پودمان ۴

اجرای سازه‌های فولادی

مقدمه

استفاده از سازه‌های فلزی یکی از متداول‌ترین روش‌های ساختمان‌سازی می‌باشد. ساختمان‌های بلندمرتبه، سازه‌های شهری نظیر تابلوهای تبلیغاتی، سازه‌های ترافیکی نظیر پل‌های عابر پیاده، پل‌های ماشین‌رو و سازه‌های صنعتی نظیر انواع خرپاها و سوله‌ها را می‌توان نام برد. سرعت و سهولت اجرا به‌خصوص پس از پیشرفت صنعت جوشکاری، باعث رونق‌گرفتن هرچه بیشتر سازه‌های فلزی شده است. در مقایسه با سازه‌های بتنی، ابعاد کمتر مقاطع تیر و ستون، سرعت ساخت و نصب سریع‌تر، سبک‌تر بودن و کیفیت بهتر مقاطع فلزی ساخته شده در کارخانه نسبت به مقاطع بتنی اجرا شده در محل از امتیازات سازه‌های فلزی می‌باشد. در عین حال ضعف در مقابل آتش‌سوزی، ضعف در مقابل رطوبت به دلیل زنگ‌زدگی و خوردگی و ... از نقاط ضعف سازه‌های فلزی در قیاس با سازه‌های بتنی است.

استاندارد عملکرد

با استفاده از وسایل جوشکاری مانند دستگاه جوش - الکترود و ... و معیارهای AWS و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، جوش‌های مختلف را اجرا نماید.

کلیات

در این پودمان ابتدا به معرفی آهن و فراورده‌های آن از قبیل فولاد و چدن و روش‌های تولید فولاد می‌پردازیم. در ادامه، اعضای مختلف سازه‌های فولادی و روش ساخت آنها از قبیل فونداسیون، تیر و ستون، مهاربندها و سقف‌ها معرفی می‌شوند و سپس انواع اتصالات در سازه‌های فولادی از نظر روش طراحی و اجرا و مباحثی درباره جوشکاری و پیچ و پرچ بیان شده است.

آهن

آهن یکی از عناصرطبیعی است که به صورت سنگ‌آهن و معمولاً همراه با ناخالصی از معادن استخراج می‌شود (شکل ۱).

با افزودن کربن به آهن خالص، دو آلیاژ اصلی فولاد و چدن به‌دست می‌آید که کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف از جمله در صنعت ساختمان دارند.

شکل ۱ ▲

فولاد و چدن

فولاد:

آهن خالص به دلیل نرمی و عدم استحکام کافی، مستقیماً در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. با افزودن حداکثر ۲ درصد کربن به آهن خالص، آلیاژی به نام فولاد تولید می‌شود. از فولاد جهت تولید پروفیل‌های ساختمانی نظیر تیرآهن ، نبشی، میل‌گرد و... استفاده می‌شود.

چدن:

اگر میزان کربنی که به آهن خالص افزوده می‌شود بیش از ۲ درصد باشد، میزان تردی و سختی آن افزایش می‌یابد، یعنی با افزایش کربن، بر میزان مقاومت و ظرفیت باربری فولاد افزوده شده اما خاصیت شکل‌پذیری (چکش‌خواری) و جوش‌پذیری آن کاهش می‌یابد و به چدن نزدیک می‌شود. کربن موجود در چدن بین ۲ تا ۴/۵ درصد می‌باشد. از چدن به دلیل ظرفیت باربری بالا و مقاومت در برابر رطوبت، برای تولید دریچه منهول‌های فاضلاب، دریچه کنتورهای آب شهری، لوله ناودان و لوله فاضلاب استفاده می‌شود.

شکل ۲ ▲

نکته

با افزایش تردی مصالح، امکان شکستن ناگهانی مصالح افزایش می‌یابد.

از نظر مقدار کربن، فولاد به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شود:

الف) فولاد نرم: این نوع فولاد کمتر از ۰/۲ درصد کربن دارد و برای ساخت پیچ و مهره معمولی، سیم خاردار و... به‌کار می‌رود.

ب) فولاد متوسط: درصد کربن این نوع فولاد بین ۰/۲ تا ۰/۶ بوده و برای تهیه ریل، دیگ بخار و فولاد ساختمانی مانند تیرآهن، نبشی و سایر پروفیل‌های ساختمانی به‌کار می‌رود.

ج) فولاد سخت: این نوع فولاد بین ۰/۶ تا ۱/۶ درصد کربن دارد و برای تهیه فنرهای فولادی، ابزارآلات، وسایل جراحی، مته و ... به‌کار می‌رود.

برای نام‌گذاری فولادها از علامت ...St استفاده می‌شود. St مخفف کلمه Steel به معنای فولاد است و در سمت راست آن مقاومت کششی فولاد بر حسب نیوتن بر میلی‌متر مربع نمایش داده می‌شود.
برای ساخت پروفیل‌های ساختمانی مانند تیرآهن از St۳۷ استفاده می‌شود. برای ساخت پیچ‌های پرمقاومت که در اتصالات پیچ و مهره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد از St۵۲ استفاده می‌شود.

St۳۷	تنش تسلیم	$F_y = ۲۴۰۰ \ kg/cm^۲$	تنش نهایی	$F_u = ۳۷۰۰ \ kg/cm^۲$
St۵۲	تنش تسلیم	$F_y = ۳۶۰۰ \ kg/cm^۲$	تنش نهایی	$F_u = ۵۲۰۰ \ kg/cm^۲$

تفکر

با راهنمایی هنرآموز خود بررسی کنید که تفاوت بین تنش تسلیم با تنش نهایی چیست.

روش‌های تولید فولاد

الف) نورد گرم: در این روش شمش را در کوره بین ۸۰۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده و با عبور از بین غلتک‌هایی که خلاف جهت هم می‌چرخند، تغییر ضخامت می‌یابد تا درنهایت به شکل و فرم مورد نظر برسد. نیم‌رخ‌های تیرآهن، نبشی، میل‌گرد و ... با این روش تولید می‌شوند.

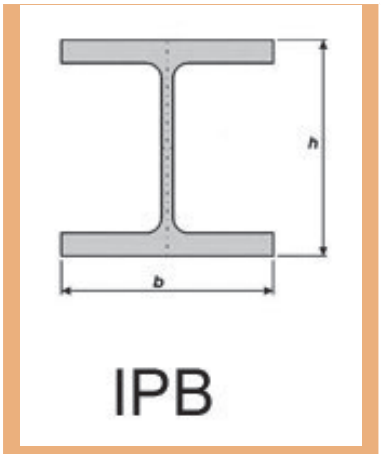
شکل ۳ ▲ نورد گرم ورق فولادی

شکل ۴ ▲ نورد گرم میل‌گرد

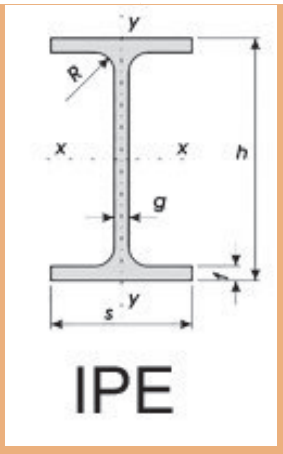
انواع نیم‌رخ‌های گرم نوردشده:
تیرآهن یا مقطع I شکل، ناودانی یا مقطع U شکل، نبشی یا L شکل، سپری یا مقطع T شکل لوله و میل‌گرد یا مقطع دایره‌ای شکل، قوطی یا مقطع مربع و مستطیل و ... به روش نورد گرم تولید می‌شوند.

نکته

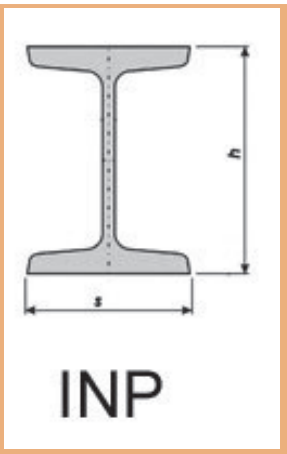
در تیرآهن INP ضخامت بال از لبه به سمت جان افزایش می‌یابد اما در IPE ضخامت بال ثابت است. باربری یک سایز تیرآهن از نوع INP کمتر از نوع IPE بوده و همچنین قیمت INP نیز ارزان‌تر از IPE می‌باشد.



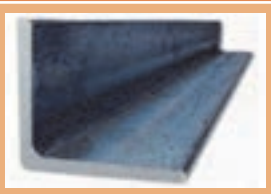
تیرآهن IPB (بال پهن)



تیرآهن IPE (معمولی)

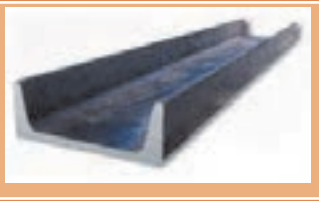


تیرآهن INP (باریک)

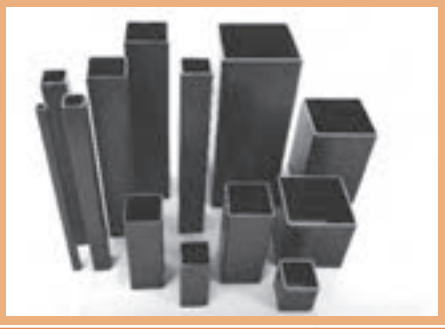


نبشی

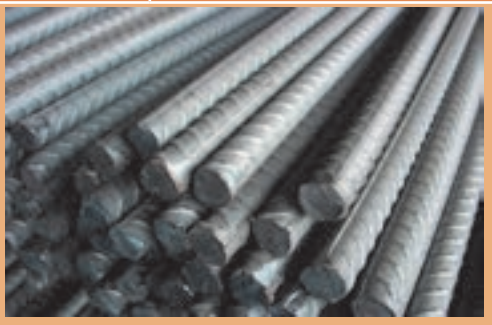
سپری



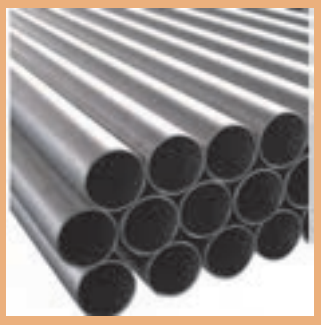
ناودانی



انواع قوطی



میل‌گرد



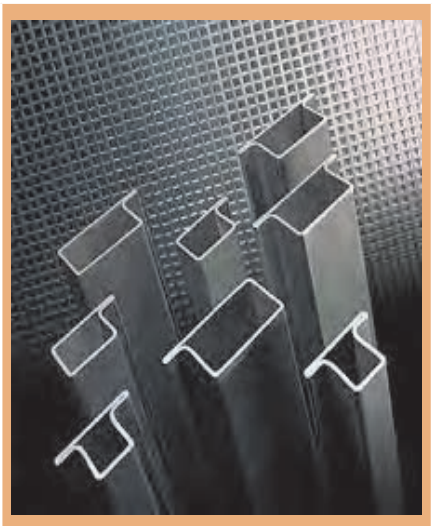
لوله‌های فولادی

تسمه

شکل ۵ ▲ انواع پروفیل‌های نورد گرم

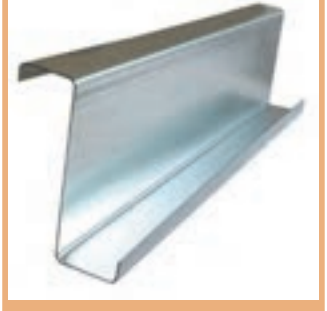
ب) نورد سرد: در این روش حداکثر دما ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد است. با انجام عملیات اضافی در اثر عبور از بین چند غلتک، خم‌کاری یا کشیدن، نورد سرد انجام می‌شود. به همین دلیل مقاطع سرد نورد شده معمولاً گران‌تر از مقاطع حاصل از نورد گرم است. نیم‌رخ‌های Z شکل، و نیم‌رخ‌های در و پنجره و لوله‌های درزدار از این روش تولید می‌شوند.

شکل ۶ ▲ عملیات نورد سرد



پروفیل در و پنجره

چارچوب در



پروفیل Z

شکل ۷ ▲ انواع پروفیل نورد سرد

تفکر

تنش تسلیم فولاد حاصل از نورد گرم با نورد سرد چه تفاوتی دارد؟

اعضای سازه‌های فولادی

اعضای سازه‌های فولادی شامل تیرچه، شاه‌تیر یا تیر اصلی، ستون، مهاربند، دیوار برشی و فونداسیون می‌باشد. در سازه‌های فولادی بار مرده و زنده روی سقف به تیرهای فرعی و سپس به شاه‌تیرها و ستون‌ها و از آنجا به پی منتقل می‌گردد. نیروهای جانبی مثل باد و زلزله توسط مهاربندها به ستون‌ها و سپس به پی منتقل می‌گردد و یا از طریق دیوار برشی مستقیماً به پی وارد می شوند و در نهایت مجموع این نیروها از پی(شالوده)ها به زمین انتقال می‌یابند.

شالوده در سازه‌های فولادی

شالوده وظیفه انتقال بارهای وارد از سازه به زمین بستر ساختمان را بر عهده دارد. ابعاد شالوده‌ها به میزان بار وارده از ساختمان، جنس پی و ظرفیت باربری خاک زیر پی بستگی دارد.

شالوده‌ها از مصالح مختلف نظیر شفته آهک، سنگ و بتن ساخته می‌شوند. امروزه با توجه به ظرفیت باربری زیاد، یکپارچه بودن و سهولت اجرا، استفاده از شالوده‌های بتنی رایج‌تر از انواع شالوده‌های دیگر می‌باشد.

انواع شالوده در ساختمان‌های فلزی عبارت‌اند از:

الف) شالوده منفرد (تکی)

ب) شالوده نواری

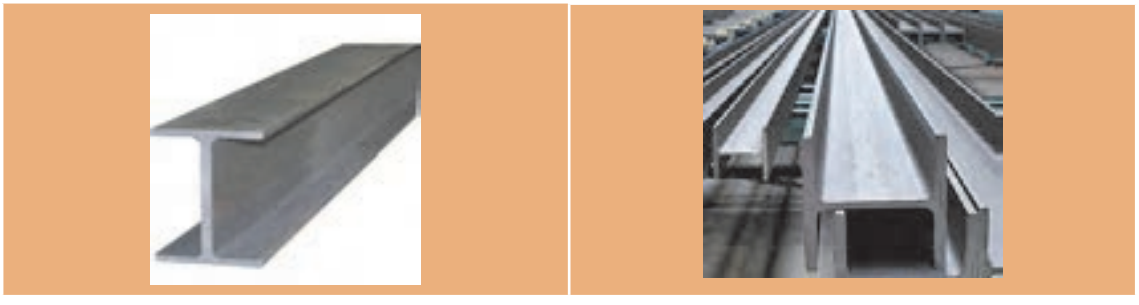
ج) شالوده گسترده (رادیه ژنرال)

ستون در سازه‌های فولادی

ستون عضوی است غالباً عمودی که نیروهای محوری فشاری را تحمل و به شالوده انتقال می‌دهد. اگر نسبت طول به ابعاد مقطع ستون زیاد باشد، ستون لاغر شده و در اثر نیروی محوری فشاری دچار تغییر شکل خارج از محور می‌شود و ظرفیت باربری آن به شدت کاهش می‌یابد. این پدیده را اصطلاحاً کمانش می‌نامند. در طراحی ستون‌ها علاوه بر مقاومت در مقابل بارهای وارده، باید پدیده کمانش به خصوص در ستون‌های بلند نیز در نظر گرفته شود. شکل و سطح مقطع ستون‌ها با توجه به بار وارده، ارتفاع ستون و نوع اتصالات ابتدا و انتهای آنها متغیر است. به طور کلی ستون‌ها از نظر مقطع به دو دسته ساده و مرکب تقسیم‌بندی می‌شوند.

الف) ستون‌ها با مقاطع ساده:

در صورتی‌که بار وارده زیاد نباشد، از مقاطع قوطی مربع و تیرآهن بال‌پهن، به دلیل عملکرد مقاومتی بهتر نسبت به سایر مقاطع نورد شده، به صورت ساده یا منفرد استفاده می‌شود.



شکل ۸ ▲ مقاطع IPB

در بعضی سازه‌های خاص نظیر پل‌های عابر پیاده، سازه‌های صنعتی، منابع آب، سایبان‌های محوطه، پایه تابلوهای تبلیغاتی یا ترافیکی و... از مقاطع دایره‌ای یا لوله‌ای‌شکل به عنوان ستون استفاده می‌شود.

شکل ۹ ▲

ب) ستون‌ها با مقاطع مرکب:

از ترکیب دو یا چند مقطع نورد شده و انواع ورق‌ها و تسمه‌ها، مقاطع مرکب حاصل می‌شود.

دلایل استفاده از مقاطع مرکب عبارت‌اند از:

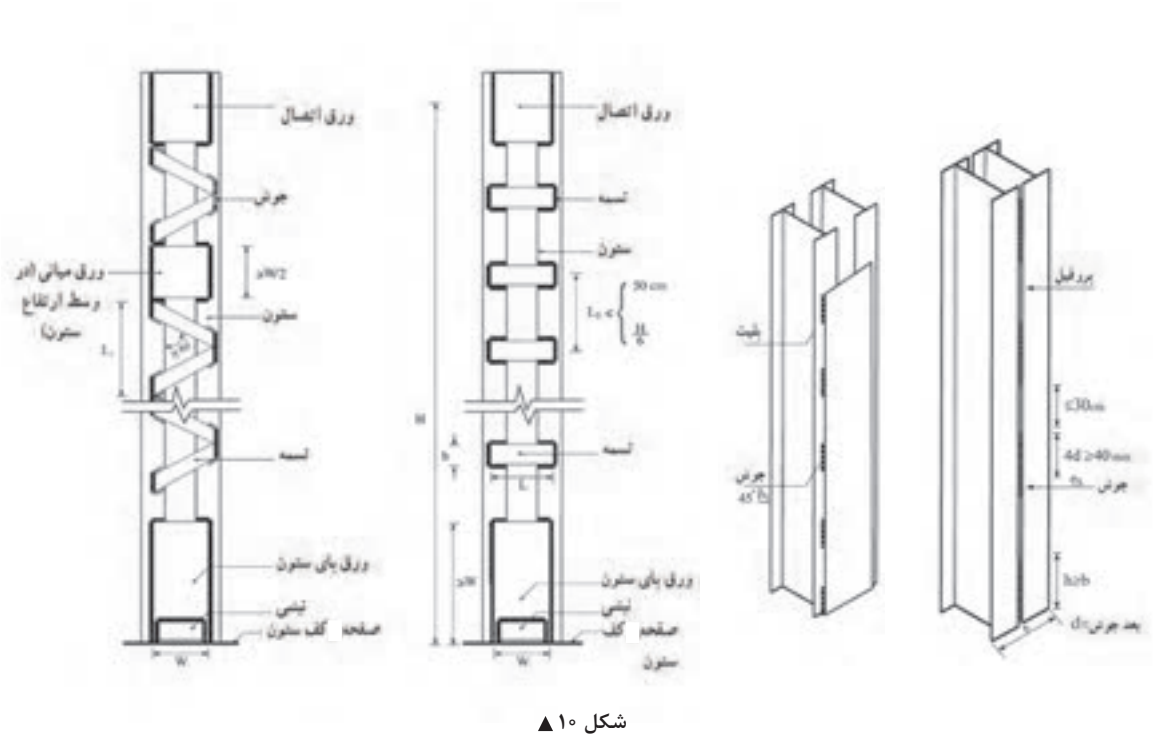
۱- درصورتی‌که مقاطع ساده قادر به تحمل بارهای وارده نباشند، از مقاطع مرکب استفاده می‌شود.

۲- درصورتی‌که نیاز به یک هندسهٔ خاص وجود داشته باشد و در بازار موجود نباشد، با استفاده از مقاطع مرکب آن شکل هندسی را تولید می‌نمایند.

انواع ستون‌ها با مقاطع مرکب:

الف) ستون‌های ساخته شده با مقاطع نوردشده

مقاطع IPE و INP به دلیل لاغری و مشکل کمانش نمی‌توانند به‌صورت ساده یا منفرد مورد استفاده قرار گیرند. برای حل این مشکل معمولاً از این مقاطع به صورت دوبل، دوبل با ورق تقویتی سرتاسری، دوبل با قیدهای موازی و غیرموازی (پا باز) استفاده می‌شود. در موارد خاص می‌توان از اتصال سه تیرآهن به‌هم، با یا بدون ورق تقویتی نیز استفاده نمود. (شکل ۱۰)



شکل ۱۰ ▲

ج) ستون‌های ساخته شده با ورق:

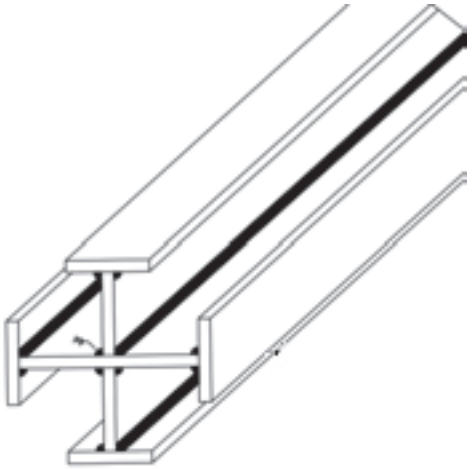
۱ـ مقاطع قوطی‌شکل: در صورتی‌که مقاطع مرکب ساخته شده با نیم‌رخ‌های نوردشده جوابگوی بارهای وارده نباشند، می‌توان با استفاده از ورق‌های فولادی انواع مقاطع ستون‌ها را با هندسه‌های گوناگون ساخت. مقاطع جعبه‌ای یا قوطی‌شکل (BOX) مرسوم‌ترین این نوع مقاطع می‌باشند. مقاطع جعبه‌ای اغلب به صورت مربع شکل و به ندرت به شکل مستطیل ساخته می‌شوند. این نوع مقاطع از ظرفیت باربری بالایی برخوردارند.

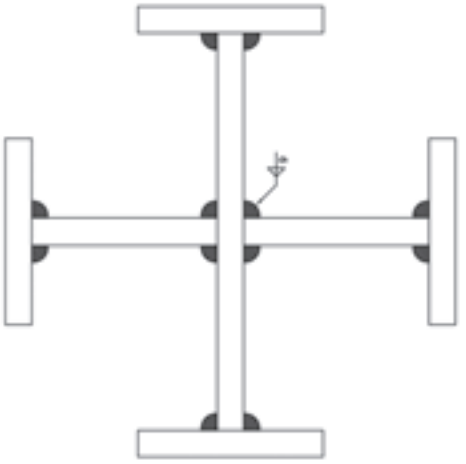
شکل ۱۱ ▲ ستون با مقاطع جعبه‌ای BOX

۲ـ مقاطع H شکل: که با استفاده از ورق در کارگاه یا کارخانه ساخته می‌شوند؛ عملکردی مشابه تیرآهن‌های بال پهن (IPB) دارند و معمولاً به دلیل ضخامت بیشتر ورق‌های بال و جان آنها، نسبت به مقاطع بال پهن کارخانه‌ای از ظرفیت باربری بیشتری برخوردار هستند. ستون‌های ساختمان‌های صنعتی مانند سوله‌ها از این نوع مقاطع ساخته می‌شوند (شکل ۱۲).

۳ـ مقاطع صلیبی: در ساختمان‌های بلند مرتبه عموماً از مقاطع صلیبی‌شکل به عنوان ستون استفاده می‌گردد. همانند مقاطع جعبه‌ای، تقارن شکل این نوع مقاطع باعث می‌شود که ظرفیت باربری و کمانشی آنها حول دو محور X و Y باهم مساوی باشد (شکل ۱۳).

شکل ۱۲ ▲

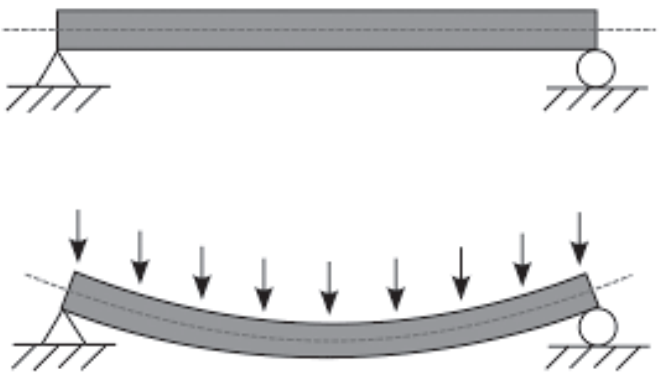




شکل ۱۳ ▲

تیر در سازه‌های فولادی

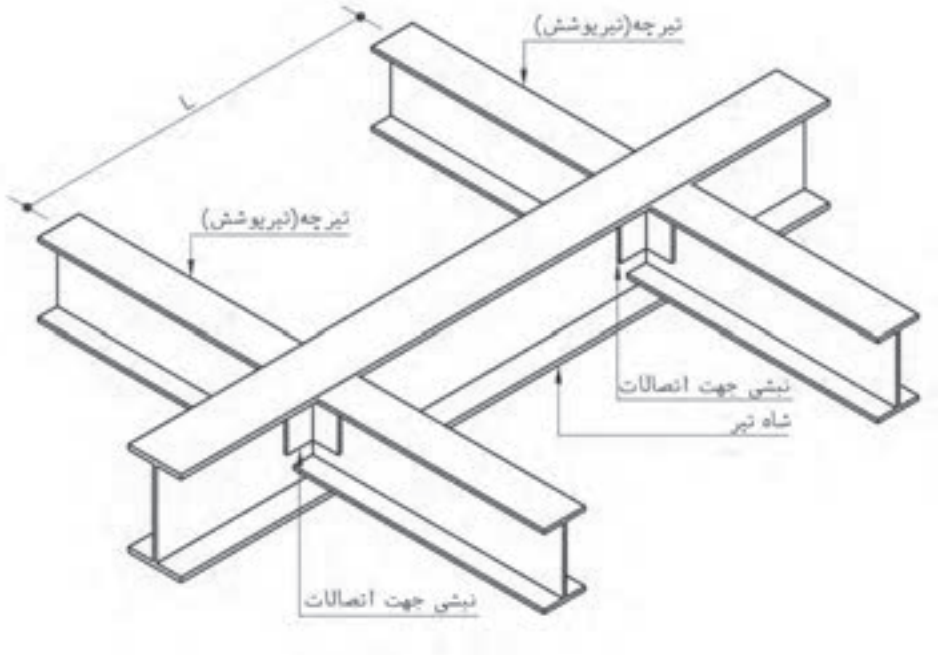
تیر عضوی است خمشی که بارهای عمود بر محور خود را تحمل و منتقل می‌نماید و در پوشش سقف‌ها به‌کار می‌رود. تیرها به دودسته اصلی یعنی پل‌ها یا شاه‌تیرها و فرعی یا تیرچه‌ها تقسیم‌بندی می‌گردند. نیروهای ناشی از بارهای مرده و زنده طبقات ابتدا به تیرهای فرعی و سپس به تیرهای اصلی و در نهایت به ستون‌های دو سرتیر انتقال می‌یابد.



شکل ۱۴ ▲ بارگذاری تیر

۱ـ تیرهای فرعی:

تیرهای فرعی به تیرهایی اطلاق می‌شود که در کنار هم سقف را ساخته و بار خود را به شاه‌تیرها انتقال می‌دهند.



شکل ۱۵ ▲ اتصال تودلی تیر به تیر

۲ـ تیرهای اصلی:

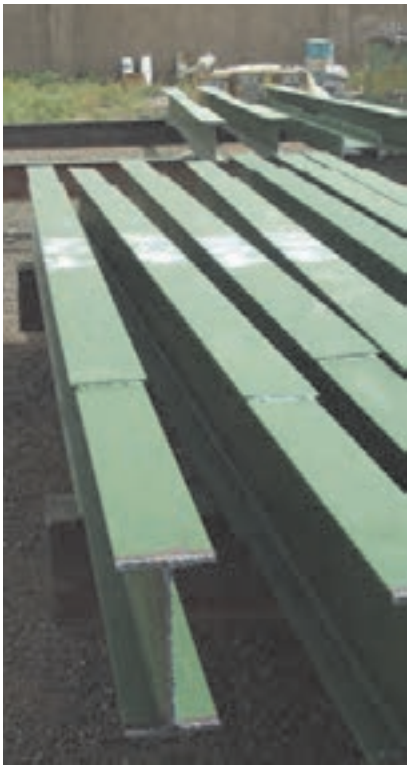
این تیرها بار سقف را از تیرهای فرعی گرفته و به ستون‌های دو انتهای خود منتقل می‌نمایند.

شکل ۱۶ ▲ شاه‌تیرها

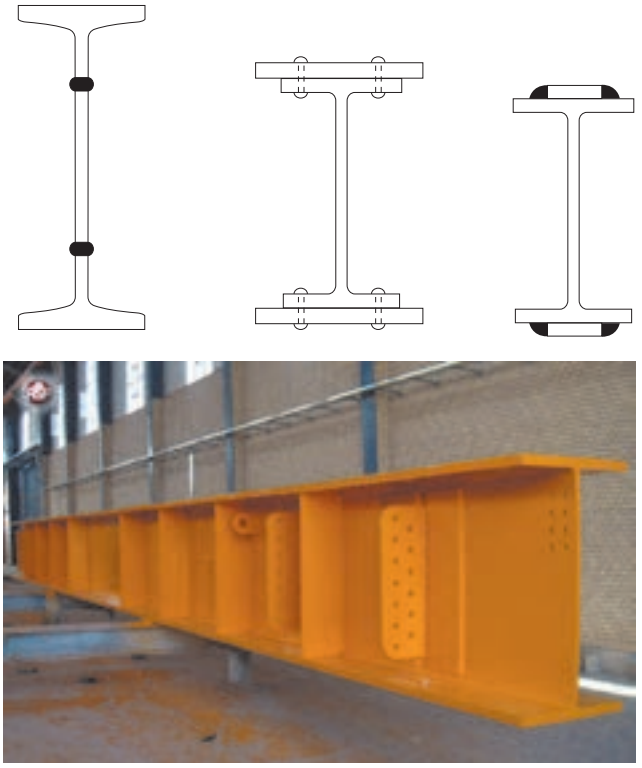
مقاطع مورد استفاده در تیرها

بهترین مقطع برای اعضای خمشی یا تیرها، مقاطع I شکل است اما به دلیل مقدار بار وارد بر آنها، انواع مقاطع I شکل نوردشده به‌صورت ساده یا منفرد، تقویت شده با ورق، دوبل، دوبل تقویت شده، لانه زنبوری، تیرورق‌ها و خرپاها در پوشش سقف‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در صورتی‌که مقطع نورد شده ساده جوابگوی بار وارده نباشد، معمولاً آنها را با ورق‌های تقویتی روی بال‌های پایین و بالا تقویت می‌نمایند (شکل ۱۷) و اگر تیرهای تقویت شده نیز جوابگوی بارهای وارده نباشد آنها را به‌صورت دوبل یا دوبل تقویت شده به‌کار می‌برند و به همین ترتیب جهت افزایش ظرفیت باربری تیرها از مقاطع لانه زنبوری شده، تیرورق‌ها (شکل ۱۸) و در نهایت از خرپاها استفاده می‌شود.



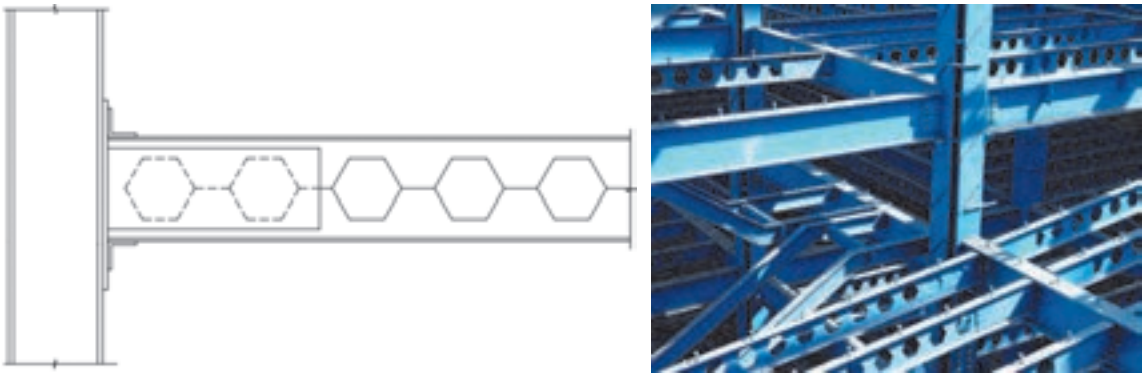
شکل ۱۷ ▲



شکل ۱۸ ▲

تیرهای لانه زنبوری:

یکی از راه‌های افزایش ظرفیت خمشی تیرآهن، افزایش ارتفاع مقطع آن است. لانه زنبوری نمودن تیرآهن باعث افزایش حدود ۱/۵ برابری ارتفاع آن می‌شود. به عنوان مثال تیرآهن نمره ۲۰ تبدیل به تیرآهنی با ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر می‌شود اما وزنی برابر با تیرآهن نمره ۲۰ دارد. لذا این کار باعث سبکی و مقرون به‌صرفه شدن تیر می‌گردد. همچنین از حفرات ایجاد شده در جان این تیرها می‌توان برای عبور تجهیزات تأسیسات برقی و مکانیکی استفاده نمود. به‌منظور تقویت برشی جان این نوع تیرها معمولاً دو حفره ابتدا و انتهای آنها ایجاد و نیز محل اتصال تیرهای تودلی را با ورق پر می‌نمایند.



شکل ۱۹ ▲ تیر لانه‌زنبوری

روش‌های برش تیر لانه زنبوری:

الف) روش سرد:

در این روش تیرآهن به کمک قیچی صنعتی (گیوتین) بریده می‌شود.

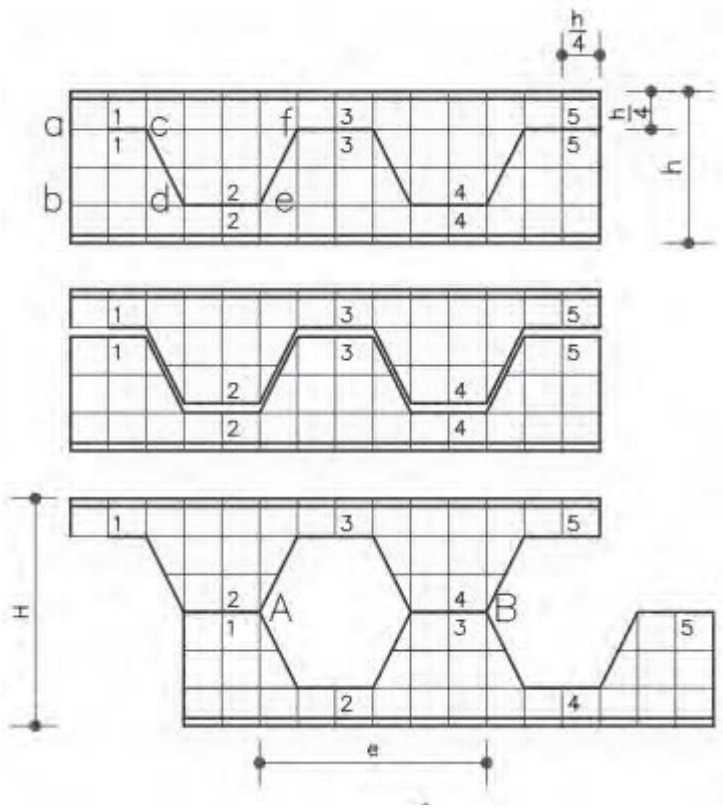
ب) روش گرم، هوابرش (برنول):

به کمک شعله حاصل از گاز استیلن و اکسیژن، تیرآهن برش داده می‌شود.

روش‌های ساخت تیر لانه زنبوری:

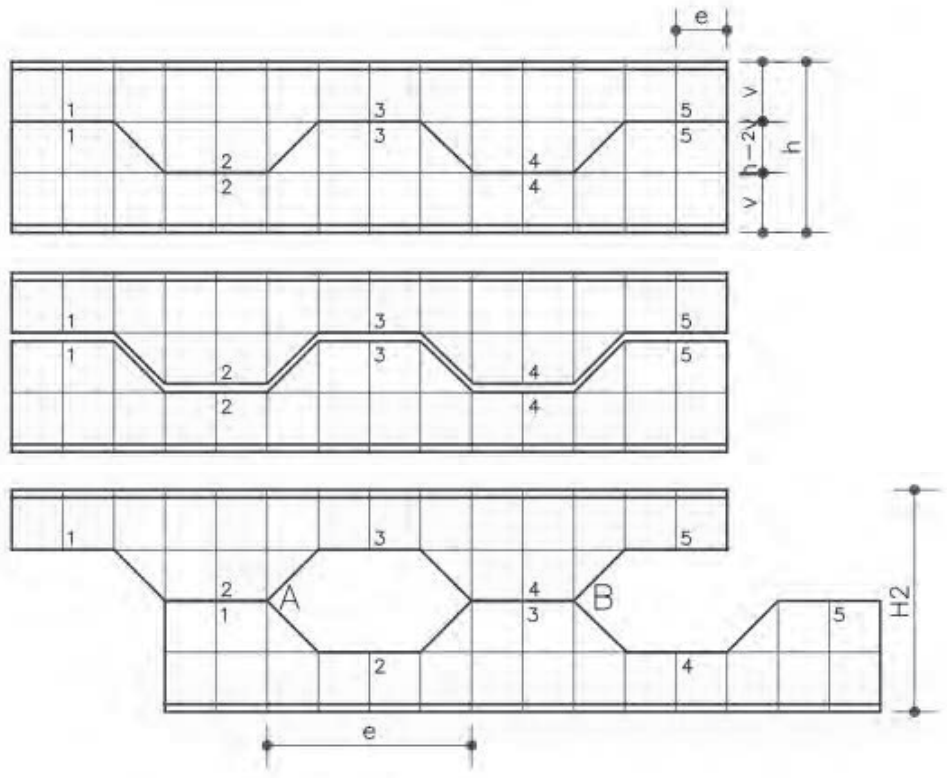
الف) روش باینر:

در این روش ارتفاع تیرآهن به ۴ قسمت تقسیم می‌شود. گام‌های افقی نیز به اندازه $\frac{h}{۴}$ خواهد بود. مطابق شکل روبه‌رو خط برش روی شابلن انجام می‌شود. سپس نیمه بالایی تیرآهن را به اندازه یک دندانه حرکت داده تا تیر لانه‌زنبوری ایجاد گردد. ارتفاع جدید تیرآهن $H = ۱/۵ \times h$ خواهد بود.



شکل ۲۰ ▲ روش باینر برای لانه‌زنبوری

ب) روش لیتسکا: در این روش با توجه به ظرفیت خمشی مورد انتظار برای تیرآهن و به کمک مقادیر v و e مربوط به هر پروفیل که از جداول استاندارد پروفیل‌ها استخراج می‌شود، مطابق الگوی زیر بریده می‌شود. ارتفاع تیر زنبوری شده از این روش مقداری کمتر از روش باینر و برابر $H_2 = 2 \times (h - v)$ می‌باشد.



شکل ۲۱ ▲ روش لیتسکا برای لانه‌زنبوری

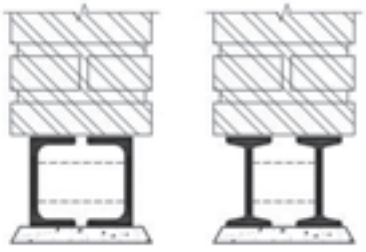
فعالیت عملی ۱

شابلون انواع مقاطع IPE را با راهنمایی هنرآموز خود و با استفاده از ورق گالوانیزه یا فیبر و یا مقوا به روش‌های باینر و لیتسکا به طول یک متر تهه نموده و تحویل دهید.

نعل درگاه‌ها:

تیر پوشش دهانه بالای بازشوها نظیر در و پنجره را جهت تحمل وزن سقف یا دیوار روی آنها نعل درگاه می‌نامند.

با توجه به سه عامل دهانه بازشو، ضخامت و ارتفاع دیوار روی نعل درگاه می‌توان از تیرآهن یا ناودانی و یا نبشی به‌صورت دوبل به عنوان نعل درگاه استفاده نمود. نشیمن نعل درگاه حداقل ۲۵ سانتی‌متر روی دیوارهای طرفین بازشو در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲۲ ▲

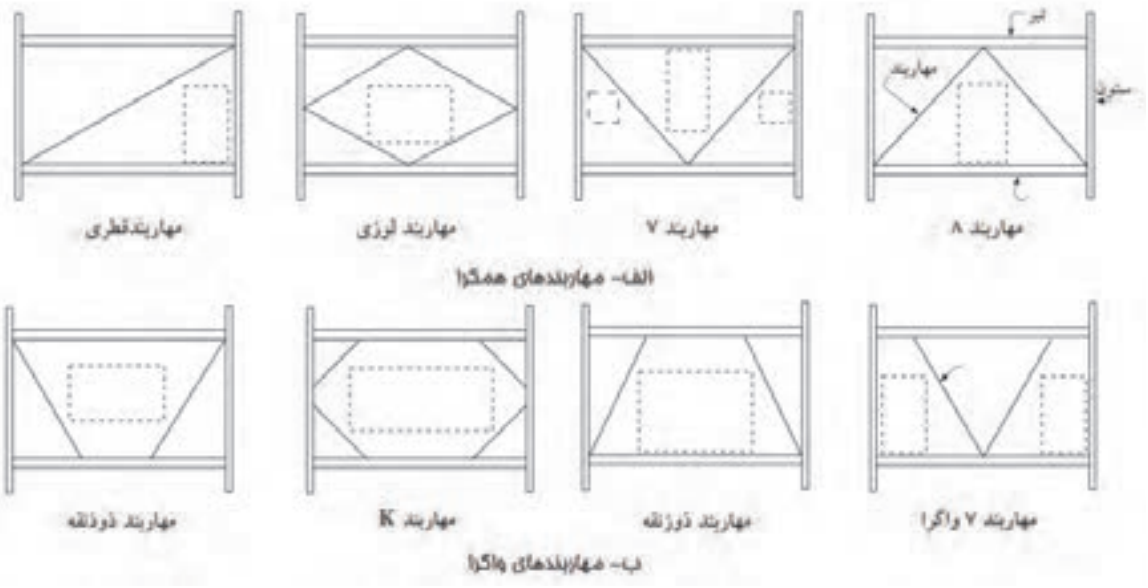
شکل ۲۳ ▲ لاپه‌ریزی سقف

لاپه‌ها:

به تیرهایی که در پوشش سقف‌های شیب‌دار به‌کار گرفته می‌شود، لاپه می‌گویند. لاپه‌ها را در این سقف‌ها از مقاطع Z، قوطی و ناودانی به‌کار می‌گیرند.

انواع مهاربند در سازه‌های فولادی

اعضای مقاوم در برابر نیروهای جانبی را مهاربند می‌نامند. مهاربندها به دو دسته همگرا و واگرا تقسیم می‌شوند. انتخاب نوع مهاربند در سازه‌های فولادی با توجه به سیستم باربر جانبی سازه و محدودیت‌های معماری انجام می‌شود.



شکل ۲۴ ▲ انواع مهاربند

مهاربندهای همگرا:

هرگاه محور اعضای مهاربند و تیر و ستون در یک نقطه به‌هم برسند، مهاربند را همگرا می‌نامند.

مهاربند ضربدری (قطری):

رایج‌ترین نوع مهاربند همگرا در سازه‌های فولادی است و معمولاً در قاب‌های پیرامونی سازه یا در محل‌هایی که بازشو از قبیل در و پنجره نداشته باشیم اجرا می‌گردد. هرگاه به دلایل ملاحظات معماری مانند بازشوها امکان استفاده از مهاربند ضربدری نباشد، سایر انواع مهاربندها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شکل ۲۵ ▲

مهاربندی ۷ و ۸ (شورن و شورن معکوس):

اگـر بـه دلیـل وجود بازشـو نتوانیـم از مهاربنـد ضربدری اسـتفاده کنیم، ایـن نـوع مهاربندها جایگزین مناسـبی خواهنـد بـود. تیـر دهانـه مهاربندی شـده در این روش، به دلیل وارد شـدن نیـرو از مهاربند، قوی‌تـر از تیر دهانه مهاربنـدی شـده بـا بادبندی ضربدری خواهد شـد.

شکل ۲۶ ▲ مهاربند ۷ و ۸ همگرا

مهاربند واگرا:

در مهاربندهای واگرا محور اعضای مهاربند و تیر و ستون در یک نقطه به‌هم نمی‌رسند.

مهاربند ذورنقه‌ای:

این نوع مهاربند زمانی اجرا می‌شود که عرض بازشو زیاد بوده و اجرای مهاربندی ۷ و ۸ امکان‌پذیر نباشد.

شکل ۲۷ ▲ مهاربند ذوزنقه‌ای

سقف‌ها در سازه‌های فولادی:

۱ـ سقف تیرچه بلوک:

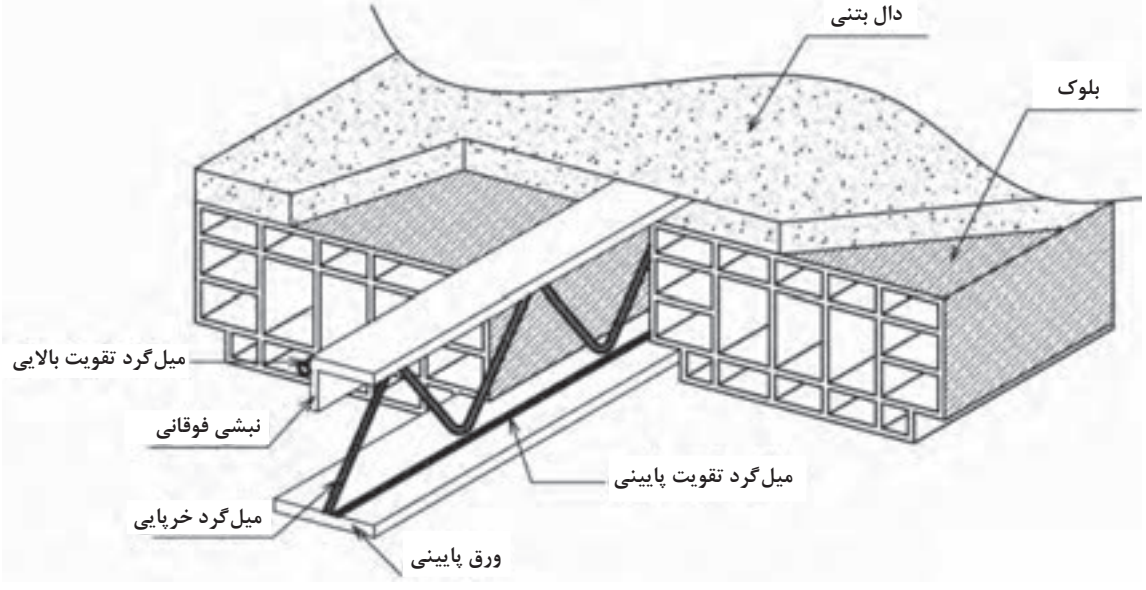
تیرچه‌هـای ایـن نـوع سـقف را بـا اسـتفاده از یـک خرپـای پیش‌سـاخته از میل‌گـرد و پاشـنه بتنـی در کارخانه تولیـد می‌نماینـد و سـپس در کارگاه بـا فواصـل ۵۰ سـانتی بـر روی تیرهای سـقف قـرار می‌دهند و زیـر آنها را شـمع‌بندی می‌نماینـد. فاصلـه بیـن تیرچه‌هـا را با بلوک سـفالی یا بتنـی و یا پلی اسـتایرن (یونولیـت) پر نموده سـپس یـک شـبکه میل‌گـرد نمـره ۶ بـه عنـوان حرارتی بـه فاصلـه ۲۵ سـانتی‌متر روی سـقف اجـرا می‌گردد و در نهایـت داخـل جـان تیرچه‌هـا و روی بلوک‌هـا را بـه ضخامـت حداقـل ۵ سـانتی بتن‌ریـزی می‌نماینـد. پـس از بتن‌ریـزی و سـپری شـدن مـدت زمـان لازم مطابـق ضوابـط مبحـث نهـم مقـررات ملـی سـاختمان، بـه مرور شـمع‌های زیـر سـقف را برداشـته و طبقـه بعـدی را اجـرا می‌نمایند.

شکل ۲۸ ▲ سقف تیرچه بلوک

شکل ۲۹ ▲ سقف تیرچه و یونولیت

۲ـ سقف تیرچه با جان باز:

این نوع سقف با نام تجاری کرمیت شناخته می‌شود و عملکردی مشابه سقف تیرچه بلوک دارد. در تیرچه‌های با جان باز به جای میل‌گردهای پایینی از تسمه فولادی و علاوه بر میل‌گرد بالایی از نبشی استفاده می‌شود و پاشنه بتنی حذف می‌گردد. به دلیل خودایستایی تیرچه‌ها، این نوع سقف نیاز به شمع‌بندی زیر تیرچه ندارد و می‌توان چندین سقف را هم‌زمان اجرا نمود.

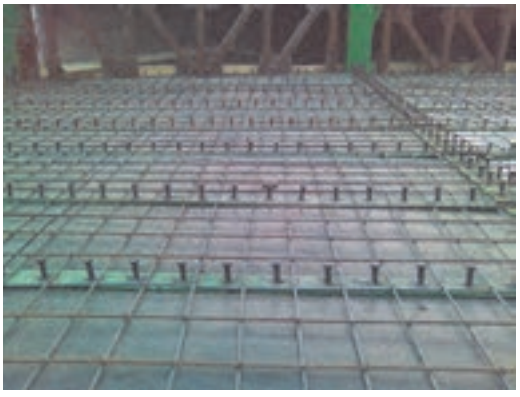


شکل ۳۰ ▲

۳ـ سقف مرکب یا کامپوزیت:

این نوع سقف تشکیل شده از تیرچه‌های فولادی و یک دال بتنی که به‌وسیله برشگیرهای جوش شده به تیرچه‌ها با یکدیگر درگیر و یکپارچه می‌شوند. به دلیل عملکرد ترکیبی بتن و فولاد این نوع سقف را مرکب یا کامپوزیت می‌نامند.

تیرچه‌های فلزی را با توجه به طول دهانه، فاصله بین آنها و بار سقف طراحی و اجرا می‌نمایند و مابین آنها را قالب‌بندی می‌کنند سپس یک شبکه فولادی از میل‌گرد مطابق نقشه روی آن اجرا نموده و در نهایت یک دال بتنی به ضخامت حداقل ۸ سانتی‌متر روی تیرچه‌ها اجرا می‌گردد به دلیل خودایستایی تیرچه‌ها در این نوع سقف نیاز به شمع‌بندی نبوده و اجرای چند سقف به طور هم‌زمان امکان‌پذیر می‌باشد. معمولاً برای ساخت تیرچه‌های فولادی از مقاطع I شکل یا لانه زنبوری و برای برشگیرها از نبشی، ناودانی یا گل‌میخ استفاده می‌شود (شکل ۳۲).



شکل ۳۱ ▲

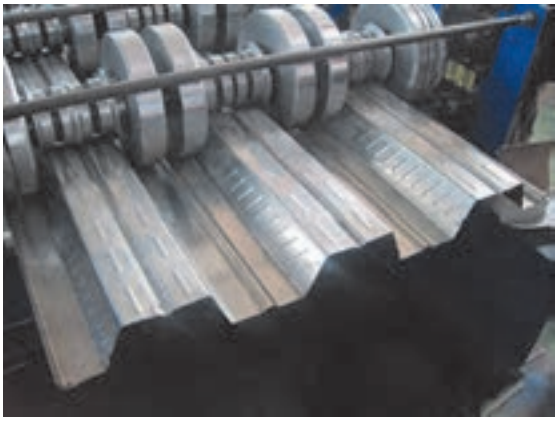
شکل ۳۲ ▲ سقف مرکب به همراه برشگیرها

۴ـ سقف عرشه فولادی:

طراحی و عملکرد این نوع سقف تشابه زیادی با سقف مرکب دارد. در این روش از ورق‌های گالوانیزه ذورنقه‌ای شکل به عنوان قالب دائمی زیر دال استفاده می‌شود. مزیت مهم این روش نیز عدم نیاز به شمع‌بندی است. لذا می‌توان هم‌زمان چندین سقف را با هم بتن‌ریزی نمود. در این روش معمولاً از گل‌میخ‌ها به عنوان برشگیر استفاده می‌شود.

شکل ۳۳ ▲ سقف عرشه فولادی

شکل ۳۴ ▲ روش نصب گل‌میخ روی سقف عرشه فولادی



شکل ۳۵ ▲ روش تولید ورق عرشه فولادی

اتصالات در سازه‌های فولادی

به عاملی که دو یا چند عضو را جهت انتقال نیرو، به یکدیگر مرتبط می‌سازد، اتصال گفته می‌شود.

انواع اتصالات در سازه‌های فولادی:

الف) اتصال ساده یا مفصلی (گیرداری تا ۲۰٪)

ب) اتصال نیمه‌گیردار (گیرداری بین ۲۰٪ تا ۹۰٪)

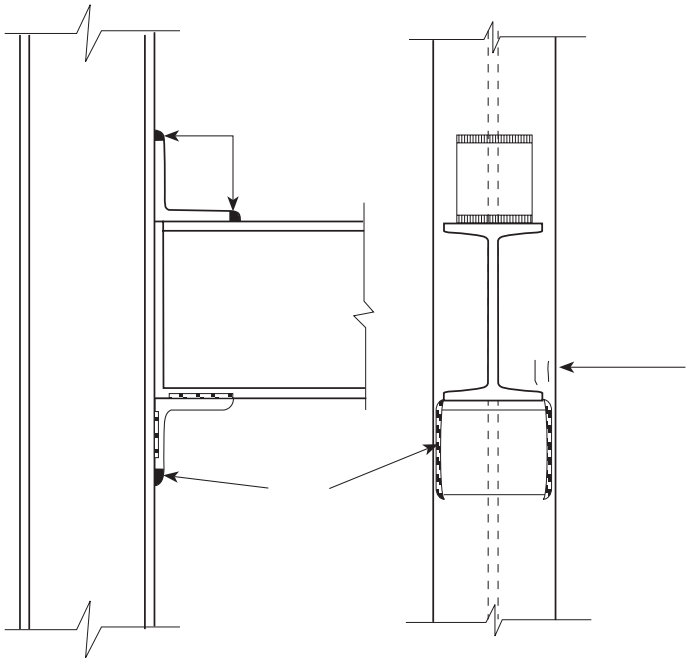
ج) اتصال صلب یا گیردار (گیرداری بیشتر از ۹۰٪)

لازم به توضیح است که تعیین درجه گیرداری اتصالات نیاز به انجام آزمایش و بررسی دقیق دارد.

الف) اتصال ساده، مفصلی یا لولایی تیر به ستون: در این نوع اتصال امکان چرخش تیر نسبت به ستون وجود دارد و به همین دلیل لنگر از تیر به ستون منتقل نمی‌شود. اما به دلیل مقاومت در مقابل نیروی برشی و طراحی اتصال بر این اساس، این نوع اتصال را اتصال برشی یا قیچی نیز می‌نامند. انواع اتصال ساده تیر به ستون به شرح ذیل است.

۱ـ اتصال با نبشی نشیمن:

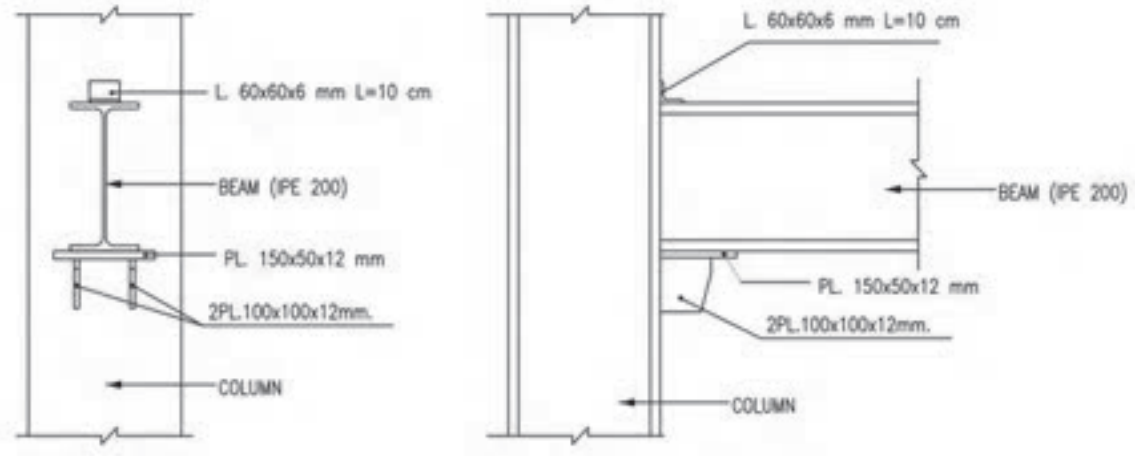
نبشی نشیمن در کارخانه و روی شاسی در تراز مورد نظر به ستون جوش می‌شود و در زمان نصب تیر، بال پایینی تیر روی آن قرار می‌گیرد. نبشی بالایی تیر، که فقط جنبه اجرایی داشته و جلوی حرکت تیر و واژگونی آن را می‌گیرد، پس از نصب تیر، بر روی بال فوقانی آن جوش می‌شود.



شکل ۳۶ ▲ اتصال با نبشی نشیمن

۲ـ اتصال با نشیمن تقویت شده یا براکت:

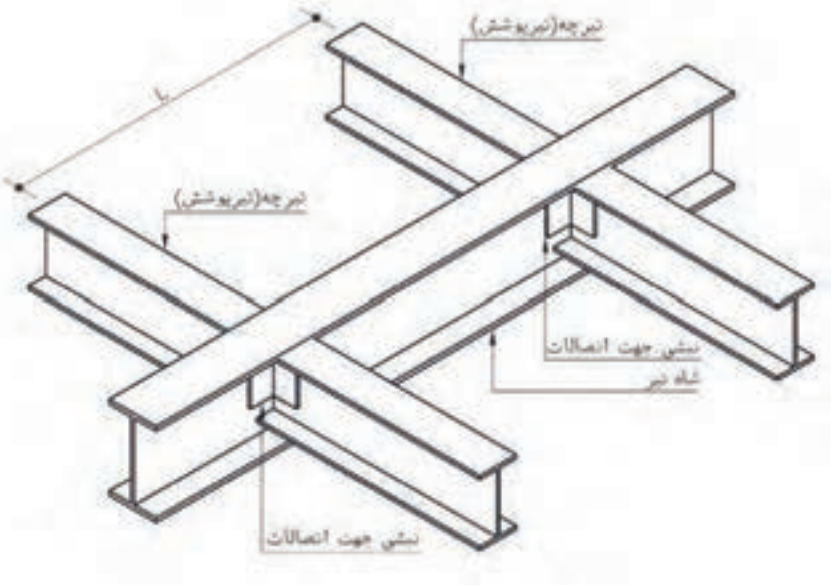
در دهانه‌های بزرگ نیروی برشی منتقل شده از تیر به ستون زیاد می‌باشد و نبشی به تنهایی توان تحمل نیروهای وارده را ندارد، لذا نبشی زیرین را به‌وسیلهٔ ورق‌های مستطیلی یا لچکی تقویت می‌نمایند که آن را اتصال با نبشی نشیمن تقویت شده می‌نامند. به جای نبشی نشیمن می‌توان از ترکیب ورق زیرسری و لچکی (براکت) نیز به عنوان نشیمن استفاده نمود.



شکل ۳۷ ▲ اتصال با نشیمن تقویت‌شده

۳ـ اتصال با جفت نبشی جان:

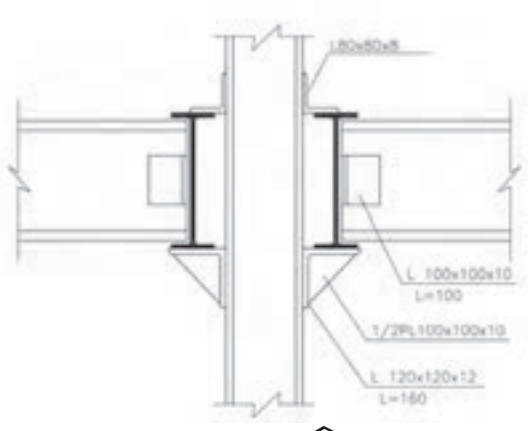
معمولاً از این نوع اتصال در اتصال تودلی تیر به تیر استفاده می‌شود. برای تأمین عملکرد مفصلی، فقط ساق‌های عمودی نبشی‌ها به جان تیر جوش داده می‌شود.

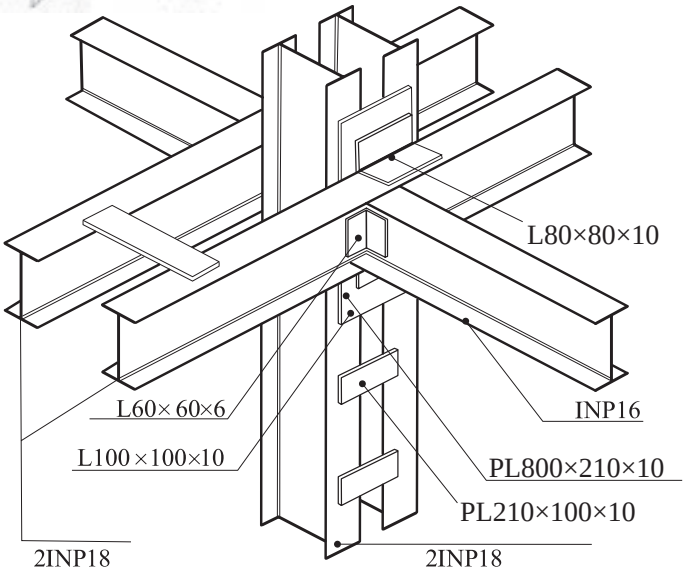


شکل ۳۸ ▲ اتصال با جفت نبشی جان

۴ـ اتصال خورجینی:

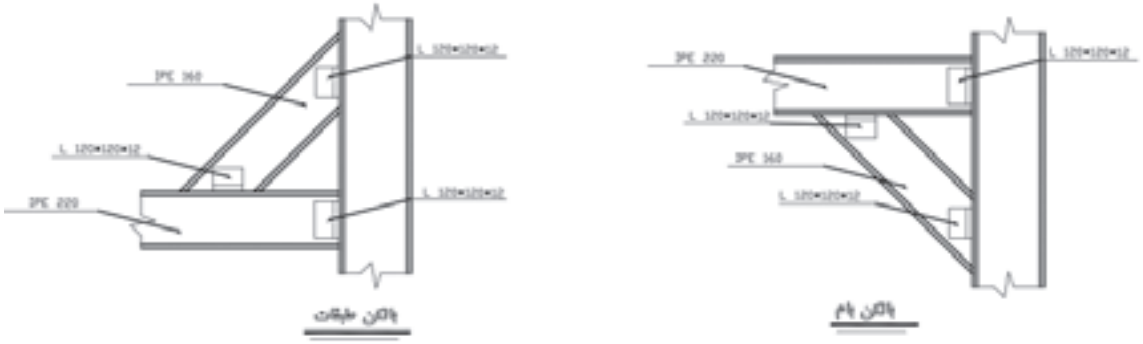
در این نوع اتصال، شاه‌تیرها به صورت ممتد از طرفین ستون عبور می‌کنند. به دلیل اجرای سرتاسری تیر، نسبت به حالت منقطع، نمره تیرآهن مورد نیاز در طراحی کاهش می‌یابد و باعث کاهش هزینه می‌گردد. در این حالت تیرهای سرتاسری روی نبشی نشیمنی که قبلاً به ستون جوش شده قرار می‌گیرد و یک نبشی نمره پایین‌تر نیز بال فوقانی تیر را به ستون متصل می‌نماید.





شکل ۳۹ ▲ اتصال خورجینی

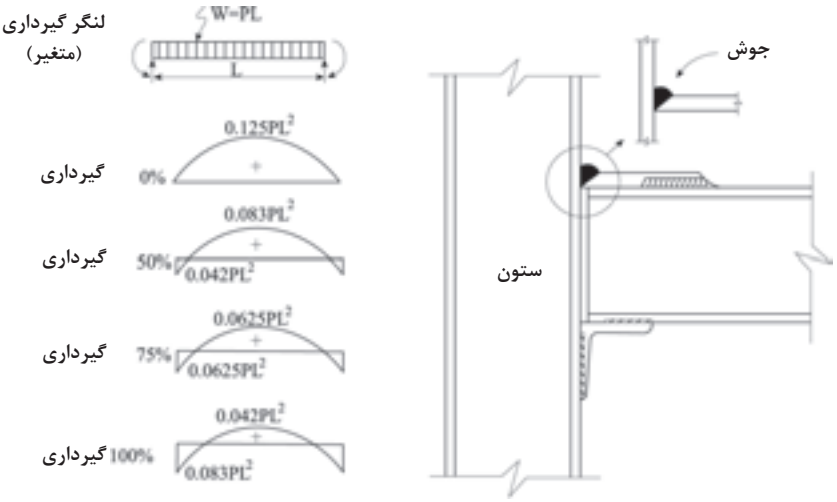
۵ـ اتصال تیر کنسول به ستون: این نوع اتصال به کمک اعضای مورب که اصطلاحاً دستک نامیده می‌شود، انجام می‌شود. در صورت عدم وجود محدودیت معماری، اجرای دستک در ناحیه فوقانی به دلیل رفتار کششی آن بهتر از دستک تحتانی است و در صورت عدم استفاده از دستک، باید یا تیر را به صورت پیوسته تا انتهای کنسول ادامه داد و یا اتصال تیر کنسول به ستون را از نوع گیردار اجرا نمود.



شکل ۴۰ ▲ اتصال تیر کنسول به ستون

ب) اتصال نیمه‌صلب یا نیمه‌گیردار تیر به ستون:

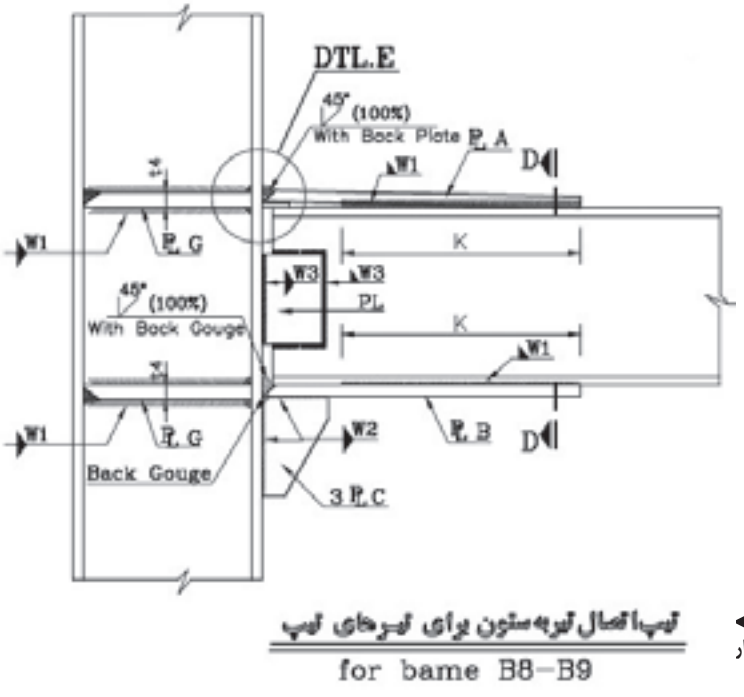
اگـر در یـک اتصـال مفصلـی امـکان دوران تیـر نسـبت به سـتون را تا حـدودی محـدود نماییم، مقـداری لنگر از تیـر بـه سـتون انتقـال می‌یابد کـه اتصـال نیمه‌گیـردار را به‌وجود مـی‌آورد. بـرای اجرای ایـن اتصال می‌تـوان از ترکیب ورق و نبشـی اسـتفاده نمود.



شکل ۴۱ ▲ اتصال نیمه گیردار

ج) اتصال صلب یا گیردار یا برشی ـ خمشی تیر به ستون:

در ایـن نـوع اتصـال، از امـکان چرخـش تیـر نسـبت بـه سـتون بـه شـدت کاسـته می‌شـود و تقریبـاً بـه صفـر می‌رسـد. بـه همیـن دلیل هـم لنگر و هـم نیروی برشـی از تیر به سـتون منتقـل می‌شـود. بـرای طراحـی و اجـرای ایـن نـوع اتصـالات می‌تـوان از نقشـه‌های از پیـش تأیید شـده در مبحـث دهم مقررات ملی سـاختمان نیـز اسـتفاده نمـود. انـواع حـالات مختلـف ایـن اتصـال بـه شـرح ذیـل است.



شکل ۴۲ ◄
اتصال گیردار

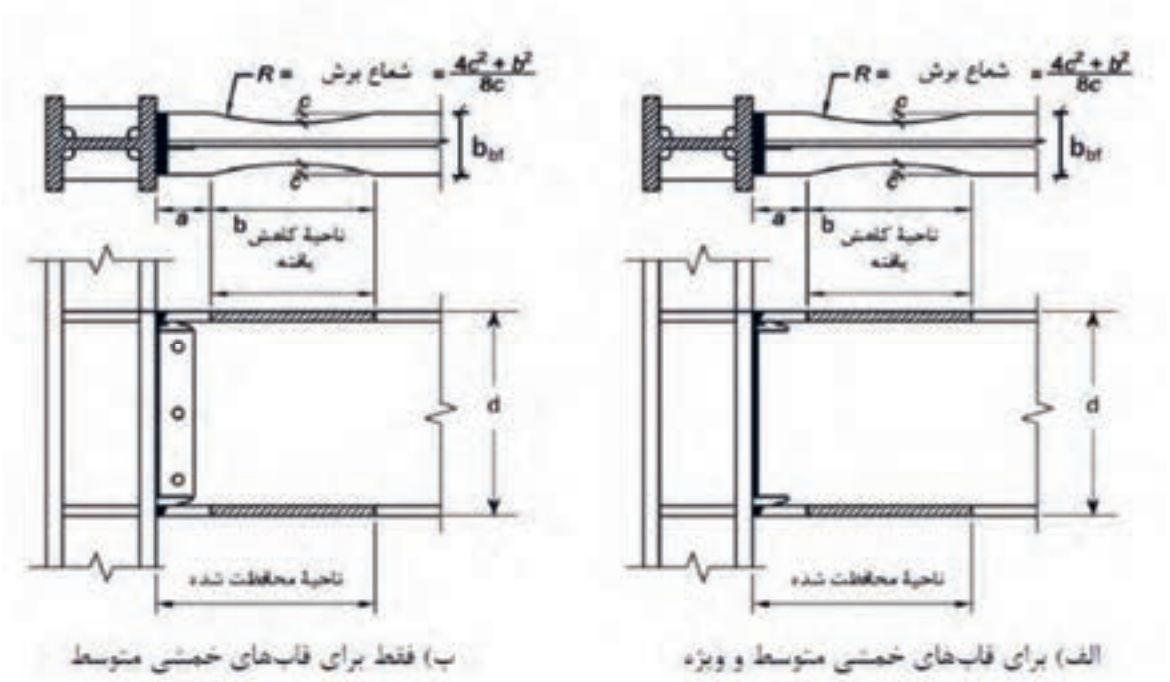
۱ـ اتصال با ورق زیرسری و روسری:

ورق زیرسری در تراز بال زیرین تیر و در هنگام ساخت ستون در کارخانه یا کارگاه به ستون جوش می‌شود. این ورق باید پهن‌تر از عرض شاه‌تیر باشد تا جوش بال پایینی تیر به آن امکان‌پذیر باشد. ورق روسری را پس از نصب تیر روی بال فوقانی آن نصب می‌نمایند. ورق بالاسری باریک‌تر از بال فوقانی تیر طراحی می‌شود تا جوشکاری ورق به بال فوقانی تیر به سهولت امکان‌پذیر شود و نیازی به جوش در وضعیت بالاسری یا زیرسقفی نباشد. به همین دلیل معمولاً این ورق به صورت ذوزنقه اجرا می‌شود که به ورق کله‌گاوی معروف است. (شکل‌های ۴۳ و ۴۴)

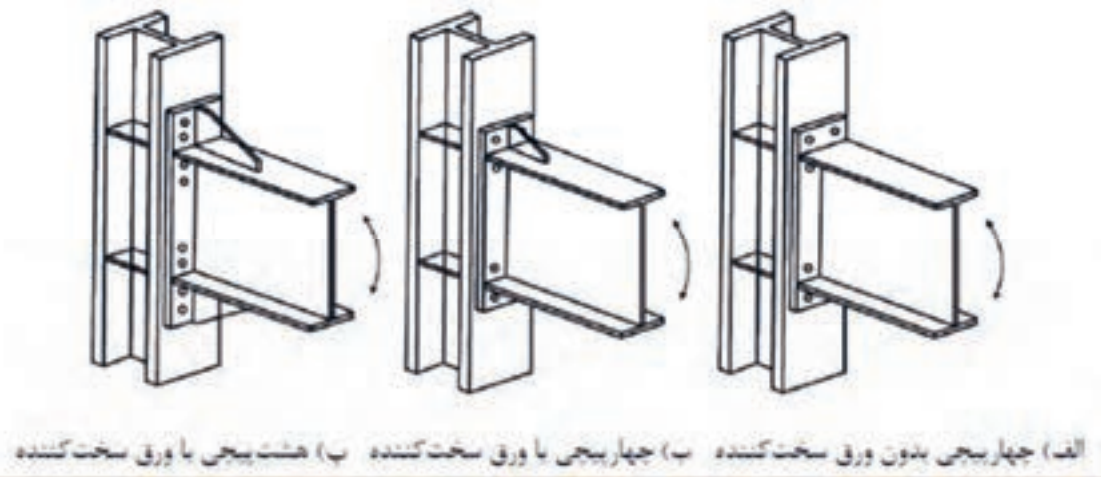
برای تحمل نیروی برشی در محل اتصال تیر به ستون، از جفت نبشی جان، نبشی نشیمن و یا نشیمن تقویت‌شده (براکت) استفاده می‌شود. در شکل‌های ۴۵ تا ۴۷ چند نمونه از اتصالات از پیش تأییدشده در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران دیده می‌شود.

شکل ۴۳ ▲ ورق کله‌گاوی

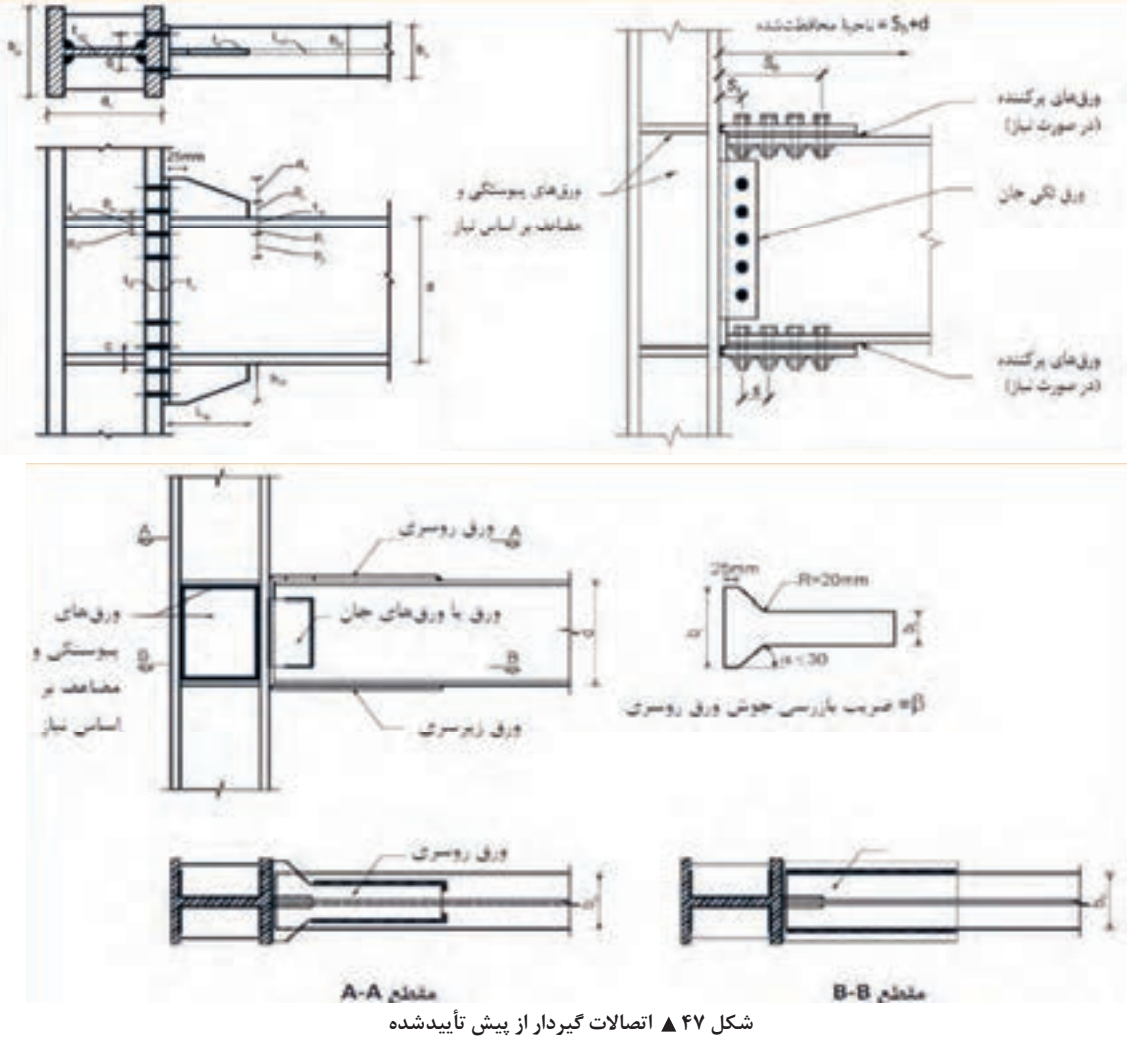
شکل ۴۴ ▲



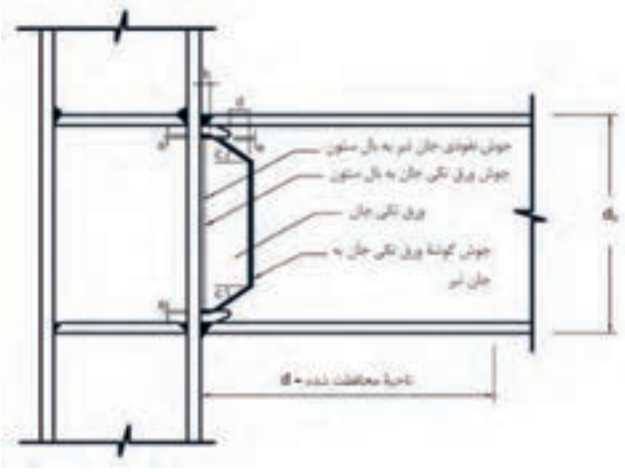
شکل ۴۵ ▲



شکل ۴۶ ▲



شکل ۴۷ ▲ اتصالات گیردار از پیش تأییدشده



ادامه شکل ۴۷ ▲ اتصالات گیردار از پیش تأییدشده

شکل ۴۸ ▲ برش‌کاری ورق کله‌گاوی

۲ـ اتصال مستقیم:

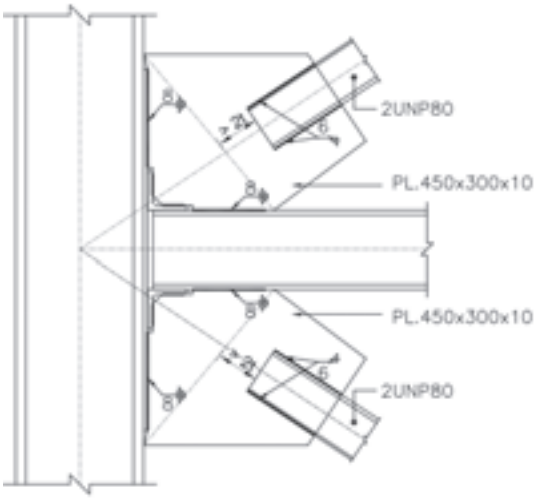
در این حالت قسمتی از دو انتهای تیر مستقیماً در کارخانه به ستون جوش می‌شود و پس از حمل و نصب ستون‌ها، قسمت میانی تیر را در محل خود با روش‌های مختلف نظیر اتصال با ورق‌های جان و بال و یا اتصال فلنجی متصل می‌نمایند. برش دقیق تیر و گونیابودن اتصال و اجرای جوش شیاری با نفوذ کامل، اجرای این اتصال را در کارخانه الزامی می‌نماید. از این نوع اتصال می‌توان در اتصال ستون به کف ستون نیز استفاده نمود.در شکل‌های ۴۹ و ۵۰ چند نمونه از اتصال فلنجی را مشاهده می‌کنید.

شکل ۴۹ ▲ اتصال مستقیم ستون به کف ستون

شکل ۵۰ ▲
► انواع اتصال فلنجی

اتصال مهاربندها:

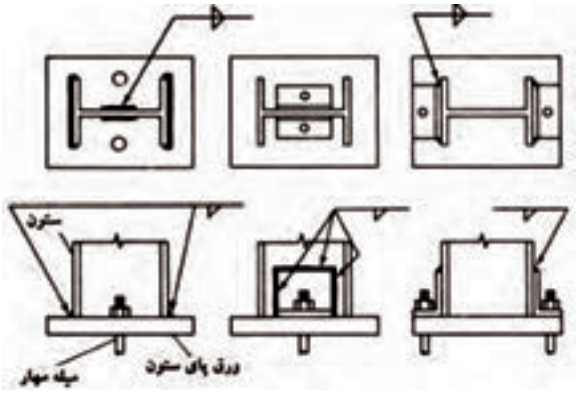
اتصال مهاربندها به ورق اتصال طوری انجام می‌شود که امکان حرکت ورق در راستای عمود بر صفحه ورق امکان‌پذیر باشد. این امر با رعایت فاصله انتهای بادبند از خط تکیه‌گاهی ورق اتصال به اندازه حداقل دو برابر ضخامت ورق (2t) مطابق شکل ۵۱ امکان‌پذیر می‌شود. در این حالت محورهای طولی (آکس) تیر، ستون و بادبند باید از یک نقطه عبور نمایند. در محل تقاطع بادبندهای ضربدری از ورق‌های مستطیلی استفاده می‌شود.



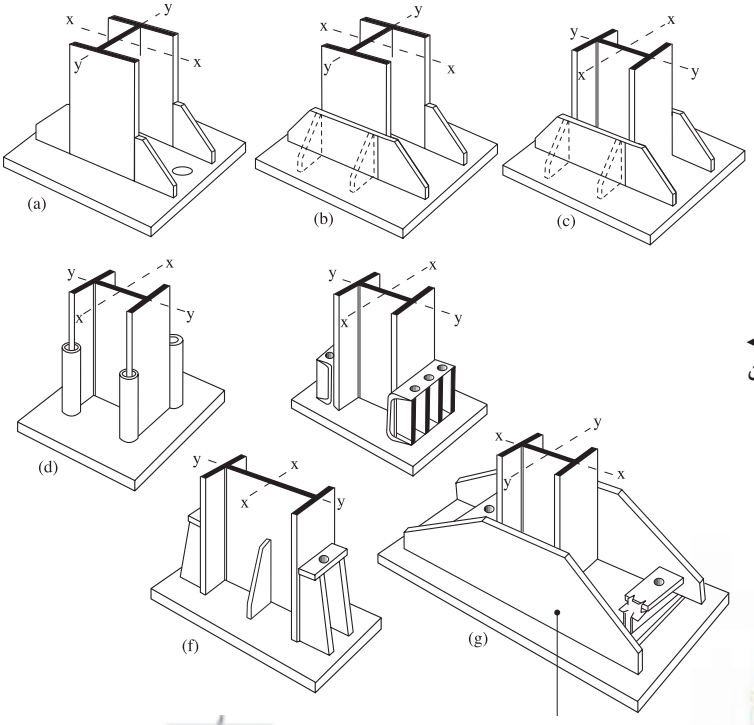
شکل ۵۱ ▲ اتصال مهاربندی

اتصالات ستون به فونداسیون:

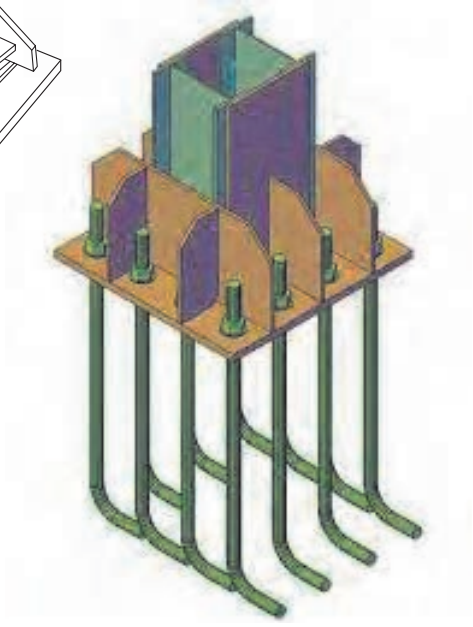
واسطه اتصال ستون فولادی به پی بتنی، صفحه کف ستون یا بیس‌پلیت است. صفحه کف ستون به وسیله میل‌مهارهایی که در اصطلاح کارگاهی بولت نامیده می‌شوند به بتن فونداسیون متصل می‌شود. در صورتی‌که اتصال مفصلی مورد نظر باشد، معمولاً با استفاده از نبشی و حداقل دو عدد بولت، ستون به فونداسیون متصل می‌شود (شکل ۵۲ - الف) و اگر اجرای اتصال به صورت گیردار مد نظر باشد از ورق اتصال و تعداد بولت‌های لازم بر اساس محاسبات فنی استفاده می‌شود؛ در این حالت، علاوه بر نیروهای محوری و برشی، لنگرخمشی نیز از ستون به فونداسیون انتقال می‌یابد (شکل ۵۲ - ب). صفحه کف ستون علاوه بر اینکه واسطه اتصال ستون به فونداسیون می‌شود، وظیفه پخش بارهای وارده از ستون فولادی به پی بتنی را به‌طوری‌که بتن فونداسیون قادر به تحمل آنها باشد، بر عهده دارد.



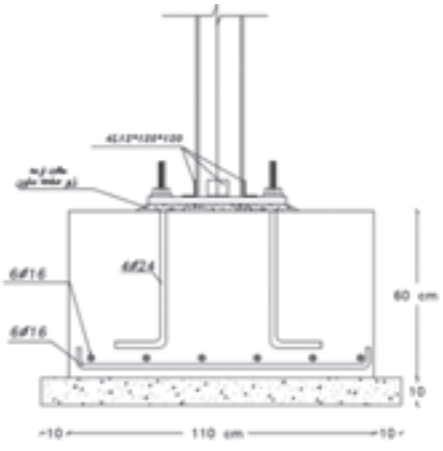
◀ شکل ۵۲ - الف
اتصال سادهٔ ستون به ورق پای ستون



شکل ۵۲ - ب ◀
اتصال گیردار ستون به ورق پای ستون



شکل ۵۳ ▲ اتصال گیردار ستون به فونداسیون



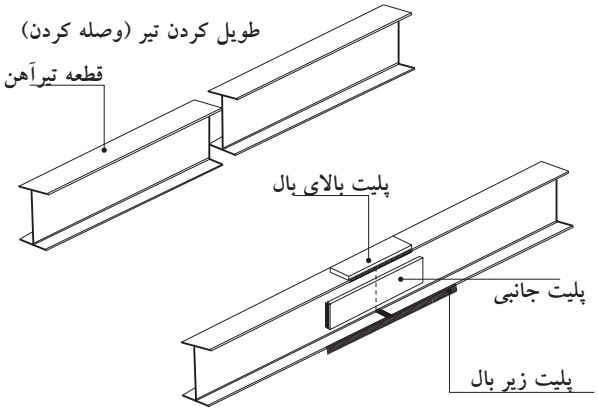
شکل ۵۴ ▲ اتصال ساده یا مفصلی ستون به فونداسیون

وصله اعضا:

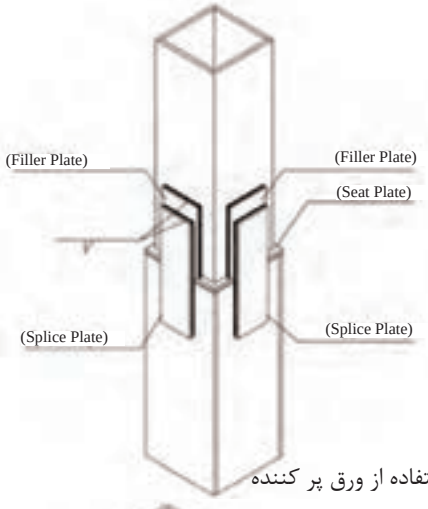
طول استاندارد پروفیل‌های موجود در بازار ۶ یا ۱۲متر است و طول تیر، ستون و اعضای مهاربندی تابع نقشه‌های سازه‌ای است و در بیشتر مواقع، برش‌کاری و وصله این اعضا ضرورت می‌یابد. وصله اعضا در سه حالت زیر اتفاق می‌افتد:

۱- طول مورد نیاز برای عضو بیشتر از پروفیل‌های موجود در بازار باشد.

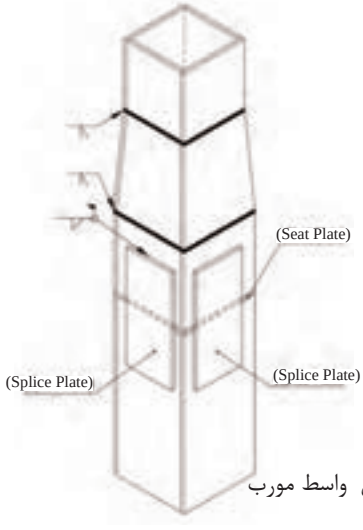
۲- جلوگیری از هدر رفتن (پرت مصالح)؛ به‌عنوان مثال به کمک وصله، یک تیر فولادی ۶/۵ متری را می‌توان از وصله دو قطعه ۳ و ۳/۵ متری ساخته و مورد استفاده قرار داد. (شکل‌های ۵۵ و ۵۶)



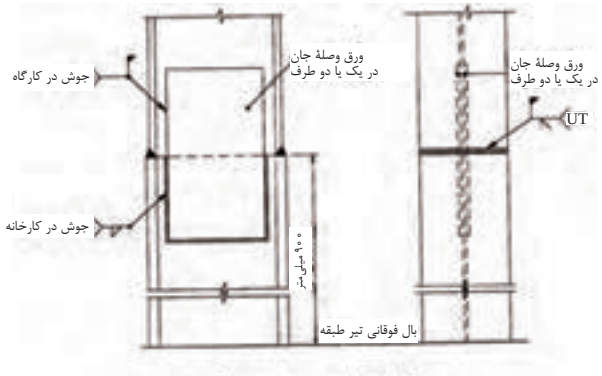
شکل ۵۵ ▲



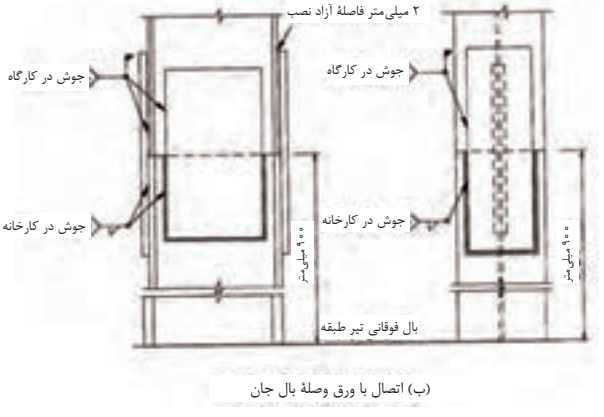
الف- استفاده از ورق پر کننده



ب- استفاده از ورق واسط مورب



(الف) اتصال لب‌به‌لب بال و ورق وصلهٔ جان

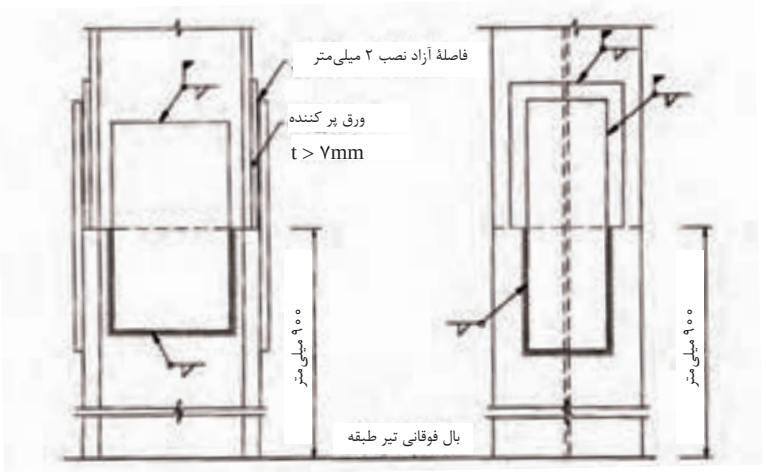


(ب) اتصال با ورق وصلهٔ بال جان

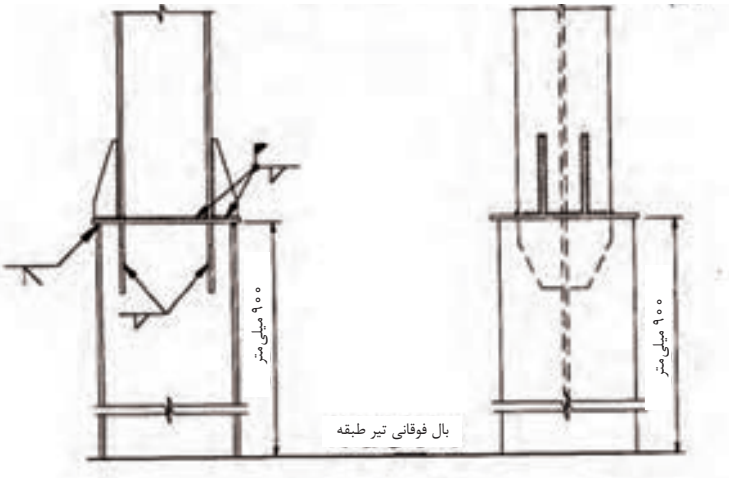
شکل ۵۶ ▲

۳- تغییر مقطع عضو؛ که اغلب در ستون‌ها اتفاق می‌افتد به وسیله وصله و ورق‌های پرکننده انجام می‌شود. (شکل ۵۸)

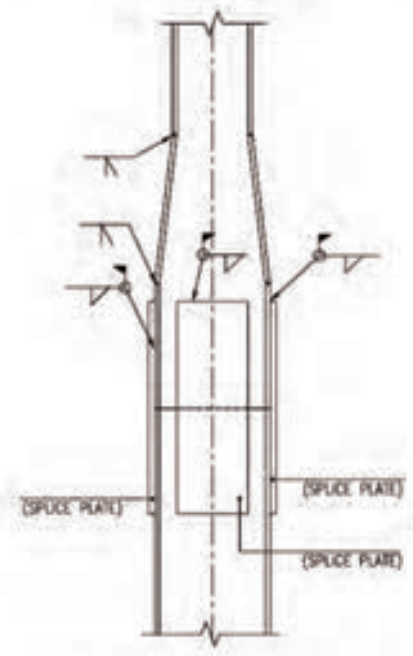
شکل ۵۷ ◄
وصله پیچی ستون



الف) اتصال با ورق وصلهٔ بال و جان با ورق پرکننده با ضخامت بیش از ۷ میلی‌متر



ب) اتصال با ورق سر (صفحهٔ تقسیم فشار)



پ) اتصال بدون ورق پرکننده و ورق سر (تغییر مقطع کله‌قندی)

شکل ۵۸ ▲

انواع سامانه (سیستم)های ساختمانی

ترکیب اعضای باربر نیروهای قائم نظیر تیرها و ستون‌ها و اعضای باربر نیروهای جانبی نظیر بادبندها یا دیوارهای برشی بتنی و فولادی و نحوه اتصال آنها را که تشکیل یک قاب می دهند، سامانه یا سیستم ساختمانی می‌نامند.

بارهای قائم یا ثقلی شامل بارهای مرده و زنده ساختمان به ترتیب از تیرهای فرعی به شاه‌تیرها، ستون‌ها و در نهایت به فونداسیون و زمین منتقل می‌شوند.

نیروهای جانبی نظیر باد و زلزله نیز توسط مهاربندی‌ها و دیوارهای برشی و یا اتصالات گیردار تیر به ستون جذب شده و به ستون‌ها و در نهایت به فونداسیون و زمین منتقل می گردد.

انواع سامانه‌های ساختمانی عبارت‌اند از:

۱- سامانه قاب با اتصالات مفصلی (ساده):

در این سامانه، اتصال تیر به ستون به صورت مفصلی می‌باشد و لنگری به ستون منتقل نمی‌شود. در این نوع قاب‌ها، نیروهای قائم توسط تیرها و ستون‌ها تحمل می‌شود و به دلیل مفصلی بودن اتصال تیر به ستون، در اثر اعمال نیروی جانبی نظیر باد و زلزله، سازه تغییر شکل زیادی داده و ناپایدار می‌شود. به همین دلیل برای مهار نیروهای جانبی باید از مهاربند در تعدادی از دهانه‌های بین ستون‌ها استفاده کرد. محل قرارگیری بادبندها معمولاً تابع ملاحظات معماری نظیر محل بازشوها و تأمین پارکینگ مورد نیاز می‌باشد. (شکل ۵۹)

شکل ۵۹ ▲ اتصال مفصلی

۲- سامانه قاب خمشی:

در قاب‌های خمشی اتصال تیر به ستون به صورت گیردار می‌باشد. قاب خمشی می‌تواند هم نیروهای قائم و هم نیروهای جانبی را توسط تیرها و ستون‌ها تحمل نماید. در این سامانه ابعاد تیرها و ستون‌ها از طبقه بالا به پایین افزایش می‌یابد. (شکل ۶۰)

شکل ۶۰ ▲ قاب خمشی

۳- سامانه قاب دوگانه یا ترکیبی:
در ساختمان‌های بلند مرتبه و یا ساختمان‌های نامتعارف که قاب خمشی به تنهایی تحمل نیروهای جانبی را ندارد و یا میزان تغییرشکل جانبی سازه از حد مجاز آیین‌نامه بیشتر می‌باشد، از ترکیب قاب خمشی و مهاربند، یا قاب خمشی و دیوار برشی فولادی یا بتنی استفاده می‌شود که به سامانه دوگانه یا ترکیبی معروف است.

شکل ۶۱ ▲ دیوار برشی فولادی

وسایل اتصال در سازه‌های فلزی

وسایل اتصال در سازه‌های فولادی عبارت‌اند از:
الف) جوشکاری
ب) پیچ و مهره
ج) پرچ

الف) جوشکاری

اتصال دائمی دو قطعه به یکدیگر به‌وسیلهٔ گرما و فشار یا بدون فشار و با یا بدون فلز پرکننده (فلز جوش) را جوشکاری می‌گویند. در این فرایند، چون جنس فلز جوش با فلز مبنا یکی است، با هم ترکیب شده و پس از سرد شدن خواص جوش با فلز مبنا یکی خواهد بود.

شکل ۶۲ ▲

در خصـوص اجـرای عملیات جوشـکاری، مطالب مربوط بـه این فرایند، مطابق با نمودار روبه‌رو تشـریح می‌شـود.

شکل ۶۳ ▲

لوازم و تجهیزات جوشکاری:

بـرای انجـام عملیـات جوشـکاری صحیح و رسـیدن به اتصـال جوشـی مطلـوب، اسـتفاده از تجهیـزات و ابزار اسـتاندارد ضـروری اسـت. ابـزار و تجهیزات اسـتاندارد مـورد نیـاز در فراینـد جوشـکاری عبارت‌اند از:

الف) دسـتگاه جـوش: وظیفـه تأمیـن انـرژی لازم جهـت ایجـاد قـوس الکتریکـی را دارد. تنظیـم شـدت جریـان و آمپرهـای مختلـف بـرای اجـرای جـوش بـه کمـک ایـن وسـیله انجـام می‌شـود.

شکل ۶۴ ▲ دستگاه جوش

شکل ۶۵ ▲ لوازم جوشکاری

ب) الکتـرود: شـامل مغـزی یا فلز پرکننده و روکش اسـت و در انواع مختلف براسـاس مقاومـت نهایی موردنیاز جـوش و وضعیـت جوشـکاری تولید می‌شـود. مطابق اسـتاندارد جـوش آمریـکا (AWS) نام‌گـذاری الکترودها را بـا یـک کـد چهـار یـا پنج رقمی بعـد از حـرف E انجام می‌دهنـد. در صـورت چهاررقمی بـودن این کـد، دو رقم اول و در صـورت پنـج رقمـی بـودن آن سـه رقـم اول از سـمت چپ، حداقـل مقاومت کششـی فلز الکتـرود را بر حسـب کیلوپونـد بـر اینـچ مربـع نشـان می‌دهـد کـه اگـر در ۷۰ ضـرب شـود، به کیلوگـرم بـر سـانتی‌متر مربع تبدیـل می‌شـود. بـه همیـن ترتیـب، رقـم سـوم در کدهـای چهـار رقمـی و رقـم چهـارم در کدهـای پنج‌رقمی نشـان‌دهنده وضعیـت جوشـکاری و آخریـن رقـم، با توجه بـه جنس روکش و نـوع جریان متغیر اسـت. به عنوان مثـال در الکتـرود E۶۰۱۳ چون کد الکتـرود، چهاررقمی اسـت، عـدد ۶۰ نشـان‌دهنده الکتـرود با مقاومت کششـی ۶۰Ksi معـادل ۴۲۰۰kg/cm^2، عـدد یـک معـرف جوشـکاری در تمـام وضعیت‌هـا بـوده و عـدد ۳ بیانگر این اسـت کـه الکترود بـا روکش روتایلـی یا اکسـید تیتانیوم و با امکان جوشـکاری با جریان مسـتقیم (یکسـو) یا جریان متناوب می‌باشـد.

شکل ۶۶ ▲ معرفی انواع الکترود

رقم	مفهوم	مثال
۲ یا ۳ رقم اول	حداقل مقاومت کششی	E - ۶۰XX = ۴۲۰۰ kg/cm^2 E - ۱۱۰XX = ۷۷۰۰ kg/cm^2
رقم بعدی	وضعیت جوشکاری	تمام وضعیت‌ها = E = XX۱X تخت و افقی = E = XX۲X تخت = E = XX۳X
رقم آخر	نوع جریان، نوع سرباره، نوع قوس، عمق نفوذ، وجود پودر آهن و هیدروژن در روکش	به جدول زیر مراجعه شود.

E XX X X	XX مقاومت نهایی مصالح الکترود	X وضعیت	X نوع پوشش
مثل E ۶۰ ۱۳ یا E ۶۰ ۱۸	۷۰ksi=۴۹۰۰ kg/cm^2 ۶۰ksi=۴۲۰۰ kg/cm^2	همه = ۱ افقی و تخت = ۲ تخت = ۳	۰ = فقط DCRP (قوس نفوذی) ۱ = AC یا DCRP (قوس نفوذی) ۲ = AC یا DCRP (قوس متوسط) ۳ = AC یا DC قطب آزاد (قوس نرم) ۴ = AC یا DC پودر آهن (قوس نرم) ۵ = DCRP کم هیدروژن ۶ = AC و یا DCRP (کم هیدروژن - قوس متوسط) ۷ = AC یا DC پودر آهن‌دار ۸ = AC یا DCRP (کم هیدروژن - پودر آهن)

ج) انبر جوشـکاری: انبر جوشـکاری وسـیلهٔ گرفتن الکترود و اجرای جوشـکاری اسـت. انبرها را بر حسـب ظرفیـت جریانـی کـه می‌تواننـد از خـود عبـور دهند، دسـته‌بندی می‌کننـد.

شکل ۶۷ ▲ انبر جوشکاری

د) گیـره اتصـال: ایـن ابـزار از یک سـمت بـه کابل دسـتگاه جـوش متصـل شـده و از سـمت دیگـر بـه قطعـه مـورد نظر برای جوشـکاری وصل می‌گـردد و با برقـراری جریـان برق، قـوس الکتریکی ایجاد می‌شـود.

شکل ۶۸ ▲ گیره اتصال

و) ماسـک محافظ: در حیـن ایجاد قـوس الکتریکی، نـور شـدیدی از محـل قـوس سـاطع می‌گـردد کـه می‌تواند آسـیب شـدیدی به چشـم جوشـکار یا افرادی کـه از فاصلـه کـم نظاره‌گـر عمل جوشـکاری هسـتند برسـاند. همچنیـن گاز ساطع‌شـده از محـل حوضچـهٔ مـذاب جـوش می‌توانـد باعـث مسـمومیت جوشـکار گردد. پاشـش ذرات جوش به سـمت صورت جوشـکار نیـز می‌توانـد آسـیب‌زا باشـد. ماسـک محافـظ وظیفه محافظـت از صـورت جوشـکار را در برابـر خطرات فوق بر عهـده دارد.

شکل ۶۹ ▲ ماسک جوشکاری

انواع روش‌های جوشکاری:

الف) جوشکاری دستی

ب) نیمه اتوماتیک

ج) اتوماتیک

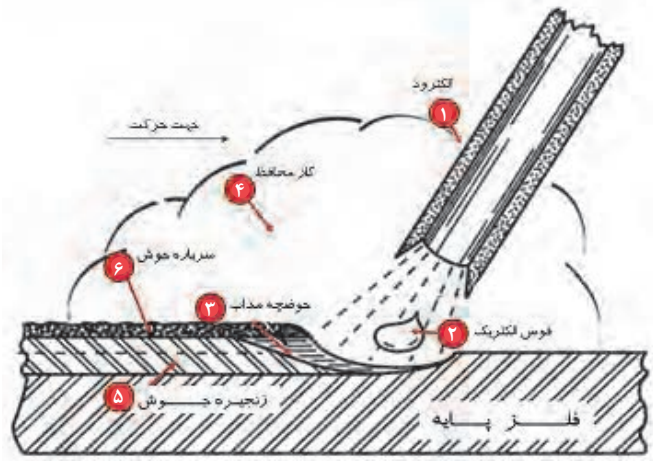
تفاوت روش‌های فوق عبارت‌اند از:

۱- هدایت الکترود که در روش دستی به‌وسیلهٔ دست جوشکار و در دو روش دیگر توسط دستگاه انجام می‌شود.

۲- نـوع الکتـرود مصرفـی کـه در روش دسـتی به صورت الکترود روکـش‌دار با طول محـدود و در روش‌های دیگر الکتـرود بـدون روکـش و با طول نامحـدود به صورت قرقره می‌باشـد.
۳- نحـوه حفاظـت از حوضچـه مـذاب در روش دسـتی بـا روکـش الکتـرود و در روش‌هـای دیگـر با گاز یـا پودر محافظ می باشـد

جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود روکش دار (SMAW):

ایـن روش کـه مرسـوم‌ترین روش جوشـکاری در کارهای سـاختمانی اسـت، به نام جوشـکاری با الکترود دسـتی نیـز معـروف اسـت. در ایـن روش کـه مناسـب کارگاه‌هـای کوچـک سـاختمانی اسـت، یـک جریـان بـرق قـوی کـه توسـط یـک مبـدل بـه نـام دسـتگاه جـوش تأمیـن می‌شـود باعـث ذوب الکتـرود، روکـش آن و فلـز پایـه در محـل جـوش شـده و باعـث اتصـال دو عضو بـه یکدیگر می‌شـود. روکـش الکتـرود در زمان انجـام عملیـات جوشـکاری باعـث ایجـاد یـک سـپر گازی حـول حوضچـه مذاب جوش شـده و از ترکیـب جـوش بـا اکسـیژن و نیتـروژن موجـود در هـوا جلوگیـری می‌نمایـد. همچنین بـا تشـکیل لایـه‌ای بـه نـام گل جوشـکاری از سـرد شـدن سـریع جـوش و بـه تبـع آن ترک در جـوش جلوگیـری می‌نماید. گل جوشـکاری باید پس از سـرد شـدن از روی جوش برداشـته شـود تـا بـا جـذب رطوبـت باعـث خوردگـی اتصـال نگردد.

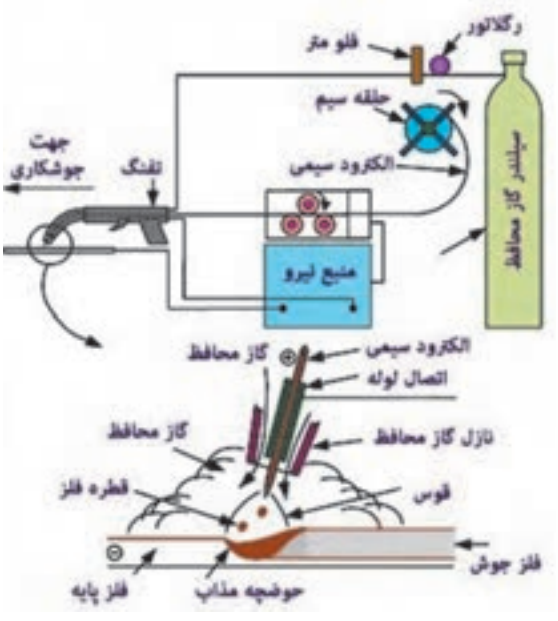


شکل ۷۰ ▲ جوش با قوس الکتریکی و الکترود روکش‌دار

جوشکاری قوس الکتریکی تحت حفاظت گاز محافظ (GMAW):

در این روش از الکترود سیمی بدون روکش و یکسره که به شکل کلاف بوده و توسط یک قرقره (شکل ۷۱) حرکت می‌نماید، استفاده می‌شود. محافظت از حوضچه مذاب در این روش بر عهده گاز یک محافظ مانند دی‌اکسیدکربن می‌باشد. از این روش در کارخانه‌های ساخت سازه‌های فلزی استفاده می‌شود.

◄ شکل ۷۱
الکترود بدون روکش



شکل ۷۲ ▲ جوشکاری قوس الکتریکی تحت گاز محافظ

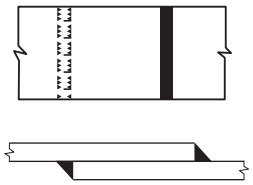
جوشکاری قوس الکتریکی تحت حفاظت پودر محافظ (SAW):

یکی از فرایندهای جوشکاری قوسی است که در آن، نوک الکترود داخل پودری از مواد معدنی ویژه قرار می‌گیرد و قوس ایجاد شده در زیر این پودر در امتداد مسیر جوشکاری دیده نمی‌شود. جوش حاصل از این روش یکنواخت و باکیفیت می‌باشد. این روش، در جوشکاری ورق‌های ضخیم و سازه‌های بزرگ ساختمانی و صنعتی و در کارخانه ساخت سازه‌های فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل ۷۳ ▲ جوشکاری قوس الکتریکی زیرپودری

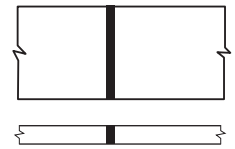
انواع جوش:

الف) گوشه (Fillet): به دلیل سهولت و سرعت بالای اجرا و عدم نیاز به آماده‌سازی لبه‌ها، بین ۸۰ تا ۸۵ درصد جوش‌ها به صورت جوش گوشه اجرا می‌شوند. در وضعیت‌های مختلف می‌توان از این نوع جوش استفاده نمود. این نوع جوش را با علامت اختصاری F نشان می‌دهند.



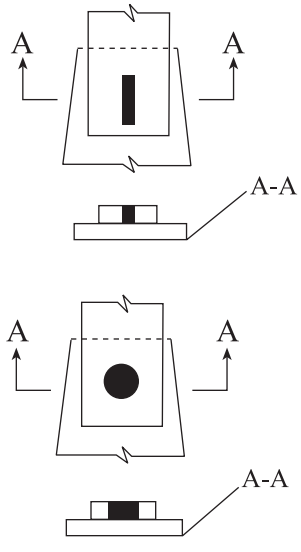
شکل ۷۴ ▲ جوش گوشه

ب) شیاری (Groove): در اتصالات گیردار برای اطمینان از انتقال کامل لنگر بین دو قطعه از این نوع جوش استفاده می‌شود. لبه‌های قطعات جوش‌شونده پخ زده می‌شود و سپس جوشکاری درون درز طی چند مرحله انجام می‌شود تا درز جوش پر شود. این نوع جوش به دلیل نیاز به آماده‌سازی لبه‌ها و سختی اجرا، حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد جوش‌های ساختمانی را شامل می‌شود. این نوع جوش را با علامت اختصاری G نشان می‌دهند.



شکل ۷۵ ▲ جوش شیاری

ج) جوش کام و انگشتانه: معمولاً در اتصالات روی هم وقتی که تأمین طول جوش به میزان کافی امکان‌پذیر نباشد از این نوع جوش‌ها استفاده می‌شود و با ایجاد سوراخ‌هایی به صورت کام و انگشتانه بر روی یکی از ورق‌ها، درون آنها را با جوش کام و انگشتانه پر می نمایند. جوش‌های کام و انگشتانه کمتر از ۵ درصد کاربرد دارند.

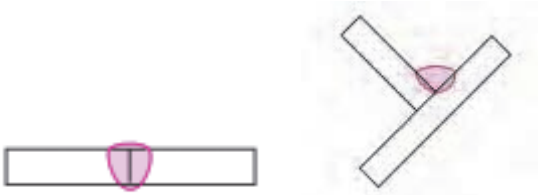


شکل ۷۶ ▲ جوش کام و انگشتانه

انواع حالت یا وضعیت جوشکاری:

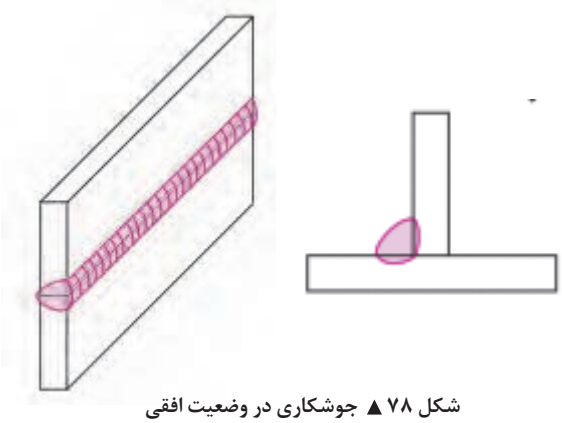
حالت یا وضعیت جوشکاری عبارت‌است از موقعیت قرارگیری جوشکار نسبت به قطعاتی که به یکدیگر جوش می‌شوند انواع حالات یا وضعیت‌های جوشکاری به ترتیب عبارت‌اند از:

۱) جوشکاری در حالت یا وضعیت تخت: به دلیل تسلط جوشکار بر محل جوشکاری، آسان‌ترین و بهترین روش جوشکاری است.



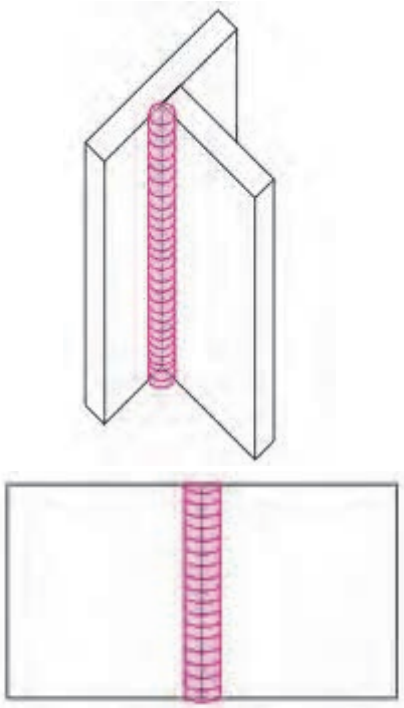
شکل ۷۷ ▲ جوشکاری در وضعیت تخت

۲) جوشکاری در حالت یا وضعیت افقی: جوشکاری از سمت چپ به راست و به‌صورت افقی انجام می‌شود.



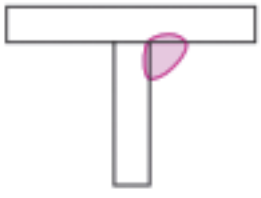
شکل ۷۸ ▲ جوشکاری در وضعیت افقی

۳) جوشکاری در حالت یا وضعیت قائم یا سربالا: در این حالت جوشکاری از پایین به سمت بالا انجام می‌شود.



شکل ۷۹ ▲ جوشکاری در وضعیت قائم

۴) جوشکاری در حالت یا وضعیت زیرسقفی یا بالاسری (Over head): در این حالت چون دست جوشکار بالاتر از سر او قرار می‌گیرد، به وضعیت بالاسری معروف شده و به دلیل شره‌کردن جوش، معمولاً از کیفیت مناسبی برخوردار نیست و در طراحی و اجرای اتصالات سعی می‌شود از این حالت اجتناب گردد.



شکل ۸۰ ▲ جوشکاری در وضعیت زیرسقفی

نکته

با توجه به بحث انواع جوش و انواع وضعیت‌های جوشکاری، در نقشه‌های ساختمانی و صنعتی از ترکیب نوع جوش و وضعیت جوشکاری استفاده می‌کنند. به‌طور مثال 1F جوش گوشه در وضعیت تخت را معرفی می‌نماید و یا 3G معرف جوش شیاری در وضعیت قائم می‌باشد.

فعالیت کلاسی ۱

نوع جوش و وضعیت جوشکاری را برای موارد 1F,2F,3F,4F,1G,2G, 3G و 4G با راهنمایی هنرآموز خود در یک جدول شرح دهید.

انواع اتصالات جوشی:

منظور از اتصالات جوشی، روش‌های مختلف قرارگیری قطعات جوش‌شونده نسبت به یکدیگر می‌باشد. انواع اتصالات جوشی عبارت‌اند از:

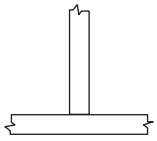
الف) اتصال لب‌به‌لب: معمولاً برای اتصال ورق‌های مسطح با ضخامت‌های تقریباً یکسان و در امتداد هم از این اتصال استفاده می‌شود.

شکل ۸۱ ▲ اتصال لب‌به‌لب

ب) اتصال روی هم: ساده‌ترین نوع اتصال است و نیازی به لبه‌سازی خاصی نداشته و اغلب با یک برش عادی توسط شعله می‌توان لبه‌ها را آماده جوشکاری کرد. همچنین امکان اتصال ورق‌ها با ضخامت‌های متفاوت را فراهم می‌کند.در اتصال مهاربندهای نبشی و ناودانی به ورق‌های اتصال پرکاربرد است.

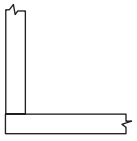
شکل ۸۲ ▲ اتصال روی‌هم

ج) اتصال سپری: برای ساخت مقاطع I و T شکل در تیرورق‌ها، اتصال سخت‌کننده‌ها، نشیمن تیرها و اتصال اعضا به یکدیگر با زاویه ۹۰ درجه، از اتصال سپری استفاده می‌شود.



شکل ۸۳ ▲ اتصال سپری

د) اتصال گونیا (کنج): برای ساخت مقاطع قوطی‌شکل که دارای صلبیت و مقاومت مناسب در برابر لنگر پیچشی موجود در ستون‌ها هستند از اتصال گونیا استفاده می‌شود.



شکل ۸۴ ▲ اتصال کنج

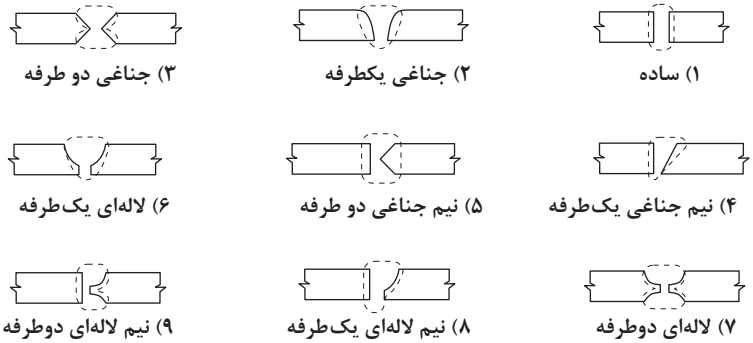
و) اتصال پیشانی: از این اتصال در موارد خاص برای نگهداری دو یا چند ورق در یک سطح استفاده می‌شود، معمولاً این نوع اتصال نقش سازه‌ای ندارد.

شکل ۸۵ ▲ اتصال پیشانی

انواع درزجوش:

ایجـاد پـخ در لبه‌هـای قطعـات جوش‌شـونده بـرای تأمین شـکل هندسـی مورد نظـر و قرارگیـری آنهـا در کنار هـم را درز جـوش می‌نامنـد. در ورق‌هـای بـا ضخامـت تـا ۹ میلی‌متـر درز سـاده یـا بدون پـخ ایجاد می‌شـود و در ورق‌هـای بـا ضخامـت ۹ تـا ۱۸ میلی‌متـر پـخ یک‌طرفـه و در ورق‌هـای با ضخامـت بیـش از ۱۸ میلی‌متر پخ دوطرفـه ایجـاد می‌نماینـد. انـواع درز جـوش عبارت‌اند از:

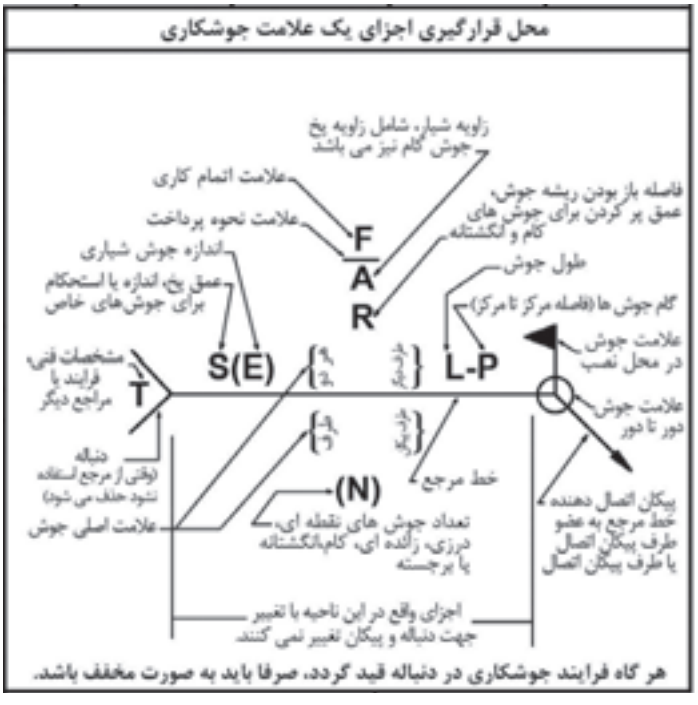
۱- درز ساده یا بدون پخ
۲- درز جناغی یک‌طرفه
۳- درز جناغی دوطرفه
۴- درز نیم‌جناغی یک‌طرفه
۵- درز نیم‌جناغی دو طرفه
۶- درز لاله‌ای یک طرفه
۷- درز لاله‌ای دو طرفه
۸- درز نیم لاله‌ای یک طرفه
۹- درز نیم لاله‌ای دو طرفه



شکل ۸۶ ▲ انواع درز جوش

علائم جوشکاری:

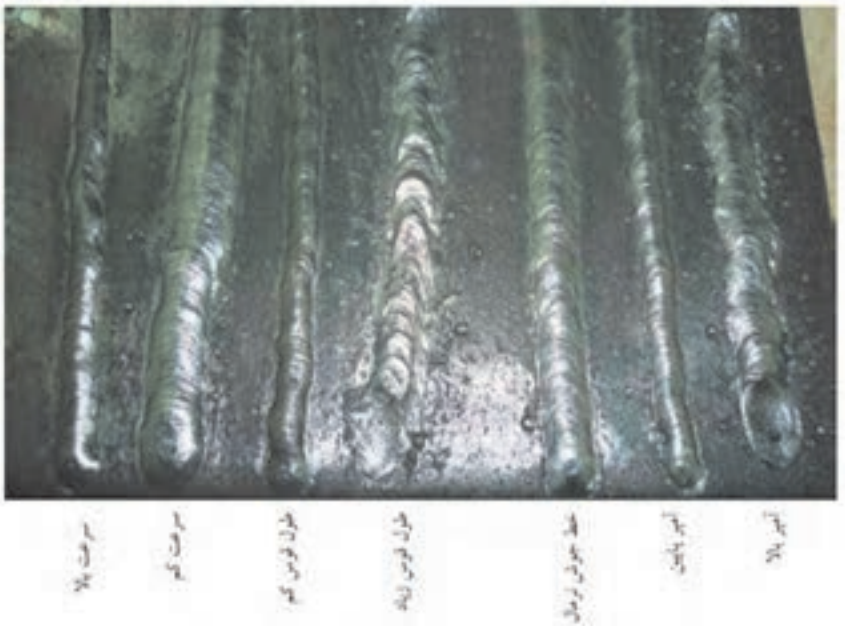
در نقشـه‌های اجرایـی بـرای بیـان جزئیـات جـوش نظیـر عمـق، زاویـه شـیار و پـخ لازم بـرای ورق، گام و فاصله جـوش و ... از علائـم اسـتاندارد اسـتفاده می‌شـود. در شـکل ۸۷ بـا یـک نمونـه از علائـم اسـتاندارد جوش آشـنا می‌شـوید.



شکل ۸۷ ▲ علائم جوشکاری

انواع عیوب جوش:

عواملی نظیر عدم رعایت استانداردهای لازم در حین عملیات جوشکاری، میزان تجربه و مهارت جوشکار، کیفیت تولید، نگهداری و انتخاب صحیح الکترود مصرفی متناسب با وضعیت و شرایط جوشکاری، وجود گل جوشکاری و.... می‌تواند منجر به عیوبی در جوش شود. شناخت عیوب جوش و برطرف نمودن آنها قبل از بهره‌برداری از سازه اهمیت فوق‌العاده‌ای دارد. در شکل ۸۸ تعدادی از عیوب بارز جوش و دلایل ایجاد آنها به اختصار معرفی شده است.



شکل ۸۸ ▲ عیوب جوش

عیوب جوشکاری و دلایل ایجاد آنها	
عیوب جوشکاری	**دلایل ایجاد**
امتزاج ناقص	عدم اختلاط فلز جوش و فلز مبنا که به دلایل سطح آلودهٔ درز، نوع و اندازهٔ نامناسب الکترود و شدت جریان نامناسب به‌وجود می‌آید.
نفوذ ناقص	عدم نفوذ کامل جوش در هندسه درز که به دلایل استفاده از الکترود بزرگ‌تر از هندسه درز، آمپراژ کم یا سرعت زیاد دست جوشکار ایجاد می‌شود.
روی هم افتادگی جوش	جاری شدن فلز جوش روی فلز مبنا یا جوش پاس قبل بدون اینکه ذوب و جوش‌خوردن با آن ایجاد شود.
سوختگی یا بریدگی کنار جوش	شیاری در کنار جوش که به دلیل آمپراژ بالا یا طول قوس بلند در اثر ولتاژ بالا اتفاق می‌افتد.
حبس سرباره	به هر ماده غیرفلزی که عموماً ناشی از ترکیبات روکش الکترود و به دلیل عدم دقت در پاک‌کردن گل جوش بین پاس‌های متوالی ایجاد می‌شود، حبس سرباره می‌گویند.
ترک در جوش	در اثر عواملی مانند انجماد و سردشدن سریع جوش، نفوذ هیدروژن، عدم پیش‌گرمایش و کثیف بودن درز ایجاد می‌گردد.
تخلخل	تخلخل حفره‌های گازی است که به دلایل استفاده از الکترود مرطوب، شدت جریان کم و طول قوس کوتاه در جوش ایجاد می‌شود.
معایب ابعادی جوش	عدم تأمین طول و بعد جوش مطابق نقشه

روش‌های بازرسی جوش:

برای شناسایی صحیح عیوب جوش، روش‌ها و ابزارهای دقیقی وجود دارد که در ادامه معرفی می‌شوند:

الف) بازرسی جوش به روش غیرمخرب (NDT):

در این روش بازرسی، بدون تخریب جوش، به عیوب سطحی و عمقی آن پی می برند. این روش بازرسی خود به روش های گوناگونی به شرح ذیل تقسیم‌بندی می‌شود.

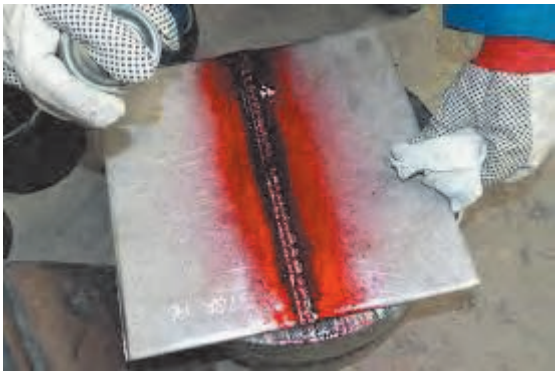
۱ـ بازرسی چشمی (VT):

با مشاهده چشمی، عیوب ظاهری و سطحی جوش تشخیص داده شده و نسبت به اصلاح آنها اقدام می‌شود. بازرسی چشمی از ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌ها است که وابستگی زیادی به تجربه و مهارت بازرس جوش دارد. این روش بازرسی در تمامی مراحل قبل، حین و بعد از جوشکاری انجام می‌شود. در این روش بازرسی، طول جوش با متر و بعد جوش با گرده‌سنج (شکل ۸۹) اندازه‌گیری می‌شود.

شکل ۸۹ ▲ انواع گرده‌سنج

۲ـ بازرسی به‌وسیلهٔ مایع نافذ (PT):

در این روش با استفاده از جاذبه موئینگی، یک مایع رنگی را با قلم مو یا اسپری روی جوش پخش نموده و با نفوذ این مایع به درون ناپیوستگی‌های سطحی جوش، آن را نمایان می‌کنند. با این روش فقط می توان به عیوب سطحی جوش مانند ترک و تخلخل در سطح جوش پی برد و نمی‌توان عمق این معایب و یا معایب زیرسطحی جوش را تخمین زد.



شکل ۹۰ ▲ بازرسی به‌وسیلهٔ مایع نافذ

۳ـ بازرسی جوش به روش اولتراسونیک (UT):

در این روش، با استفاده از امواج صوتی عیوب داخلی و زیرسطحی جوش نمایان می‌شود به‌طوری‌که اگر امواج از محیط‌های غیرهمگن عبور نمایند، روی مانیتور دستگاه محل آنها را مشاهده می‌نمایند. این روش، به نسبت روش‌های چشمی و مایع نافذ دقیق‌تر و در عین حال گران‌تر می‌باشد. (شکل ۹۱)

شکل ۹۱ ▲ بازرسی به روش اولتراسونیک

۴ـ آزمون ذرات مغناطیسی (MT):

از روش بازرسی با استفاده از ذرات مغناطیسی برای بررسی عیوب سطحی و برخی معایب زیرسطحی نظیر ترک‌ها استفاده می‌شود.

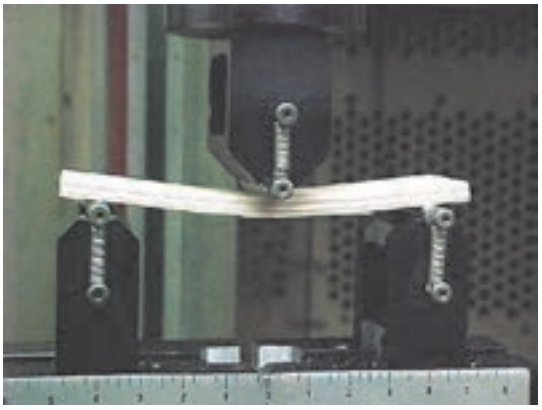
شکل ۹۲ ▲

۵ـ آزمون رادیوگرافی (RT):

یکی از روش‌های آزمایش غیرمخرب می‌باشد که با استفاده از پرتونگاری، نوع و محل عیوب داخلی و بسیار ریز جوش از قبیل حبس سرباره، حفره گازی، ترک در جوش، بریدگی کنارجوش، نفوذ ناقص و امتزاج ناقص را نشان می‌دهد. این شیوه پرتونگاری، وجود معایب مختلف در فلز جوش و فلز مبنا را مسجل کرده و اندازه و محل آنها را مشخص می‌نماید.

ب) تست‌های مخرب (DT):

از این نوع تست‌ها برای سنجش مقاومت مکانیکی قطعات جوش شده نظیر مقاومت خمشی، برشی و کششی استفاده می‌شود. قطعات جوش شده تحت اثر بار قرار می‌گیرند تا گسیخته شوند. انواع تست مخرب در شکل‌های ۹۳ الی ۹۵ نشان داده شده است.



شکل ۹۳ ▲ تست خمش

شکل ۹۴ ▲ تست کشش

شکل ۹۵ ▲ تست ضربه

فعالیت عملی ۲

به کمک هنرآموز و استادکار کارگاه خود چند خط‌جوش از قبل آماده شده را به صورت چشمی با هم مقایسه نموده، مشخصات و معایب ظاهری آنها را در قالب یک گزارش ارائه دهید.

فعالیت عملی ۳

با نظر هنرآموز و به کمک استادکار، قطعات فلزی و تجهیزات جوشکاری را از انبار تحویل گرفته و انواع اتصالات جوشی، انواع جوش و انواع وضعیت‌های جوشکاری را روی آنها تمرین کنید و گزارش مبسوطی از آن تهیه و به هنرآموز خود تحویل دهید.

فعالیت عملی ۴

با استفاده از مایع نافذ عیوب ظاهری جوش‌های خود را کنترل نموده گزارش دهید.

ب) اتصالات پیچی

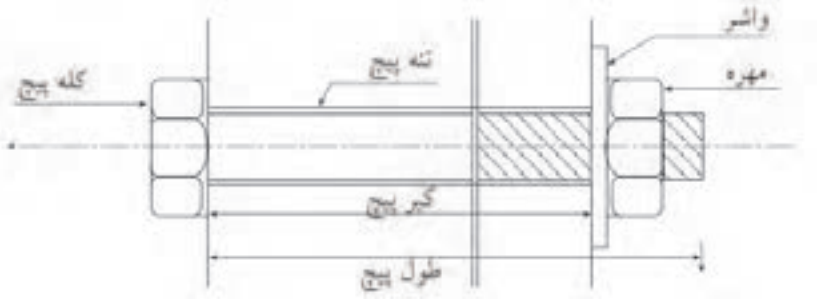
اتصالات پیچ و مهره‌ای به دلایل سرعت و سهولت اجرا، عدم آلودگی صوتی و عدم نیاز به تجهیزات جوشکاری و تأمین برق کارگاهی، نسبت به جوش و پرچ، یک اتصال مناسب برای سازه‌های فولادی محسوب می‌شود.

در سازه‌های موقت مثل داربست‌ها، پل‌ها و اتاق‌های اسکان موقت در مناطق زلزله‌زده می‌توان سازه را به‌راحتی جمع‌آوری نمود و مجدداً در محل دیگری نصب نمود. برای مونتاژ نهایی قطعات، بعد از آنکه قطعاتِ علامت‌گذاری شده بر روی خرک چیده شدند و ورق‌های اتصال بر روی سوراخ‌ها قرار گرفتند، قطعات به‌وسیلهٔ سمبه‌هایی که از سوراخ‌های اتصال می‌گذرند درجای خود ثابت می‌شوند.

انواع پیچ

انواع متداول پیچ‌های مورد استفاده در اسکلت‌های فولادی عبارت‌اند از پیچ‌های معمولی و پیچ‌های پرمقاومت. مشخصات پیچ‌های موجود یا تولید در ایران طبق استانداردهای ISO و ASTM در جدول بالای صفحهٔ بعد ارائه شده است. برای هر پیچ باید واشر و مهرهٔ سازگار مورد استفاده قرار گیرد.

شکل ۹۷ ▲



شکل ۹۶ ▲

پیچ‌ها با دو نوع عملکرد «اتکایی» و «اصطکاکی» مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از پیچ‌های پرمقاومت منطبق با استانداردهای ملّی یا بین‌المللی، برای هر دو نوع اتصال و استفاده از پیچ‌های معمولی فقط در اتصالات اتکایی مجاز است. در اتصالات اتکایی ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی لازم نیست ولی در اتصالات اصطکاکی پیچ‌ها باید پیش‌تنیده گردند. حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی مطابق مقادیر جدول پایین صفحهٔ بعد می‌باشد. برای حصول پیش‌تنیدگی استفاده از یکی از سه روش« ترک‌متر یا آچار مدرج»، «واشرهای کشش‌سنج» و «سفت‌کردن مجدد مهره» امکان‌پذیر است.

شکل ۹۸ ▲ ترک‌متر

مشخصات پیچ‌های تولید یا موجود در ایران

نوع پیچ	نام استاندارد		تنش تسلیم مصالح پیچ (F_y)	تنش کششی نهایی مصالح پیچ (F_u)
	ASTM	ISO		
پیچ‌های معمولی	A۳۰۷	-	۲۴۰ MPa	۴۰۰ MPa
	-	۴.۶	۲۴۰ MPa	۴۰۰ MPa
	-	۴.۸	۳۲۰ MPa	۴۲۰ MPa
	-	۵.۶	۳۰۰ MPa	۵۰۰ MPa
	-	۵.۸	۴۰۰ MPa	۵۲۰ MPa
	-	۶.۸	۴۸۰ MPa	۶۰۰ MPa
پیچ‌های پرمقاومت	A۳۲۵ d ≤۲۴mm	-	-	۸۰۰ MPa
	A۳۲۵ d >۲۴mm	-	-	۷۲۵ MPa
	A۴۹۰	-	-	۱۰۰۰ MPa
		۸.۸	-	۸۰۰ MPa
		۱۰.۹	-	۱۰۰۰ MPa
		۱۲.۹	-	۱۲۰۰ MPa

حداقل نیروی پیش‌تنیدگی در اتصالات اصطکاکی (T_b)

قطر اسمی پیچ (بر حسب میلی‌متر)	پیچ‌های نوع A۳۲۵	پیچ‌های نوع A۴۹۰
M۱۶	۹۱ kN	۱۱۴ kN
M۲۰	۱۴۲ kN	۱۷۹ kN
M۲۲	۱۷۶ kN	۲۲۱ kN
M۲۴	۲۰۵ kN	۲۵۷ kN
M۲۷	۲۶۷ kN	۳۳۴ kN
M۳۰	۳۲۶ kN	۴۰۸ kN
M۳۶	۴۷۵kN	۵۹۵ kN

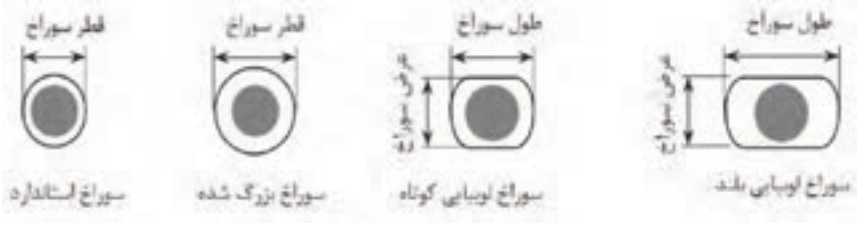
مشخصات و فواصل سوراخ‌ها در اتصالات پیچی

در اتصالات پیچی لازم است قطعات فولادی به نحو صحیح و متناسب با قطر پیچ سوراخ شوند. دقت در سوراخ‌کاری و سالم‌بودن بدنهٔ سوراخ و نیز رعایت فواصل سوراخ‌ها از لبهٔ قطعه و نیز ازیکدیگر، نقش مهمی در میزان مقاومت و باربری اتصالات پیچی ایفا می‌کند.

انواع سوراخ در اتصالات پیچی

انواع سوراخ‌ها در اتصالات پیچی به شرح زیر می‌باشد:

۱) سوراخ استاندارد
۲) سوراخ بزرگ‌شده
۳) سوراخ لوبیایی کوتاه
۴) سوراخ لوبیایی بلند



شکل ۹۹ ▲ انواع سوراخ پیچ‌ها در اتصالات پیچی

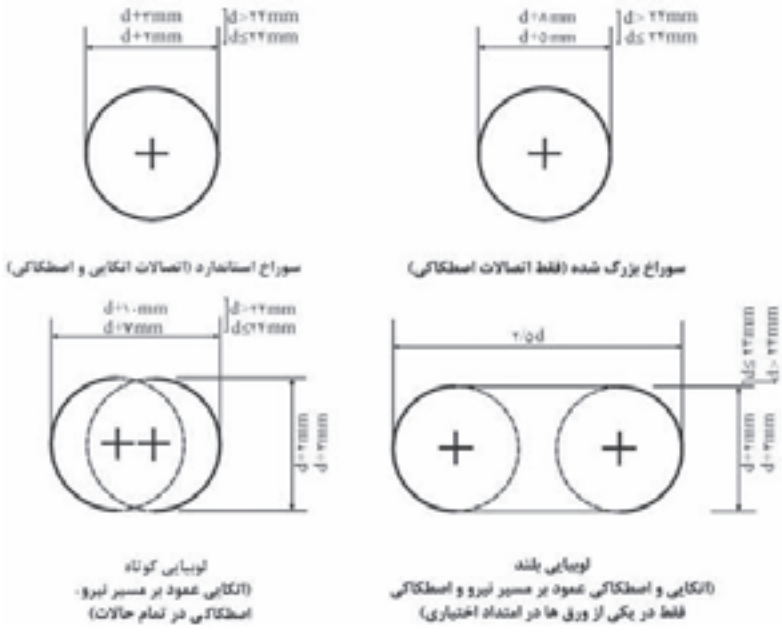
محدودیت ابعاد اسمی سوراخ‌ها و دامنهٔ کاربرد آنها

• سوراخ‌های بزرگ‌شده فقط در اتصالات اصطکاکی مجاز است.

• سوراخ لوبیایی کوتاه در تمام امتدادها در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند ولی در اتصالات اتکایی، امتداد طولی سوراخ باید عمود بر امتداد نیرو باشد.

• سوراخ لوبیایی بلند فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو در اتصالات اتکایی مجاز هستند. در اتصالات اصطکاکی در تمام امتدادها مجاز بوده لیکن باید فقط در یکی از ورق‌های اتصال وجود داشته باشد.

• در ورق کف ستون‌ها، ضمن رعایت رواداری‌های مبحث یازدهم مقررات ملّی ساختمان، حداکثر قطر سوراخ مساوی d+۶ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱۰۰ ▲

حداقل فواصل سوراخ پیچ‌ها در اتصالات پیچی

فاصله مرکز تا مرکز سوراخ‌های استاندارد، سوراخ‌های بزرگ‌شده و سوراخ‌های لوبیایی نباید از ۳ برابر قطر وسیلهٔ اتصال کمتر باشد.

ج) پرچ

پرچ به صورت یک استوانه فولادی است. یک سر پرچ دارای کلاهک و سمت انتهای آن که دم‌پرچ نامیده می‌شود حرارت داده‌شده و پس از قرارگیری در سوراخ، با ضربه چکش تغییر شکل پیدا کرده و افزایش عرض می‌یابد تا قطر آن بیش از قطر سوراخ شود. پس از سرد شدن پرچ و کاهش طول آن، ورق‌ها به‌هم فشرده شده و اتصال کامل می‌گردد. به دلیل برخی مشکلات اجرایی نظیر نیاز به گرمایش پرچ، سر و صدای زیاد در زمان اجرا و نیاز به نیروی انسانی ماهر جهت نصب پرچ و فراگیر شدن استفاده از روش‌های جوشکاری و پیچ و مهره، استفاده از اتصالات پرچی کاهش یافته است. قطر سوراخ پرچ‌کاری باید ۲ میلی‌متر بزرگ‌تر از قطر پرچ باشد.

شکل ۱۰۱ ▲

اخلاق حرفه‌ای در اجرای سازه‌های فولادی

عدم رعایت اصول و ضوابط فنی و اخلاق حرفه‌ای منجر به خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیری می‌شود که برخی از آنها را در تصاویر صفحات بعد ملاحظه می‌نمایید.

در برخی از این تصاویر مشاهده می‌شود که رعایت نکات بسیار ساده می‌توانست از خسارات بسیار بزرگ جلوگیری نماید بنابراین لازم است تا تمامی اصول و ضوابط فنی و اخلاق حرفه‌ای در اجرای سازه‌های فولادی رعایت شود.

فعالیت کلاسی ۲

با راهنمایی هنرآموز خود هر یک از اشکال صفحات آینده را مورد بررسی قرار داده و دربارهٔ علت خرابی در هر کدام از شکل‌ها بحث کنید.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
.....

.....
.....

.....
.....

.....
.....

.....
.....

.....
.....

ارزشیابی شایستگی اجرای سازه‌های فولادی

شرح کار:
مطابق جدول تیر لانه‌زنبوری و با استفاده از وسایلی نظیر فیبر، ورق گالوانیزه و یا مقوا اقدام به تهیهٔ شابلون لانه‌زنبوری نموده و همچنین با استفاده از وسایل جوشکاری (دستگاه جوش - ماسک - انبر - کابل - الکترود - قطعات فلزی و ...) اقدام به جوشکاری در حالت‌های مختلف نظیر تخت - افقی - قائم - زیرسطحی برای انواع اتصال جوشی نماید.

استاندارد عملکرد:
با استفاده از وسایل جوشکاری مانند دستگاه جوش - الکترود و ... و معیارهای AWS و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان، جوش‌های مختلف را اجرا نماید.

شاخص‌ها:
رعایت ابعاد شابلون لانه‌زنبوری بر اساس جداول مربوطه - رعایت بُعد و طول جوش مطابق نقشه - یکنواختی جوش و بدون عیوب ظاهری - ارائهٔ حضوری کار به هنرآموز در مدت زمان ۴ ساعت.

شرایط انجام کار و ابزار و تجهیزات:

شرایط: ایجاد یک اتصال جوشی با نظر هنرآموز در فضای کارگاه با رعایت ایمنی و بدون عیوب ظاهری.

ابزار و تجهیزات:
دستگاه جوش - ماسک - دستکش - کابل - انبر - الکترود - قطعات فلزی.

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	بررسی نقشه	۲	
۲	تهیهٔ وسایل و تجهیزات	۲	
۳	آماده‌سازی قطعات	۲	
۴	اجرای جوش مطابق نقشه	۲	
شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: رعایت ایمنی و بهداشت محیط کار، لباس‌کار مناسب، کفش، کلاه، دستکش، دقت اجرا، جمع‌آوری نخاله و ملات اضافی، مدیریت کیفیت، مسئولیت‌پذیری، تصمیم‌گیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان		۲	
میانگین نمرات			*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.