۵-۱۲- الف) و یا با استفاده از یک ورق افقی و یک یا چند ورق تقویت قائم (شکل۵-۱۲- ب) اجرا شود.



الف ـ نشیمن تقویت شده از نیمرخ T شکل　　ب ـ نشیمن تقویت شده از یک ورق افقی و دو ورق قائم تقویتی

**شکل ۵ ـ ۱۲ ـ اتصال نشسته‌ی تقویت شده با لبه‌های قائم**

ت ـ سازه‌های با اتصالات خمشی عموماً دارای شکل‌پذیری مناسب هستند. از این‌رو سازه‌های فولادی با این‌گونه اتصالات عملکرد رضایت‌بخشی در برابر نیروهای ناشی از زلزله دارند.

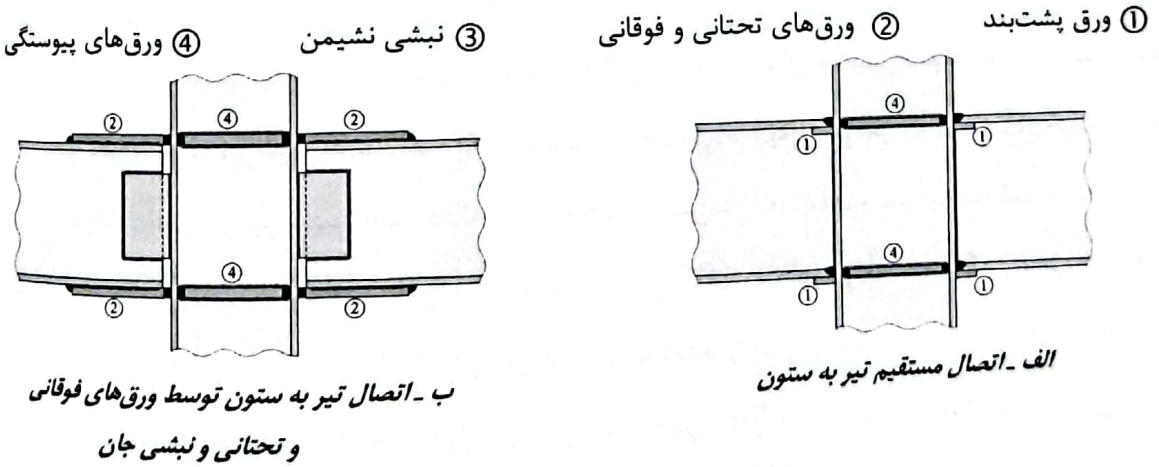
در این فصل اتصالات خمشی متعارف در سازه‌های فولادی با استفاده از هر دو فن جوشکاری و پیچکاری بررسی گردیده و مبانی و ضوابط طراحی هر یک همراه با مثال‌هایی ارائه خواهد شد.

در بخش ۶-۱۰ به طراحی لرزه‌ای اتصالات خمشی پرداخته خواهد شد.

## ۶ ـ ۲ انواع اتصالات خمشی متداول

هر چند تنوع اتصالات خمشی 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.

چون عمده‌ی لنگر خمشی تیر در بال‌های آن توسعه می‌یابد، از این‌رو برای فراهم نمودن یک اتصال خمشی باید به نحو مناسبی بال‌های تیر به ستون متصل گردند. اتصال بال‌های تیر به ستون می‌تواند به صورت مستقیم و با استفاده از جوش نفوذی (شکل۶-۱-الف)، به صورت غیرمستقیم و توسط ورق‌های فوقانی و تحتانی (شکل۶-۱-ب) انجام گیرد.



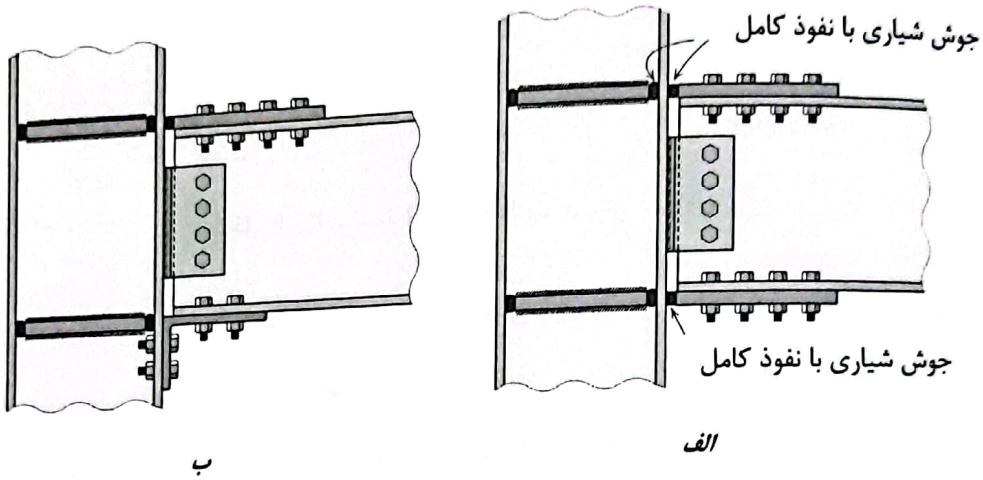

الف ـ اتصال مستقیم تیر به ستون

ب ـ اتصال تیر به ستون توسط ورق‌های فوقانی و تحتانی و نبشی جان

**شکل ۶ ـ ۱ ـ اتصالات خمشی متداول**

برای انجام اتصال مستقیم بال‌های تیر به ستون نیاز به پخ‌زنی بال برای جوش شیاری (شکل ۶-۱- الف) است. در قاب‌های خمشی متوسط و معمولی، استفاده از ورق‌های فوقانی و تحتانی و یا نبشی نشیمن متداول است (شکل‌های ۶-۱- ب و پ). شکل ۶-۲- الف نمونه‌ای از اتصال خمشی را که بال‌های تیر توسط ورق‌های فوقانی و تحتانی توسط 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 می‌توان از نبشی نشیمن با طول‌های مساوی مطابق شکل ۶ - ۲ - ب استفاده کرد. چون نیروی کششی و فشاری یکسان در بالا و پائین اتصال ایجاد می‌شود، لذا اتصال شکل ۶ - ۲ - ب توصیه نمی‌گردد و بهتر است از دو ورق بالایی و پائینی همراه با نبشی نشیمن استفاده شود.



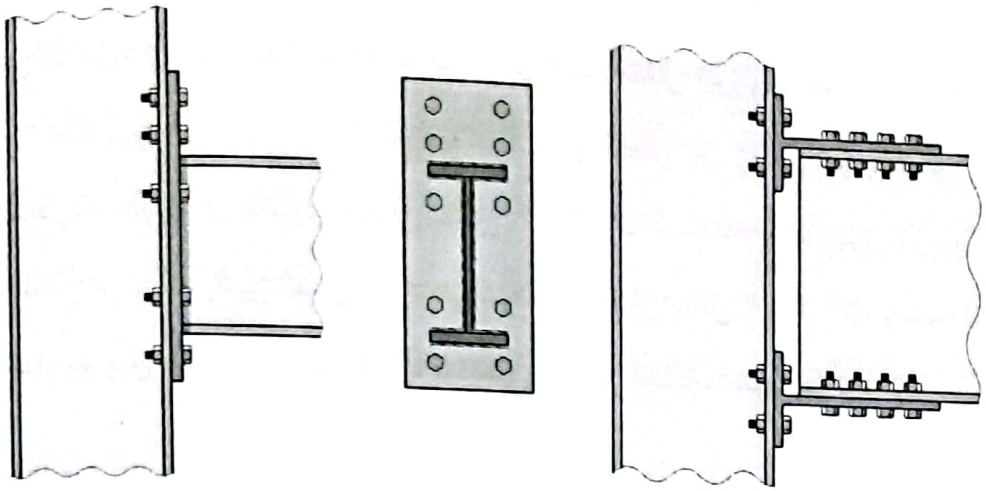

**شکل ۶ - ۲ - اتصالات خمشی متداول با کمک پیچ**

همان‌گونه که در شکل‌های ۶-۱ و ۶-۲ ملاحظه می‌کنید جان ستون‌ها توسط ورق‌هایی که به آنان ورق‌های‌پیوستگی گویند، تقویت شده‌اند. لزوم به‌کارگیری ورق‌های تقویتی جان ستون (ورق‌های‌پیوستگی) در بخش‌های بعدی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

به جای ورق‌های فوقانی و تحتانی و یا نبشی نشیمن می‌توان از سپری برای اتصال بال‌ها به ستون استفاده کرد (شکل۶-۳- الف).

برای ایجاد یک اتصال خمشی می‌توان تیر فولادی را در کارخانه به یک ورق انتهایی که در آن سوراخ‌هایی تعبیه شده است توسط جوش شیاری در بال و جوش گوشه به جان متصل نمود. اتصال تیر به بال ستون توسط پیچ در محل کارگاه انجام می‌گیرد (شکل‌های ۶-۳- ب و پ).

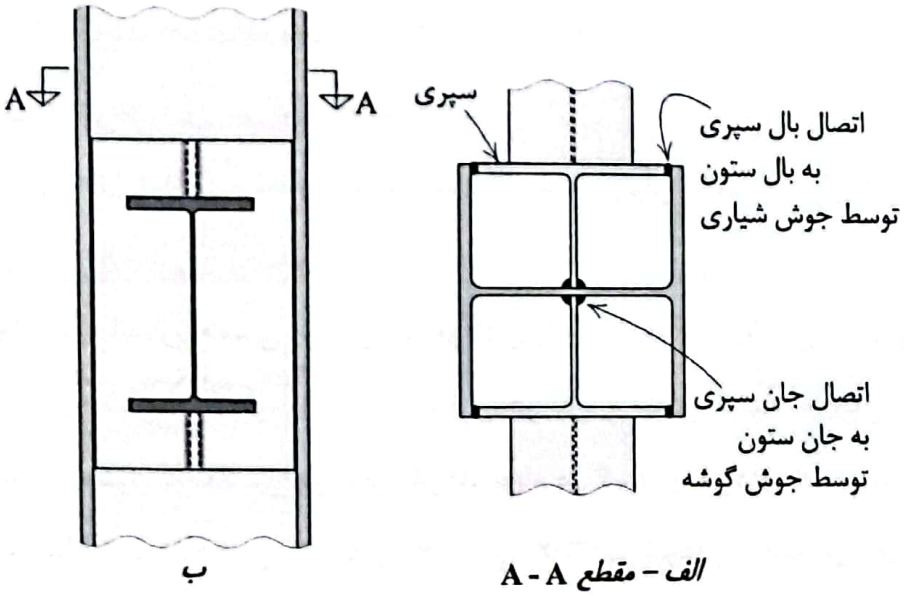
اتصالات نشان داده شده در شکل‌های ۶-۱ الی ۶-۳ که تیرها در صفحه‌ی جان ستون به ستون متصل گردیده‌اند، تشکیل یک قاب خمشی مسطح می‌دهند. چنان‌چه در یک سازه‌ی فولادی لازم باشد تیرها در صفحه‌ی عمود بر جان ستون، به ستون متصل شوند، در این صورت سیستم سازه‌ای تشکیل یک قاب در دو راستا خمشی را خواهد داد.




**شکل ۶ ـ ۳ ـ نمونه‌ای از اتصالات خمشی متداول**

اتصال خمشی 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 فاصله‌ی بال‌ها و جان ستون بریده شده است (شکل ۶-۴- الف)، استفاده نمود.

اتصال سپری به جان ستون توسط جوش گوشه و به بال ستون توسط جوش شیاری انجام می‌گیرد (شکل‌های۶-۴- الف و ب).



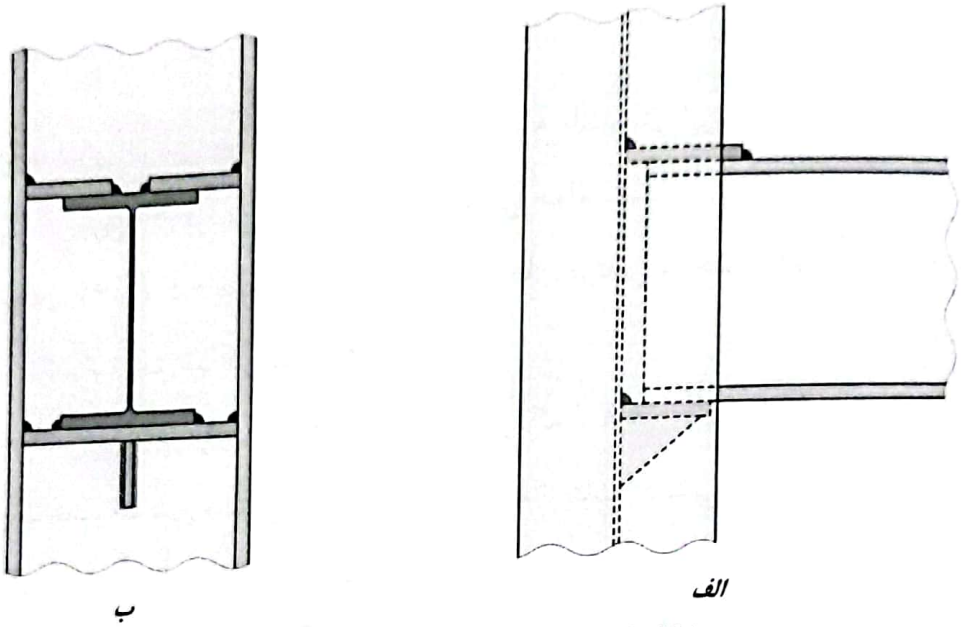

**شکل ۶ ـ ۴ ـ اتصال تیر به جان ستون به کمک سپری**

راهکار دیگر اتصال تیر به جان ستون، استفاده از ورق‌های فوقانی و نشیمن تقویت شده است (شکل ۶-۵).

CamScanner

در اتصال شکل ۶- ۵ جان ستون به شدت در معرض خمش و تنش‌های موضعی قرار می‌گیرد. بنابراین استفاده از اتصال مطابق شکل ۶-۴ برای اتصال تیر به جان ستون مناسب‌تر خواهد بود.

در ادامه‌ی این فصل به بررسی و تجزیه و تحلیل رفتار اتصالات نشان داده شده در شکل‌های ۶-۱ الی ۶- ۵ پرداخته و ضمن ارائه‌ی اصول و ضوابط طراحی آن‌ها مثال‌هایی نیز در هر مورد ارائه خواهد شد.




**شکل ۶ ـ ۵ ـ اتصال خمشی تیر به جان ستون**

## ۶ ـ ۳ اتصال خمشی توسط ورق‌های فوقانی و تحتانی (جان‌های تیر و ستون در یک صفحه)

در شکل‌های ۶-۱- ب و ۶-۲- الف نمونه‌ای از اتصال خمشی 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 ناشی از بار ثقلی 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 براساس نیروهای کششی، فشاری و برشی موجود در آن‌ها طراحی می‌شود.

CamScanner