

# فصل ۱

## شناخت مصالح فولادی



## هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل، از فراگیر انتظار می‌رود:

۱. آهن و فولاد را تعریف نماید و مورد استفاده آن‌ها را در صنعت ساختمان شرح دهد.
۲. روش‌های تولید فولاد از آهن خام را توضیح دهد.
۳. تولید فولاد به روش احیای مستقیم را شرح دهد.
۴. هر یک از روش‌های تولید نیمرخ‌های فولادی را شرح دهد.
۵. مفهوم عددهای به کار رفته در شماره گذاری فولادها را شرح دهد.
۶. انواع نیمرخ‌های ساختمانی را بشناسد.
۷. فولادهای ساختمانی معمولی را شرح دهد.

## ۱-۱- آهن و فولاد

### آهن (Fe):



کارخانه فولاد سازی

آهن به عنوان یک عنصر شیمیایی، در طبیعت به ندرت به صورت خالص یافت می‌شود. این عنصر بعد از آلومینیوم فراوان ترین عناصر بوده و در حدود ۵ درصد از قشر جامد کره زمین را تشکیل می‌دهد.

آهن اغلب به صورت اکسید در معادن وجود دارد، ولی به صورت کربنات، سیلیکات و سولفید آهن نیز در طبیعت یافت می‌شود.

آهن خالص به علت نرم بودن و نداشتن استحکام کافی در صنایع مورد استفاده ندارد و معمولاً آن را همراه با عناصر دیگری مانند غیرفلزات (کربن، گوگرد، فسفر و سیلیسیم) و در بعضی موارد با فلزات (کرم، نیکل، وانادیم، مولیبدن و

غیره) به صورت آلیاژ به کار می‌برند و محصول نهایی به نام‌های اصلی فولاد و چدن نامیده می‌شود.

### فولاد:

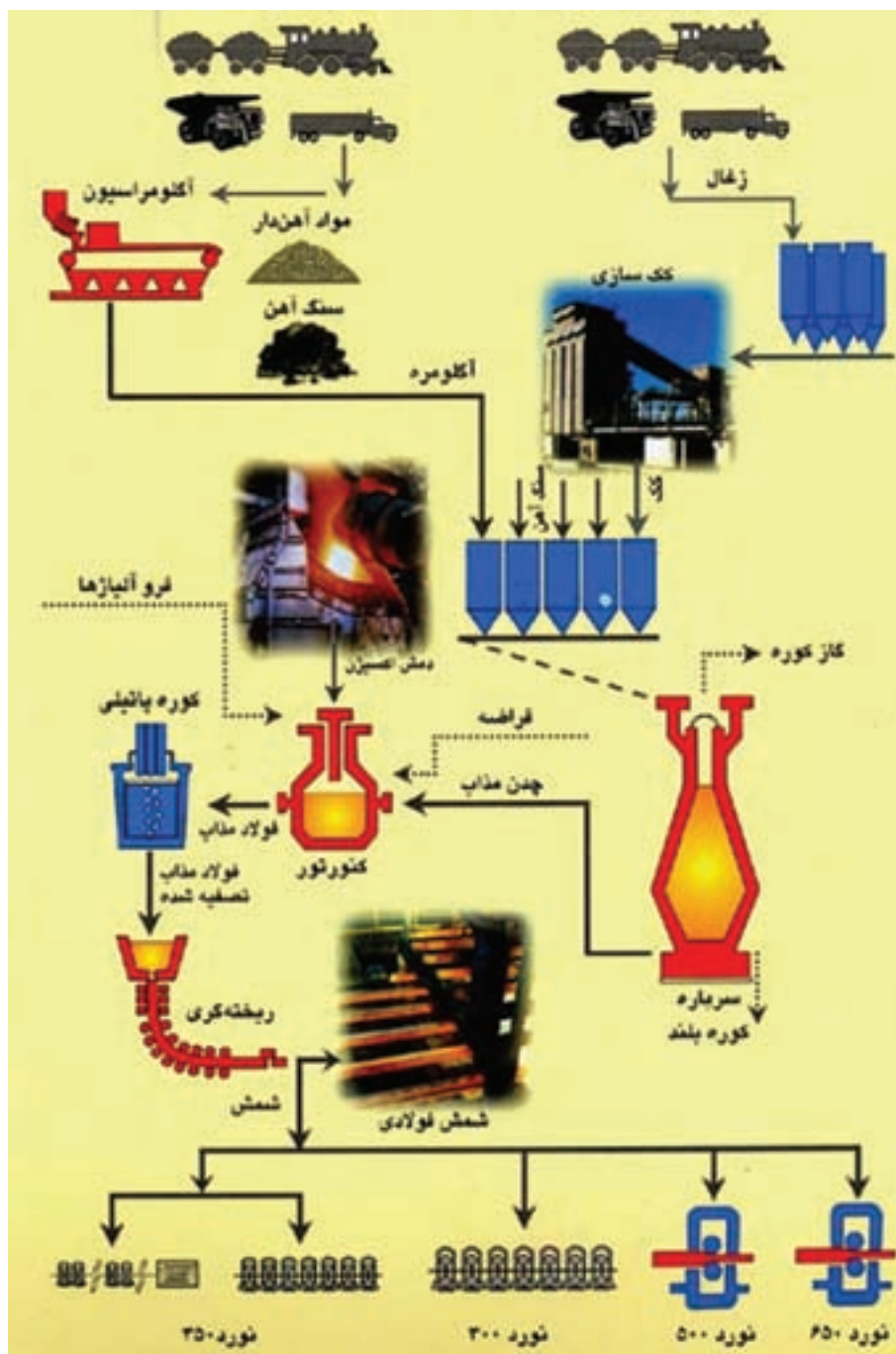


سالن ریخته گری مداوم فولاد

فولادها آلیاژهایی هستند از آهن و کربن که عناصر دیگری نیز به همراه دارند. در این میان کربن نقش مهمی داشته و مقدار آن تعیین کننده قسمت اعظم خصوصیات فولاد (قابلیت کوره کاری، آبکاری، ریخته گری، نقطه ذوب و غیره) است. اگر مقدار کربن از ۲/۰۶ درصد کمتر باشد محصول را فولاد نامیده و چنانچه مقدار آن از ۲/۰۶ تا ۴/۵ درصد باشد، آن را چدن گویند. درصد کربن در فولادهای ساختمانی تا حدود ۰/۶۵ درصد است.

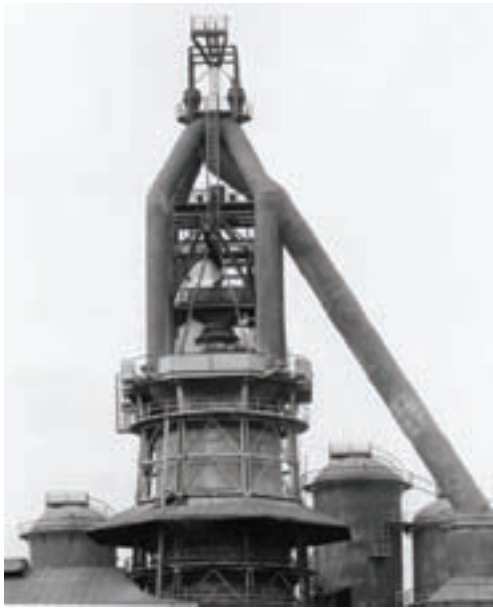
همان‌گونه که گفته شد آهن در طبیعت به صورت سنگ آهن یافت می‌شود. سنگ آهن از اکسیدهای آهن و ناخالصی‌های مختلف تشکیل شده است. ناخالصی‌هایی که همراه سنگ آهن وجود دارند عبارتند از اکسید سیلیسیم، مخلوط گل رس و در بعضی موارد کربنات کلسیم، گوگرد، منگنز، ترکیبات فسفر و غیره. آماده کردن سنگ آهن در چند مرحله شامل غربال کردن، خرد کردن، تغلیظ و پرعیار کردن انجام می‌گیرد.

سنگ آهن غالباً به صورت روباز از معدن استخراج می‌شود، در سنگ‌شکن خردشده به صورت پودر در می‌آید، سپس آنرا با آب مخلوط کرده و به صورت دوغاب در می‌آورند، در نهایت با روش‌های تغلیظ، غلظت سنگ آهن به حدود ۶۵ درصد می‌رسد. امروزه استخراج، حمل و نگهداری سنگ آهن از نظر اقتصادی بخش مهمی از چرخه تولید فولاد را تشکیل می‌دهد. (شکل ۱-۱)



شکل ۱-۱ مراحل تولید فولاد از سنگ آهن





در کوره های ذوب، مواد معدنی را نمی توان به صورت پودری شکل به کار برد، لذا باید آن ها را به شکل کلوخه یا گلوله تبدیل کرد. به این فرایند آگلومراسیون گفته می شود. برای کلوخه کردن نرمة سنگ اکسید آهن، آن را با نرمة کک مخلوط می کنند، مخلوط را مرطوب کرده و آن را روی بند رونده (تسمه نقاله) فولادی می ریزند. به مخلوط روی بند رونده شعله می دمند تا نرمة کک سوخته و به همدیگر بچسبند و یک تکه شوند. در جایی که بند رونده فولادی به زیر می چرخد، سنگ آهن یک تکه شده می شکند و به شکل کلوخه (گندله) در می آید.



در صنعت، فولاد به دو روش تولید می شود، در روش اول با احیاء و ذوب سنگ آهن در کوره های بلند (Blast Furnace) آهن خام می سازند و در روش دوم با احیاء مستقیم و بدون ذوب کردن از سنگ آهن، آهن اسفنجی تولید می شود. از آهن خام و آهن اسفنجی، چدن و فولاد به دست می آید.

## ۱-۲- تهیه آهن خام با روش احیای غیرمستقیم - روش کوره بلند

برای تهیه آهن خام به روش احیای غیرمستقیم، سنگ آهن را پس از آماده کردن، در کوره بلند به کمک کک و کلوخه و آهک احیاء و تصفیه می کنند. (شکل ۱-۱).



کوره بلند

### آیا می دانید که ...

در ایران تولید فولاد خام در ۶ واحد تولیدی ذوب آهن اصفهان، فولاد مبارکه، فولاد خوزستان، گروه ملی صنعتی، فولاد آلیاژی و فولاد خراسان صورت می گیرد. در سال ۱۳۸۴ حدود ۹/۶ میلیون تن فولاد خام در کشور تولید شده است.

### ۱-۲-۱- مواد اولیه کوره بلند

نام سنگ آهن	فرمول شیمیایی	درصد آهن
مغناطیسی (ماگنتیت)	$Fe_3O_4$	۶۰ تا ۷۰
قرمز (هماتیت)	$Fe_2O_3$	۴۰ تا ۶۰
قهوه‌ای (لیمونیت)	$2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	۳۰ تا ۵۰
کربنات آهن (سیدریت)	$FeCO_3$	۳۰ تا ۴۰
سولفور آهن	$FeS_2$	۴۲ تا ۴۵

انواع سنگ آهن

**سنگ آهن:** سنگ معدن آهن از اکسیدهای آهن و ناخالصی‌های مختلف تشکیل شده است که طی مراحل غربال کردن، خرد کردن، تغلیظ و پرعیار کردن آماده‌سازی می‌شود.

**سوخت کوره بلند:** در کوره بلند، برای ذوب و تصفیه، نیاز به سوختی است که علاوه بر تامین حرارت لازم، بتواند کربن مورد نیاز برای احیای اکسید آهن را نیز در اختیار بگذارد.

این سوخت باید ارزش حرارتی زیادی داشته و در حین سوختن به هم نچسبد؛ همچنین برای اینکه بتواند گازها را از بین خود عبور داده و عمل احتراق را تسهیل نماید، بهتر است که متخلخل باشد. برای این منظور از کک استفاده می‌کنند که علاوه بر مزایای فوق، استحکام زیادی دارد و خاکستر کمی (کمتر از ۱۱ درصد) از خود به جای می‌گذارد.

**سیاله‌ها و مواد گدازآور:** مواد سیاله و گدازآور، موادی هستند که در کوره به جریان ذوب کمک نموده و جدا کردن ناخالصی‌ها از فلز مذاب را آسان می‌کنند.

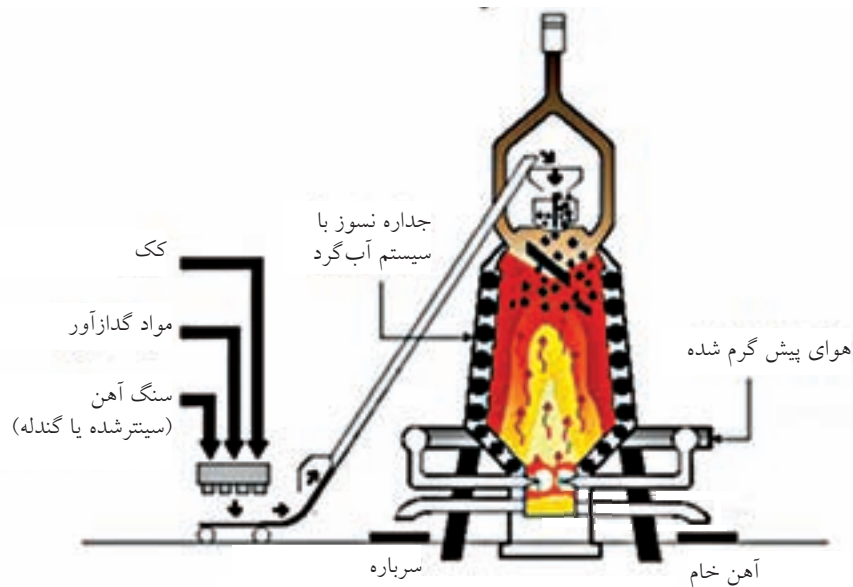
برای این منظور از آهک استفاده می‌شود. آهک با ناخالصی‌های موجود در سنگ آهن (سیلیسیم، منگنز و گوگرد) ترکیب شده و آن‌ها را به صورت سرباره به سطح مذاب می‌راند.

### ۱-۲-۲- کوره بلند

در این روش برای احیاء و تصفیه سنگ آهن از کوره بلند استفاده می‌شود. این کوره از دو مخروط ناقص تشکیل شده که در قاعده بزرگ با هم مشترک هستند. جدار خارجی کوره از جنس صفحات فولادی بوده و قسمت داخلی آن را با لایه ای از مواد نسوز می‌پوشانند. برای خنک کردن کوره، معمولاً از آبی که در داخل سامانه آب گرد داخل دیواره کوره می‌گذرد، استفاده می‌شود. کوره‌های بلند را به ارتفاع ۳۰ تا ۸۰ متر می‌سازند و در بزرگترین قسمت، قطری از ۱۰ تا ۱۴ متر دارند. (شکل ۱-۲)

### آیا می‌دانید که ...

امروزه ۹۸ درصد فولاد جهان در ۶۱ کشور تولید می‌شود. بر اساس آمارهای منتشره از سوی موسسه بین‌المللی آهن و فولاد (IISI) میزان تولید فولاد خام جهان در سال ۲۰۰۵ میلادی بالغ بر ۱۱۲۹ میلیون تن بوده است. رشد تولید جهانی فولاد در سال ۲۰۰۵، ادامه روندی است که در دهه اخیر به صورت مستمر وجود داشته است. چین با قریب ۳۴۰ میلیون تن، ۳۱ درصد فولاد خام جهان را در سال ۲۰۰۵ تولید کرده است.



شکل ۱-۲- مقطع کوره بلند

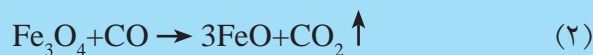
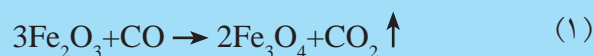
قسمت تحتانی کوره، استوانه‌ای شکل و به بوته معروف است؛ در این محل مواد مذاب و سرباره جمع می‌شوند. بوته معمولاً دارای دو محل خروجی است که یکی در بالا، برای خروج سرباره و دیگری در قسمت پایین، برای خروج آهن خام مذاب در نظر گرفته شده است. در پیرامون قسمت بالای بوته، شیپورک‌هایی وجود دارند که از آن هوای گرم (در حدود ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سلسیوس) مورد نیاز برای احتراق کک، به داخل کوره دمیده می‌شود. مخروط ناقصی که در بالای بوته قرار دارد، شکم کوره نام دارد و به منطقه ذوب نیز معروف است. مخروط فوقانی کوره را برای بارگیری در نظر می‌گیرند. در بالای این قسمت، دهانه قیفی شکلی قرار دارد که هنگام ریختن مواد به داخل کوره، درب آن باز می‌شود و پس از تکمیل بار کوره، مجدداً مسدود می‌گردد. در کنار کوره بلند، بالابر مایلی قرار دارد که از آن برای بالا بردن واگن‌های مخصوص حمل مواد استفاده می‌شود.

### ۱-۲-۳- فعل و انفعالات داخل کوره بلند

عملیات ذوب و تصفیه سنگ آهن در داخل کوره بلند در چهار منطقه به شرح زیر انجام می‌گیرد:

**الف- منطقه خشک کردن:** این منطقه که در قسمت بالای کوره قرار دارد منطقه‌ای است که درجه حرارت آن حدود ۳۰۰ درجه سلسیوس است. در این منطقه عبور گازهای گرم باعث افزایش درجه حرارت مواد ریخته شده به داخل کوره می‌شود و رطوبت آن‌ها را نیز تبخیر می‌کند.

**ب- منطقه احیا (احیای غیر مستقیم):** در این منطقه با افزایش درجه حرارت، کک و مواد سیاله و گداز آور شروع به واکنش کرده و گاز منواکسیدکربن (CO) متصاعد شده از طریق احتراق ناقص کک، بر روی اکسید آهن اثر می‌کند و موجب احیای اکسید آهن در سه مرحله مطابق واکنش‌های زیر می‌شود.



پ- منطقه کربوریزه شدن: در این منطقه که درجه حرارت آن حدود ۱۰۰۰ درجه سلسیوس است، آهن خالصی که از احیای سنگ آهن بدست آمده، ضمن حرکت به سمت پایین کوره، با کک گداخته برخورد می‌کند و با کربن موجود در آن ترکیب می‌شود.



باید توجه داشت که در این مرحله سیلیسیم، گوگرد، منگنز و فسفر نیز به همراه  $\text{Fe}_3\text{C}$  به سمت پایین حرکت می‌کنند، که بخشی از آن‌ها با  $\text{Fe}_3\text{C}$  ترکیب می‌شوند.

ت- منطقه ذوب (احیای مستقیم): در این مرحله ترکیبات ذوب شده به سمت پایین حرکت می‌کنند و چون تمام اکسید آهن ( $\text{FeO}$ ) در قسمت‌های بالا فرصت کافی برای احیاء شدن را پیدا نمی‌کنند، باقیمانده آن‌ها در این مرحله به وسیله کربن جامد احیاء می‌شود. این عمل در درجه حرارتی بین ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سلسیوس انجام می‌گیرد.



### ۱-۲-۴- محصولات کوره بلند

بطور کلی محصولات کوره بلند شامل: آهن خام، سرباره و گاز می‌باشد.

آهن خام دارای ۳ تا ۴ درصد کربن و نقطه ذوب آن در حدود ۱۳۰۰ درجه سلسیوس است. این محصول را به دلیل شکنندگی زیاد و ناخالصیهای فراوان، نمی‌توان در صنعت مورد استفاده قرار داد. با تنظیم درجه حرارت کوره بلند و کنترل مقدار سیلیسیم و منگنز موجود در آن، می‌توان دو نوع آهن خام به دست آورد که به نام‌های آهن خام سفید و آهن خام خاکستری معروفند.

سرباره در نتیجه‌ی ذوب اکسیدهای ناخالص نظیر اکسیدهای کلسیم، منیزیم، سیلیسیم یا آلومینیم و مواد گدازآور و خاکستر کک تشکیل می‌شود. معمولاً حجم سرباره سه برابر حجم آهن خام تولیدی است و به حالت مذاب از کوره خارج می‌شود و می‌توان از آن محصولاتی مانند آجرهای نسوز، سیمان، عایق حرارتی، کود شیمیایی، پوکه و سنگ‌های بتنی متخلخل و شکسته برای زیرسازی جاده‌ها و ... به دست آورد.

بیشتر بدانیم



www.isiri.org

تارنمای موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران



سالانه حجمی معادل پنج میلیون مترمکعب گاز از هر کوره بلند خارج می‌شود. این گاز حاوی مقادیری ذرات معلق و گردوغبار است که باید تصفیه شود. گازهای کوره بلند مخلوطی از مونواکسیدکربن، دی اکسیدکربن، متان و هیدروژن است. از این گازها در گرم کردن گرم‌کن‌های کوره بلند، کک سازی، کلوخه سازی، توربین‌های گازی و ... استفاده می‌شود.

### ۱-۲-۵- تولید فولاد از آهن خام

آهن خام به دست آمده از کوره بلند محصولی است که ناخالصی‌های زیادی دارد و به خاطر داشتن کربن زیاد (۳ تا ۴ درصد)، قابلیت شکل پذیری، چکش خواری و جوش کاری ندارد؛ بنابراین لازم است که طی عملیاتی مقدار کربن آن را کاهش داد و سایر عناصر موجود در آهن خام (گوگرد، فسفر، سیلیسیم و منگنز) را به حد قابل قبولی رساند.


برای تهیه فولاد از آهن خام سفید، روش‌های مختلفی به کار می‌رود که در تمام آن‌ها سعی بر این است که با سوزاندن و یا خارج کردن عناصر غیر ضروری، فولاد مورد نظر را به دست آورند. متداولترین روش‌های مورد استفاده عبارتند از: روش L.D (اکسیژن قلیایی)، روش توماس-بسمر و روش زیمنس-مارتین (کوره باز).

### ۱-۳- تولید آهن خام با روش احیای مستقیم

در دو دهه اخیر در اغلب کشورهایی که گاز طبیعی ارزان در اختیار دارند، مجتمع‌های متعددی برای تولید آهن و فولاد بر اساس روش‌های احیای مستقیم کانه‌های آهن با گاز طبیعی و سپس ذوب و پالایش آن بوسیله کوره‌ی قوس الکتریکی، احداث شده است.

در این روش، احیای سنگ آهن بدون ذوب انجام می‌شود و آهن خامی که از این نوع کوره‌ها به دست می‌آید، آهن اسفنجی نام دارد که ۹۲ تا ۹۶ درصد آهن خالص داشته و از آن در کوره‌های الکتریکی برای تهیه فولاد استفاده می‌کنند.

**آیا می‌دانید که ...**



تولید آهن اسفنجی دنیا که در سال ۲۰۰۶ حدود ۵۹/۷۹ میلیون تن بود، در سال ۲۰۰۷ به ۶۲/۳ میلیون تن رسید. به عبارت دیگر افزایش جهانی تولید آهن اسفنجی سال ۲۰۰۷ نسبت به سال ۲۰۰۶ حدود ۴/۲ درصد بود.

ایران در سال ۲۰۰۷، ۷/۳۲ میلیون تن آهن اسفنجی با استفاده از انرژی گاز تولید کرده است. رشد تولید آهن اسفنجی ایران در سال ۲۰۰۷ نسبت به سال ۲۰۰۶ رشد ۵/۶ درصد بوده و در بین کشورهای عمده تولیدکننده آهن اسفنجی، ایران پس از هندوستان بیشترین درصد رشد تولید را در سال ۲۰۰۷ داشته است.

برای تولید یک تن آهن اسفنجی به روش میدرکس، حدود ۱/۴۴ تن گندله سنگ‌آهن هماتی، ۴۱۰ مترمکعب گاز طبیعی، ۲ مترمکعب آب و ۱۵۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی لازم است.

۱- هر ماده‌ی معدنی که به طور اقتصادی قابل بهره‌برداری باشد، کانه (ORE) نامیده می‌شود.





الف- تفلیه و بارگیری سنگ آهن در بندر



ب- گندله سازی



پ- کوره امیاء مستقیم (روش میدرکس)



ت- ذوب و پالایش آهن اسفنجی



ث- ریخته گری مداوم شمشال و تفتال  
شکل ۱-۳- واحدهای کارخانه فولاد  
فوزستان

در ایران نیز به موازات تولید آهن و فولاد و توسعه کارخانه ذوب آهن اصفهان، به علت عدم مرغوبیت کافی زغال سنگ‌های استخراجی و کک تولید شده برای دو کوره بلند کارخانه مزبور و وجود منابع سرشار گاز طبیعی در کشور، بررسی طرح‌های متعددی برای احداث واحدهای تولید آهن و فولاد به روش‌های احیای مستقیم و با استفاده از گاز طبیعی، از اوائل سال ۱۳۵۰ شمسی آغاز و اولین مجتمع تولید آهن و فولاد به روش احیای مستقیم در اهواز تاسیس گردید. (شکل ۱-۳)

مواد اولیه‌ی لازم برای تولید آهن خام با روش احیای مستقیم عبارتند از: سنگ آهن تغلیظ شده، سنگ آهک، بتونیت، مواد کمک ذوب، مواد فروآیازی و آهن قراضه. واحدهای آماده‌سازی مواد خام برای تولید گندله از مخلوط سنگ آهن‌های تغلیظ شده داخلی و خارجی استفاده می‌نماید.

در صنایع فولاد اهواز برای تولید آهن اسفنجی در حالت جامد به روش‌های احیای مستقیم، از گاز طبیعی برای احیاء و تامین حرارات استفاده می‌شود. گاز طبیعی که قسمت عمده آن متان است، در سه واحد احیا به شیوه‌های مختلف، با مقدار کافی بخار آب یا گاز خروجی کوره‌های احیا حاوی بخار آب و دی اکسیدکربن، بر اساس واکنش‌های ۷ و ۸ به اکسیدکربن و هیدروژن تبدیل می‌شود.



به علت وجود هیدروژن در گاز احیا کننده برای احیای اکسیدهای آهن و تولید آهن اسفنجی، علاوه بر واکنش‌های ۱ تا ۳، واکنش‌های زیر نیز انجام می‌شود.



در واحدهای احیای مستقیم، گندله‌های سنگ آهن توسط گازهای حاصل از اکسایش جزئی گاز طبیعی به روش‌های میدرکس، پروفور و یا HYL احیا می‌شوند.

در روش میدرکس، گندله‌های سنگ آهن پخته و سرد شده و توسط نوار نقاله به مخزن قیف مانند بالای کوره منتقل می‌شوند.

در این مخزن، در مسیر انتقال گندله به کوره، گازی خشی دائماً جریان دارد.



وامد گندله سازی



وامد انباشت و برداشت



وامد آهک پزی



وامد امیا مستقیم



کوره های پاتیلی - وامد فولادسازی



قوس الکتریکی - وامد فولادسازی



وامد نورد گرم



وامد مُنک کننده تفتال



ممصولات فولاد مبارکه به صورت کلاف (کوئل)



نمایی از فط تاندم - نورد سرد

شکل ۱-۴- وامدهای تولید فولاد مبارکه اصفهان به روش امیای مستقیم



به این وسیله از نشت گاز احیا کننده سمی و قابل احتراق کوره به خارج جلوگیری می‌گردد. گندله‌های سنگ آهن به کوره وارد و به وسیله گاز احیا کننده در دمای تقریبی ۷۶۰ درجه سلسیوس بصورت مداوم احیاء می‌شوند. آهن اسفنجی در پائین کوره توسط گاز سرد کننده تا حدود ۶۰ درجه سانتیگراد خنک شده و از کوره خارج می‌شود. در روش میدرکس، گاز احیا کننده از اکسایش جزئی گاز طبیعی با قسمتی از گاز خروجی کوره احیا در مبدل (ریفرمر) و در حضور کاتالیزورها در دمای حدود ۱۱۰۰ درجه سلسیوس به طور پیوسته تولید شده و پس از تنظیم دما، به کوره تزریق می‌گردد. برای تولید شمشال و تختال فولادی در صنایع فولاد اهواز، آهن اسفنجی تولید شده در واحدهای احیای مستقیم همراه آهن قراضه ذوب شده و سپس پالایش می‌شود. و فولاد تولید شده بصورت شمشال<sup>۱</sup> و تختال<sup>۲</sup> بطور مداوم ریخته‌گری می‌شود.

کوره های قوس الکتریکی ابتدا با آهن قراضه بار شده و پس از ذوب آن، طبق برنامه معینی، آهن اسفنجی بطور مداوم در کوره ها تخلیه می‌شود. برای تخلیه سرباره، کوره را تا ۱۵ درجه به عقب و برای تخلیه فولاد مذاب، کوره ۴۵ درجه به جلو چرخانده می‌شود.

دلیل استفاده از آهن قراضه در شارژ کوره قوس الکتریکی جلوگیری از تلاطم شدید مذاب در اثر سوختن کربن باقیمانده در آهن اسفنجی می‌باشد.



شکل ۱-۵- نمای کارخانه فولاد فوزستان

۱- شمشال بلوک مکعب مستطیل از محصولات میانی نورد فولاد است که سطح مقطع آن کوچکتر از ۳۲۵ سانتیمتر مربع می‌باشد. به سطح مقطع بزرگتر از ۳۲۵ سانتیمتر مربع شمش گفته می‌شود و برای ساخت نیمرخ‌های نوردی از آن استفاده می‌شود.

۲- بلوک مکعب مستطیل شکل از فولاد به ضخامت حدود ۲۳۰ میلیمتر و عرض ۱/۲۵ متر و طول ۱۲ متر، تختال نامیده می‌شود. تختال یکی از محصولات میانی برخی کارخانه‌های فولادسازی است که از آن برای تولید ورق استفاده می‌شود.

### ۴-۱- تاثیر عناصر در فولادها

عناصری که به همراه آهن در فولادهای آلیاژی و یا غیر آلیاژی وجود دارند شامل دو گروه فلزات و یا غیر فلزات هستند و می‌توانند برحسب مورد استفاده، روی خواص فولادها اثرات مطلوب یا نامطلوب داشته باشند. در جدول ۱-۱ تاثیر مهمترین عناصری که معمولاً همراه این گونه فولادها وجود دارند توضیح داده شده است.

جدول ۱-۱- تاثیر عناصر مختلف روی خواص فولادها (مطالعه آزاد)

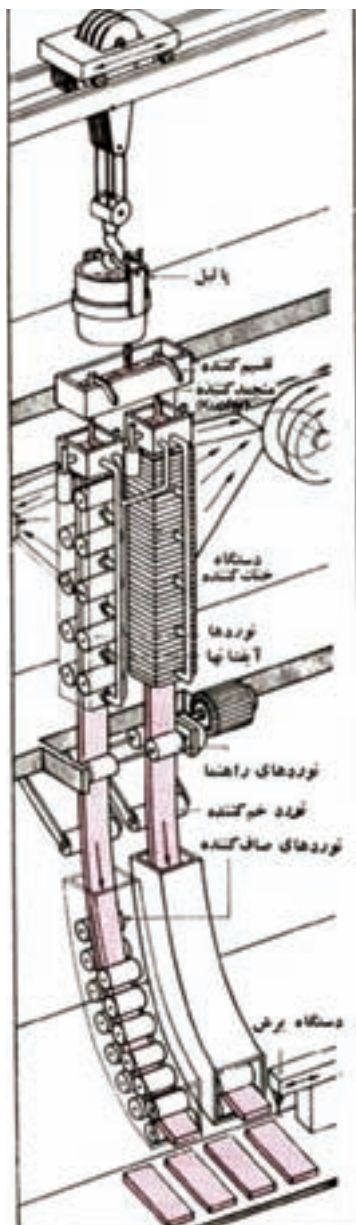
نوع فولاد	کاهش می‌دهد	افزایش می‌دهد	عناصر
فولادهای غیر آلیاژی	نقطه ذوب، طاقت، انبساط، قابلیت جوشکاری و کوره‌کاری	استحکام، سختی، قابلیت آبکاری	کربن
	قابلیت جوشکاری	الاستیسیت، استحکام، قابلیت آبکاری عمقی، سختی در حالت گرم، مقاومت در مقابل خوردگی، جدا شدن گرافیت در چدن خاکستری	سیلیسیم
	انبساط، استحکام در مقابل ضربه	سیلان، شکنندگی در حالت سرد، استحکام در حالت گرم	فسفر
	استحکام در مقابل ضربه	شکنندگی براده، غلظت در حالت مذاب، شکنندگی در حالت گداخته بودن	گوگرد
فولادهای آلیاژی	قابلیت براده برداری، جدا شدن گرافیت در چدن خاکستری	قابلیت آبکاری عمقی، استحکام، استحکام در مقابل ضربه، استحکام در مقابل ساییدگی	منگنز
	انبساط حرارتی	طاقت، استحکام، مقاومت در مقابل خوردگی، مقاومت الکتریکی، دوام در حرارت‌های بالا، قابلیت آبکاری عمقی	نیکل
	انبساط (به مقدار کم)	سختی، استحکام، استحکام در حالت گرم، درجه حرارت آبکاری، دوام برندگی، استحکام در مقابل ساییدگی، مقاومت در مقابل خوردگی	کروم
	حساسیت در مقابل حرارت‌های بالا	دوام، سختی، طاقت، استحکام در حالت گرم	وانادیم
	انبساط، قابلیت کوره‌کاری	سختی، استحکام در حالت گرم، دوام	مولیبدن
	طاقت، حساسیت در مقابل حرارت‌های بالا	سختی، دوام، برندگی، استحکام در حالت گرم	کبالت
	انبساط (به مقدار کم)	سختی، استحکام، مقاومت در مقابل خوردگی، درجه حرارت آبکاری، استحکام در حالت گرم، دوام در حرارت‌های بالا، دوام، برندگی	ولفرام (تنگستن)

## ۱-۵- تولید نیمرخ‌های فولادی

برای تولید نیمرخ‌های فولادی ابتدا باید فولاد مذاب را به حالت شمش یا تختال درآورد. سپس با استفاده از فرآیند نورد کاری نیمرخ‌های فولادی به دست می‌آید.

### ۱-۵-۱- تهیه شمش و تختال با روش ریخته‌گری مداوم

در این روش فلز مذاب را به وسیله پاتیل‌هایی به محل دستگاه حمل می‌کنند. فولاد مذاب ابتدا به داخل ظرف تقسیم‌کننده‌ای ریخته شده و سپس وارد ظروفی بنام منجمد کننده می‌شود که در ابتدای خطوط تولید بلوک قرار دارند. این ظروف را از جنس مس می‌سازند و به وسیله آب دائماً خنک می‌کنند. پس از آنکه فلز مذاب در قسمت



شکل ۱-۷- فضا تولید شمش از طریق ریخته‌گری مداوم

پایین منجمد کننده به حالت انجماد درآمد، تویی را خارج می‌کنند و فلز منجمد شده تحت تاثیر نیروی وزن خود به سمت نوردهایی که در زیر آن قرار گرفته‌اند هدایت شده و به وسیله آن‌ها به سمت پایین کشیده می‌شود. در این حال از بالا نیز به طور مداوم به آن فولاد مذاب اضافه می‌گردد. در مسیر نوردها کولرهایی وجود دارند که فلز منجمد شده را خنک تر می‌کنند.

پس از این مرحله و فرم گرفتن فولاد، قطع کننده‌ها قرار دارند که ممکن است به صورت قیچی باشند یا با گاز اکسی استیلن عمل برش را انجام دهند.

حال می‌توان بلوک‌های بریده شده را که هنوز از درجه حرارت مطلوبی برخوردارند برای عملیات بعدی هدایت کرد. شکل ۱-۶ و ۱-۷ تهیه شمش و تختال را با روش ریخته‌گری مداوم نشان می‌دهد.

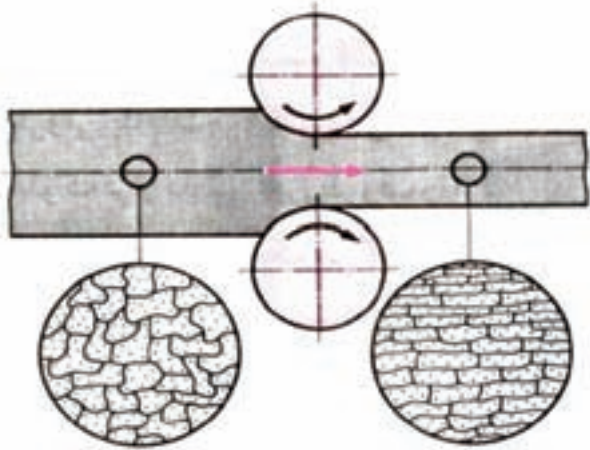


شکل ۱-۶- واحد تولید تختال فولاد مبارکه اصفهان



### ۱-۵-۲- نورد کاری

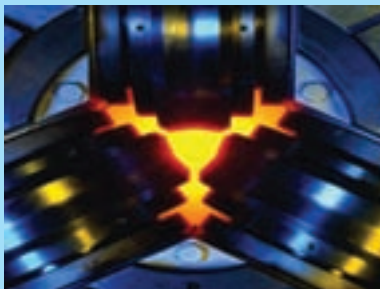
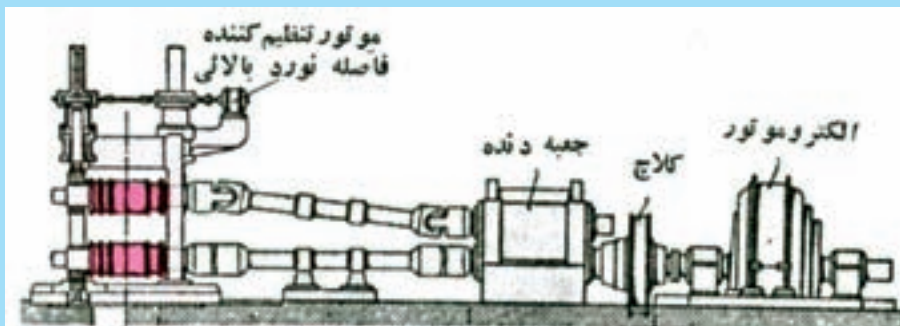
تغییر شکل دادن در اثر عبور از بین دو استوانه (نورد) گردان را نوردکاری گویند. در اثر نیرویی که از طرف نوردها برای تغییر فرم فولاد اعمال می‌شود، دانه‌بندی فلز شکسته و ریزتر شده و این عمل باعث افزایش استحکام فلز می‌گردد. (شکل ۱-۸).



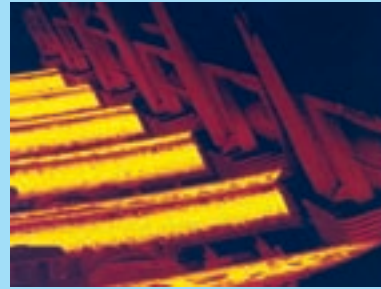
شکل ۱-۸- پیگه‌نگی ریزدانه شدن فلز در عمل نوردکاری

نوردکاری ممکن است به صورت گرم در درجه حرارت ۸۰۰ تا ۱۲۵۰ درجه سلسیوس و یا در حالت سرد انجام گیرد.

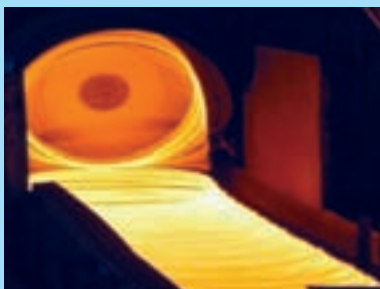
شکل ۱-۹- تاسیسات دستگاه نورد را نشان می‌دهد.



نورد فولاد



نورد فولاد



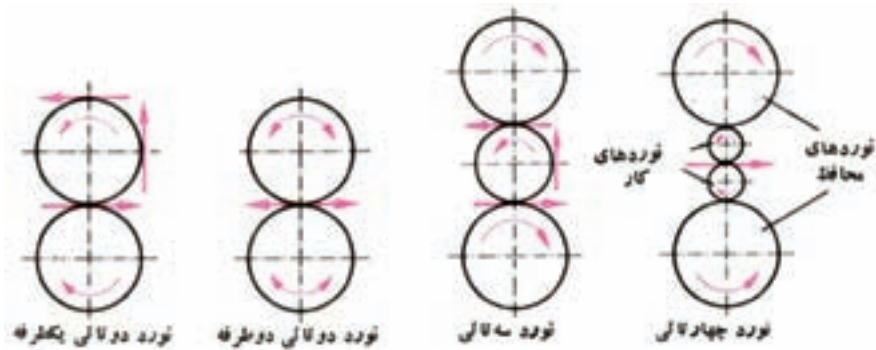
تولید میلگرد



خط نورد گرم

شکل ۱-۹- تاسیسات دستگاه نورد

خط نورد ممکن است دارای دو، سه و یا چهار استوانه باشد. شکل ۱-۱۰ این گونه نوردها را نشان می‌دهد. در نوردکاری ابتدا باید بلوک‌هایی را که از قالب‌ها و یا روش‌های ریخته‌گری مداوم به دست می‌آیند، آماده کرد و سپس به کارگاه‌های نورد انتقال داد. آماده‌سازی شامل مراحل گرم کردن تا درجه حرارت نوردکاری، نوردکاری اولیه برای تامین اندازه‌های کوچکتر، برش و توزین، زنگ زدایی و زدودن پوسته‌های سطح بلوک‌ها می‌باشد. بلوک‌ها را پس از آماده‌سازی به محل نوردکاری نهایی حمل می‌کنند که بر حسب نوع تولید، ممکن است با وجود تشابه در ساختمان کلی، فرم نورد آن‌ها با هم متفاوت باشند.

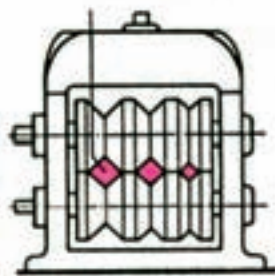


شکل ۱-۱۰- روش‌های نورد بر حسب تعداد استوانه‌های نورد

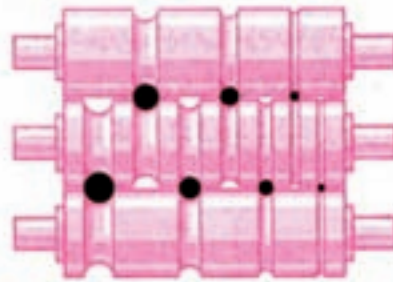
### الف- نوردکاری میله‌ها، تسمه‌ها و شمش‌های فرم دار:

شکل ایجاد شده در نیمه ساخته‌ها بستگی به نحوه سطح تماس آن‌ها با نورد خواهد داشت. با این روش می‌توان مفتول‌هایی تا قطر ۵ میلی‌متر را تولید کرد.

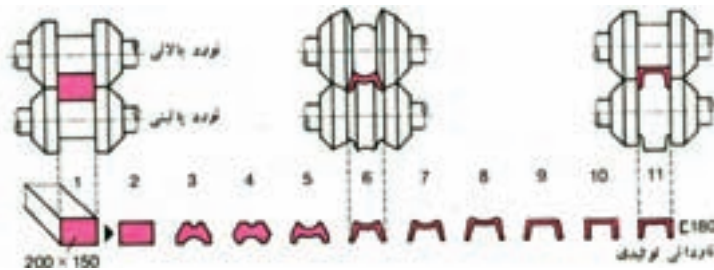
شکل ۱-۱۱ نوردکاری میله‌های گرد و شکل ۱-۱۲ نوردکاری میله‌های چهار گوش را نشان می‌دهد. شکل ۱-۱۳ مراحل مختلف تهیه ناودانی از یک بلوک را، با روش نوردکاری نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۲- نورد کاری میله‌های چهار گوش



شکل ۱-۱۱- نورد کاری میله‌های گرد



شکل ۱-۱۳- مراحل مختلف تهیه ناودانی از یک بلوک با روش نوردکاری

## ب- نوردکاری ورق‌ها:

ورق‌ها را در سه گروه خشن، متوسط و ظریف که به ضخامت آن‌ها بستگی دارد، تولید می‌کنند. ضخامت ورق‌های خشن بیشتر از  $4/75$  میلیمتر، ورق‌های متوسط از  $3$  تا  $4/75$  و ورق‌های ظریف کمتر از  $3$  میلیمتر انتخاب می‌شوند. روش تولید ورق‌های ظریف به این ترتیب است که ابتدا بلوک‌های آماده شده برای نورد را که دارای ضخامتی برابر  $100$  تا  $250$  میلیمتر و طول  $6$  متر است، به داخل کوره ای هدایت می‌کنند. در این کوره، بلوک‌ها تا درجه حرارت نوردکاری ( $1200$  تا  $1250$  درجه سلسیوس) گرم و از کوره خارج می‌شوند. پس از عملیات فوق، بلوک وارد نوردهای مقدماتی می‌شود و طی این مراحل ضخامت آن به  $20$  میلیمتر کاهش می‌یابد. قبل از ورود ورق به خط نهایی، ناهمواری‌های کنار آن به کمک قیچی مخصوصی بریده می‌شود و به وسیله پاشیدن آب با فشار زیاد، اکسیدهای آن برطرف می‌گردد و پس از انجام اصلاحات ورق وارد خط نهایی می‌شود. پس از نورد در این خط، ضخامت آن به  $1/6$  میلیمتر می‌رسد. در این مرحله ورق با سرعت بالایی از آخرین نورد بیرون رانده می‌شود و با پاشیدن آب، سرد شده و دور قرقره‌های فولادی پیچیده شده و یا با وسایل برش به اندازه‌های دلخواه بریده می‌شود. طول این خط تولید در حدود  $600$  متر است. شکل ۱-۱۴ خط تولید ورق را نشان می‌دهد.



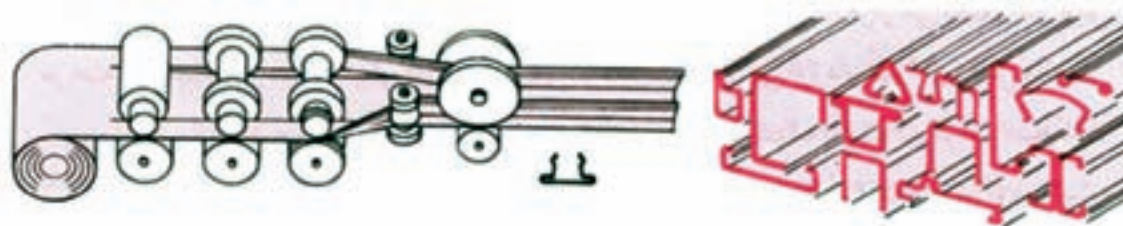
تصاویری از مراحل نوردکاری در یک کارخانه

تولید فولاد در کشور اکراین



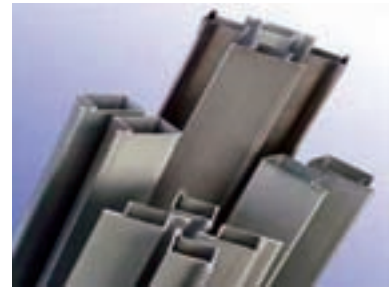
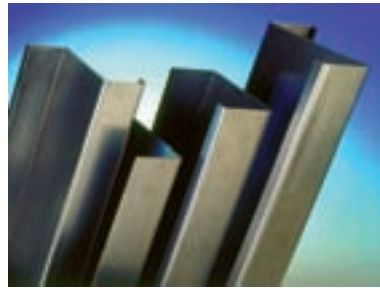
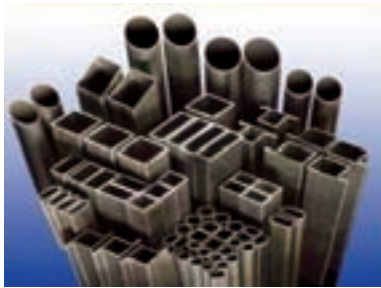
شکل ۱-۱۴- خط تولید نورد ورق

ب- نوردکاری پروفیل‌ها از نوار ورق: در ساختمان‌های فلزی معمولاً از پروفیل‌هایی استفاده می‌کنند که از ورق ساخته شده و بر حسب نیاز فرم‌های مختلفی دارند. اینگونه پروفیل‌ها را می‌توان با روش نوردکاری تولید کرد. شکل ۱-۱۵ نوردکاری پروفیل‌ها از ورق و شکل ۱-۱۶ انواع پروفیل‌های نورد شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۵- تولید پروفیل‌ها از ورق به روش نوردکاری





شکل ۱-۱۶- انواع پروفیل‌های نورد شده

## ۱-۶- انواع فولادها

### ۱-۶-۱- اصول نام‌گذاری فولادها

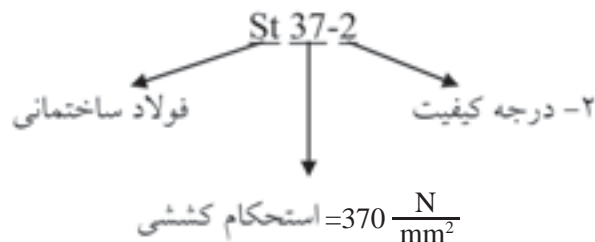
عناصر تشکیل دهنده، استحکام و درجه مرغوبیت فولاد به کمک حروف و اعداد در قالب نام فولاد معرفی می‌شود.

حروف شناسایی برای فولادهای ساختمانی معمولی، St است. پس از این حروف، عددی نوشته می‌شود که با ضرب کردن آن عدد در ۱۰، مقدار حداقل استحکام کششی فولاد بر حسب نیوتن بر میلی‌متر مربع به دست می‌آید. پس از عدد مربوط به استحکام، خط تیره قرار می‌گیرد و سپس درجه کیفیت فولاد به وسیله اعداد ۱ تا ۳ معرفی می‌شود.

درجه ۱: برای کارهای معمولی که نوشته نمی‌شود.

درجه ۲: برای کارهای مهم.

درجه ۳: برای فولادهایی که آرام ریخته‌گری شده و دارای درجه خلوص بالا و خواص جوش‌کاری خوب می‌باشند.



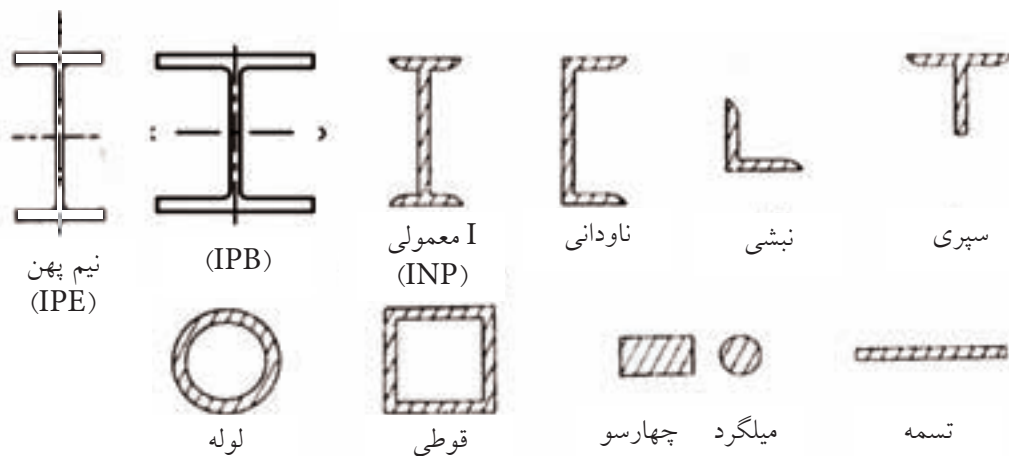
مثال:

### ۱-۶-۲- فولادهای ساختمانی معمولی

این فولادها جزء فولادهای غیر آلیاژی هستند و چون در انتخاب آن‌ها استحکام کششی نقش تعیین کننده دارد، آن‌ها را بر حسب استحکام کششی طبقه بندی می‌کنند. استحکام کششی این فولادها متناسب با درصد کربن موجود در آن‌ها افزایش می‌یابد و از طرف دیگر، با افزایش کربن، شکنندگی فولاد بیشتر می‌شود. همچنین ازدیاد کربن قابلیت تغییر فرم در حالت سرد یا گرم، قابلیت جوش‌کاری و براده برداری فولاد را کاهش می‌دهد. این فولادها از ۰/۱۲ تا ۰/۶ درصد کربن داشته و آن‌ها را در سه گروه با درجه مرغوبیت ۱ و ۲ و ۳ تولید و به بازار عرضه می‌کنند.

## ۷-۱- انواع نیمرخ‌های ساختمانی

برای استفاده از فولاد به عنوان عضو ساختمانی، باید آن را به اشکال مناسب درآورد. در شکل ۱-۱۷ نیمرخ‌های متداول در ساختمان سازی نشان داده شده است. هر یک از نیمرخ‌ها در اندازه و مشخصات هندسی متعددی تولید می‌شود.



شکل ۱-۱۷- پروفیل‌های نورد شده مورد استفاده در ساختمان

### آیا می‌دانید که...



فولاد یکی از فلزاتی است که از دیدگاه تاریخی شناخت و بهره‌گیری از آن دیرتر از فلزاتی چون مس، روی، قلع و طلا است. مدارک تاریخی مؤید آن است که فولادسازی در هزاره‌ی دوم پیش از میلاد از سرزمین ارمنستان و آذربایجان که آن زمان جزو قلمرو ایران باستان بودند ریشه گرفته و از آنجا در اواخر هزاره‌ی دوم به بخش‌های دیگر ایران رفته است. صنعت فولاد ایرانی به ویژه در زمان اشکانیان شهرت جهانی داشته و از آن در نوشته‌های ملل دیگر نیز یاد شده است. نویسندگان رومی از شهرت فولاد پارسی سخن گفته‌اند. واژه فارسی فولاد که در زبان رومی، مغولی، ارمنی، ترکی و تبتی به گونه‌ی بولت ظاهر می‌شود نشان‌دهنده‌ی تأثیر صنعت فولاد ایرانی در سرزمین‌های دیگر جهان باستان به شمار می‌رود. در دوران اسلامی نیز فولاد ایران و صنعت فولادسازی و کانی‌های آهن در ایران شهرت خود را نگه داشت. الکندی شیمی‌دان اسلامی، کتابی در خواص شمشیرها نوشته و در آن بین دو نوع آهن که آن را آهن ماده (نمی‌توان آن را سخت کرد) و آهن نر (قابل سخت شدن است) نامیده تفاوت قائل شده است.



## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

- ۱- تفاوت‌های آهن، فولاد و چدن را بیان کنید؟
- ۲- روش‌های اصلی تولید فولاد از سنگ آهن را نام برده و هریک را شرح دهید؟
- ۳- مواد ورودی و محصولات خروجی هر کدام از روش‌های اصلی تولید فولاد از سنگ آهن چیست؟
- ۴- سرباره چیست و به چه مصارفی می‌رسد؟
- ۵- روش کار کوره بلند را با رسم مقطع آن شرح دهید و فعل و انفعالات داخل آن را در منطقه‌های مختلف بیان کنید؟
- ۶- روش‌های تولید فولاد در کارخانجات فولادسازی کشور را بررسی نمایید و گزارش مراحل اجرای عملیات آن را تهیه و ارائه نمایید.
- ۷- تفاوت شمشال و تختال در چیست؟
- ۸- نوردکاری را توضیح دهید.
- ۹- پرمصرف‌ترین فولادهای ساختمانی در کشور را نام ببرید؟
- ۱۰- انواع نیمرخ‌های ساختمانی در اندازه و مشخصات هندسی مورد مصرف در کشور را نام ببرید و شکل هر یک را ترسیم نمایید.
- ۱۱- تولید ورق در کشور در چه ابعاد و اندازه‌هایی انجام می‌شود؟

# فصل ۲

## سازه‌های فولادی



## هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

۱. سازه یک ساختمان را تعریف کند.
۲. حداقل دو سازه را از نظر شباهت با یکدیگر مقایسه کند.
۳. مزایا و معایب سازه‌های فولادی را نام ببرد.
۴. انواع سازه‌های فولادی را با یکدیگر مقایسه نماید.
۵. اهداف مقررات ملی ساختمان تحت عنوان مبحث دهم را بیان نماید.
۶. استانداردها و آئین نامه‌های ساختمان‌های فولادی را بشناسد.

## ۱-۲- مفهوم سازه

در کلاسی که نشسته اید به اطراف خود بنگرید، چه چیزهایی را مشاهده می‌کنید؟ صندلی یا نیمکت شما از چه جنسی است؟ برای چه هدف و منظوری ساخته شده است؟ فرم و شکل آن چگونه است؟ پاسخ این پرسش‌ها برای شما روشن است. در واقع، صندلی سازه‌ای است که از مجموعه‌ای از اجزا یا قطعات چوبی یا فلزی تشکیل شده آن را برای تحمل نیروی وزن شما ساخته‌اند. هر یک از قسمت‌های صندلی وظیفه‌ای دارند: چوبهای کف صندلی وظیفه انتقال وزن را به پایه‌ها به عهده دارند و وظیفه پایه‌های صندلی انتقال بارهای وارده به زمین است.

به شکل و جنس پایه‌ها نگاه کنید. مشاهده می‌کنید که میان وظیفه آن‌ها و شکل هندسی و جنس آن‌ها هماهنگی وجود دارد؛ یعنی آن‌ها طوری انتخاب شده‌اند که بتوانند وظیفه خود را به بهترین صورت انجام دهند (به نظر شما شکل و جنس پایه صندلی را می‌توان به چه صورت‌های دیگری انتخاب کرد؟ کدام یک بهتر است؟ چرا؟) به اتصالات پایه و کف صندلی دقت کنید، آن‌ها چگونه به هم متصل شده‌اند؟ نقش آن‌ها چیست؟ اگر برای مثال، این اتصالات نتوانند نقش خود را بخوبی ایفا کنند، یا پایه‌ها به دلیل جنس یا شاغولی نبودن و دلایل دیگر نتوانند نیروی وزن وارده را تحمل نمایند، صندلی چه وضعیتی خواهد داشت؟ مسلماً با نشستن روی آن، اتصالات اعضاء از بین می‌رود یا پایه‌ها شروع به شکستن می‌کنند و صندلی به مجموعه‌ای غیرمنظم از چوب و میخ و غیره تبدیل خواهد شد؛ همچنین ساختمان کلاس شما یک نوع سازه است (چه شباهت‌هایی میان این سازه و سازه صندلی وجود دارد؟ آن‌ها را با هم مقایسه کنید). به این ترتیب اکنون می‌توانیم سازه را تعریف کنیم:

سازه‌ی (Structure) یک ساختمان عبارت است از یک عضو یا مجموعه‌ای از اعضا که به منظور تحمل و انتقال نیرو به کار می‌رود.

بیشتر بدانیم

امام صادق - علیه السلام:  
قلب، خانه‌ی خداست  
جز خدا کسی را در خانه‌اش جای مده.



در شکل ۱-۲ دو نوع سازه‌ی طبیعی و مصنوعی نشان داده شده است.



ب- سازه‌ی مصنوعی (منبع آب)



الف- سازه‌ی طبیعی (اسکلت انسان)

شکل ۱-۲- سازه‌ی طبیعی (اسکلت انسان) و سازه‌ی مصنوعی (منبع آب)



شکل ۲-۲- اولین پل فلزی جهان

## ۲-۲- تاریخچه سازه‌های فولادی

استفاده از فلز به عنوان مصالح سازه‌ای در صنعت ساختمان، با ساخت یک پل قوسی به دهانه ۳۰ متر با استفاده از اعضای چدنی بین سال‌های ۱۷۷۷ تا ۱۷۷۹ فراگیر شد. (شکل ۲-۲). از سال ۱۸۴۰، به تدریج آهن کم کربن (چکش خوار) جایگزین چدن معمولی در ساخت سازه‌های فولادی شد. قدیمی‌ترین مثال در این زمینه پل چهار دهانه‌ای با دهانه‌های ۷۰، ۱۴۰، ۱۴۰ و ۷۰ متر می‌باشد که برای ساخت آن از ورق‌ها و نبشی‌هایی از جنس آهن کم کربن استفاده گردید.

با تولید و نورد نیمرخ‌های مختلف از جنس چدن و آهن کم کربن، استفاده از این دو فلز گسترش بیشتری یافت. نورد میلگردها در سال ۱۷۸۰ و نورد ریل‌ها در سال ۱۸۲۰ شروع شد که نهایتاً به نورد نیمرخ‌های I شکل در سال ۱۸۷۰ انجامید.





نمونه‌ی سازه‌ای سافتمانی  
در تهران



دکل انتقال برق



بزرگ‌ترین پل قوسی فولادی در ایران  
بر روی رودخانه کارون

شکل ۲-۳- چند نوع سازه‌ی فولادی

ابداع روش بسمر در سال ۱۸۵۵ برای تولید فولاد و توسعه و تکامل آن در سال ۱۸۷۰، باعث افزایش کاربرد آن در ساختمان گردید. از سال ۱۸۹۰ به تدریج فولاد جایگزین آهن کم کربن در امر ساختمان سازی شد. در حال حاضر فولاد از عمده‌ترین مصالح ساختمانی می‌باشد که با تنش‌های تسلیم، ۲۴۰۰ تا ۷۰۰۰ کیلو گرم بر سانتی متر مربع معادل ۲۴۰ تا ۷۰۰ مگا پاسکال به منظورهای مختلف تولید می‌شود.

## ۲-۳- انواع سازه‌های فولادی

سازه‌های فولادی به سه گروه اساسی طبقه‌بندی می‌شوند:

**الف: سازه‌های قابی (framed structure):** معمولاً از مجموعه‌ای متشکل از تیرها (اعضای افقی) و ستون‌ها (اعضای قائم) تشکیل شده است.

**ب: سازه‌های پوسته‌ای (shell structure):** از ورق پیوسته با اشکال هندسی خاص نظیر استوانه و کره تشکیل می‌یابد.

**پ: سازه‌های معلق (suspension structure):** در اعضای آن‌ها نیروی کششی حاکم است.

**ت: سازه‌های خریابی (truss structure):** اعضای آن‌ها، نیروهای محوری (کششی یا فشاری) را تحمل و منتقل می‌نمایند.

پیش‌تر بدانیم

تارنمای انجمن سازه‌های فولادی ایران

[www.iss.ir](http://www.iss.ir)

### ۲-۳-۱- سازه‌های قابی (قاب بندی شده)

سازه‌های قابی ترکیبی از تیرها و ستون‌ها می‌باشند که با استفاده از اتصالات صلب و یا ساده به یکدیگر متصل شده‌اند. سازه‌های قاب بندی شده ممکن است به صورت ساختمان‌های چندطبقه و یا ساختمان‌های صنعتی باشند. اکثر ساختمان‌های متداول دارای اسکلت قابی هستند.

در شکل ۲-۴ مثال‌هایی از ساختمان‌های چندطبقه و در شکل ۲-۵ مثال‌هایی از ساختمان‌های صنعتی نشان داده شده است. به طور کلی سازه‌های قابی از ترکیب دو سری قاب صفحه‌ای عمود بر هم به وجود آمده و تشکیل قاب فضایی را می‌دهند.



شکل ۲-۴- سازه‌های قابی سافتمانی



شکل ۲-۵- سازه‌های قابی صنعتی



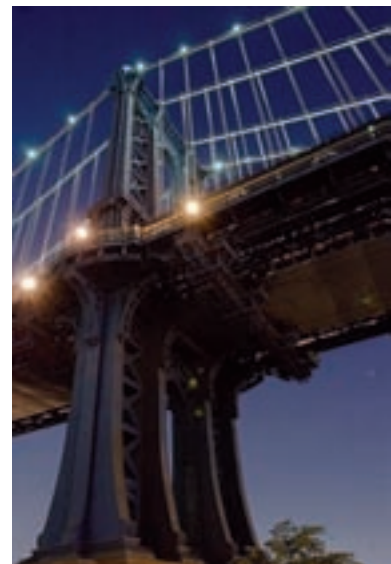
قاب‌های ساختمانی باید قادر به تحمل نیروهای قائم و جانبی باشند. پل‌ها نیز از انواع سازه‌های قابی هستند که در شکل ۲-۶ مثال‌هایی از آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۲-۶- سازه یک پل در حال سافت



شکل ۲-۶- قسمت‌هایی از پل‌های فولادی



شکل ۲-۷- سازه پسته‌ای- مفرز آمونیاک واقع در مجتمع پتروشیمی

### ۲-۳-۲- سازه‌های پوسته‌ای

سازه‌های پوسته‌ای به صورت گوناگون از قبیل مخازن نگهداری مایعات و گازهای تحت فشار، سیلوها، سقف‌های گنبدی و موارد مشابه در عمل مورد استفاده قرار می‌گیرند و در شکل ۲-۷ مثال از کاربرد آن‌ها نشان داده شده است.

### ۲-۳-۳- سازه‌های معلق

سازه‌های معلق اغلب در طرح پوشش‌ها (سقف‌ها) و پل‌های با دهانه بلند مورد استفاده قرار می‌گیرند (شکل ۲-۸ و ۲-۹). در چنین سازه‌هایی یک اسکلت قاب‌بندی شده وجود دارد (مثلاً در پل‌سازی، عبورگاه یا عرشه پل و در پوشش‌ها، اسکلت سقف) که توسط آویزهایی از کابل‌های کششی اصلی آویزان است. استفاده از سازه‌های معلق در پل‌سازی بسیار متداول است.



شکل ۲-۸- پل معلق



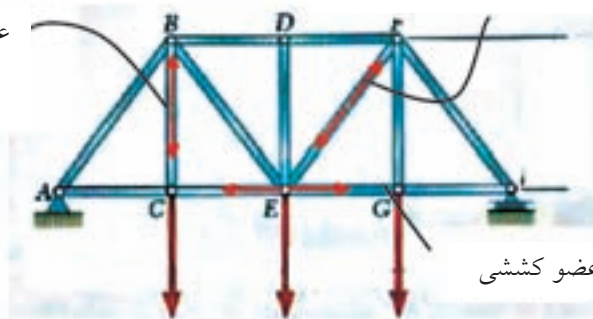
شکل ۲-۹- سازه‌ی معلق

### ۲-۳-۴- سازه‌های خرپایی :

خرپا، مجموعه‌ای است که بارها را به وسیله ترکیبی مثلثی شکل از اعضا با اتصال مفصلی به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌کند. در اعضای خرپا فقط نیروی محوری فشاری و کششی ایجاد می‌شود و در عمل، ممکن است تنش خمشی در بین اتصالات به میزان کمی در اثر اصطکاک آن‌ها و بارهای وارده و پخش شده در اعضا، بوجود آید که قابل صرف نظر کردن است. (شکل ۲-۱۰)

عضو قطری به عنوان عضو کششی

عضو قائم به عنوان  
عضو کششی



بال تحتانی خرپا به عنوان عضو کششی

شکل ۲-۱۰- سازه‌ی خرپایی

### ۲-۴- محاسن و معایب سازه‌های فولادی

سازه‌های با اسکلت فولادی دارای محاسن زیادی است؛ البته نقاط ضعف محدودی نیز دارد که می‌توان با تدابیر لازم آن‌ها را رفع کرد.



## ۲-۴-۱- محاسن سازه‌های اسکلت فولادی:

سازه‌های اسکلت فولادی، به دلیل مزایای زیاد، کاربرد فراوان پیدا کرده است. مزایایی مانند استحکام، خواص خوب مکانیکی و مقاومت بالا در کشش و فشار؛ همچنین به علت تولید فولاد در کارخانه و شرایط بهتر کنترل کیفیت آن، از بتن و سایر مصالح بنایی مشخصات مناسب‌تری دارد.

از دیگر مزایای اسکلت فولادی می‌توان به امکان توسعه‌ی سازه، اتصال چند قطعه به یکدیگر توسط جوش یا پیچ، امکان پیش‌ساخته کردن قطعات، سرعت نصب، اشغال فضای کمتر، و قابلیت کاربرد در ارتفاع زیاد اشاره کرد.



اجرای اسکلت فولادی  
در ارتفاع

## ۲-۴-۲- معایب سازه‌های اسکلت فولادی:

حساسیت فولاد در برابر رطوبت هوا منجر به زنگ‌زدگی اسکلت فولادی می‌شود لازم است برای حفاظت آن به اقداماتی از قبیل رنگ‌آمیزی با ضدزنگ و سایر روش‌های حفاظتی، خصوصاً در مناطقی نظیر بندر، مبادرت نمود. مقاومت پایین آن در مقابل آتش‌سوزی و احتمال اتصالات نامناسب یا با کیفیت نامطلوب جوشکاری از معایب سازه‌های فولادی است.

## بیش‌تر بدانیم

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

<http://www.bhrc.ac.ir>

این مرکز دارای بخش‌های مختلف زلزله‌شناسی، مصالح و فناوری‌های ساختمان و ... است. همچنین متولی استاندارد ۲۸۰۰ در مورد طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله می‌باشد.



## ۲-۵- استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمان‌های فولادی

کشورهای مختلف دارای آیین‌نامه‌های مختلفی هستند، مثلاً در آلمان آیین‌نامه‌ی DIN۴۱۱۴ یا در آمریکا آیین‌نامه‌ی AISC را برای سازه‌های فولادی به کار می‌برند. در ایران، از حدود سال ۱۳۵۰ به بعد، به تدریج ضوابطی در مورد ساختمان و مقررات ملی ساختمان از سوی موسسه‌ی استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سپس دفتر تحقیقات و معیارهای فنی معاونت برنامه‌ریزی و

«مقررات طرح، مناسبه و اجرای سافتمان‌های فولادی»  
مداقل ضوابط و مقررات لازم را برای طراحی، تحلیل  
و اجرای سافتمان‌های فولادی تعیین می‌کند.  
کاربرد این مبمٹ در ممدوده‌ی سافتمان‌ها با  
کاربری‌های مندرج در قانون نظام مهندسی  
و کنترل سافتمان و آیین‌نامه اجرایی آن  
می‌باشند و شامل سازه‌های فاص از قبیل  
پل‌های جاده و راه‌آهن نیست.



نظارت راهبردی ریاست جمهوری، و در سال‌های اخیر از سوی دفتر امور مقررات ملی ساختمان وزارت مسکن و شهرسازی با اهداف تامین ایمنی، بهره‌دهی مناسب، آسایش، بهداشت و صرفه‌ی اقتصادی فرد و جامعه تدوین گردیده است. مقررات ملی ساختمان باید به طور کامل طی ضوابط قانونی و توسط کلیه‌ی طراحان و مجریان به مرحله عمل درآید. مقررات ملی تحت عنوان «مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی» یکی از منابع مورد استفاده در تدوین این کتاب است که آیین‌نامه‌ی طراحی مورد استفاده‌ی مهندسين ایران می‌باشد.

### بیشتر بدانیم



معاونت امور مسکن و سافتمان

<http://www.maskan-sakhteman.ir>

راهبری و هدایت سازمان‌های نظام‌مهندسی  
سافتمان، تدوین و ترویج آیین‌نامه‌ها و مقررات  
ملی سافتمان و ... از وظایف این معاونت در  
وزارت مسکن و شهرسازی می‌باشند.



### ابداع ساختمان فولادی

گفته‌اند که در زمان خسرو انوشیروان پادشاه ساسانی، سلطان یمن به دربار او می‌آید و از وی برای سرکوبی لشکر حبشه یاری می‌خواهد. انوشیروان گروهی مرکب از هشتصد نفر زندانی را که تعدادی بزرگ‌زاده در میان آن‌ها بوده با هشت کشتی روانه می‌کند تا این کار را به اتمام برسانند. طبق نوشته‌های باقی مانده، فرمانده این گروه هرز فرزند آفرید پسر ساسان فرزند بهمن بوده است. این سپاه پس از انجام ماموریت خود و تصرف یمن و حبشه به سوی عدن می‌روند و در آن جا شهری می‌سازند. ابن بلخی در مورد این شهر چنین می‌گوید: ((... قصد عدن کرد و آن را بگرفت و در میان دو کوه بر کنار دریا، در آب شهرکی بساخت بنیاد آن از سنگ و ارزیر (قلع) و عمودهای (ستون‌ها و پایه‌ها) آهن و اکنون مشرعه (آبشخور) عدن آن شهر است ...)) طبق گفته ابن بلخی هرز ضمن انجام این ماموریت کانال نهر روان را نیز ساخته است. این طریقه‌ی ساختمان‌سازی در آب را که در دوره ساسانیان انجام می‌شده و ابن بلخی شرح آن را داده است می‌توان در زمهری نخستین نوع ساختمان‌های آبی و ساختمان‌سازی با اسکلت فولادی در جهان به شمار آورد.

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

- ۱- اسکلتی که برای ساخت کارخانه‌ها و انبارها در ایران متداول است چه نام دارد؟  
پیش ساخته بودن این نوع ساختمان‌ها چه مزایایی دارد؟
- ۲- تحقیق کنید علت این که اجرای اسکلت فولادی معمولاً از کنترل و دقت کمتری در کارگاه نسبت به ساخت قطعات (در کارخانه) برخوردار است چیست؟
- ۳- تحقیق کنید اگر کیفیت جوش‌کاری سازه‌ی اسکلت فولادی مطابق ضوابط نباشد چه خطری متوجه کل سازه می‌شود؟ چرا؟
- ۴- تفاوت میان انواع سازه‌های فولادی را بنویسید.
- ۵- اهداف مقررات ملی ساختمان را نام ببرید.

۵- چهارپایه‌ای را انتخاب کنید و با دست نیروی افقی بر آن وارد کنید. اگر این چهارپایه پایداری خود را زود از دست بدهد، با چه تدابیری می‌توان بر پایداری آن افزود؟

الف - اجرای چپ و راست (بادبندی)

ب - پر کردن دهانه‌های چهارپایه با ورق یا تخته (دیوار برشی)

پ - ایجاد اتصالات محکم (انتقال بار افقی به قاب صلب)

ت - ایجاد پایه‌های بیشتر (افزایش تعداد قاب‌ها)

کدام روش بهتر است؟ چرا؟ آیا می‌توانید روش دیگری را پیشنهاد کنید؟

۶ - می‌خواهیم در کارخانه‌ای دستگاه سنگینی را در ارتفاع نصب کنیم. کدام یک از

شیوه‌های زیر از نظر فنی و اقتصادی بهتر است؟ چرا؟

الف - استفاده از ستون‌های آجری یا سنگی یا چوبی

ب - استفاده از ستون‌های فولادی

۷ - ساختمان بدنی انسان را در نظر بگیرید و در این زمینه به پرسش‌های زیر پاسخ

دهید:

الف - آیا می‌توان این سیستم را با سازه‌ی ساختمانی مقایسه کرد؟

ب - استخوان‌ها نیرو را چگونه تحمل می‌کنند؟ شرح دهید.

پ - ماهیچه‌ها نیروها را چگونه تحمل می‌کنند؟ شرح دهید.

۸ - اگر یکی از اعضای تیم فوتبال مدرسه‌ی شما خوب بازی نکند (به هر علتی)، به نظر

شما این تیم، امید موفقیت دارد؟ چرا؟

۹ - تیم فوتبال چه شباهتی به سازه‌ی ساختمانی دارد؟ چگونگی آن را شرح دهید.



# فصل ۳

## شالوده ساختمان‌های فولادی



## هدف‌های رفتاری:

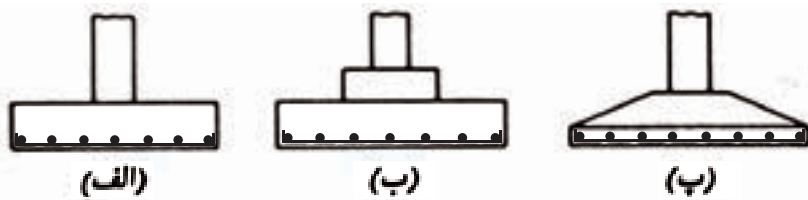
در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- شالوده را تعریف کرده و انواع آن را شرح دهد.
- ۲- نکات مهم در پیاده کردن نقشه اسکلت فلزی را بر روی زمین نام ببرد و شرح دهد.
- ۳- نکات فنی مربوط به گودبرداری (خاکبرداری) و زیرسازی شالوده را نام ببرد و اهمیت نقطه مبنا (B.M) را شرح دهد.
- ۴- با استفاده از کتاب‌های تکنولوژی کارگاه و فناوری ساختمان‌های بتنی، نکات فنی مربوط به قالب‌بندی، آرماتوربندی و بتن‌ریزی را فهرست نماید.
- ۵- قالب بندی شالوده را شرح دهد.
- ۶- دلیل استفاده از بتن مگر را شرح دهد.
- ۷- دلیل استفاده از صفحه ستون و میله‌ی مهار را توضیح دهد؛
- ۸- روش نصب میله‌های مهاری و صفحه ستون به روش سنتی را شرح دهد.
- ۹- روش نصب میله‌های مهاری و صفحه ستون به روش صنعتی را توضیح دهد.

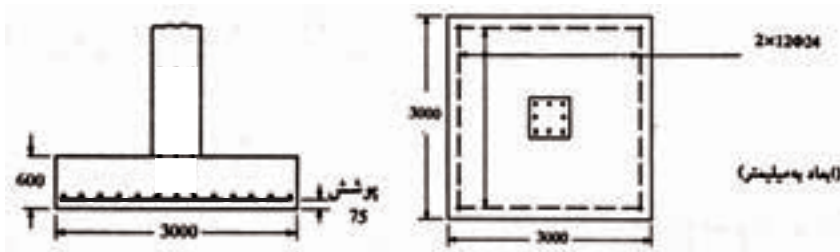
### ۳-۱- تعریف شالوده

شالوده یا فونداسیون (Foundation) قسمتی از یک سازه است که غالباً زیر تراز سطح زمین قرار می‌گیرد و نیروهای ناشی از سازه را به پی (خاک یا بستر سنگی) انتقال می‌دهد.

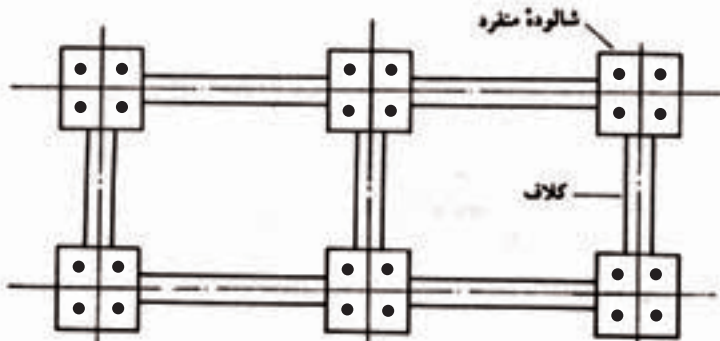
ابعاد شالوده‌ای که بار ستون را تحمل می‌نماید، تابع سه عامل مقدار بار وارده، مقاومت خاک بستر و جنس مصالح تشکیل دهنده‌ی شالوده می‌باشد. ابعاد شالوده با بار وارده به آن نسبت مستقیم و با مقاومت خاک بستر زیر آن نسبت معکوس دارد. اگر مقاومت خاک زیر شالوده مطلوب باشد، نیروهای وارده را با استفاده از شالوده مناسب در سطح کافی گسترده می‌نماییم و در این شرایط به آن شالوده سطحی (shallow foundation) می‌گویند. در صورتیکه خاک با مقاومت کافی در سطح زمین یا در عمق کم در دسترس نباشد، لازم است نیروها با استفاده از شالوده عمیق (شمع Pile) به لایه‌های محکم پائین منتقل گردد.



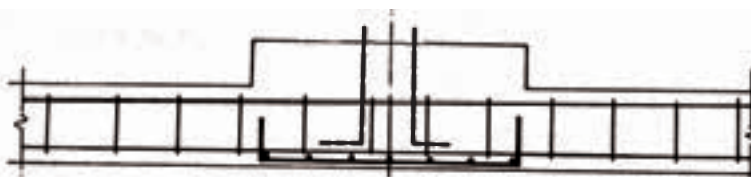
الف - انواع شالوده منفرد



ب - نمونه جزئیات آرماتوربندی شالوده منفرد



پ - پلان شالوده منفرد



ت - عبور میلگرد کلاف از داخل شالوده منفرد

شکل ۳-۱- جزئیات در شالوده منفرد

### ۳-۲- شالوده‌های سطحی

#### ۳-۲-۱- شالوده منفرد یا تکی

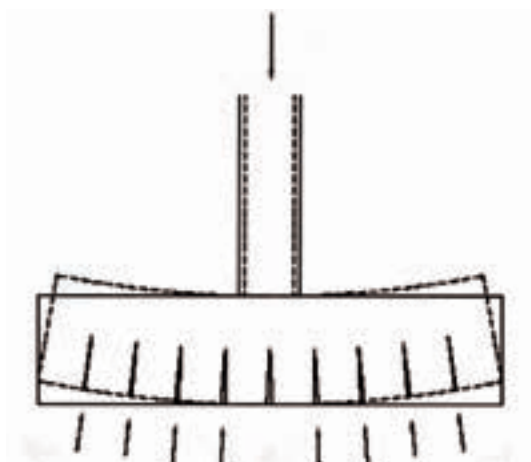
شالوده منفرد (Single footing) به شالوده‌ای اطلاق می‌شود که بار یک ستون را به زمین منتقل می‌نماید. شالوده‌ی منفرد می‌تواند به شکل مربع، چندضلعی منظم و یا هر شکل غیر منظم دیگری باشد و ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع شالوده ستون است. شالوده‌های منفرد در پلان اغلب به شکل مربع می‌باشند و در بعضی مواقع به علت محدودیت جا و یا شکل مستطیلی مقطع ستون، ممکن است به شکل مستطیلی نیز طراحی شوند. در شکل ۳-۱ نمونه انواع شالوده منفرد، پلان و جزئیات آرماتورگذاری یک شالوده منفرد مربع شکل نشان داده شده است.



شکل ۳-۲- شالوده منفرد

با توجه به اینکه کشش فقط در تراز پائینی شالوده وجود دارد، فولاد مسلح کننده در یک سفره و در کف پی در نظر گرفته می شود (شکل ۳-۳).

بار ناشی از ستون



فشار خاک

شکل ۳-۳- ترک‌های کششی ناشی از بار ستون در شالوده منفرد

### ۳-۲-۲- شالوده مرکب

شالوده‌هایی که بار بیش از یک ستون را تحمل می‌نمایند، شالوده‌های مرکب نامیده می‌شوند. استفاده از شالوده‌های مرکب به یکی از دلایل ذیل است:

- نیروی وارده از طرف ستون‌ها خیلی بزرگ باشد.
- خاک محل ساخت شالوده دارای مقاومت کم باشد.
- سازه در مقابل نشست حساس باشد.



در ساختمان هایی که مقاومت زمین برای طراحی شالوده های منفرد کافی باشد، استفاده از شالوده های مرکب در دو وضعیت زیر لازم می گردد:

الف- برای ستون هایی که در بر زمین قرار دارند، از لحاظ قانونی امکان بیرون زدن شالوده منفرد از بر ستون وجود ندارد؛

ب- در صورتی که فاصله بین ستون ها کم باشد، شالوده های منفرد مربوط به هر ستون ممکن است با یکدیگر همپوشانی داشته و با هم ادغام گردند.

وقتی که مقاومت فشاری زمین کم باشد، سطح تماس مورد نیاز بزرگ می شود، در نتیجه شالوده های تک با یکدیگر ادغام شده و بسته به نیاز از یکی از شالوده های نواری (strip footing)، شبکه ای (Grid footing) و یا گسترده (mat) استفاده می شود.

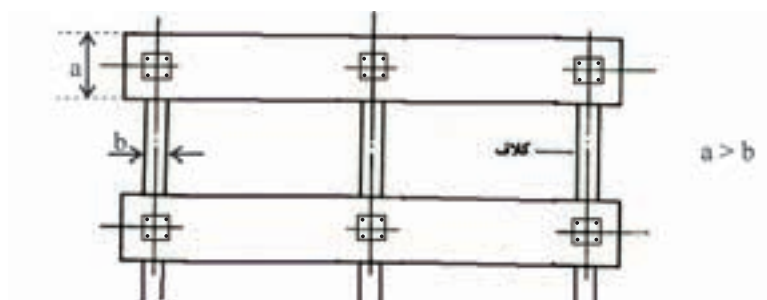


شکل ۳-۴- آرماتوربندی شالوده مرکب

### ۳-۲-۲-۱- شالوده نواری

شالوده نواری ساده ترین نوع شالوده های سطحی است و بصورت نوار در زیر ستون های یک محور قرار می گیرد.

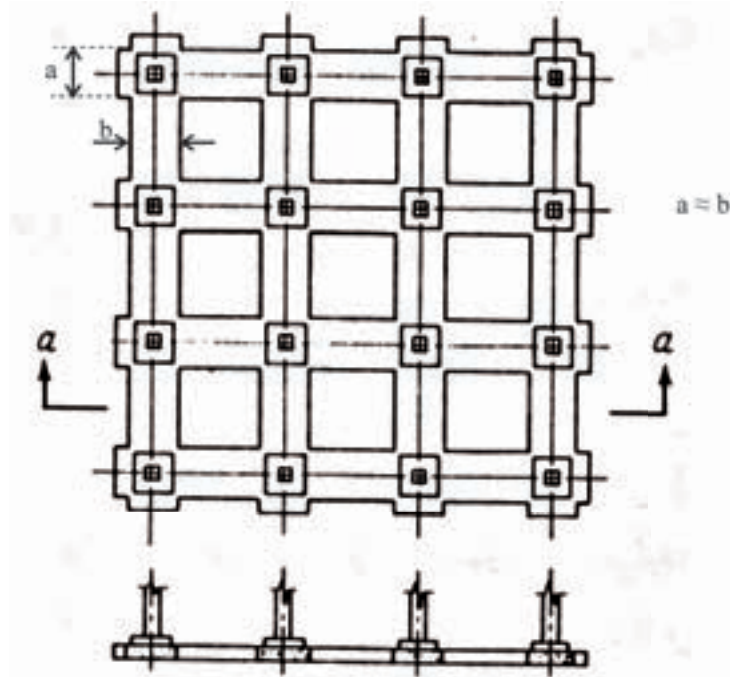
(شکل ۳-۵)



شکل ۳-۵- شالوده نواری

### ۳-۲-۲- شالوده شبکه‌ای

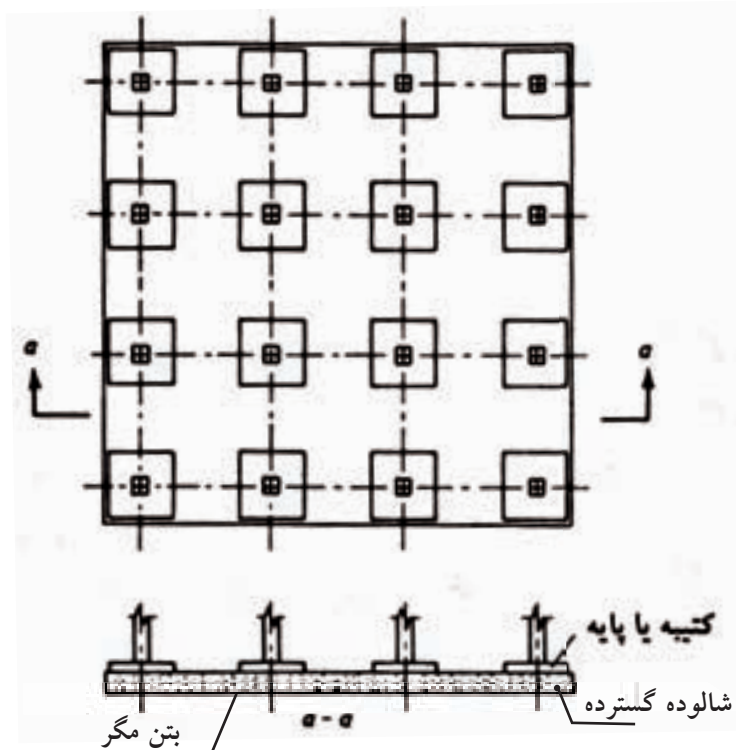
در صورتی که از شالوده‌های نواری در دو امتداد عمود بر هم استفاده گردد، شالوده ایجاد شده شبکه‌ای نامیده می‌شود. (شکل ۳-۶)



شکل ۳-۶- شالوده شبکه‌ای

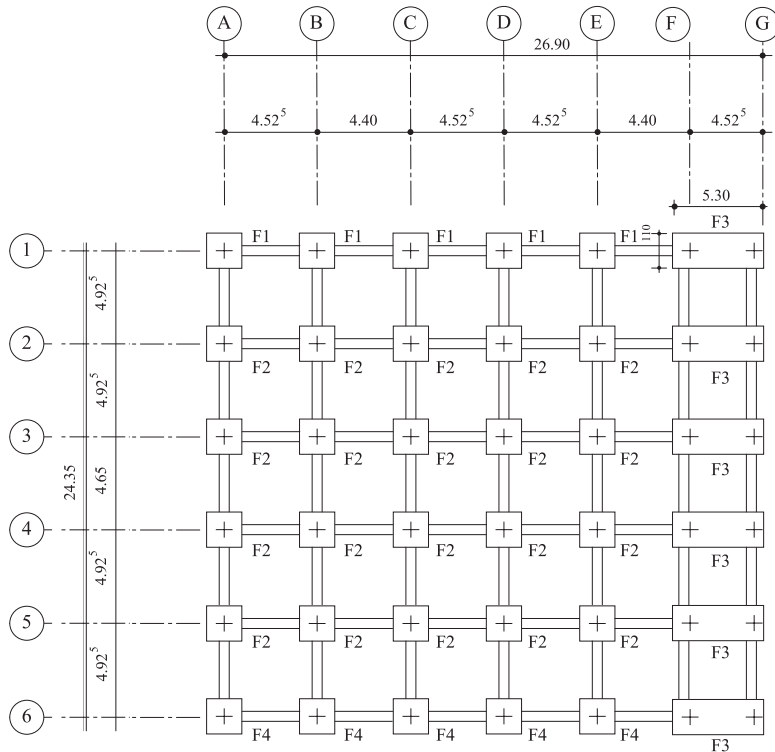
### ۳-۲-۲-۳- شالوده گسترده

با کم شدن مقاومت فشاری زمین، عرض نوارهای شالوده شبکه‌ای زیاد شده و با رسیدن آن‌ها به یکدیگر، تبدیل به شالوده‌ی گسترده می‌شود (شکل ۷-۳). شالوده گسترده یک دال بتن مسلح یکپارچه می‌باشد که کل سطح ساختمان را در پایین‌ترین تراز پوشش می‌دهد.



شکل ۷-۳- شالوده‌ی گسترده و کتیبه‌های روی آن

### ۳-۳- نکات اجرایی در ساخت شالوده



شکل ۳-۸- پلان شالوده

فرض کنید یک پروژه اسکلت فلزی را بخواهیم به اجرا در آوریم، مراحل اولیه اجرایی شامل ساخت پی مناسب است که در کلیه پروژه‌ها تقریباً یکسان اجرا می‌شود، اما قبل از شرح مختصر مراحل ساخت پی، باید توجه داشت که ابتدا نقشه شالوده را روی زمین پیاده کرد و برای پیاده کردن دقیق آن بایستی جزئیات لازم در نقشه مشخص گردیده باشد. از جمله پلان شالوده به شکل یک شبکه متشکل از محورهای عمود بر هم تقسیم شده باشد و موقعیت محورهای مزبور نسبت به محورها یا نقاط مشخصی نظیر محور

جاده، بر زمین، بر ساختمان مجاور و غیره تعیین شده باشد. (معمولاً محورهای یک امتداد با اعداد ۱، ۲، ۳ و... شماره‌گذاری می‌شوند و محورهای امتداد دیگر با حروف A و B و C و... مشخص می‌گردند.

همچنین باید توجه داشت ستون‌ها و شالوده‌هایی را که وضعیت نزدیکی از نظر بار وارد شده دارند، با علامت یکسان نشان داده و یا اصطلاحاً آن‌ها را تیپ‌بندی می‌کنند. ستون را با حرف C و شالوده را با حرف F نشان می‌دهند. ترسیم مقاطع و نوشتن رقوم زیر شالوده، رقوم روی شالوده، ارتفاع قسمت‌های مختلف پی، مشخصات بتن مگر، مشخصات بتن، نوع و قطر میلگردها باید در نقشه مشخص باشد.

قبل از پیاده کردن نقشه روی زمین، اگر زمین ناهموار بود یا دارای گیاهان و درختان باشد، باید نقاط مرتفع ناترازی که مورد نظر است برداشته شود و محوطه از کلیه گیاهان و ریشه‌ها پاک گردد. سپس شمال جغرافیایی نقشه را با جهت شمال جغرافیایی محلی که قرار است پروژه در آن اجرا شود منطبق می‌کنیم (به این کار توجهی نشده می‌گویند). پس از این کار یکی از محورها را (محور طولی یا عرضی) که موقعیت آن روی نقشه مشخص شده است، بر روی زمین حداقل با دو میخ در ابتدا و انتها پیاده می‌کنیم که به این امتداد، محور مبنا گفته می‌شود؛ حال سایر محورهای طولی و عرضی را از روی محور مبنا مشخص می‌کنیم (به وسیله میخ چوبی یا فلزی روی زمین) که این کار در پروژه‌های بزرگ با دوربین تئودولیت و برای کارهای کوچک با ریسمان کار، متر، گونیا و شاقول اجرا می‌شود. حال اگر بخواهیم محل شالوده را خاکبرداری کنیم به ارتفاع خاکبرداری احتیاج داریم که حتی اگر زمین دارای پستی و بلندی جزئی باشد، نقطه‌ای بعنوان مبنا (B.M) باید در محوطه کارگاه مشخص شود (این نقطه بوسیله بتن و میلگرد در جایی که دور از آسیب باشد ساخته می‌شود).





### ۳-۴- نکات فنی و اجرایی خاکبرداری

داشتن اطلاعات اولیه از زمین و خاک از قبیل ظرفیت باربری خاک، نوع خاک بویژه از نظر ریزشی بودن، وضعیت آب زیر زمینی، عمق یخبندان، تأسیسات زیرزمینی، چاه‌های آب و فاضلاب و قنوات متروک و دایر در نزدیکی مکان گودبرداری و سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک که با آزمایش از خاک آن محل مشخص می‌شود، بسیار ضروری است. در هنگام خاکبرداری پی در زیرزمین، ممکن است جداره ریزش کند یا اینکه زیر پی مجاور خالی شود که با وسایل مختلفی باید شمع بندی و حفاظت جداره صورت گیرد؛ به طوری که مقاومت کافی در برابر بارهای وارده را داشته باشد. یکی از راه‌های جلوگیری از ریزش خاک و پی ساختمان مجاور، اجرای سازه نگهبان است.



### ۳-۵- نکات فنی و اجرایی مربوط به زیرسازی شالوده

چاه‌های متروکه با شفته‌ی مناسب پر می‌شوند؛ در صورت برخورد با قنات متروکه نیز باید از پی مرکب یا پی تخت استفاده کرد یا روی قنات را با دال بتنی محافظ پوشاند. در برخی موارد برای حفظ رقوم زیر بتن مگر، ناچار به زیرسازی شالوده هستیم، اما در صورتیکه ضخامت زیرسازی کمتر از ۳۰ سانتیمتر باشد، می‌توان با افزایش ضخامت بتن مگر زیرسازی را انجام داد و در صورت زیاد بودن ضخامت زیر سازی، می‌توان با حفظ اصول فنی، لاشه‌چینی با سنگ و ملات ماسه سیمان انجام داد، یا شفته‌ریزی کرد.



شکل ۳-۹- مفر شمع در زیر شالوده

### ۳-۶- قالب بندی شالوده

قالب بندی اعضای بتنی باید با استفاده از تخته سالم بدون گره به ضخامت حداقل ۲/۵ سانتیمتر یا ورقه های فلزی صاف یا از قالب آجری (تیغه ۱۱ سانتیمتری آجری یا ۲۲ سانتی متری با اندود ماسه سیمان برای جلوگیری از خروج شیره بتن) صورت گیرد. لازم به یادآوری است، در اجرای پی ها در زمین های سفت می توان با قرار دادن ورقه پلاستیکی (نایلون) در جداره خاکبرداری، از این جداره خالی به عنوان قالب استفاده کرد.



الف- اجرای بتن مگر

### ۳-۷- بتن مگر

بتن با عیار کم سیمان که در زیر شالوده قرار می گیرد، بتن مگر است و بتن نظافت یا بتن لاغر نیز نامیده می شود. حداقل ضخامت بتن مگر ۱۰ سانتی متر و از هر طرف ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر بزرگتر از ابعاد شالوده ریخته می شود. (شکل ۳-۱۰) بتن مگر معمولاً به دو دلیل مورد استفاده قرار می گیرد:

۱: برای جلوگیری از تماس مستقیم بتن اصلی شالوده با خاک.

۲: برای رگلاژ کف شالوده و ایجاد سطحی صاف برای ادامه عملیات پی سازی.



ب - آرماتوربندی شالوده  
قبل از قالب بندی

ج - قالب شالوده پس  
از اجرای بتن مگر و  
آرماتوربندی



شکل ۳-۱۰- مراحل اجرای شالوده

### ۳-۸- نکات فنی و اجرایی آرماتوربندی

کلیه ضوابط فنی و اجرایی عملیات آرماتوربندی مطرح شده در دروس تکنولوژی و کارگاهی، باید رعایت گردد. متذکر می‌گردد که فاصله میلگردها تا سطح آزاد بتن در شالوده نباید از ۴ سانتیمتر کمتر باشد. حداقل قطر آرماتور مورد استفاده در شالوده ۱۰ میلیمتر می‌باشد. فاصله بین آرماتورها بین ۱۰۰ تا ۳۵۰ میلیمتر متغیر است.



شکل ۳-۱۱- استفاده از فاصله انداز (Spacer) جهت فاصله دادن آرماتورهای کف با بتن مگر

### ۳-۹- روش نصب پیچ‌های مهاری (بولت‌ها) و صفحه ستون

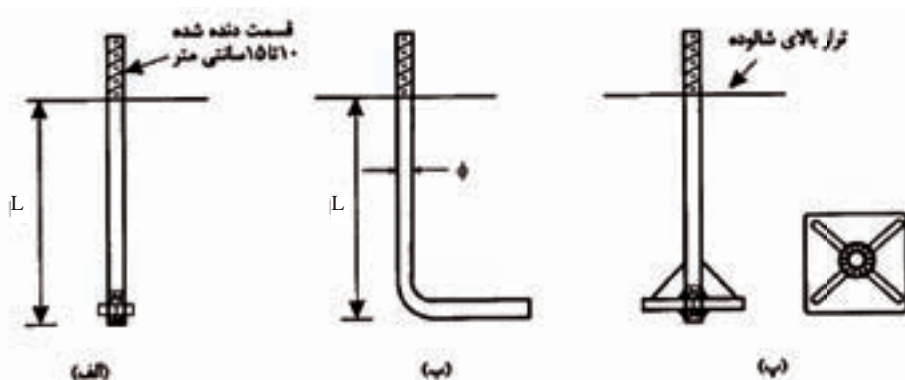
ستون‌های یک ساختمان اسکلت فلزی، نقش انتقال دهنده بارهای وارد شده را به شالوده (به صورت نیروی فشاری، کششی، برشی و یا لنگر خمشی) به عهده دارند. در این میان، ستون فلزی به واسطه صفحه‌ای فلزی که از یک سو با ستون و از سوی دیگر با بتن درگیر شده است روی شالوده قرار می‌گیرد. ستون فلزی به علت سطح مقطع کم، فشار زیادی روی شالوده منتقل می‌کند که بتن شالوده قادر به مقاومت در مقابل آن نیست. بنابراین صفحه ستون واسطه‌ای است که ضمن افزایش سطح تماس ستون با پی، سبب می‌گردد توزیع نیروهای ستون در حد قابل تحمل برای بتن کاهش یابد. اتصال صفحه ستون با بتن به وسیله پیچ‌های مهاری (میله‌های مهاری یا بولت‌ها) تامین می‌شود. میله‌های مهاری تا حصول مقاومت کششی کل باید در بتن شالوده مهار شوند. در ایران پیچ‌های مهاری از دنده کردن میلگردهای صاف (بدون آج) ساخته



شکل ۳-۱۲- تنظیم پیچ‌های مهاری با شابلن و ریسمان



می‌شوند. لذا برای ایجاد مهار مکانیکی، انتهای میله‌ی مهاری به یکی از صور نشان داده شده در شکل ۳-۱۳ اصلاح می‌شود.



شکل ۳-۱۳- انواع میله‌های مهاری

تعداد میله‌های مهاری (بولت‌ها) بسته به نوع کار از دو عدد به بالا تغییر می‌کند، حداقل قطر میله‌های مهاری، میلگرد نمره ۲۰ است. نکته مهم هنگام نصب ستون بر روی صفحه تقسیم فشار این است که لازم است انتهای ستون فلزی سنگ خورده و صاف باشد تا تمام نقاط مقطع ستون بر روی صفحه ستون بنشینند و عمل انتقال نیرو به خوبی انجام پذیرد. از آنجا که علاوه بر فشار، لنگر نیز بر صفحه ستون وارد می‌شود، طول میله‌های مهاری باید به اندازه‌ای باشد که کشش وارده را تحمل نماید که این امر با محاسبه تعیین خواهد شد. در انجام عملیات نصب اسکلت، دو روش عمومی برای نصب صفحه ستون بر روی شالوده وجود دارد:

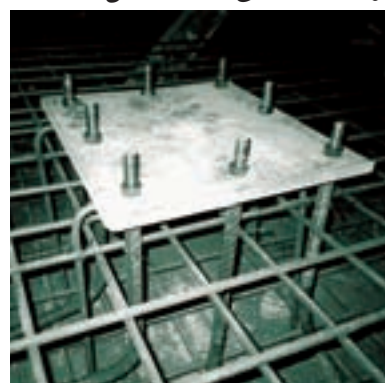
### ۱- روش سنتی:

در این روش که در ساختمان‌سازی متعارف در ایران معمول است، ورق صفحه ستون به صورت جدا از ستون همراه با میله‌ی مهاری قبل از بتن‌ریزی بر روی شالوده مستقر می‌گردد. و پس از بتن‌ریزی، مهره‌های میله‌ی مهاری باز شده و سطح شالوده تمیز و مرطوب می‌گردد. سپس ملات پرسیمان با ضخامت لازم روی شالوده پخش شده و ورق صفحه ستون روی آن قرار گرفته و به کمک تراز و دوربین، در وضعیت نهایی خود قرار گرفته و مهره‌های میله‌های مهاری سفت می‌شود. بعد از گرفتن ملات، صفحه ستون آماده‌ی نصب ستون بر روی آن می‌باشد. (شکل ۳-۱۵)



(ب) پس از بتن‌ریزی

شکل ۳-۱۴- نصب صفحه ستون به روش سنتی

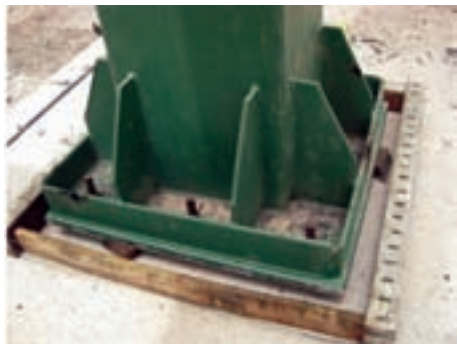


(الف) قبل از بتن‌ریزی



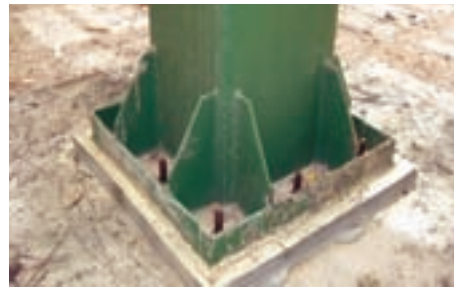


الف- سافت ستون با صفحه ستون در کارخانه



ب - نصب ستون و قالب بندی جهت گروت ریزی

۲- روش صنعتی: در این روش، میله‌های مهاری را در محل‌های تعیین شده قرار می‌دهند و موقعیت آن‌ها را به وسیله شابلون تثبیت می‌کنند و سپس بتن‌ریزی شالوده انجام می‌شود. در این روش صفحه ستون در کارخانه به صورت گونیا به پای ستون جوش و یکپارچه می‌شود. برای نصب، ابتدا شابلون‌ها را پس از سفت شدن بتن، باز کرده و روی شالوده پدگذاری (Pading) می‌شود. پدها ورق‌های  $100 \times 100 \times 4$  میلیمتر می‌باشند که یک شاخک نبشی به سطح تحتانی آن جوش شده است. پدها بطور کامل به کمک ملات در موقعیت موردنظر مستقر و تراز می‌شوند. بعد از گرفتن ملات زیر پد، ستون به همراه صفحه ستون روی آن‌ها مستقر شده و ستون کاملاً به صورت شاقولی درمی‌آید و مهره‌ی میله‌های مهاری سفت می‌شود. در مرحله آخر دور ورق صفحه ستون قالب‌بندی شده و فضاهای خالی زیر صفحه ستون به کمک ملات خیلی روان منبسط شونده پر می‌شود که به این عمل گروت‌ریزی می‌گویند. (شکل ۳-۱۶)



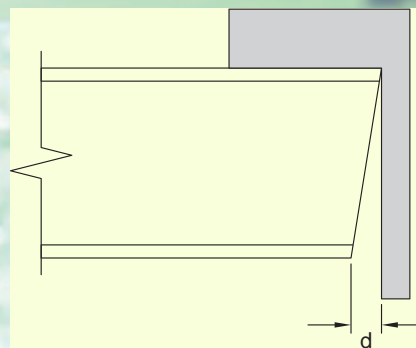
پ - پای ستون پس از گروت‌ریزی

شکل ۳-۱۵- سافت ستون به روش صنعتی



نمونه ای از اتصال نامناسب سازه به صفحه ستون در زلزله بم

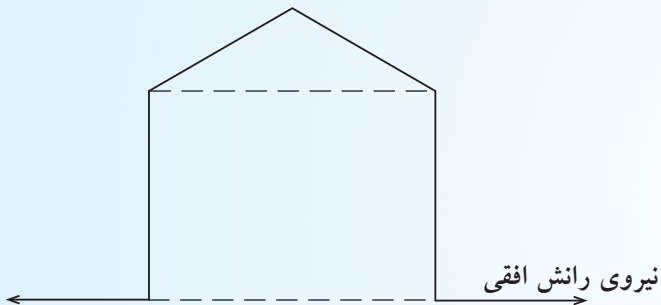
بیشتر بدانیم



قبل از نصب ستون روی صفحه ستون باید از گونیا بودن ستون اطمینان حاصل کرد. حداکثر ناگونیا بی مجاز ( $d$ )، ۲ میلی متر می‌باشد.

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

۱ - در شکل زیر، شمای ساختمان کارگاهی با دهانه‌ی زیاد را می‌بینید که نیروی رانش افقی در پایه‌ی آن ایجاد شده است. چه تدابیری برای مهار این نیرو می‌توان به کار بست؟



- ۲ - اگر محورهای فونداسیون به طور دقیق پیاده نشده باشند، چه دشواری‌هایی در کار بروز می‌کند؟
- ۳ - اهمیت نقطه‌ای که رقوم مبنا (B.M) از آن گرفته می‌شود را توضیح دهید؟
- ۴ - اهمیت جنس خاک و زیرسازی فونداسیون در سازه را توضیح دهید؟
- ۵ - به نظر شما، چرا نقشه‌های فونداسیون اسکلت باید به صورت محورهای عمود برهم مشخص شوند؟
- ۶ - اگر در جایی مقاومت فشاری زمین بسیار کم باشد کدام یک از انواع شالوده استفاده می‌شود؟  
الف - شالوده منفرد      ب - شالوده مرکب
- ۷ - آیا مجاز به حفر چاه فاضلاب در داخل بنای ساختمان هستیم؟ چرا؟
- ۸ - جهت نصب صفحه ستون روی شالوده به چه روش‌هایی عمل می‌شود؟
- ۹ - در صورتی که محور صفحات کف ستون در یک امتداد نباشد چه مشکلاتی برای اسکلت فلزی پیش می‌آید؟
- ۱۰ - اگر کف ستون‌ها نسبت به یکدیگر در سطح تراز نباشند چه تأثیری بر نصب ستون‌ها و تیریزی خواهد داشت؟
- ۱۱ - در صورتی که خود کف ستون تراز نباشد چه اثری بر روی اسکلت فولادی خواهد داشت.
- ۱۲ - اگر به عللی (مثل افت بتن، عدم دقت در بتن‌ریزی و محبوس ماندن حباب‌های هوا در زیر ورق کف ستون و غیره) فاصله‌ای بین ورق کف ستون و بتن شالوده به وجود آید، به علت عدم تماس کامل و سرتاسری چه مسئله‌ای از نظر انتقال بار ستون به فونداسیون پیش می‌آید؟
- ۱۳ - نکات فنی و اجرایی خاکبرداری را شرح دهید.

# فصل ۴

## اعضای فشاری ( ستون )



## هدف‌های رفتاری:

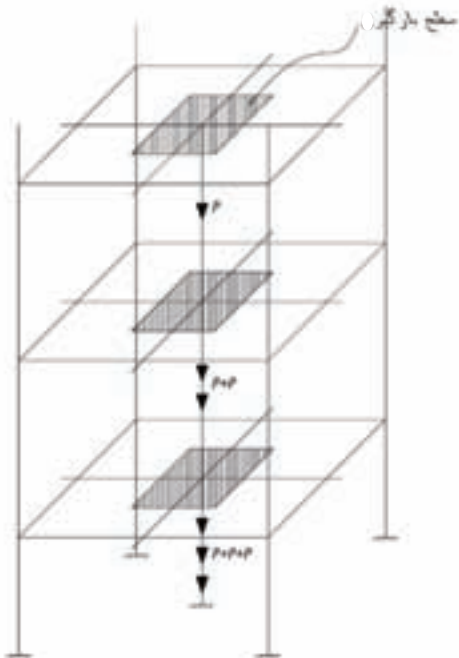
در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- ستون را تعریف کند و نقش آن را در ساختمان توضیح دهد.
- ۲- کمانش را تعریف کند و اتفاقاتی که در اعضای تحت فشار می‌افتد را شرح دهد.
- ۳- دلایل استفاده از ستون‌های مرکب مشبک را بیان کند.
- ۴- دلایل استفاده از ستون‌های ساخته شده از ورق را بیان کند و انواع آن‌ها را نام ببرد.
- ۵- انواع ستون‌های سالن‌های صنعتی را نام ببرد.
- ۶- انواع مقاطع ستون‌ها و علل استفاده از مقاطع مرکب را نام ببرد.
- ۷- نکات فنی ساخت ستون‌هایی که از دو تیرآهن به هم جوش شده، تشکیل شده‌اند را توضیح دهد.
- ۸- نکات فنی ساخت ستون‌هایی که از دو تیرآهن با فاصله به هم متصل شده، تشکیل شده‌اند را توضیح دهد.
- ۹- نکات فنی اجرای ستون با مقاطع دایره را بیان کند.
- ۱۰- روش متداول استقرار ستون را شرح دهد.
- ۱۱- نکات فنی طویل کردن ستون را شرح دهد.
- ۱۲- انحراف مجاز در نصب ستون را توضیح دهد.



#### ۴-۱- تعریف ستون

ستون عضوی است که معمولاً بصورت عمودی در ساختمان نصب می‌شود و نیروی محوری را تحمل می‌کند. نیروهای محوری بصورت نیروی فشاری ناشی از بار مرده و بار زنده وارده بر سطح کف طبقات است که بطور مستقیم و یا از طریق تیر به ستون منتقل می‌شود. علاوه بر نیروی فشاری، در قاب‌های خمشی، ستون‌ها تحت تاثیر لنگر ناشی از بارهای قائم و جانبی به علت اتصال صلب تیر به ستون نیز قرار دارند. سهم هر ستون از بار طبقه، مساحتی محصور در نصف فاصله‌ی ستون مورد نظر و ستون‌های پیرامونی آن است که به آن سطح بارگیر گفته می‌شود (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱- تجمع نیروی محوری فشاری ستون در طبقات مختلف



شکل ۴-۲- نمونه اسکلت فولادی شامل اعضای فشاری

#### بیشتر بدانیم

##### سازمان نظام مهندسی ساختمان

برای تأمین مشارکت هر چه وسیع‌تر مهندسان در انتظام امور رفه‌ای خود و تحقق مجموعه قوانین، مقررات، آئین‌نامه‌ها و استانداردهای ساختمانی، نظام مهندسی ساختمان در استان‌های کشور به وجود آمده است.



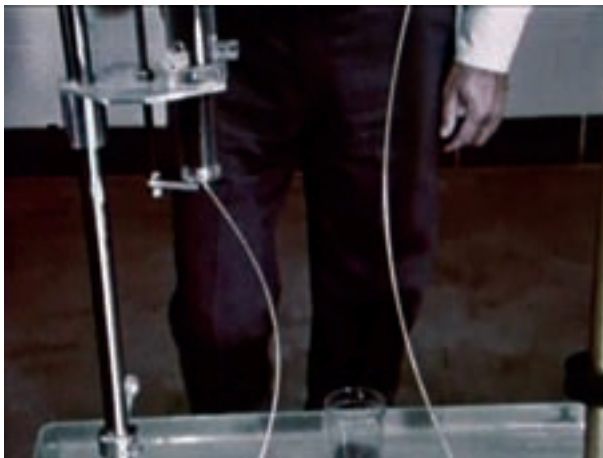
## ۴-۲- کمانش اعضای تحت فشار



کمانش یعنی ناپایداری و از بین رفتن عضو، تحت تغییر شکل‌های جانبی زیاد که به علت نیروها یا تنش‌های فشاری رخ می‌دهد. در اعضای تحت فشار، علاوه بر انهدام یا تسلیم مصالح تحت تنش‌های فشاری، کمانش یا از بین رفتن پایداری ارتجاعی عضو می‌تواند تحت تنش‌های به مراتب کوچکتر از مقاومت نهایی مصالح، باعث خرابی گردد. این موضوع را می‌توان با اعمال نیروی فشاری به یک خط‌کش تجربه نمود.

در عضو ساخته شده از نیمرخ فولادی (مثلاً یک ستون فولادی) کمانش به دو صورت ممکن است رخ دهد؛ الف: کمانش کلی عضو، ب: کمانش موضعی اجزای بال یا جان نیمرخ به علت تنش‌های فشاری.

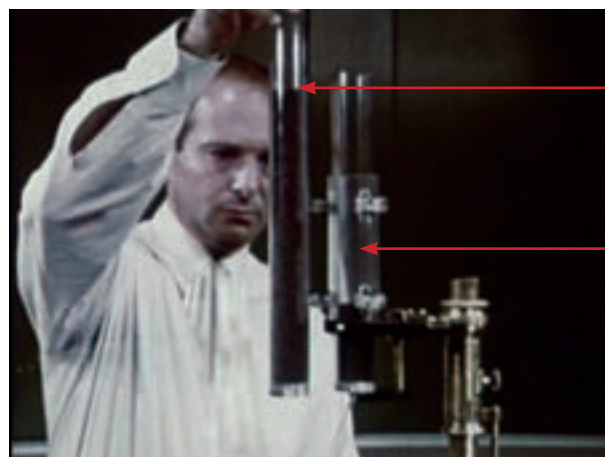
شکل ۴-۳- کمانش عضو فشاری



ب- ریختن ماسه مورد نیاز جهت کمانش هر دو ستون



الف- مدل دو ستون با ارتفاع مختلف که توسط ماسه بارگذاری می‌شود



ارتفاع ماسه  
(تقریباً دو برابر ارتفاع ماسه  
در ظرف دیگر است)

ارتفاع ماسه

پ- مقایسه مقدار ماسه (یا بار مورد نیاز) جهت کمانش

شکل ۴-۴- بررسی کمانش ستون با ارتفاع متفاوت در آزمایشگاه سازه

نیروی کمانشی ستون نسبت مستقیم با مقطع ستون و نسبت عکس با ارتفاع آن در حد فاصل طبقات دارد. یعنی هرچه ابعاد مقطع ستون بزرگتر باشد، نیروی کمانش آن بزرگتر و هر چه ارتفاع آن بلندتر باشد، نیروی کمانش آن کوچکتر است. این موضوع را در خصوص ارتفاع ستون می توان با مقایسه حجم ماسه در شکل ۴-۴ تجربه نمود.

ستون های بلند را ستون های لاغر می نامند. نسبت لاغری ستون به طور تقریبی از تقسیم طول آزاد ستون به  $\frac{1}{4}$  بعد حداقل ستون به دست می آید.



شکل ۴-۵- کمانش موضعی ستون

با افزایش نسبت لاغری، ستون لاغرتر شده و ظرفیت باربری فشاری آن کاهش می یابد. یک نیمرخ فولادی ترکیبی از ورق های فولادی نازک می باشد (ورق های بال و جان). این اجزای نازک اگر به عللی تحت تنش های فشاری قرار گیرند کمانه می کنند و در نتیجه قسمتی از نیمرخ، خاصیت باربری خود را از دست می دهد. به این پدیده کمانش موضعی می گویند. (شکل ۴-۵)

#### ۴-۳- مقاطع مناسب برای ستون ها

مقطع مناسب برای ستون ها بصورت قوطی مربع یا مستطیلی می باشد. مقاطع دایره ای و چند ضلعی نیز در سازه کاربرد دارند و عموماً به منظور تأمین ملاحظات معماری استفاده می شوند. شکل مقطع ستون ها معمولاً به مقدار و وضعیت بار وارد شده نیز بستگی دارد. برای ساختن ستون های فولادی از انواع پروفیل ها و ورق ها استفاده می شود. عموماً ستون ها از لحاظ شکل ظاهری به سه گروه تقسیم می شوند:

- ۱- نیمرخ نورد شده
- ۲- ستون مرکب از نیمرخ های نورد شده
- ۳- ستون ساخته شده از ورق



کمانش موضعی بال ها و جان ستون در پایین ستون طبقه ی اول در گوشه ی ساختمان



نمونه هایی از کمانش کلی ستون



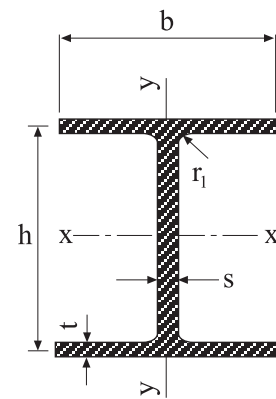
نمونه هایی از کمانش کلی ستون

بیشتر بدانیم

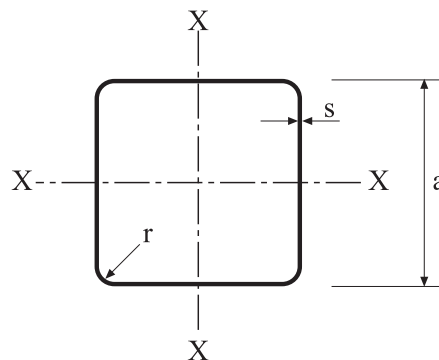


### ۴-۳-۱- نیمرخ نورد شده

بهترین پروفیل نورد شده برای ستون، تیر آهن بال پهن (IPB) یا قوطی مربع شکل است (شکل ۴-۶)، زیرا از نظر مقاومت بهتر از مقاطع دیگر عمل می‌کند، علاوه بر این در اکثر شرایط اجرایی، اتصال تیرها به راحتی روی آنها انجام می‌شود.



الف- ستون با مقطع نیمرخ نورد شده تیر آهن بال پهن (IPB)



ب- ستون با مقطع قوطی شکل  
شکل ۴-۶- مقطع تیر آهن بال پهن و قوطی شکل در ستون‌ها



#### ۴-۳-۲- مقاطع مرکب

ترکیبی از نیمرخ‌های نورد شده و ورق را مقطع مرکب می‌گویند که تعدادی از انواع آن در شکل ۴-۷ نشان داده شده است. ستون‌های مرکب از ترکیب دو و یا چند نیمرخ مثل IPE، ناودانی یا نبشی به کمک ورق‌های سرتاسری و ممتد و یا تسمه‌های موازی یا مورب ساخته می‌شوند.



ستون با مقطع مرکب تیر آهن IPE



مقطع مرکب

شکل ۴-۷ - ستون با مقطع مرکب

#### بیشتر بدانیم



علل تخریب: کماتش ستون - عدم جوشکاری صحیح - فاصله زیاد تسمه‌ها و ...

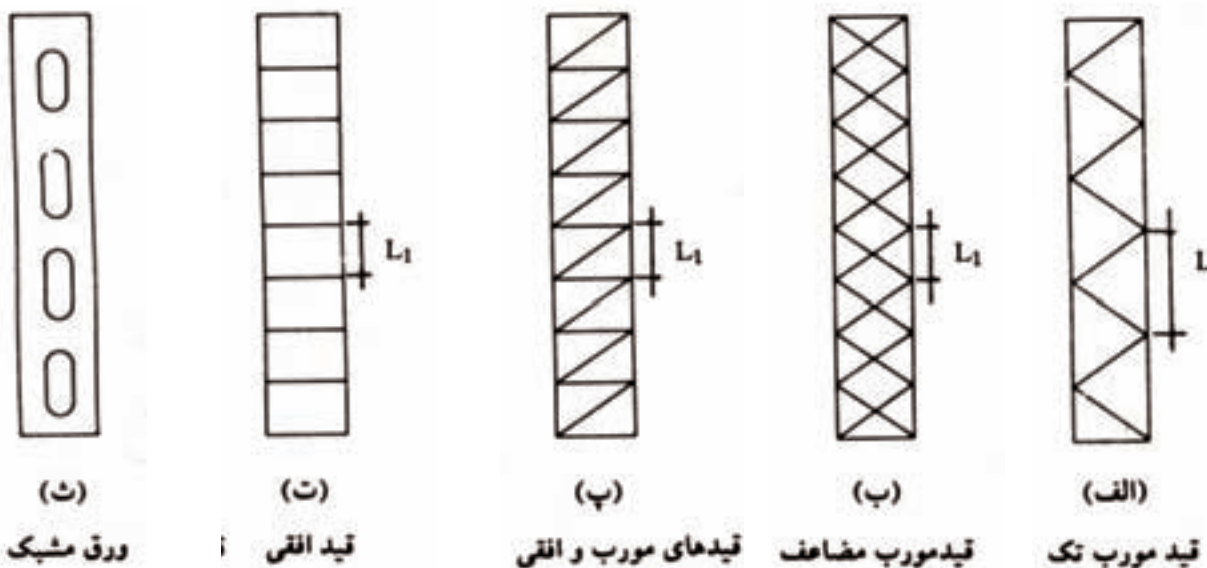
#### ۴-۳-۲-۱- علل استفاده از مقاطع مرکب در ستونها

- ۱- عدم دسترسی به نیمرخ IPB یا قوطی به صورت تولید داخلی
- ۲- افزایش سطح مقطع ستون، در صورتی که نیمرخ‌های نوردشده سطح مقطع لازم را نداشته باشد.
- ۳- اجرای سریع‌تر و آسان‌تر مقاطع مرکب نسبت به ستون‌های ساخته‌شده از ورق.

#### ۴-۳-۲-۲- مقاطع مرکب مشبک

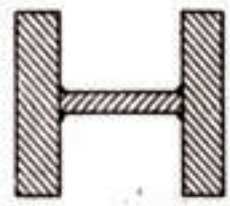
دو راه برای افزایش مقاومت فشاری ستون‌ها وجود دارد: الف) افزایش ضخامت اجزاء مقطع، ب) افزایش ابعاد (طول و عرض) مقطع. در ستون‌های بلند افزایش ضخامت اثر قابل توجهی بر مقاومت فشاری نداشته و باعث سنگینی و غیراقتصادی شدن طرح خواهد شد. در چنین مواردی بهتر است نیمرخ‌ها را با فاصله کافی از یکدیگر قرار داده و آن‌ها را به وسیله ورق یا تسمه (قید) به یکدیگر متصل کنیم، به اینگونه ستون‌ها، ستون مشبک می‌گوییم.

در شکل ۴-۸ انواع مختلف قیدهای اتصالی ستون‌های مشبک نشان داده شده است. شکل الف) قیدهای مورب تک، ب) قیدهای مورب مضاعف، پ) قیدهای مورب و افقی، ت) قیدهای افقی و ث) ورق مشبک نامیده می‌شوند.



شکل ۴-۸- مقاطع مشبک ستون با انواع قیدهای اتصالی

### ۴-۳-۳- ستون‌های ساخته شده از ورق



شکل ۴-۹- مقاطع سنگین



(الف)



(ب)

در گذشته وقتی طراحان می‌خواستند ستون‌های سنگین طراحی کنند مقاطع بال پهن را به وسیله ورق‌های پوششی که توسط پرچ به آن متصل می‌شدند را تقویت می‌کردند. در سال‌های اخیر پس از متداول شدن جوش همین عمل را به وسیله جوشکاری انجام می‌دهند. اشکال این روش آن است که چون ورق پوششی فقط در دو لبه کناری به ستون جوش می‌گردد، در مقابل نیروی کششی حاصله از بال تیر از خود ضعف نشان داده و به طرف خارج خم برمی‌دارد.

بهترین نوع طراحی در این موارد استفاده از ستون‌های ساخته شده از ورق می‌باشد. این ستونها بدون هیچگونه جوشکاری اضافه، مستقیم‌ترین راه برای ساختن ستون می‌باشند و برای انتقال نیروی کششی بال تیر به ستون هیچگونه اشکالی ایجاد نمی‌کنند.

در شکل ۴-۹ نمونه ای از مقطع سنگین ساخته شده از تیرورق نشان داده شده است. در صورت زیاد بودن بار ستون، برای آن می‌توان مقطع جعبه‌ای طراحی نمود (شکل ۴-۱۰-الف). استفاده از مقاطع صلیبی شکل نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد (شکل ۴-۱۰-ب).

شکل ۴-۱۰- مقاطع جعبه‌ای و صلیبی ساخته شده از ورق



سافت ستون با مقطع جعبه‌ای در کارخانه



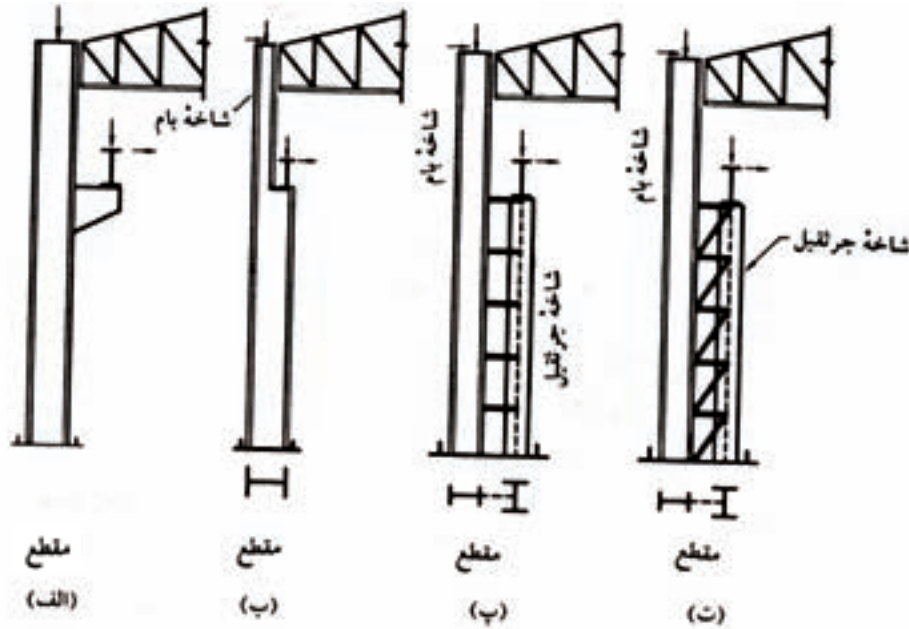
سافت ستون با مقطع صلیبی در کارخانه

شکل ۴-۱۱- سافت ستون از ورق



#### ۴-۴- ستون‌های سالن‌های صنعتی

ستون‌های سالن‌های صنعتی که در آن‌ها جرثقیل‌های سقفی برای حمل و نقل محصولات وجود دارد، اغلب به صورت یکی از انواع معرفی شده در شکل ۴-۱۲ می‌باشد.



شکل ۴-۱۲- ستون‌های سافتمان‌های صنعتی

به استثنای حالت (الف) که مربوط به ستون‌ها با بارهای سبک می‌باشد، در سایر حالات، دو ستون مجزا از یکدیگر داریم که به وسیله ورق جان و یا قیدهای افقی و قیدهای مورب با یکدیگر به صورت مرکب در آمده‌اند. به یکی از این ستون‌ها شاخه بام و به دیگری شاخه جرثقیل می‌گویند.



شکل ۴-۱۳- نمونه هایی از ستون‌های سالن‌های صنعتی



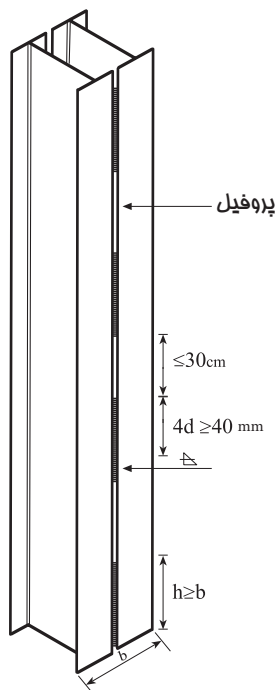
## ۴-۵- روش‌های ساخت ستون با مقاطع استاندارد مرکب

ستون‌ها ممکن است برحسب نیاز از اتصال انواع پروفیل‌های مختلف ساخته شوند که رایج‌ترین آن‌ها عبارتند از:

الف) اتصال دو پروفیل به یکدیگر به طریقه جفت کردن

ب) اتصال دو پروفیل با یک ورق سراسری روی بال‌ها

پ) اتصال دو پروفیل با قیدهای موازی و یا مورب (ستون مشبک)



شکل ۴-۱۴- ستون با پروفیل جفت



شکل ۴-۱۵- جوشکاری ستون جفت (وی شاسی کار)

## ۴-۵-۱- روش ساخت ستون جفت

ابتدا دو تیر آهن در کنار یکدیگر و بر روی سطح شاسی کار (شکل ۴-۱۵) با خال‌جوش به هم متصل می‌شوند؛ سپس دو سر و وسط ستون جوش شده و ستون برگردانده شده و مانند قبل جوش کاری می‌شود. در ادامه قسمت‌های باقیمانده جوش کاری می‌گردد؛ همین کار در سوی دیگر ستون انجام می‌شود.

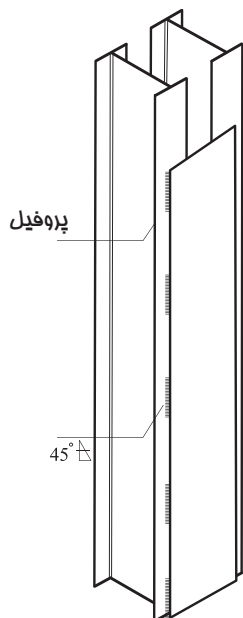
جوش کاری ادامه می‌یابد تا جوش مورد نیاز ستون تأمین گردد. این شیوه جوش کاری برای جلوگیری از پیچش ستون در اثر حرارت زیاد در حین جوش کاری ممتد می‌باشد. در صورتی که در سرتاسر ستون به جوش کاری نیازی نباشد، حداقل طول جوش‌ها باید به این ترتیب اجرا گردد:

الف) حداکثر فاصله بین مرکز به مرکز طول جوش‌های منقطع نباید از ۳۰ سانتی متر تجاوز کند.

ب) طول جوش ابتدا و انتهای ستون باید حداقل برابر با بزرگ‌ترین بُعد مقطع ستون باشد و به طور پیوسته انجام گیرد.

ج) طول موثر هر قطعه از جوش منقطع نباید از ۴ برابر بعد جوش یا حداقل ۴۰ میلی‌متر کمتر باشد.

د) فاصله میان لبه بال دو پروفیل نباید از یک درز ۱/۵ میلی‌متری تجاوز کند.



#### ۴-۵-۲- روش ساخت ستون دابل با ورق سراسری

جهت ساخت این ستون‌ها مطابق ستون‌های جفت، ابتدا مونتاژ دو تیرآهن در کنار هم روی یک شاسی مناسب و با رعایت رواداری‌های مجاز انجام شده و سپس ورق‌های سراسری بصورت پوششی که از قبل به روش‌های مناسب برشکاری شده، روی ستون جفت شده نصب و خال جوش می‌شود. اگر جوش ورق اتصال ستون بصورت منقطع باشد، باید بصورت زیر اجرا شود: جهت جلوگیری از پیچش ستون نیز باید ترتیب جوشکاری مطابق بخش ۴-۵-۱ انجام شود.

در ستون‌های جفت با ورق سراسری، فاصله جوش‌های منقطع (غیرممتد) که ورق را به نیمرخ‌ها متصل می‌کند، نباید از ۳۰ سانتی متر بیشتر شود. حداکثر فاصله فوق‌الذکر در مورد فولاد معمولی ۲۲ برابر ضخامت ورق می‌باشد.

شکل ۴-۱۶- ستون دابل با ورق تقویتی یکسره



شکل ۴-۱۷

ستون دابل با ورق تقویتی

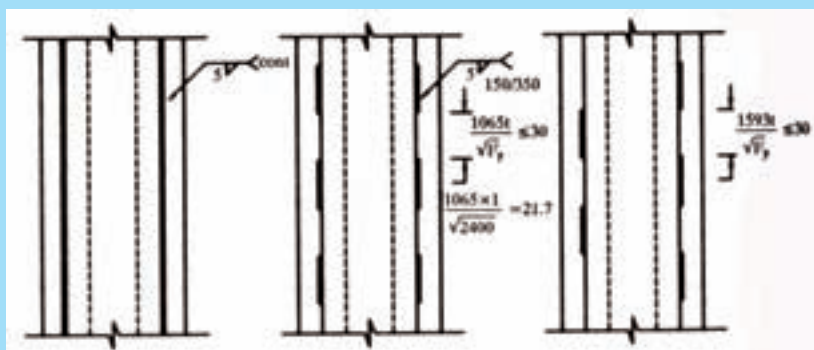
### بیشتر بدانیم



علل تفریب: عدم جوشکاری صحیح - عدم اتصال صحیح دیوارها به ستون‌های فلزی و حذف مهاربندها

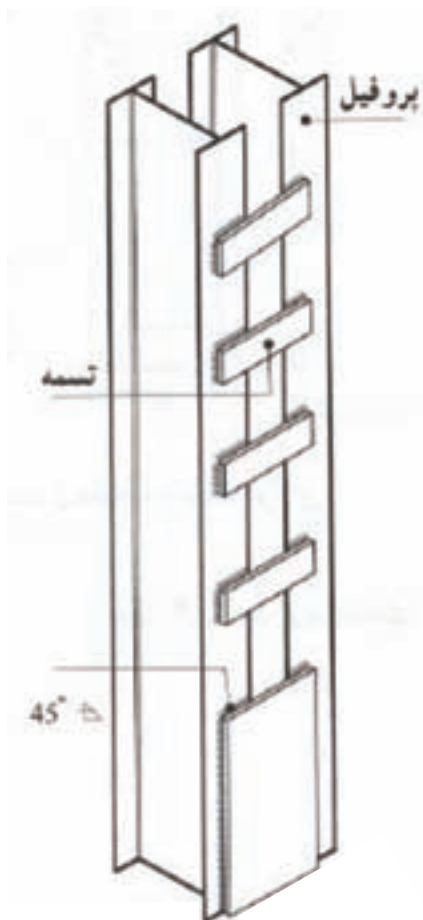


برای جوش ورق تقویتی می‌توان از یکی از سه طرح شکل زیر استفاده نمود.



جوش منقطع یک‌درمیان      جوش منقطع موازی      جوش سرتاسری (ممتد)  
شکل ۴-۱۶- انواع جوش ورق روی نیمرخ‌ها

شکل ۴-۱۸- مقطع مرکب سه‌تایی با ورق تقویتی



#### ۴-۵-۳- روش ساخت ستون مرکب با بست‌های موازی یا مورب (ستون دوبرگ پاباز)

متداول‌ترین نوع ستون در ایران ستون‌های مرکبی است که دو تیرآهن در کنار هم قرار گرفته و قیده‌های افقی یا چپ و راست، این نیمرخ‌ها را به هم متصل می‌کند. البته بست‌های چپ و راست که شکل‌های مثلثی را به وجود می‌آورند، دارای مقاومت بهتری نسبت به بست‌های موازی می‌باشند. در مورد اینگونه ستون‌ها، به ویژه ستون با بست موازی نکات زیر را رعایت کرد (شکل ۴-۱۸ و ۴-۱۹):

الف) حداقل ابعاد بست یا تسمه افقی ستون باید به این صورت باشد:

شکل ۴-۱۹- ستون مشبک با قید های موازی

L: طول وصله حداقل معادل فاصله مرکز تا مرکز دو نیمرخ باشد.

b: عرض تسمه از ۵۰ درصد طول آن کمتر نباشد.

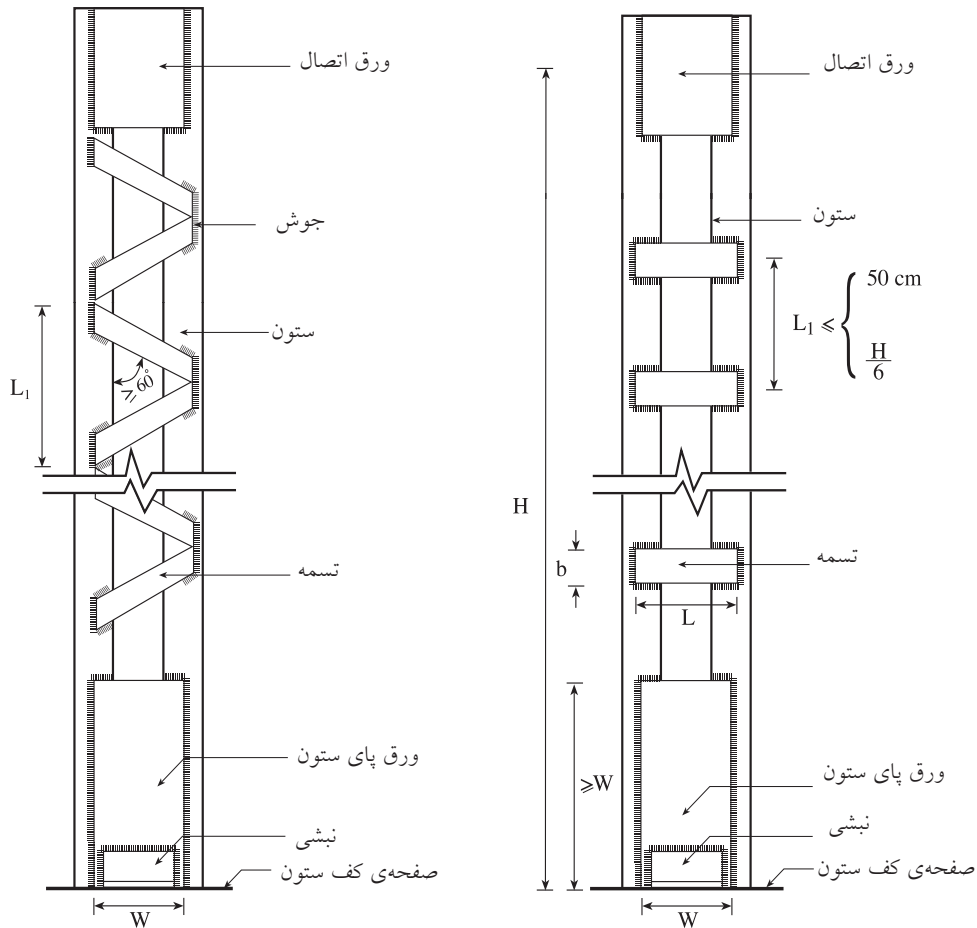
t: ضخامت تسمه از  $\frac{1}{4}$  طول آن کمتر نباشد.

ب) در اطراف کلیه تسمه‌ها و در سطح تماس با بال نیمرخ‌ها، عمل جوشکاری انجام شود (مجموع طول خط جوش در هر طرف صفحه نباید از طول صفحه کمتر شود).

ج) فاصله قیدها و ابعاد آن براساس محاسبات فنی تعیین می‌شود.

د) در قسمت انتهایی ستون، باید حتماً از ورق‌هایی با طول حداقل برابر با عرض ستون استفاده کرد تا علاوه بر تقویت پایه، محل مناسبی برای اتصال سایر اعضاء به ستون به وجود آید.

ه) در محل اتصال تیر به ستون لازم است قبلاً ورق تقویتی به ابعاد کافی روی بال‌های ستون جوش شده باشد.



ب - ستون مشبک با بست مورب

الف - ستون مشبک با بست موازی

شکل ۴-۲۰- جزئیات ستون مشبک با بست موازی و مورب





شکل ۴-۲۱- اتصال تیر به ستون دابل پا باز



شکل ۴-۲۲- نصب ملامقات ستون روی شاسی‌های مونتاژ

**بیشتر بدانیم**

#### ۴-۵-۴- جزئیات ساخت ستون در محل اتصال خمشی تیر به ستون

در اتصالات خمشی یا گیردار در محل اتصال تیر به ستون از یک ورق میانی بین ورق‌های تقویتی روی بال ستون استفاده می‌شود. در مرحله ساخت ستون، پس از مونتاژ دو تیر آهن در فاصله مورد نظر و خال‌جوش کردن قیدها یا ورق پوششی سراسری روی بال ستون، در محل تراز سقف‌ها از یک ورق میانی بین دو ورق وصله روی بال ستون استفاده می‌شود. همچنین در جان ستون نیز قبل از نصب ورق وصله در امتداد بال شاه‌تیرها، دو ورق سخت‌کننده مونتاژ و جوش می‌شود. (شکل ۴-۲۳)



شکل ۴-۲۳- جزئیات ورق اتصال در قاب‌های خمشی

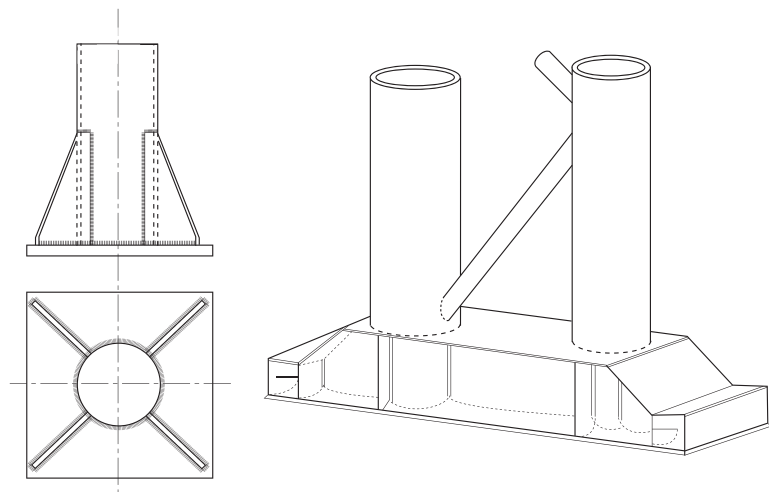
بیشتر بدانیم



ستون با مقطع مرکب سه تایی در محل اتصال خمشی و ورق تقویتی روی بال آن

#### ۴-۶- ستون‌های با مقطع دایره‌ای

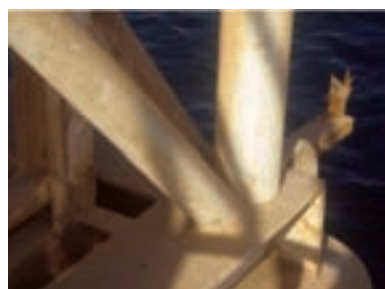
معمولاً مقاطع لوله‌ای (دایره‌ای) از قطر ۵ تا ۳۰ سانتیمتر برای ستون‌ها بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد لوله بیشتر در پایه‌های بعضی منابع هوایی، دکل‌های مختلف و خرپاسازی‌های سبک است. این مقاطع به طور کلی مقاوم‌ترند، برای اینکه ممان اینرسی آن‌ها در تمام جهات یکسان است. با تغییر ضخامت مقاطع لوله‌ای می‌توان اینرسی‌های مختلف را به دست آورد. (شکل ۴-۲۴)



اتصال پایه ستون لوله‌ای با بدنه‌ی دو لوله



اتصال ستون لوله‌ای به صفحه ستون



ستون با مقطع دایره در یک سازه صنعتی در جزیره خارگ

شکل ۴-۲۴- ستون‌های با مقطع دایره‌ای



بیشتر بدانیم



اتصال ستون لوله‌ای  
به صفحه ستون





#### ۷-۴- نصب ستون روی صفحه ستون

در انجام عملیات نصب اسکلت، دو روش عمومی برای نصب ستون بر روی صفحه ستون وجود دارد:

#### ۷-۴-۱- روش سنتی

همان‌طور که در بخش ۳-۹ بیان شد. ورق صفحه ستون به صورت جدا از ستون همراه با پیچ مهارتی بر روی شالوده مستقر می‌گردد.

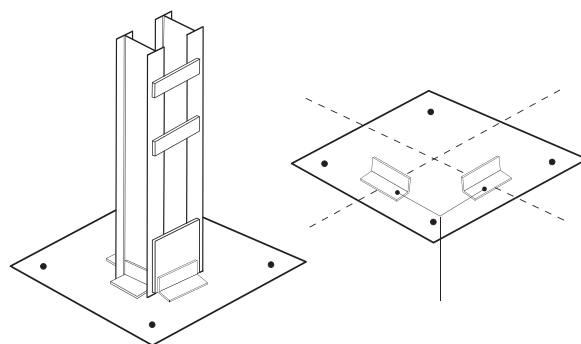
هنگام محاسبه ابعاد صفحه ستون‌ها باید حداقل فاصله میله مهارتی از لبه کف ستون و محل جاگذاری نبشی با ضخامت جوش لازم برای نگه داشتن ستون، همچنین ضخامت ورق‌های ستون و ابعاد ستون را با دقت بررسی کرد؛ سپس با توجه به موارد یاد شده، به نصب نبشی و استقرار ستون به این صورت اقدام نمود. بر روی صفحه ستون محل ستون و محل آکس آن را کنترل می‌کنیم؛ سپس نبشی‌هایی به صورت عمود بر هم بر روی صفحه ستون جوش داده، آنگاه ستون را مستقر و اقدام به نصب دیگر نبشی‌های لازم کرده و آن‌ها را به صفحه ستون جوش می‌دهیم. از مزایای عمود بر هم بودن دو نبشی روی صفحه ستون علاوه بر سرعت عمل و استقرار بهتر به علت تماس مستقیم به بال



ب - تنظیم پای ستون نسبت به خط محور و شاقول کردن آن



الف - آماده‌سازی و تمیزکاری صفحه ستون قبل از نصب ستون (تراز کردن صفحه ستون، هواگیری و گروت ریزی، فکاشی و تعیین خط آکس، جوشکاری نبشی‌های نصب و تمیزکاری صفحه ستون)



**دقت کنید!**  
در تصاویر، استفاده از کفش و کلاه ایمنی فراموش شده است.  
به نظر شما عواقب آن چیست؟

شکل ۴-۲۵- نصب ستون (روی صفحه ستون) در روش سنتی





شکل ۴-۲۶- جوشکاری کامل پای ستون و مملقات آن

نبشی، اتصال جوشکاری به گونه‌ای درست‌تر و اصولی صورت می‌گیرد (شکل‌های ۴-۲۵ و ۴-۲۶). روشن است که قبل از جوش کاری باید ستون‌ها را هم محور و قائم نموده و عمود بودن در دو جهت کنترل گردد. پس از نصب ستون‌ها با توجه به ارتفاع ستون و آزاد بودن سرستون، ممکن است تا زمان نصب تیرها، ستون‌ها در اثر شدت باد و وزن خود حرکت‌هایی داشته باشند که احتمالاً تأثیر نامطلوب و ایجاد ضعف در جوش کاری و اتصالات کف ستون‌ها خواهد داشت. به این سبب، باید پس از نصب، فوراً به مهاربندی موقت ستون‌ها به وسیله میلگرد یا نبشی به صورت ضربداری اقدام کرد.

#### ۴-۷-۲- روش صنعتی

در این روش صفحه ستون در کارخانه به صورت گونیا به پای ستون جوش و یکپارچه می‌شود که در بخش ۳-۹ به آن اشاره شد. (شکل ۴-۲۷)



ب - پدگذاری



الف- سافت ستون با صفحه ستون در کارخانه



ت- پای ستون پس از سافت، نصب و گروت‌ریزی



پ - نصب ستون و قالب بندی جهت گروت‌ریزی

شکل ۴-۲۷- نصب ستون بر روی صفحه ستون در روش صنعتی

#### ۴-۷-۳- رواداری نصب ستون

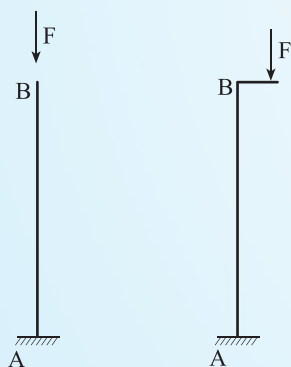
حداکثر میزان جابجایی مجاز محور ستون از محل فرضی، مساوی ۶ میلیمتر می‌باشد. حداکثر ناشاقولی مجاز ستون‌ها، به ازای هر طبقه مساوی ۱ ارتفاع و حداکثر ۲۵ میلیمتر به سمت نما و ۵۰ میلیمتر به سمت داخل ساختمان می‌باشد. ۵۰۰

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

### فعالیت‌های عملی:

۱ - یک خط‌کش پلاستیکی را از دو طرف بفشارید، مشاهده می‌کنید خط‌کش بدون آن که بشکند به حالت خمیده درمی‌آید. این پدیده در اثر چیست؟ آیا ممکن است حالت ناپایدار و از دست دادن توان باربری در خط‌کش نیز ایجاد شود؟ در چه زمانی؟ توضیح دهید.

۲ - میله‌ای را در دو حالت زیر قرار دهید:

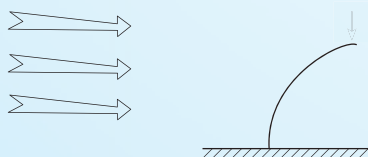


حالت اول: نقطه A از میله را روی صفحه‌ای که در بتن قرار دارد جوش دهید و نقطه‌ی B را آزاد بگذارید. سپس نیرویی عمودی به نقطه‌ی B وارد کنید.

حالت دوم: به نقطه B از میله‌ی مورد نظر، میله‌ی کوتاهی جوش دهید.

حال به انتهای میله‌ی جدید نیرویی وارد کنید، وضعیت میله را در دو حالت اول و دوم با هم مقایسه کنید. کدام یک از نظر باربری بهتر است؟ چرا؟

۳ - یک نوار کاغذی (مقوایی) در دست بگیرید و آن را در معرض وزش باد (مثلاً باد پنکه) قرار دهید، ملاحظه می‌کنید کاغذ مطابق شکل زیر خم می‌شود:



در بدنه خارجی کاغذ، نیرو به چه صورت به وجود می‌آید (کششی یا فشاری)؟

در بدنه داخلی چطور؟ آیا ستون‌ها ممکن است حالتی شبیه به این کاغذ پیدا کنند؟ در چه هنگام؟

۴- دو میله را در نظر بگیرید که یکی کاملاً شاقول و دیگری دارای انحراف است؛ حال هر دو را تحت فشار قرار دهید. کدام یک زودتر قابلیت باربری خود را از دست می‌دهد؟ چرا؟

۵ - به نظر شما نقش ستون در ساختمان‌های فولادی مهم‌تر است یا تیرآهن‌های سقف؟ دلایل خود را ذکر کنید.

۶- به یک اسکلت ساختمان فولادی نگاه کنید و وضعیت اجرایی ستون‌ها را به کمک دبیر خود بررسی کنید و نتیجه را گزارش نمایید.

۷- علل استفاده از مقاطع مرکب در ستون‌ها را توضیح دهید و انواع روش‌های ساخت ستون‌های مرکب را بیان کنید؟

# فصل ۵

## اعضای خمشی (تیرها)



## هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

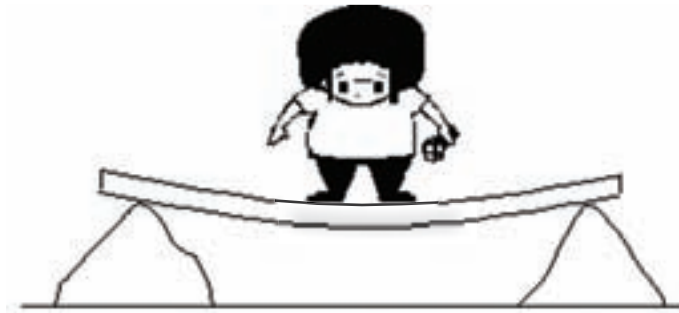
۱. خمش را تعریف کند.
۲. پدیده خمش را درک کند و با مثال‌های عینی آنرا شرح دهد.
۲. پدیده‌ی کشش و فشار را در تارهای مختلف یک مقطع تحت بار خمشی نشان دهد.
۳. تیر را تعریف کند و انواع بارهای وارد بر تیر را شرح دهد.
۴. سطح بارگیر هر تیر را در سیستم‌های مختلف نمایش دهد.
۵. انواع تیرها در سازه‌های فلزی را نام ببرد.
۶. دلیل استفاده از تیرهای لانه زنبوری را شرح دهد و محاسن و معایب آنرا نام ببرد.
۷. روش‌های ساخت تیرهای لانه زنبوری را شرح دهد.
۸. تیرهای تقویت شده را تعریف کند و انواع آنرا نام ببرد.
۹. دال‌های مرکب (کامپوزیت) را شرح دهد و دلیل استفاده از آنرا توضیح دهد.
۱۰. اصطلاحات زیر را شرح دهد:  
تیر ورق ، تیرچه ، شاهتیر ، لاپه



## ۱-۵- خمش چیست؟

وقتی عضوی بین دو نقطه از دهانه قرار بگیرد، بارهای وارده با ساز و کار کشش و فشار در تارهای افقی عضو از روی دهانه به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌شود. به این پدیده خمش می‌گویند و نقش اساسی در باربری اعضای سازه‌ای دارد.

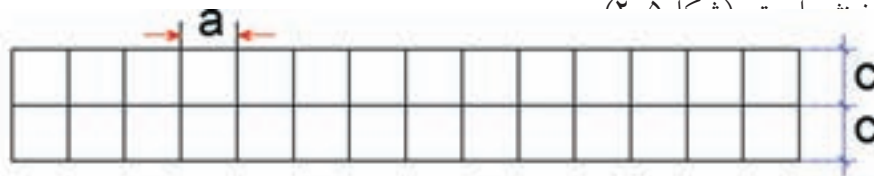
یک قطعه الوار که بر روی دو سنگ قرار گرفته است را در نظر بگیرید. (شکل ۱-۵)



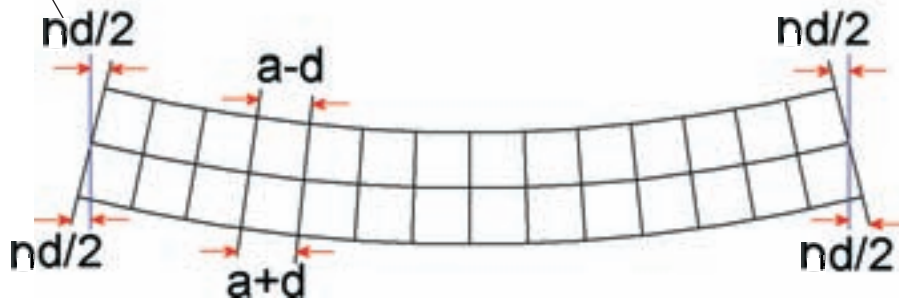
شکل ۱-۵- تیر تمت فمش

اگر پسر بچه‌ای در وسط الوار بایستد، دو انتهای الوار به طرف بالا حرکت می‌کند، در حالی که قسمتی از الوار که بین دو سنگ است به سمت پایین می‌رود. منحنی‌ای که از الوار بین دو سنگ ایجاد می‌شود قسمتی از کمان یک دایره است. با ترسیم خطهای عمودی به فواصل مساوی (a) بر کناره‌ی الوار صاف و تقسیم آن به n قسمت

مساوی مشاهده می‌شود که در هنگام خم شدن الوار چوبی فواصل خطوط در بالا کمتر و در پایین بیشتر خواهد شد. هر تیر را می‌توان متشکل از تارهایی به موازات محور طولی تیر فرض کرد که در ارتفاع نیز بر روی هم قرار گرفته‌اند، مشاهده‌ی حاصل از کاهش فواصل خطهای عمودی در بالا و افزایش آن در پایین نشان می‌دهد که تارهای بالایی کوتاه‌تر و تارهای پایینی بلندتر شده‌اند. در حالیکه تار میانی به همان اندازه‌ی سابق باقی مانده است که به تار (۱) است.



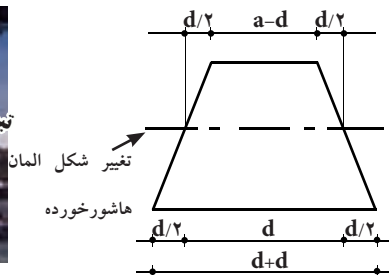
تغییر شکل کل تیر از هر دو طرف



شکل ۲-۵- میزان تغییر شکل اجزا تیر در فمش



نمونه‌ای از تیر در سازه یک پل فولادی



تغییر شکل المان  
هاشور خورده



تیرهای اصلی و فرعی یک ساختمان فولادی

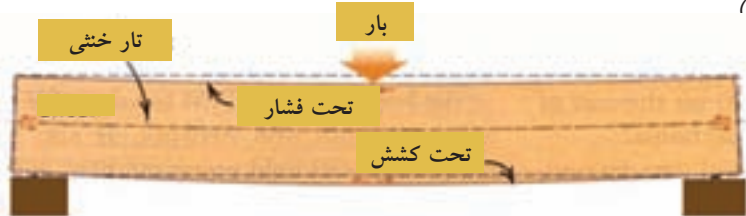
شکل ۳-۵- نمونه‌هایی از تیر در سازه‌های فولادی



شکل ۵-۵- آزمایش فمش تیر

بدین ترتیب می‌توان گفت در هنگام خمش که تغییر شکل تیر به سمت پائین است تارهای بالا تحت فشار و تارهای پایین تحت کشش قرار می‌گیرند. به تار میانی که در اثر خمش تغییر طول نداشته تار خنثی گفته می‌شود. ( شکل

۴-۵)



شکل ۵-۴- تغییر شکل تارهای تیر تحت فمش

در اثر تغییر شکل‌های ایجاد شده در تارهای تیر که ناشی از تنش‌های خمشی است، وزن پسرپچه به دو سنگی که الوار بر روی آن‌ها متکی است، انتقال داده می‌شود.

با در نظر گرفتن مقاومت فشاری اکثر مصالح ساختمانی، به طور نسبی آسان‌تر است که بارها را به صورت عمودی به زمین انتقال دهیم اما مشکل اساسی در عملکرد سازه‌ای، انتقال افقی بارهای عمودی به منظور پوشاندن دهانه بین دو تکیه‌گاه است. بدین ترتیب مشخص می‌شود که خمش از اهمیت ویژه‌ای به عنوان یک ساز و کار سازه‌ای برخوردار است.

یک مصالح ساختمانی در صورتی از نظر خمش مناسب می‌باشد که عملاً مقاومت کششی و فشاری یکسان داشته باشد. این اصل بیانگر مزیت چوب در میان مصالح سازه‌ای طبیعی و نقش بی‌رقیب و همیشگی فولاد در سازه‌های جدید است. بتن مسلح یک ماده ساختمانی ساخت بشر است که ویژگی‌های خمشی قابل مقایسه با فولاد دارد. در این مصالح از مقاومت فشاری بتن در تارهای فشاری و از مقاومت کششی فولاد در تارهای کششی یک عضو سازه‌ای استفاده می‌شود.



علل تخریب: حذف تیر آهن و استفاده از نشی به جای آن

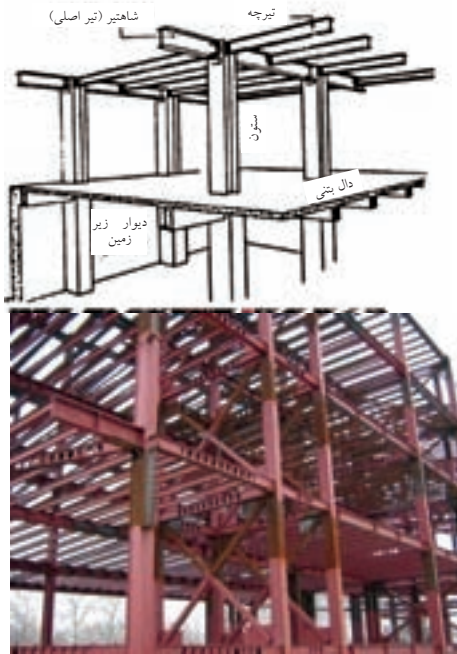
بیشتر بدانیم



علل تخریب: حذف ستون‌های جانبی و اجرای دیوار باربر به جای آن و حذف کلاف بندها

## ۵-۲- تعریف تیر

تیرها قطعات سازه‌ای هستند که در سازه عموماً بصورت اعضای افقی یا شیب‌دار قرار گرفته و بارهای قائم بر محور خود را به تکیه‌گاه‌ها که معمولاً ستون‌ها هستند، منتقل می‌کنند. در اثر این بارها، در لایه‌های مختلف تیر تنش کششی و فشاری ایجاد می‌شود.



انواع تیر در سافتمان‌های معمولی

## ۵-۲-۱- انواع تیرها در سازه‌های فولادی

تیر در سازه ساختمان برحسب وظیفه‌ای که برعهده دارد، به صورت زیر نامگذاری می‌گردد: (شکل ۵-۶)

۱- شاهتیر یا تیر اصلی (Girder): عضو باربر اصلی در سقف می‌باشد که بارهای وارد از تیرچه‌ها را به ستون‌ها انتقال می‌دهد.

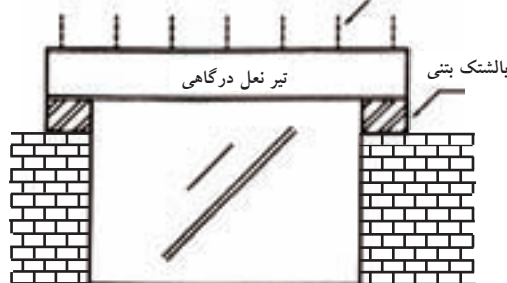
۲- تیرچه یا تیر فرعی (Joist): تیر سبکی می‌باشد که بار سقف را به شاه‌تیرها انتقال می‌دهد.

۳- نعل درگاهی (Lintel): تیری است که در بالای بازشوهای ساختمان، نظیر در و یا پنجره، قرار داده می‌شود.

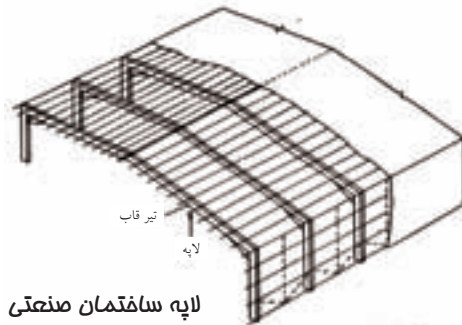
۴- تیرهای لبه‌ای یا کناری (Spandrel): تیرهایی هستند که در پیرامون ساختمان قرار دارند و علاوه بر بار سقف، بار دیوارهای پیرامونی ساختمان را نیز تحمل می‌کنند و نقش کلاف‌بندی ساختمان را نیز ایفا می‌کنند.

۵- لایه (Purlin): تیر سبکی از نیم‌رخ Z یا I که از آن برای حمل بار پوشش‌های سبک در ساختمان‌های صنعتی استفاده می‌شود.

شاخک U جوش شده به تیر نعل درگاه



تیر نعل درگاهی



لایه سافتمان صنعتی

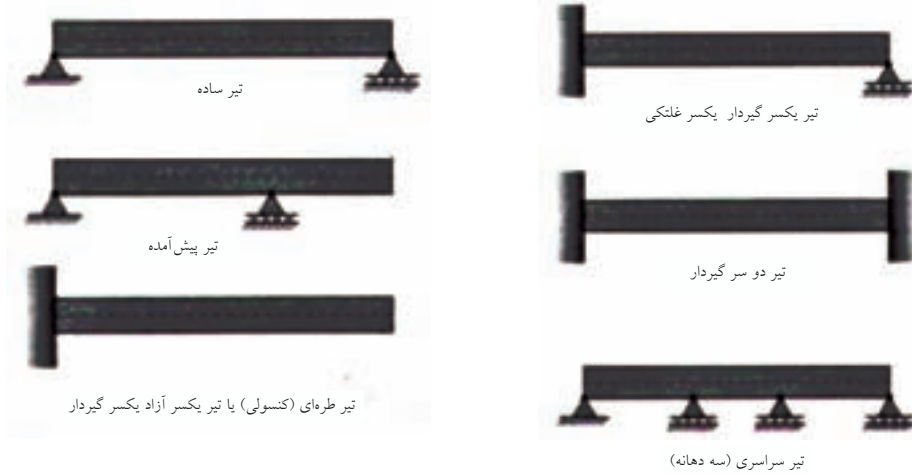
شکل ۵-۶- انواع تیرها در سازه‌های فولادی

## ۵-۲-۲- تیر از نظر شرایط تکیه‌گاهی

سه نوع تکیه‌گاه متداول برای تیرها عبارت‌اند از: تکیه‌گاه غلتکی، تکیه‌گاه مفصلی (پینی) و تکیه‌گاه ثابت. تکیه‌گاه غلتکی در مقابل حرکت در جهت عمود بر محور مقاومت می‌کند، در حالی که تکیه‌گاه مفصلی در مقابل حرکت تیر در هر جهتی مقابله می‌کند. هر دو تکیه‌گاه غلتکی و مفصلی در مقابل دوران و چرخش در محل تکیه‌گاه آزاد هستند. تکیه‌گاه ثابت از حرکت و دوران تیر در هر جهتی در محل تکیه‌گاه جلوگیری می‌کند. با این وصف تیرها را بر اساس شرایط تکیه‌گاهی می‌توان به صورت ساده، پیش‌آمده (تیر ساده‌ی طره‌دار)، طره‌ای، دو سر گیر دار و ممتد (سراسری)، دسته‌بندی کرد. تیر ساده، تیری است تک‌دهانه که تکیه‌گاه‌های آن در دو انتها یکی به صورت غلتکی و دیگری مفصلی باشد. به تیری با تکیه‌گاه‌های ساده که تکیه‌گاه‌های آن الزاماً در انتهای تیر



قرار نگرفته باشد، تیر پیش آمده گفته می‌شود. تیر طره‌ای به تیری گفته می‌شود که در یک انتها گیردار و در انتهای دیگر آزاد باشد. تیری که در دو انتهای خود گیردار و غیر آزاد باشد، تیر دو سر گیردار نام دارد. به تیر با بیش از دو تکیه گاه ساده، تیر ممتد یا سراسری گفته می‌شود. در شکل ۵-۷ انواع تیرها از نظر شرایط تکیه‌گاهی نشان داده شده است.



شکل ۵-۷- انواع تیر از نظر شرایط تکیه‌گاهی

### ۵-۲-۳- بارهای وارد بر تیر

تیرها بسته به محلی که در آن به کار گرفته می‌شوند، تحت تاثیر بارهای مختلفی قرار می‌گیرند که این بارها به صورت متمرکز، گسترده‌ی یکنواخت، گسترده‌ی غیر یکنواخت (خطی) و یا ترکیبی از آن‌ها می‌باشند.

بار متمرکز	
بار گسترده یکنواخت	
بار گسترده جزئی	
بار گسترده غیر یکنواخت	
بار گسترده ذوزنقه	

### بیشتر بدانیم

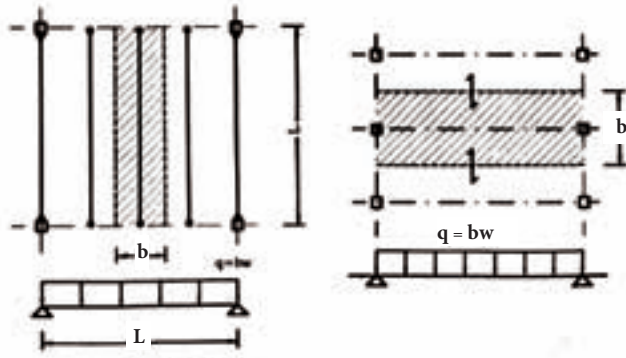


در این شکل فاصله‌ی بین عایق کاری رطوبتی ( قیرگونی) تا انتهای تیر سقف حدود ۵۰ سانتیمتر اندازه گیری شده است. که حدود دو برابر مقدار متداول در ساختمان‌های مسکونی می‌باشد. این مسئله باعث افزایش جرم ساختمان و در نتیجه افزایش نیروی وارده به این سازه تحت اثر زمین لرزه می‌شود و به دلیل این که این افزایش جرم در راستای افزایش مقاومت نیست، لذا آسیب پذیری بنا را در برابر زمین لرزه افزایش می‌دهد.



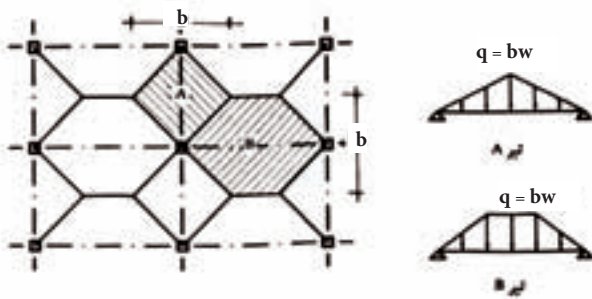
### ۵-۲-۴- سطح بارگیر تیرها

سهم هر تیر از بار سقف، مقدار باری است که در سطح بارگیر آن تیر وارد می‌شود. در شکل ۵-۸ سطح بارگیر تیرها نشان داده شده است. اگر نسبت طول به عرض دال سقف بزرگتر از ۲ باشد دال موردنظر را دال یکطرفه گویند در غیر اینصورت دال مورد نظر را دوطرفه گویند. در شاهتیرها برحسب اینکه شاهتیر بار را از دال یکطرفه و یا دوطرفه بگیرد، وضعیت فرق می‌کند. در صورتی که شاهتیر بار را از دال یکطرفه بگیرد، عرض بارگیر آن وسط به وسط دو دهانه مجاور است. در صورتی که شاهتیرها بار را از دال دوطرفه بگیرند، سطح بارگیر آنها از ترسیم نیمساز گوشه‌ها به دست می‌آید و در نتیجه بار وارد بر شاه‌تیر به صورت مثلثی یا دوزنقه خواهد بود.



الف - سطح بارگیر تیرچه‌ها  
W = وزن واحد سطح

ب - سطح بارگیر شاهتیرها - شاهتیر بار را از دال یکطرفه می‌گیرد



ب - سطح بارگیر شاهتیرها - شاهتیر بار را از دال دوطرفه می‌گیرد

### شکل ۵-۸- سطح بارگیر تیرها

دال‌هایی نظیر طاق ضربی و تیرچه بلوک و دال‌های کامپوزیت (مکب) رفتار یکطرفه دارند و دال‌های بتن مسلح عموماً رفتار دوطرفه دارند. (شکل ۵-۹)



سقف دال کامپوزیت با رفتار یکطرفه



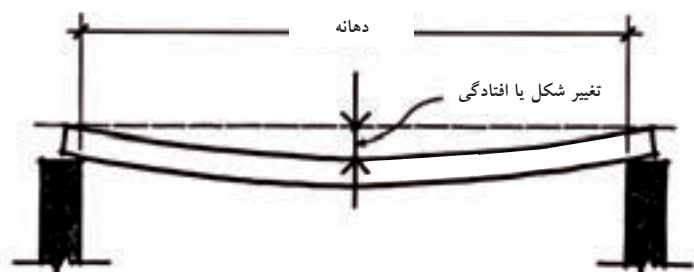
سقف تیرچه بلوک با رفتار یکطرفه



شکل ۵-۹- انواع دال‌های یکطرفه

۱- دال‌های کامپوزیت، دال‌های بتنی هستند که بر روی تیرچه‌های فلزی قرار دارند و بار سقف را توسط این تیرچه‌ها به شاهتیر منتقل می‌کنند. از این نوع دال در سازه‌های فولادی استفاده می‌شود.

### ۵-۲-۵- افتادگی (تغییر شکل)

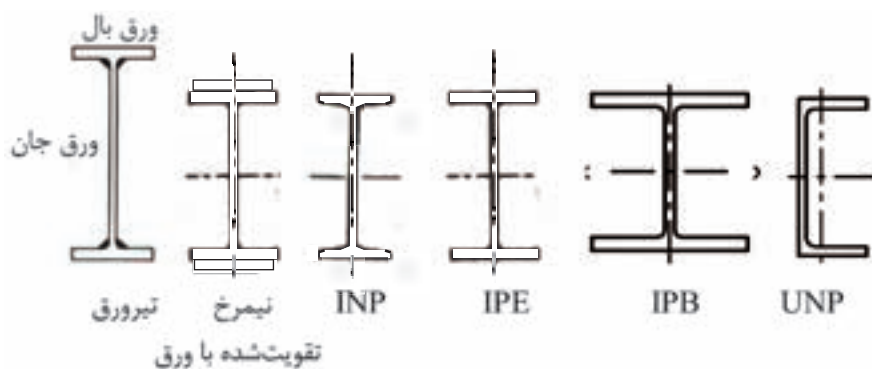


شکل ۵-۱۰- افتادگی تیر

تیرها تحت بارهای وارده بصورت شکم داده درمی آیند که به این پدیده، تغییر شکل یا افتادگی تیر می گویند (شکل ۵-۱۰). در صورتی که بار از حدی فراتر نرود، بعد از باربرداری، تیر به وضعیت اولیه درمی آید. این رفتار تیرها، رفتار ارتجاعی نامیده می شود.

### ۵-۲-۶- نیمرخ های مناسب برای تیرها

بدیهی است مقاطعی از نظر خمشی اقتصادی می باشند که به ازای ظرفیت خمشی مساوی، سطح مقطع و در نتیجه وزن واحد طول کمتری داشته باشند. نیمرخ های نورد شده از نوع IPB، INP، IPE و حتی UNP



جزء کاراترین نیمرخها برای خمش می باشند (شکل ۵-۱۱). وقتی که مقاومت مقاطع نورد شده در مقابل لنگر خمشی موجود کمتر باشد، آن ها را با اضافه نمودن اجزای بیشتر بر روی بالها مانند تسمه یا ورق، تقویت می کنند (شکل ۵-۱۱).

شکل ۵-۱۱- مقاطع متعارف مورد استفاده در تیرها



### بیشتر بدانیم

عدم اتصال تیرچه ها به تیر اصلی منجر به جدا شدن آنها و تخریب سقف در اثر زلزله شده است.

اگر مقاطع تقویت شده برای بار و دهانه مورد نظر کافی نباشند، از تیرورق استفاده می شود که از دو ورق بال و یک ورق جان که بوسیله جوش بهم متصل می شوند، تشکیل می شود و به صورت نیمرخ I در می آیند.

نمره تیرهای ساخته شده از نیمرخ های نورد شده بیانگر ارتفاع مقطع تیر بر حسب میلی متر است؛ مثلاً IPE ۲۰۰ نیمرخ IPE با ارتفاع ۲۰۰ میلی متر می باشد. مشخصات هندسی نیمرخ ها در جداول اشتال وجود دارد که یک نمونه آن در شکل ۵-۱۲ ارائه شده است. مشخصات مهم ابعادی و هندسی مقطع نظیر سطح مقطع، ممان اینرسی، اساس مقطع، شعاع ژیراسیون<sup>۱</sup> و وزن واحد طول پروفیل برای هر مقطع فولاد نورد شده در اندازه های مختلف ارائه شده است.



ردیف I PE

اندازه استاندارد برای	اندازه بر حسب میلی متر						A cm <sup>2</sup>	G kg/m	برای محور خمش											
	h	b	s	r	c	h-2c			xx			yy								
									S <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>x</sub> cm	S <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	r <sub>y</sub> cm						
I PE																				
80	80	46	3.8	5.2	5	10.2	59	7.84	6.00	80.1	20.0	3.24	8.49	3.69	1.06					
100	100	55	4.1	5.7	7	12.7	74	10.3	8.10	171	34.2	4.07	15.9	5.79	1.24					
120	120	64	4.4	6.3	7	13.3	93	13.2	10.4	318	53.0	4.90	27.7	8.65	1.45					
140	140	73	4.7	6.9	7	13.9	112	16.4	12.9	541	77.3	5.74	44.9	12.3	1.65					
160	160	82	5.0	7.4	9	16.4	127	20.1	15.8	889	109	6.58	68.3	16.7	1.84					
180	180	91	5.3	8.0	9	17.0	146	23.9	18.8	1320	146	7.42	101	22.2	2.05					
200	200	100	5.6	8.5	12	20.5	159	28.5	22.4	1940	194	8.28	142	28.5	2.24					
220	220	110	5.9	9.2	12	21.2	177	33.4	26.2	2770	252	9.11	205	37.3	2.48					
240	240	120	6.2	9.8	15	24.8	190	39.1	30.7	3890	324	9.97	284	47.3	2.69					
270	270	135	6.6	10.2	15	25.2	219	45.9	36.1	5790	429	11.2	420	62.2	3.02					
300	300	150	7.1	10.7	15	25.7	248	53.8	42.2	8360	557	12.5	604	80.5	3.35					
330	330	160	7.5	11.5	18	29.5	271	62.6	49.1	11770	713	13.7	788	96.5	3.55					
360	360	170	8.0	12.7	18	30.7	296	72.7	57.1	16270	904	15.0	1040	123	3.79					
400	400	180	8.6	13.5	21	34.5	331	84.5	66.3	23130	1160	16.5	1320	148	3.95					
450	450	190	9.4	14.6	21	35.8	378	98.8	77.6	33740	1500	18.5	1680	176	4.12					
500	500	200	10.2	16.0	21	37.0	426	116	90.7	48200	1930	20.4	2140	214	4.31					
550	550	210	11.1	17.2	24	41.2	487	134	106	67120	2440	22.3	2670	254	4.45					
600	600	220	12.0	18.0	24	43.0	514	156	122	92080	3070	24.3	3390	308	4.66					



شکل ۵-۱۲- نمونه ای از جدول مشخصات تیرهای با مقطع IPE در جدول اشتال

کتاب جدول پروفیل های اشتال



۱- این مفاهیم در درس ایستایی مورد بحث قرار گرفته اند.



### ۳-۵- شاهتیرها یا تیرهای اصلی (Girder)

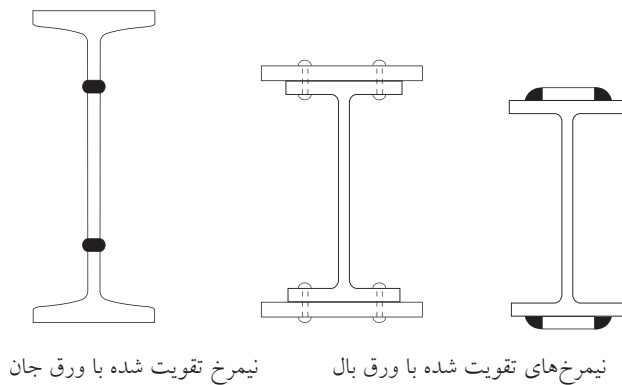
شاهتیرها اعضای فلزی افقی اصلی هستند که با اتصالات لازم به ستون‌ها متصل می‌شوند و به وسیله آن‌ها بار طبقات به ستون‌ها انتقال می‌یابد. شاهتیرهای فلزی ممکن است به صورت‌های زیر به کار روند:

الف) تیر آهن معمولی به صورت تک یا جفت

ب) تیر آهن بال پهن

پ) تیر آهن معمولی با ورق تقویتی روی بال‌ها و یا جان

تیری که از تقویت بال پروفیل نورد شده استاندارد با ورق به روش جوشی یا پیچی ساخته می‌شود، تیر آهن معمولی با ورق تقویتی روی بال نامیده می‌شود. همچنین می‌توان با بریدن پروفیل‌های رایج (IPE) از وسط جان تیر و اتصال صفحه و ورق مناسب به دو قسمت بریده شده، تیر را تقویت کرد. این روش برای پروفیل‌های نمره ۲۰ به بالا اقتصادی خواهد بود. (شکل ۵-۱۳ و ۵-۱۴)



نیمرخ تقویت شده با ورق جان

نیمرخ‌های تقویت شده با ورق بال

شکل ۵-۱۴- انواع تیرهای تقویت شده با ورق



شکل ۵-۱۳- جوش‌کار در حال جوش‌کاری ورق تقویتی نیمرخ استاندارد تقویت شده

**بیش‌تر بدانیم**

برای نیمرخ‌های ساخته شده از ورق  
حد اکثر رواداری مجاز برای ارتفاع  
و عرض نیز ۲ میلی متر می‌باشد.

$H+2mm$   
 $B+2mm$

۱- تنش مجاز خمشی فولادهای نمره St 37 حدود  $Kg/cm^2$  ۱۴۴۰ است.



## ت) تیرورق (Plate Girder):

ورق‌های ضخیم را نمی‌توان با فرم دادن به شکل نیمرخ درآورد. در چنین حالاتی ورق‌های بال و جان را در عرض‌های مورد نظر بریده و توسط جوش به یکدیگر متصل می‌کنند تا نیمرخ دلخواه حاصل گردد. به چنین مقطعی، تیرورق گفته می‌شود. (شکل ۵-۱۵)



شکل ۵-۱۵- شاهتیرهای ساخته شده از تیر ورق

## ۴-۵- تیرچه‌ها یا تیرهای فرعی (joists):

تیرچه‌ها اعضای افقی فرعی هستند که به شاهتیرها متصل شده و بار سقف را به شاهتیرها منتقل می‌کنند. در صورتیکه سقف ساختمان از نوع طاق ضربی و یا مرکب (کامپوزیت) باشد، لازمست تیرچه‌ها به فواصل ۱ تا ۱/۵ متر در حد فاصل شاهتیرها انداخته شود. (شکل ۵-۱۶)

تیرچه‌ها عموماً از نیمرخ‌های نورد شده‌ی سبک IPE یا INP یا به صورت لانه‌زنبوری ساخته می‌شوند.



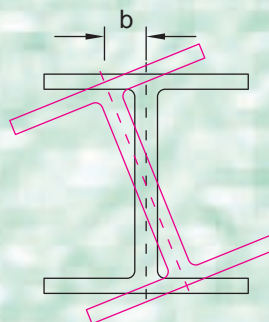
نمونه قرارگرفتن تیرچه‌ها در طاق ضربی



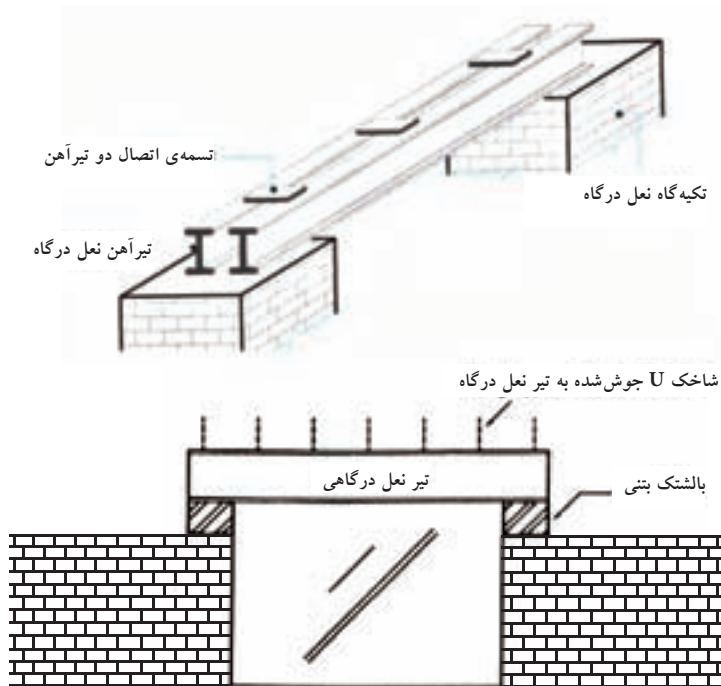
نصاب اسکلت در حال نصب تیرچه‌ها در سقف کامپوزیت

شکل ۵-۱۶- استفاده از تیرچه‌ها در سازه‌ی فولادی

## پیش‌تر بدانیم



برای تیرهای ساخته شده از ورق پیچیدگی تیر به کمک شاقول بایستی اندازه‌گیری شود و مقدار آن ( $b$ ) از ۳ میلی‌متر تجاوز نکند.



شکل ۵-۱۷- مزئیات اتکا و انسجام تیر نعل درگاهی

### ۵-۵- تیرهای نعل درگاهی (Lintel):

در صورت وجود بازشو در دیوار به منظور تعبیه‌ی در و پنجره، لازم است برای حفظ ایستایی دیوار آجری فوقانی، تیری در بالای بازشو قرار گیرد. (شکل ۵-۱۸) که به آن تیر نعل درگاهی (Lintel) گویند. حداقل اتکای تیر نعل درگاهی در دو تکیه‌گاه کناری ۲۰ سانتیمتر می‌باشد و لازم است بالشتک بتنی نیز در نقاط تکیه‌گاهی تعبیه گردد. برای حفظ انسجام دیوار در هنگام زلزله، از شاخک‌های منسجم کننده تیر نعل درگاهی به دیوار استفاده می‌شود (شکل ۵-۱۷).



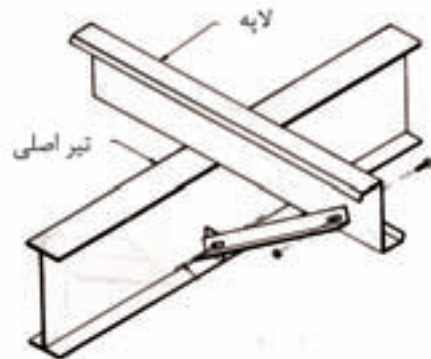
ساختمان فولادی در حال احداث به علت طرح و اجرای صحیح، در زلزله بم پایداری خود را حفظ کرده است.

### ۵-۶- تیرهای لبه‌ای یا کناری (Spandrel):

تیرهایی هستند که در پیرامون ساختمان قرار داشته و علاوه بر بار سقف، بار دیوارهای پیرامونی ساختمان را نیز تحمل می‌کنند.

### ۵-۷- لایه (Purlin):

تیر سبکی از نیمرخ Z و یا (UNP) که از آن برای حمل بار پوشش‌های سبک در ساختمان‌های صنعتی (سقف‌های شیب‌دار) استفاده می‌شود. (شکل ۵-۱۸ و ۵-۱۹)



شکل ۵-۱۸- نمونه قرارگیری لایه در یک سازه صنعتی



شکل ۵-۱۹- لایه جهت نصب پوشش در ساختمان صنعتی



### ۵-۸- تیرهای لانه زنبوری

دلیل نامگذاری تیرهای لانه زنبوری، شکل این تیرها پس از عملیات ساخت آن‌هاست. همان‌طور که در شکل ۵-۲۰ دیده می‌شود. این‌گونه تیرها در طول خود دارای حفره‌های توخالی (درجان) هستند که به لانه‌ی زنبور شبیه است؛ به همین سبب، به این تیرها تیر لانه‌زنبوری می‌گویند.



### ۵-۸-۱- هدف از ساخت تیر لانه‌زنبوری

هدف از ساخت این نوع تیر این است که بتواند ممان خمشی بیشتری را با خیز (تغییر شکل) نسبتاً کم، و وزن کمتر در مقایسه با تیر نورد شده‌ی مشابه تحمل کند؛ برای مثال، ارتفاع پروفیل IPE ۱۸۰ را که ۱۸ سانتی‌متر ارتفاع دارد، می‌توان تا ۲۷ سانتی‌متر افزایش داد.

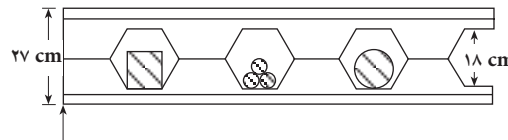
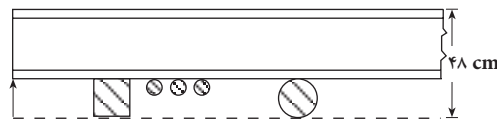


### ۵-۸-۲- محاسن و معایب تیر لانه‌زنبوری

با تبدیل تیر آهن معمولی به تیر لانه‌زنبوری، مقاومت خمشی مقطع تیر افزایش می‌یابد. در نتیجه، تیر حاصل شده با ارتفاع بیشتر، قویتر و هم‌وزن تیر اصلی خواهد شد. همچنین با کم شدن وزن مصالح و سبک شدن تیر، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. علاوه بر این از فضاهای ایجاد شده (حفره‌ها) در جان تیر می‌توان لوله‌های تأسیساتی و برق را عبور داد. (شکل ۵-۲۱)



شکل ۵-۲۰- سافت تیرهای لانه زنبوری و نصب آن‌ها



شکل ۵-۲۱- عبور لوله‌های تأسیساتی و برق از حفره‌های جان تیر لانه زنبوری

در ساخت تیر لانه‌زنبوری که منجر به افزایش ارتفاع تیر می‌شود، باید استاندارد کاملاً رعایت گردد؛ در غیر این صورت، خطر خراب شدن تیر زیر بار وارد شده حتمی است.



از جمله معایب تیر لانه‌زنبوری، وجود حفره‌های آن است که نمی‌تواند تنشهای برشی را در محل تکیه‌گاه تیر به ستون و یا اتصال تیر آهن تودلی (تیر فرعی) به تیر لانه‌زنبوری تحمل کند؛ بنابراین، برای رفع این نقص، اقدام به پرکردن بعضی حفره‌ها با ورق فلزی و جوش می‌کند تا اتصال بعدی تیر به ستون یا تیر فرعی به پل به درستی انجام شود. (شکل ۵-۲۲)



دستگاه برش



نمونه برش تیر آهن



جوشکاری کامل دوطرف تیر لانه‌زنبوری

شکل ۵-۲۲- مراحل ساخت تیر لانه‌زنبوری

### ۵-۸-۳- روش‌های مختلف برش تیر آهن

۱- برش به روش کوپال: با استفاده از دستگاه قطع کن سنگین که به گیوتین مخصوص مجهز است، تیر آهن به شکل سرد در امتداد خط منکسر قطع می‌شود.  
 ۲- برش به روش برنول: برش در این حالت به صورت گرم انجام می‌گیرد؛ به این صورت که کارگر ماهر برش را با شعله بنفش رنگ قوی حاصل از گاز استیلن و اکسیژن، به وسیله لوله برنول، انجام می‌دهد. بریدن تیرهای سبک به وسیله ماشین‌های برش اکسیژن شابلن‌دار نسبتاً ساده است. در ایران تیرهای لانه‌زنبوری را بیشتر با دست تهیه می‌کنند.

### ۵-۸-۴- روش ساخت تیر لانه‌زنبوری و تقویت آن

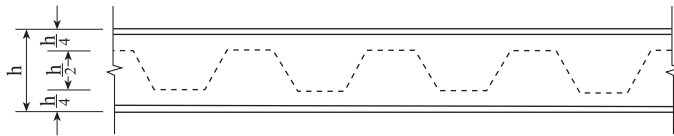
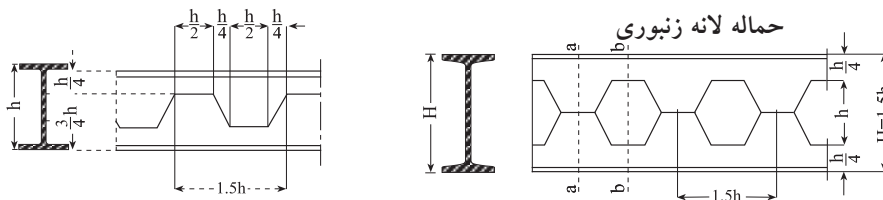
برای تهیه تیرهای لانه‌زنبوری، ابتدا در جان تیر آهن نورد شده با استفاده از الگو که به صورت نصف شش ضلعی از ورق آهن سفید یک میلیمتری (شابلن) با توجه به استاندارد ساخته شده علامت گذاری می‌شود؛ سپس تیر آهن را در نقاط مختلف آن برای جلوگیری از تاب برداشتن بر روی یک شاسی افقی با زدن تک خال جوش مستقر می‌کنند. آن‌گاه با استفاده از دستگاه برش گرمایی (برنول) در امتداد خط منکسر اقدام به برش می‌کنند تا پروفیل به دو قسمت ۱ و ۲ (شکل ۵-۲۲ و ۵-۲۳) تقسیم شود.

حال باید قسمت ۱ را به اندازه یک دندانه جابجا کرده و دندانه‌های دو قسمت را با دقت مقابل هم قرار دهیم و از دو طرف، کارگر ماهر آن را جوشکاری کند. استفاده از جوش قوسی نیمه اتوماتیک برای اتصال دو

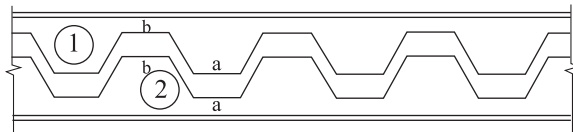


ادامه شکل ۵-۲۲- جوشکاری ممل اتصال دونیمه

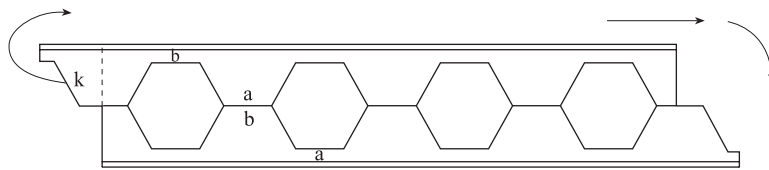
نیمه‌ی بریده شده، یک جوش خوب، بی‌عیب، سریع و مقرون به صرفه ایجاد خواهد کرد. همان‌طور که گفته شد، تیر ساخته شده در محل تکیه‌گاه با توجه به حفره‌های خالی آن در مقابل تنش‌های برشی ضعیف می‌شود. برای جبران این نقیصه، با توجه به منحنی نمایش نیروی برشی بایستی در محل ضعف، حفره‌ها با ورق‌های تقویتی پر شود. لازم به ذکر است که حداقل باید یک حفره در تکیه‌گاه با ورق به وسیله جوش کامل پر شود. (شکل ۵-۲۴)



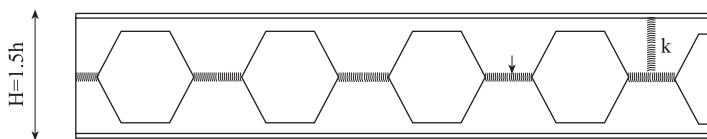
روش خط منکسر برای برش



برش و جدا سازی پروفیل



استقرار دو بدنه بر روی یکدیگر

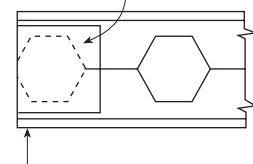


جوشکاری قطعات

شکل ۵-۲۳- روش ساخت تیر لانه زنبوری

ورق تقویت

کننده‌ی جان



شکل ۵-۲۴- تقویت جان

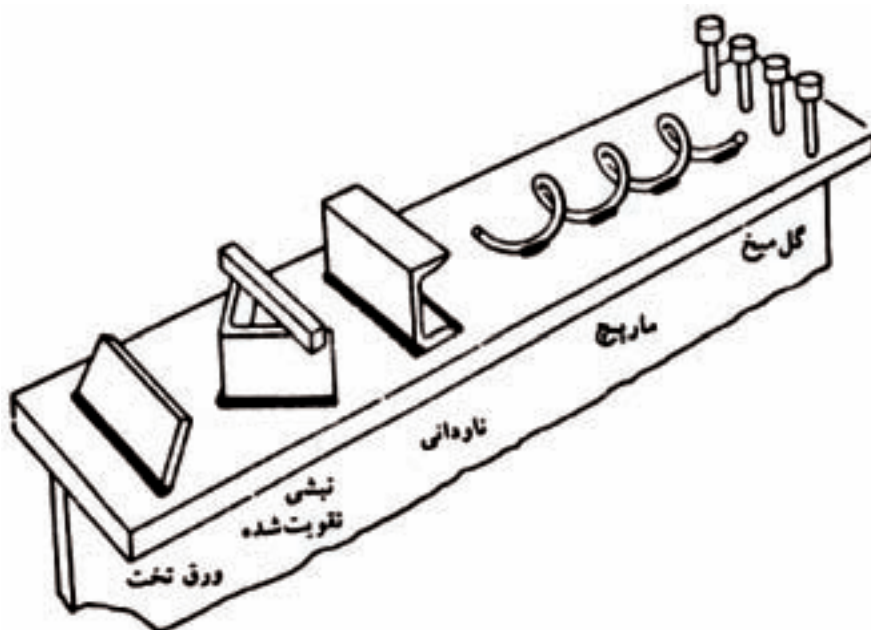
تیر لانه زنبوری

### ۵-۹- دال‌های مرکب (کامپوزیت)

با استفاده از اتصالات برشی مناسب می‌توان پوشش‌های بتنی را به بال فوقانی تیرها و شاهتیرهای فلزی یکپارچه نمود. این عمل موجب می‌شود که پوشش بتنی با تیر فولادی تشکیل تیر مرکبی بدهد که دارای سختی و مقاومت خمشی بیشتری نسبت به تیر فولادی اولیه می‌باشد. در سقف‌های کامپوزیت، (شکل ۵-۲۵) پوشش بتنی جزئی از بال فشاری تیر شده، در نتیجه تار خنثی مقطع به طرف بالا حرکت کرده و ظرفیت کششی در زیر تار خنثی افزایش پیدا می‌کند. چنین طرحی، باعث کاهش سطح مقطع تیر فولادی و وزن واحد طول آن می‌شود و چون پوشش بتنی به منزله سقف ساختمان عمل می‌نماید، بنابراین تنها اتصالات برشی که جهت برقراری اتصال بتن و بال فوقانی تیر بکار می‌رود، مقداری مخارج اضافه ایجاد می‌کند. امروزه از اتصالات برشی گوناگونی استفاده می‌شود که تعدادی از آنها در شکل ۵-۲۶ نشان داده شده است.



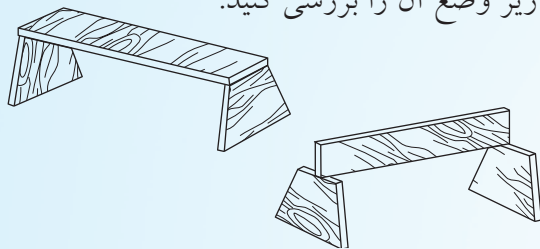
شکل ۵-۲۵- مراحل اجرای سقف کامپوزیت



شکل ۵-۲۶- انواع اتصالات برشی که روی بال فوقانی تیر جوش می‌شوند.

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

۱ - تخته‌ی چوبی نازکی را در نظر بگیرید و در دو حالت زیر وضع آن را بررسی کنید:



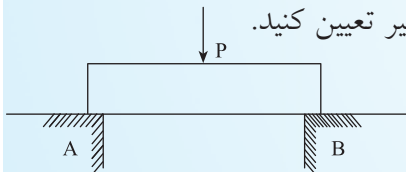
الف) در حالتی که تخته به صورت افقی قرار گیرد

ب) در حالتی که تخته بصورت عمودی قرار گیرد.

در کدام حالت خم کردن آن راحت‌تر است؟

۲ - به نظر شما دلیل لانه زنبوری کردن تیرهای فولادی چیست؟

۳ - قطعه‌ای اسفنج را مطابق شکل زیر روی دو تکیه‌گاه A و B قرار می‌دهیم و با دست نیرویی بر آن وارد می‌کنیم، ملاحظه می‌کنیم در قسمت بالای اسفنج سوراخ‌ها کوچک‌تر و در قسمت پایین سوراخ‌ها بزرگ‌تر می‌شوند. محل تأثیر نیروهای داخلی (کشش - فشار) را روی تیر تعیین کنید.



۴ - تیرهایی تهیه کنید که سطح مقطع آن‌ها مطابق شکل‌های زیر باشد. سپس هر یک را روی دو تکیه‌گاه A و B مطابق شکل پرسش ۳ با ارتفاع ثابت  $h$  قرار دهید و به آن‌ها بار وارد کنید. و نتیجه‌ی آزمایش را از نظر تحمل مقاومت خمشی و پایداری و مصرف مصالح با هم مقایسه نمایید.



۵ - به شاهتیرها و تیرچه‌های پوشش یک اسکلت فولادی نگاه کنید (با کمک معلم خود) و گزارش فنی در مورد مسائل اجرایی آن تهیه نمایید.

۶ - انواع تیر در سازه‌های فولادی را از نظر محل قرارگیری در سازه و از نظر شرایط تکیه‌گاهی بیان کنید؟

۷ - رفتار یک طرفه و دوطرفه در سقف به چه معناست؟ مثال بزنید؟

۸ - نیمرخ‌های مناسب برای تیرها را شرح دهید؟

۹ - اعضای افقی اصلی و فرعی ساختمان‌های فلزی چه نام دارند؟

۱۰ - مزایای استفاده از سقف کامپوزیت چیست؟

۱۱ - انواع تیرها در سازه‌های فلزی را نام ببرید.

۱۲ - دلیل استفاده از تیرهای لانه زنبوری را شرح دهید و محاسن و معایب آن را نام ببرید.

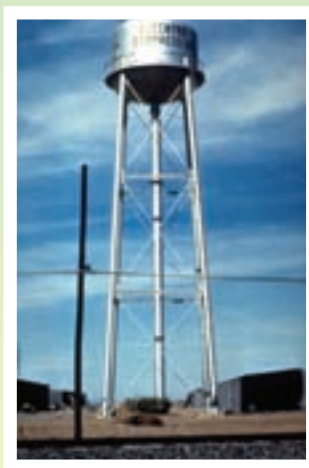
۱۳ - سطح بارگیر هر تیر را در سیستم‌های مختلف نمایش دهید.

۱۴ - تیرهای تقویت‌شده و مرکب (کامپوزیت) و دلیل استفاده از آن‌ها را شرح دهید.



# فصل ۶

## اعضای محوری



## هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- اعضای محوری را تعریف کند و نقش آنرا در سازه شرح دهد.
- ۲- انواع اعضای محوری فولادی را با ذکر مثال شرح دهد.
- ۳- نیمرخ‌های اعضای محوری را نام ببرد و علل استفاده از نیمرخ‌های مرکب در این اعضا را بیان کند.
- ۴- تاثیر لاغری در اعضای کششی را شرح دهد.

## ۱-۶- تعریف اعضای محوری

عضو محوری، عضوی را گویند که بتواند تنها نیروی محوری بصورت کششی یا فشاری موجود در دو انتهای خود را تحمل کند.



عضو محوری

اعضای محوری در سازه‌های متعددی مانند ساختمان‌های چندطبقه، پل‌های معلق، خرپاها و مخازن هوایی به عنوان اعضای اصلی تحمل کننده بار و اعضای فرعی مهار کننده جانبی به کار می‌روند تا پایداری سازه را تامین کنند.

اعضای محوری در قاب‌های فلزی ساختمان‌های چندطبقه به عنوان عضو قطری یا مهاربند برای تحمل بارهای جانبی ناشی از باد و زلزله و کنترل کننده حرکت جانبی قاب، در پل‌های معلق و کابلی ایستا به صورت آویز و در خرپاها و سازه‌های فضایی و منابع هوایی به عنوان اعضای باربر اصلی و فرعی استفاده می‌شوند. تصاویر شکل ۱-۶ و ۲-۶ کاربرد اعضای محوری را در چندین سازه مختلف به عنوان اعضای اصلی و فرعی نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶- مهاربندهای معمول مورد استفاده در سافتمان (اعضای فرعی)



ضعیف بودن عضو مهاربندی در کشش، منجر به گسیختگی آن در اثر اعمال نیروی کششی ناشی از زمین لرزه شده است و در نتیجه کارایی مهاربند از بین رفته و سازه دچار آسیب جدی شده است.

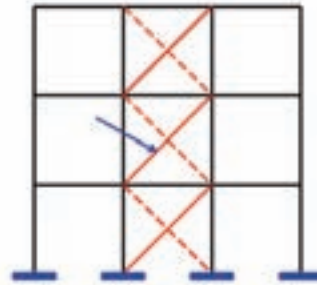
بیشتر بدانیم



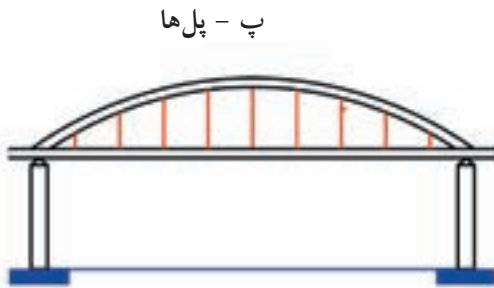
کمانش و شکست مهاربند در زلزله بم



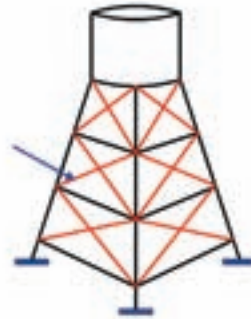
الف - خرپا



ب - مهاربندهای ساختمان



پ - پلها

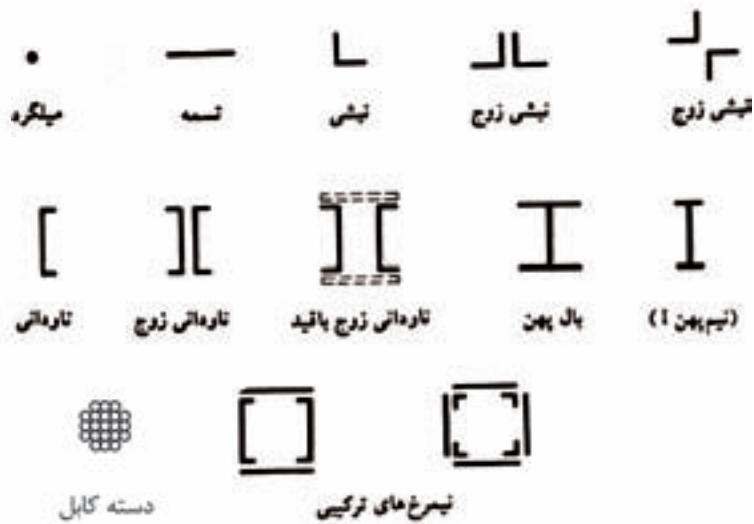


ت - مهاربندی سازه‌های خاص

شکل ۶-۲- نمونه‌هایی از کاربرد اعضای مموری در سازه‌های فولادی

### ۲-۶- مقاطع مورد استفاده برای اعضای محوری

به صورت خلاصه می‌توان اعضای محوری را از نظر سطح مقطع به چهار دسته زیر تقسیم کرد: (شکل ۶-۳)  
 ۱- سیم‌ها، مفتول‌ها، کابل‌های ساختمانی و طناب‌ها که اغلب با مقاومت‌های گسیختگی بسیار زیاد بوده و در ساخت مهاربندی دکل‌های بلند و پل‌های معلق به کار می‌روند. این اعضا باید در هنگام بهره‌برداری کاملاً کشیده شوند تا قادر به تحمل بار باشند، در غیر اینصورت تحت اثر وزن خود خمیده شده و قادر به باربری نخواهند بود.



شکل ۶-۳- شیرخ‌های مورد استفاده به عنوان عضو مهار بندی





عضو کششی به عنوان مهاربند قطری  
نمونه‌هایی از اعضای کششی در سازه‌های مختلف



عضو کششی به عنوان کابل اصلی و آویز



عضو کششی در فرپا



عضو کششی به عنوان آویز

۲- میلگردها، تسمه‌ها، نبشی‌ها و ناودانی‌های تک که به عنوان اعضای با نیروی محوری کم در سازه‌های مختلف به کار می‌روند.

۳- مقاطع نورد شده به صورت زوج نبشی، سپری، ناودانی و پروفیل‌های I شکل که معمولاً در مهاربند ساختمان و یا در ساخت خرپاها به عنوان اعضای اصلی به کار می‌روند، که علاوه بر نیروی کششی تحت نیروی فشاری نیز قرار می‌گیرند.

۴- مقاطع مرکب از نیمرخ‌های نورد شده و ورق که برای تحمل نیروهای بزرگ محوری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در اعضای محوری که تحت نیروی کششی هستند، پدیده ناپایداری به صورت کمانش کلی و موضعی در عضو پدید نمی‌آید، بنابراین انتقال نیرو در یک سازه فولادی به صورت کشش، بهترین نوع انتقال نیرو است. علاوه بر آن فولادهای با مقاومت بالا و کابل‌های چندرشته‌ای که دارای مقاومت گسیختگی زیاد هستند قادرند بدون وقوع ناپایداری، نیروهای کششی بسیار بزرگ را انتقال دهند. این مزیت در طراحی و ساخت پل‌های معلق و کابلی ایستا که کابل‌های با مقاومت بالا از اعضای تشکیل‌دهنده این نوع سازه‌ها هستند، به نحو چشمگیری مورد توجه و استفاده طراحان قرار گرفته است.

شکل ۴-۴- استفاده از اعضای محوری در سازه‌های مختلف

## بیشتر بدانیم



استفاده از مهاربندی ضعیف در یک جهت سازه که منجر به تغییر شکل زیاد سازه شده است



استفاده از میلگرد به جای مهاربند برای تحمل نیروهای جانبی ناشی از زمین لرزه



استفاده از مقاطع نامناسب در مهاربند ساختمان





تخریب مخزن هوایی در اثر زمین لرزه به دلیل لاغری زیاد تیرها و اعضای قطری

اجرای مهاربند در اطراف گنبد ساخته شده از خرابای فضایی



مهاربند های زیر عرشه ی پل برای مقاومت در برابر بارهای جانبی باد و زلزله



### ۳-۶- لاغری به عنوان معیار طراحی

اعضای کششی که لاغری<sup>۱</sup> آنها از حد مجاز تجاوز می‌نماید، تحت وزن خود شکم داده و حالت شل به خود می‌گیرند و علاوه بر اینکه آماده جذب نیروی کششی ناگهانی نمی‌باشند، در اثر نیروی باد ممکن است به لرزش درآیند. به همین دلیل لاغری اعضای کششی نباید از ۳۰۰ بزرگتر باشد.

در اعضای کششی لاغر مثل میلگردها، می‌توان آنها را پیش‌تینده نمود. در این راستا، میله‌مهاری را تحت مقداری کشش اولیه قرار می‌دهند. این کشش اولیه، اولاً شل‌شدگی میله‌مهاری را از بین برده و آنرا آماده جذب نیرو می‌نماید، ثانیاً بر سختی سازه می‌افزاید و از لرزش آن در مقابل نیروهای باد و زلزله جلوگیری می‌کند.



شکل ۶-۵- مهاربندی سافتمان

۱- مفهوم لاغری در فصل چهارم توضیح داده شده است



ضعف مقطع و اتصالات مهاربند باعث گردیده تا بادبند به طور کلی تخریب شود و اصلاً نتواند کارآیی خود را داشته باشد



تخریب کلی بادبند به جهت اتصالات نامناسب و انتخاب مقاطع ضعیف



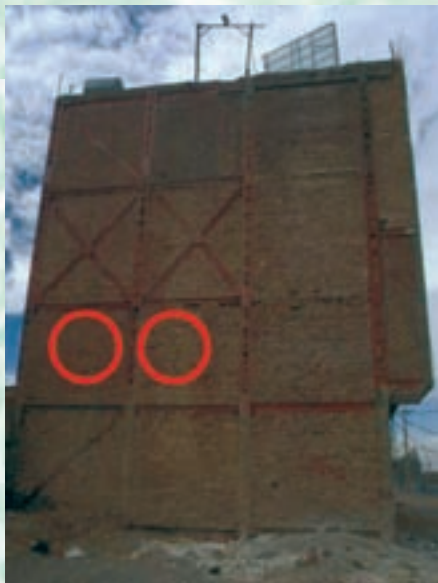
عدم طراحی فشاری منجر به کمائنش آن در زلزله شده است  
لاغری عضو مهاربند موجب کمائنش آن شده است



اتصال نامناسب ورق مهاربند به تیر و ستون عملکرد بادبند را مخدوش کرده است.



مهاربندی مناسب سقف که موجب پایداری سازه شده است و نیروی جانبی زلزله توسط این مهارها گرفته شده است.



نمونه‌ی اجرای نادرست مهاربندها در این سازه اجرا شده است، که در طبقه دوم مهاربند به طور کلی حذف شده است این سازه به دلیل فاصله زیاد تا مرکز زلزله بم دچار آسیب جدی نشده است و فقط در اجزای غیر سازه‌ای آن ترک و خرابی به وجود آمده است .





ضعف اعضا (ستون و مهاربند) در طبقات پایین و حذف مهاربند در طبقات منجر به تخریب سازه شده است



طبقه اول ساختمان، به دلیل سختی کمتر یا ضعف بیشتر در اتصالات، مانند یک طبقه نرم رفتار کرده و موجب تخریب در بخش‌های اعضای باربر مانند ستون‌ها



کمانش عضو مهاربندی که موازی و بدون اتصال به یکدیگر اجرا شده بودند، موجب شده تا ظرفیت نهایی مهاربند در تحمل نیروها تکمیل نگردد. این در حالی است که به راحتی می‌توان دو عضو مهاربند را با جوش دادن تسمه، میلگرد و یا ورق‌های

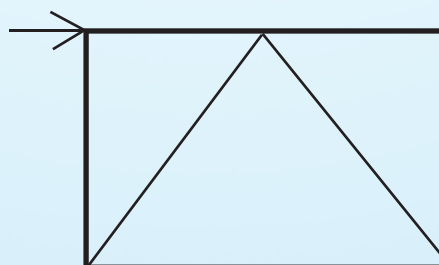
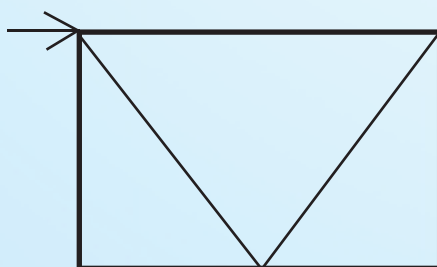


طرح و اجرای ناصحیح مهاربند، منجر به تخریب سازه شده است. مهاربندها باید منحصراً برای یک طبقه باشد.

استفاده از قطعات منفصل برای جبران کمبود طول مهاربند چند ضلعی، اتصال مهاربند را ضعیف کرده و از همان محل دچار گسیختگی شده است.

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

- ۱- در چه شرایطی در یک ساختمان مرتفع، ساختمان می‌تواند نیروهای عرضی را تحمل کند و از حالت شاقولی خارج نشود؟
- ۲- در چه شرایطی حالت تعادل در یک ساختمان پایدار نیست و سرانجام به خرابی آن منجر می‌شود؟
- ۳- مهاربندی را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۴- نیمرخ‌های مختلف که قطعات قطری بادبند را معمولاً از آن انتخاب می‌کنند، ترسیم نمایید (۷مورد)
- ۵- انواع مقاطع مورد استفاده در اعضای محوری را بیان کنید؟
- ۶- دلیل پیش‌تنیده نمودن بعضی از اعضای کششی چیست؟
- ۷- چگونگی ایجاد نیروی کششی و فشاری را در شکل‌های زیر رسم کنید؟



# فصل ۷

وسایل اتصال در سازه‌های فولادی

(پرچ، پیچ و جوش)





## هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

۱. معایب و محاسن پیچ و پرچ را بیان کند.
۲. روش کوبیدن پرچ را شرح دهد.
۳. انواع سوراخ‌ها در ورق اتصال را نام ببرد و هر یک را ترسیم نماید.
۴. سازوکار خرابی پیچ و پرچ را شرح دهد.
۵. جوشکاری را تعریف کند و انواع آن را نام ببرد و جوشکاری با قوس الکتریکی را شرح دهد.
۶. انواع الکترودها را از یکدیگر تشخیص دهد.
۷. انواع جوشکاری با قوس الکتریکی را شرح دهد.
۸. انواع اتصالات جوشی را از یکدیگر تشخیص دهد.
۹. کاربرد انواع مختلف جوش را شرح دهد.
۱۰. عوامل موثر در فرایند جوشکاری را نام ببرد.
۱۱. ماشین‌های مورد استفاده در جوش کاری دستی با الکتروود روکش‌دار را شرح دهد.
۱۲. نحوه‌ی استفاده‌ی صحیح از ابزار جوشکاری را بداند و نصب قطعات فلزی را شرح دهد.

## ۷-۱- تعریف

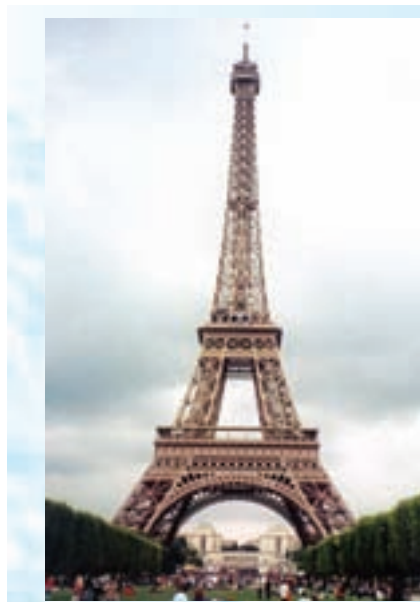
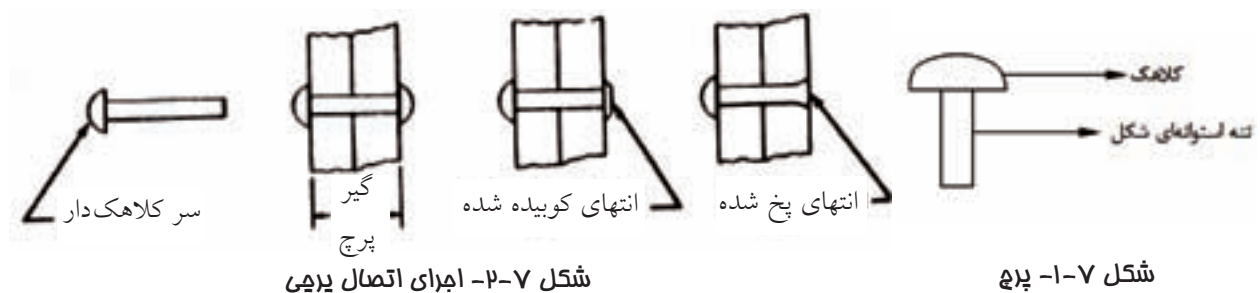
هر ساختمان فلزی ترکیبی از اعضای جدا از هم است که باید با روش‌های مناسبی به یکدیگر متصل شوند. در این فصل وسایلی که برای اتصال قطعات فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرند، شرح داده می‌شود.

## ۷-۲- وسایل اتصال

برای اتصال قطعات فولادی برحسب مورد از وسایل اتصال مختلف شامل پرچ، پیچ و جوش استفاده می‌شود که در این فصل به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

## ۷-۲-۱- پرچ

پرچ از قدیمی‌ترین وسایلی است که از آن برای اتصال اعضای سازه‌های فلزی استفاده می‌شود. یک پرچ کوبیده نشده مطابق شکل ۷-۱ از یک تنه استوانه‌ای کوچک که سر آن دارای کلاهک می‌باشد تشکیل شده است. پرچ‌ها معمولاً از فولاد معمولی ساخته می‌شوند. روش کوبیدن پرچ بدین ترتیب است که ابتدا آن را تا دمای سرخ شدن گرم می‌کنند، سپس آن را توسط انبر مخصوصی درون سوراخ اتصال قرار داده و با ثابت نگه داشتن سرکلاهک دار آن، سر دیگر را می‌کوبند تا به فرم کلاهک درآید و پرچ محکم گردد. در طی این مراحل تنه پرچ، به طور کامل سوراخی را که در آن فرورفته، پر می‌کند. (شکل ۷-۲)



## آیا می‌دانید که ...

در ساخت برج ایفل بیش از هجده هزار قطعه آهنی و دو میلیون و پانصد هزار میخ پرچ به کار رفته و پنجاه مهندس و ۱۳۲ کارگر بر روی آن کار کرده‌اند. این مهندسان تدابیر بسیاری اندیشیده‌اند تا نحوه خم کردن این میله‌های عمودی را بیابند و آن را به ارتفاع ۳۲۴ متری اش برسانند.



در حین سرد شدن، پرچ منقبض می شود که این انقباض باعث به وجود آمدن نیروی پیش تنیدگی در پرچ می شود. امروزه پرچ کاری به دلایل زیر از رونق افتاده است:

- ۱- پیشرفت فناوری جوشکاری
- ۲- تولید پیچ های پرمقاومت
- ۳- احتیاج به نیروی انسانی زیاد و ماهر برای پرچ کاری
- ۴- احتیاج به نظارت دقیق
- ۵- تولید سروصدای زیاد در هنگام کوبیدن و خطر آتش سوزی در کارگاه

### رفتار اتصالات پرچی

رفتار اتصالات پرچی به گونه ای است که با سرد شدن پرچ، در آن تمایل به کاهش طول پیدا می شود. اما تماس بین کلاهک پرچ با صفحه اتصال، با این تمایل مخالفت می کند که این موضوع باعث به وجود آمدن یک نیروی کششی در پرچ می شود که به آن نیروی پیش تنیدگی می گویند و در اثر این نیروی کششی صفحات اتصال به همدیگر فشرده می شوند. نیروی اصطکاک بین دو ورق از لغزش آن ها بر روی هم جلوگیری می کند. اما از آنجایی که در پرچ کاری مقدار نیروی پیش کشیدگی در پرچ بسته به وضعیت پرچ کاری بسیار متغیر است، نیروی اصطکاک هم وضعیت تثبیت شده ای نخواهد داشت.



### ۷-۲-۲- پیچ

یک اتصال پیچی از نظر اجرایی، سریعتر و عملی تر از سایر اتصالات است و با توجه به سرعت و آسانی اجرا بر دیگر اتصالات برتری دارد. اجزای تشکیل دهنده هر اتصال پیچی شامل سرپیچ، تنه پیچ، واشر و مهره است. (شکل ۷-۴)

### ۷-۲-۲-۱- انواع پیچ

انواع پیچ با توجه به جنس مصالح آن عبارتند از:

#### نمونه ای از پیچ پرمقاومت

### ۱- پیچ های معمولی

پیچ های معمولی که از آن ها فقط در اتصالات اتکایی استفاده می گردد، از فولاد با تنش نهایی  $F_u$  از ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع ساخته می شود.

این نوع پیچ، ارزان ترین نوع پیچ است، اما معلوم نیست اتصالاتی که با آن ساخته می شود، ارزان ترین باشد؛ زیرا به علت پایین بودن مقاومت، تعداد آن نسبت به پیچ های پرمقاومت بیشتر است. این نوع پیچ ها در ساختمان سازی سبک، اعضای مهاربندها و اعضای درجه دوم، خرپاهای کوچک، لایه ها و کلیه اعضای که بار وارد بر آن ها سبک و استاتیکی می باشد، و همچنین در عملیات مونتاژ مورد استفاده قرار می گیرند.





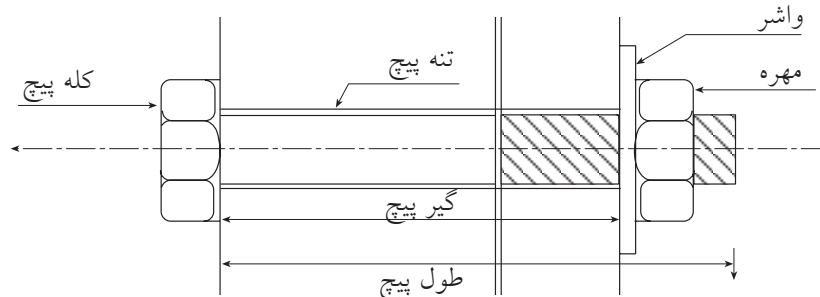
## ۲- پیچ‌های پرمقاومت

پیچ‌های پرمقاومت که از آن‌ها در اتصالات اتکایی و اصطکاکی استفاده می‌شود، از فولادهای پرمقاومت با مقاومت نهایی ۸۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع ساخته می‌شوند.

قطر پیچ‌های پرمقاومت بین ۱۲ تا ۳۸ میلی‌متر می‌باشد که استفاده از قطرهای ۲۰ و ۲۲ میلی‌تر در ساختمان‌سازی معمول‌تر است.

مشخصه مهم پیچ‌های پرمقاومت در این است که با سفت کردن معین مهره‌های آن‌ها، یک نیروی پیش‌تندگی در آن‌ها ایجاد می‌شود.

شکل ۷-۳- استفاده از پیچ‌های پرمقاومت در اتصالات



شکل ۷-۴- اجزای اتصال پیچی

## ۷-۲-۲-۲- انواع سوراخ در ورق اتصال

انواع سوراخ مورد استفاده در اتصال پرچی و پیچی عبارتند از:

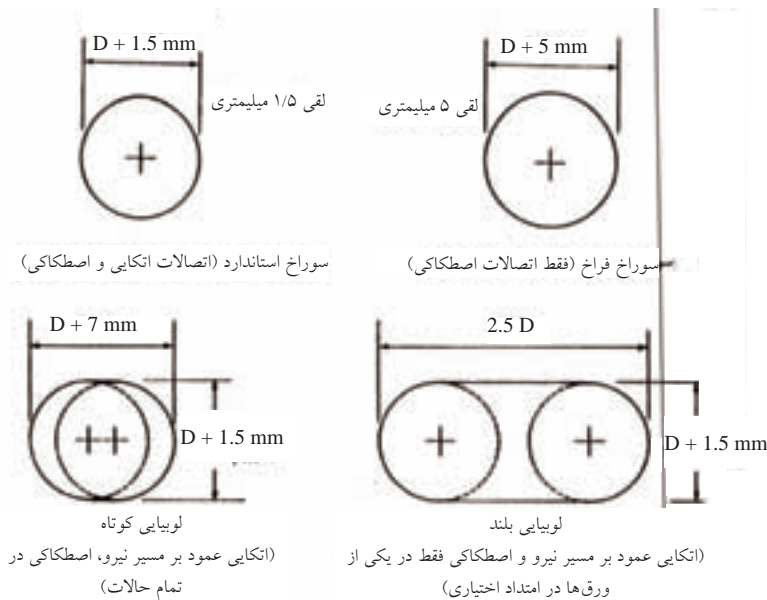
الف: سوراخ استاندارد

ب: سوراخ فراخ (بزرگ)

پ: لویبایی کوتاه

ت: لویبایی بلند

در شکل ۷-۵ انواع سوراخ به همراه میزان لقی مجاز نشان داده شده است و در این شکل،  $D$  قطر اسمی پیچ می‌باشد.



لویبایی کوتاه  
(اتکایی عمود بر مسیر نیرو، اصطکاکی در تمام حالات)

لویبایی بلند  
(اتکایی عمود بر مسیر نیرو و اصطکاکی فقط در یکی از ورق‌ها در امتداد اختیاری)

شکل ۷-۵- انواع سوراخ و اندازه لقی مجاز آن‌ها



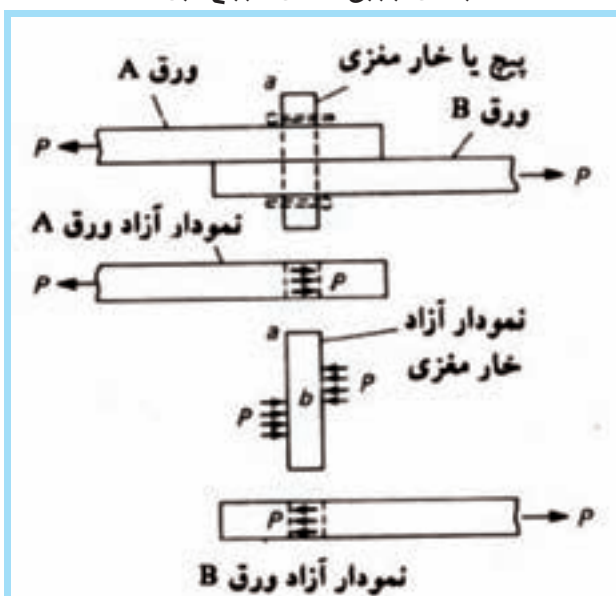
نمونه‌ای از ورق اتصال سوراخ‌کاری شده

سوراخ‌های فراخ فقط در اتصالات اصطکاکی مجاز می‌باشند. سوراخ‌های لوبیایی کوتاه در تمام حالات در اتصالات اصطکاکی مجاز هستند و در اتصالات اتکایی باید عمود بر امتداد نیرو باشد (عملکرد اتصال اتکایی و اصطکاکی در بخش بعد معرفی شده است). سوراخ‌های لوبیایی بلند در اتصالات اتکایی فقط در امتداد عمود بر مسیر نیرو مجاز هستند و در اتصالات اصطکاکی فقط می‌توانند در یکی از ورق‌های اتصال در هر امتداد اختیاری وجود داشته باشند.

### ۷-۲-۲-۳- رفتار برشی پیچ‌ها در اتصالات

#### اتکایی

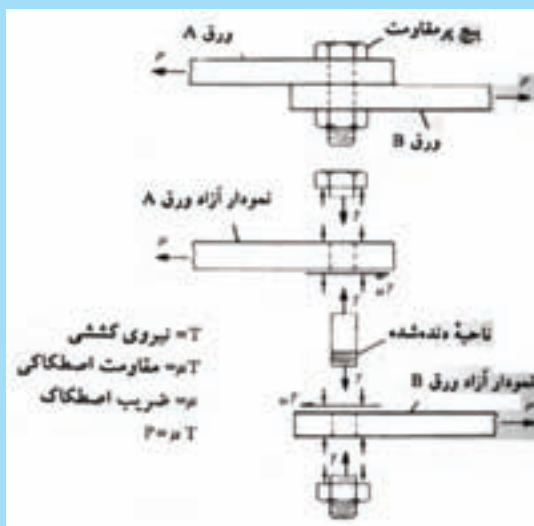
ساده‌ترین وسیله برای انتقال نیرو از یک عضو فولادی به عضو دیگر، استفاده از پیچ‌های با عملکرد اتکایی می‌باشد. در حین انتقال نیرو از اتصال، بین تنه پیچ و جدار سوراخ، فشار تماسی زیادی که به تنش لهیدگی مشهور است، به وجود می‌آید. در این نوع اتصالات اصطکاک ناچیزی بین ورق‌ها وجود خواهد داشت. (شکل ۶-۷)



شکل ۶-۷- انتقال نیرو در یک پیچ با عملکرد اتکایی

### ۷-۲-۲-۴- پیچ‌ها در اتصالات اصطکاکی

رفتار یک پیچ پرمقاومت اصطکاکی بسیار شبیه پرچ می‌باشد. اگر پیچ طبق یکی از روش‌های استاندارد محکم گردد، نیروی پیش‌تنیدگی آن مقدار مشخصی خواهد داشت. از آنجا که در این نوع اتصالات، نیروی اصطکاک ناشی از نیروی پیش‌کشیدگی توانایی انتقال نیروها را بین دو قطعه دارد، تحت بارهای خدمت، بین تنه پیچ و جدار سوراخ، نیروی لهیدگی ایجاد نمی‌شود. (شکل ۷-۷)



شکل ۷-۷- انتقال نیرو در یک پیچ با عملکرد اصطکاکی

## ۷-۲-۲-۵- روش ایجاد نیروی پیش‌تندگی در پیچ‌های پرمقاومت

برای ایجاد نیروی پیش‌تندگی در پیچ‌های پرمقاومت دو روش زیر معمول‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد:

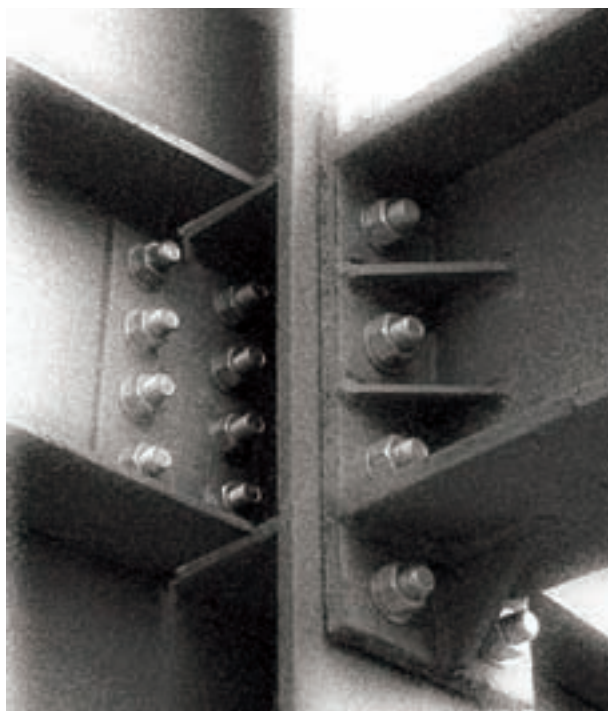
۱- استفاده از آچارهای مدرج (تُرک متر)

۲- سفت کردن مجدد مهره‌ها به مقدار معین، بعد از محکم شدن اولیه آن‌ها

در روش اول، توسط آچارهای دستی و یا مکانیکی مخصوصی که در روی آن‌ها وسیله‌ای برای اندازه‌گیری لنگر پیچشی وارد بر مهره وجود دارد، لنگر پیچشی مشخصی بر مهره وارد می‌آورند.

سفت کردن مجدد مهره‌ها به مقدار معین بعد از محکم شدن اولیه آن‌ها، ارزان‌ترین و قابل اطمینان‌ترین روشی است که برای ایجاد نیروی پیش‌تندگی در پیچ‌ها وجود دارد. در این روش بعد از اینکه پیچ به طور اولیه محکم

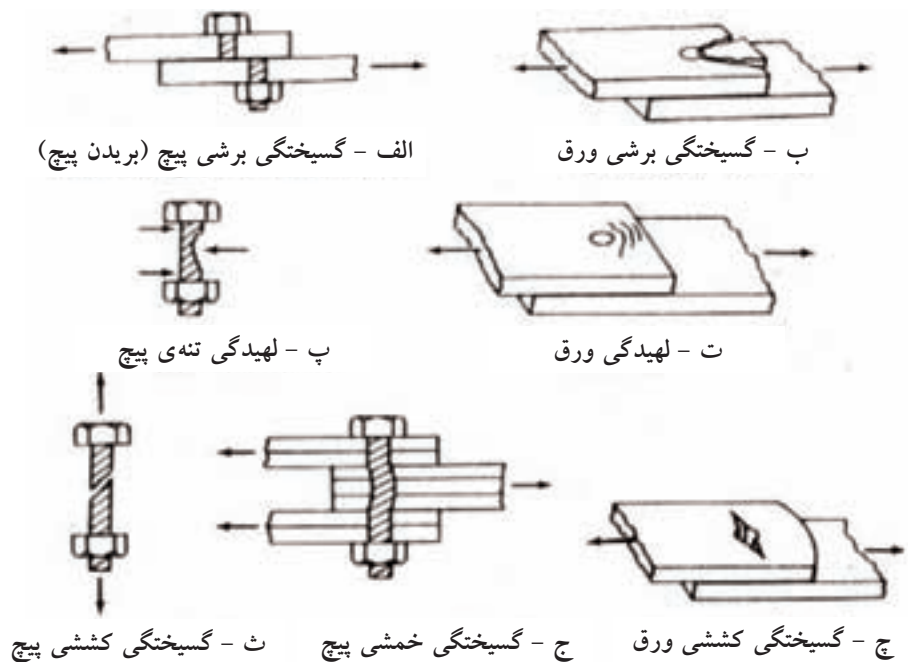
شد، مهره را به مقدار مشخصی مجدداً سفت می‌نمایند که این عمل باعث به وجود آمدن کرنش مشخصی در پیچ می‌شود. اگر برای سفت کردن مهره‌ها از روش‌های دستی استفاده نماییم، محکم شدن اولیه وقتی است که یک کارگر معمولی با یک آچار معمولی، کوشش کامل خود را برای سفت کردن پیچ به کار ببرد. در روش‌های ماشینی، محکم شدن اولیه پس از وارد شدن چند ضربه توسط دستگاه ایجاد می‌شود.



شکل ۷-۸- اتصال پیچی در سافتمان اسکلت فولادی

### ۷-۲-۲-۶- سازوکارهای خرابی پیچ و پرچ

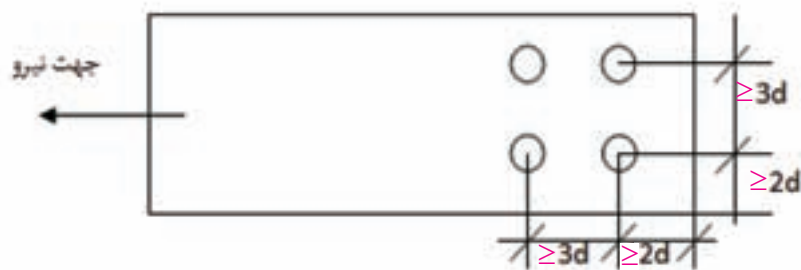
با افزایش بار در یک اتصال اتکایی یا اصطکاک، نیروی اصطکاک دیگر قادر به مقابله با بارهای وارده نمی‌باشد. از این لحظه به بعد، نیروهای مقابله‌کننده همان تنش‌های لهیدگی بین تنه و جدار سوراخ و تنش برشی در پیچ خواهد بود. بنابراین انواع گسیختگی یک اتصال، چه اتکایی و چه اصطکاک، مطابق با یکی از شکل‌های ۷-۹ خواهد بود.



شکل ۷-۹- انواع مختلف خرابی یک اتصال پیچی

### ۷-۲-۲-۷- فواصل سوراخ‌ها در ورق‌های اتصال

فاصله مرکز به مرکز پیچ‌ها از یکدیگر نباید در هیچ حالتی از ۳ برابر قطر آن‌ها کمتر باشد. حداقل فاصله مرکز پیچ از لبه ورق ۲ برابر قطر پیچ در نظر گرفته می‌شود. (شکل ۷-۱۰) حداکثر فاصله پیچ تا لبه نباید از ۱۲ برابر ضخامت ورق تجاوز نماید، ضمناً نباید این فاصله از ۱۵ سانتیمتر بیشتر شود.



شکل ۷-۱۰- فواصل مجاز سوراخ‌ها



## ۷-۲-۳- جوش

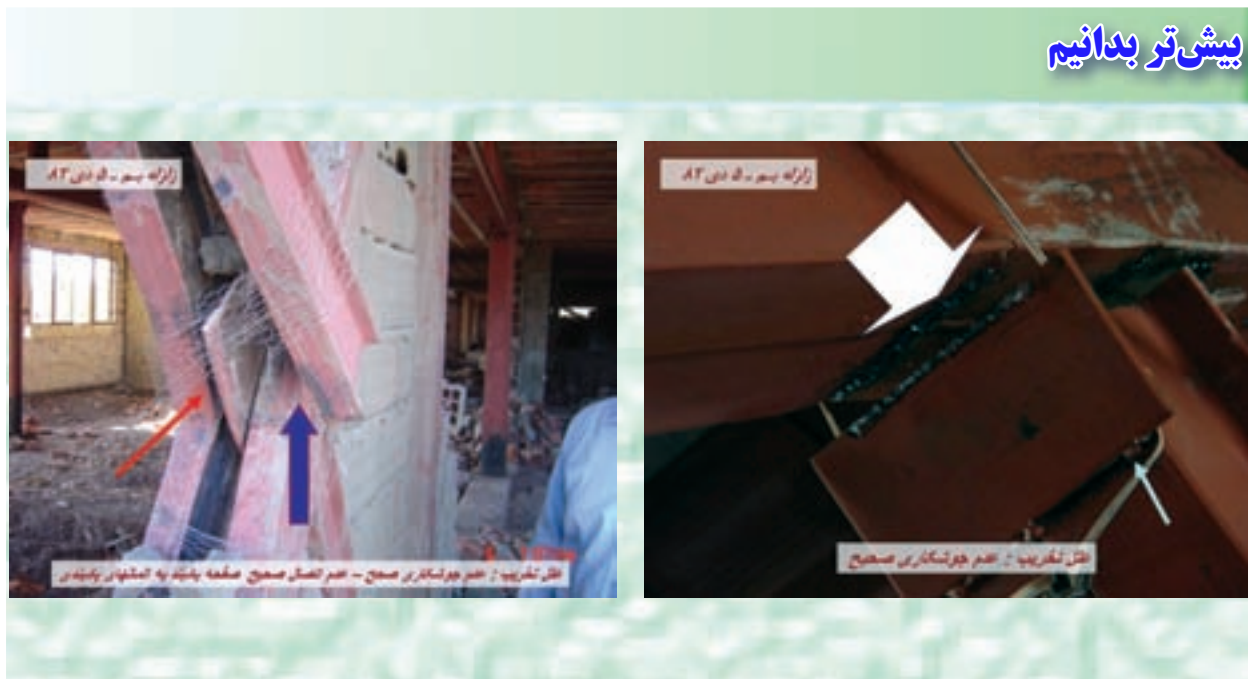
### ۷-۲-۳-۱- تعریف

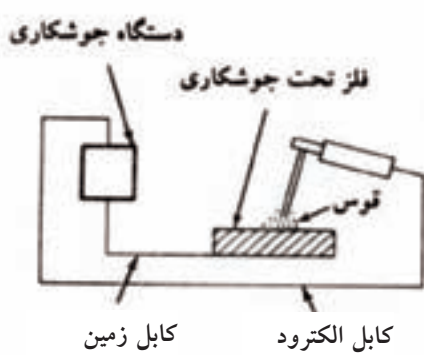
جوشکاری عبارت است از اتصال و یکپارچه کردن مصالح به یکدیگر به کمک حرارت، با و یا بدون استفاده از فشار و یا مواد پرکننده اضافی. به مصالحی که باید به هم متصل گردند فلز مینا و به ماده‌ای که این اتصال را برقرار می‌سازد فلز پرکننده یا فلز جوش گفته می‌شود. برای ذوب فلز مینا و فلز جوش، حرارت به کار می‌رود تا مواد به صورت سیال درآمده و تداخل آن‌ها امکان‌پذیر شود.

معمول‌ترین روش‌های جوشکاری، خصوصاً برای جوش فولاد ساختمانی، استفاده از انرژی برق به عنوان منبع حرارتی است و بدین منظور اغلب از قوس الکتریکی استفاده می‌شود. قوس الکتریکی عبارت است از تخلیه جریان نسبتاً بزرگ، بین فلز جوش (الکتروود یا سیم جوش) و فلز مینا که از میان ستونی از مواد گازی یونیزه به نام پلاسما انجام می‌پذیرد. در جوش قوس الکتریکی، عمل ذوب و اتصال با جریان مواد در طول قوس و بدون اعمال فشار صورت می‌گیرد. (شکل ۷-۱۱)

### ۷-۲-۳-۲- جوشکاری با استفاده از قوس الکتریکی

جوشکاری با استفاده از قوس الکتریکی با الکتروود روکشدار یکی از مهمترین، ساده‌ترین و شاید کارآمدترین روش‌هایی است که برای اتصال فولاد ساختمانی به کار می‌رود. در محاورات فنی، این روش به نام جوش دستی با الکتروود خوانده می‌شود. حرارت لازم، با برقرار نمودن قوس الکتریکی بین الکتروود روکشدار و اجزایی که باید متصل شوند، ایجاد می‌گردد. مدار جوشکاری در شکل ۷-۱۱-الف، به نمایش درآمده است.





(الف) مدار جوش قوسی



(ب) جوش قوس الکتریکی تحت حفاظ

### شکل ۷-۱۱- بوش قوس الکتریکی فلزی تمت حفاظت سپر گازی

در جریان جوشکاری، با ذوب الکتروود و انتقال به فلز مینا، الکتروود روکشدار مصرف می‌شود. فلز الکتروود تبدیل به ماده پرنکننده شده و قسمتی از روکش به گاز محافظ و قسمت دیگر آن به گِل جوشکاری تبدیل می‌گردد. روکش، مخلوطی گِل مانند از سیلیکات‌های سخت‌کننده و مواد دیگری، مانند فلوراید‌ها، کربنات‌ها، اکسیدها، آلیاژهای فلزی و سلولز است. این مخلوط، پخته و فشرده شده تا روکش سخت، خشک و متراکم را به وجود آورد.

**روکش الکتروود وظایف زیر را بر عهده دارد:**

- ۱- با ایجاد سپرگازی، هوا را جداساخته، قوس را تثبیت می‌کند.
  - ۲- مواد دیگری مانند احیاکننده‌ها را وارد فلز جوش می‌نماید تا بافت ساختمانی آن را بهبود بخشد.
  - ۳- با ایجاد یک روکش از گِل جوشکاری روی حوضچه مذاب و جوش سخت شده، آن‌ها را در مقابل اکسیژن و نیتروژن هوا محافظت کرده، در ضمن مانع سرد شدن سریع جوش می‌گردد.
- روش‌های دیگر جوشکاری با قوس الکتریکی که اغلب به صورت اتوماتیک انجام می‌شود، عبارتند از جوشکاری زیرپودری، جوشکاری تحت حفاظت گاز و جوشکاری با سیم جوش توپودری که برای تشریح آن‌ها باید به کتب تخصصی مراجعه نمود. در این روش‌ها، الکتروود به صورت مفتول پیوسته عاری از روکش بوده و عمل پوشش را پودر و یا گاز CO<sub>2</sub> انجام می‌دهد.



(الف) ولتاژ و آمپرژ در حالتی که مدار باز است  
(ب) ولتاژ و آمپرژ در حالت اتصال کوتاه  
(ج) ولتاژ و آمپرژ در حالت برقراری قوس

## ۲-۳-۳- جوش پذیری فولادهای ساختمانی



اغلب فولادهای ساختمانی استاندارد را می‌توان بدون تدابیر خاص و استفاده از روش‌های معین جوش کاری نمود. جوش پذیری فولاد، معرف درجه سهولت ایجاد یک اتصال ساختمانی سالم و بدون ترک است. بعضی انواع فولادهای ساختمانی برای جوشکاری از انواع دیگر مناسب‌ترند. جدول ۷-۱ ترکیب شیمیایی ایده‌آل فولادهای کربن‌دار را به نمایش می‌گذارد. اغلب فولادهای نرمه در این رده جای می‌گیرند، در حالی که مقادیر مطلوب برای فولادهای پرمقاومت ممکن است از حدود تحلیلی ایده‌آل نمایش داده شده در جدول ۷-۱ تجاوز کند.



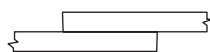
قوس الکتریکی در جوشکاری با الکتروود روکش‌دار

جدول ۷-۱- ترکیب شیمیایی مطلوب فولادهای کربن‌دار به منظور جوش‌پذیری

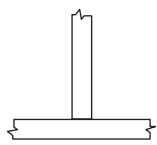
عنصر	محدوده نرمال	درصدی که احتیاج به تدابیر خاص جوشکاری دارد
کربن	۰/۰۶-۰/۲۵	۰/۳۵
منگنز	۰/۲۵-۰/۸۰	۱/۴۰
سیلیکون	حداکثر ۰/۱	۰/۳۰
گوگرد	حداکثر ۰/۰۳۵	۰/۵۰
فسفر	حداکثر ۰/۰۳۰	۰/۰۴۰



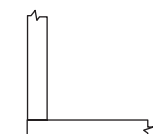
الف) اتصال لب به لب



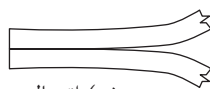
ب) اتصال روی هم



پ) اتصال سپری



ت) اتصال گونیا



ث) اتصال پیشانی

شکل ۷-۱۲- انواع اصلی اتصال جوشی

## ۷-۲-۳-۴- انواع اتصالات جوشی

اگر چه در عمل انواع و ترکیبات مختلفی از انواع اتصال یافت می‌شود، ولی پنج نوع اتصال جوشی اصلی وجود دارد که عبارتند از لب به لب، روی هم، سپری، گونیا و پیشانی. در شکل ۷-۱۲ انواع آن نشان داده شده است.



نمونه‌ای از اتصال جوشی در مهاربند سافتمان

### اتصال لب‌به‌لب (Butt Joint)

اتصال لب‌به‌لب اغلب برای متصل ساختن انتهای ورق‌های مسطح با ضخامت‌های نسبتاً مساوی مورد استفاده قرار می‌گیرد. امتیاز این نوع اتصال اجتناب از خروج از مرکزیتی است که در اتصالات روی هم یک طرفه مانند شکل ۷-۱۲-ب، به وجود می‌آید. وقتی که در اتصال لب‌به‌لب از جوش شیاری با نفوذ کامل استفاده شود، اندازه اتصال به حداقل خود رسیده و ظاهر آن بسیار خوشایندتر از انواع دیگر اتصالات می‌گردد.



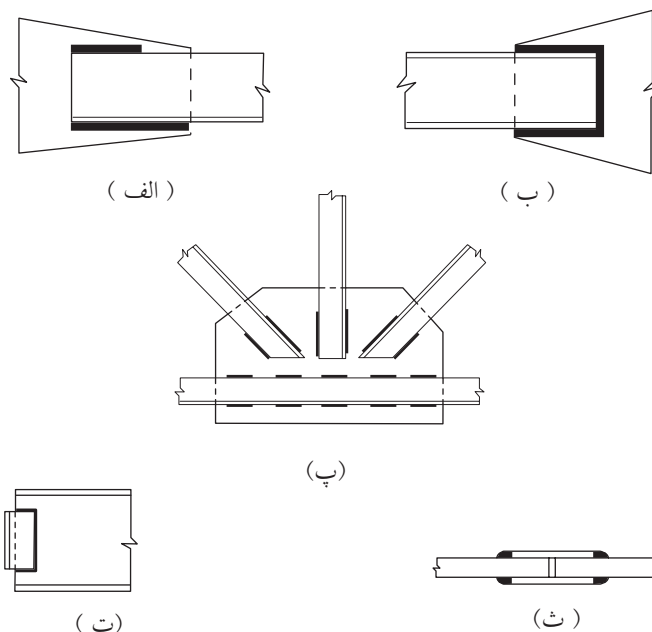
### اتصال پوششی (روی هم) (Lap Joint)

اتصال پوششی که انواع آن در شکل ۷-۱۳ نمایش داده شده، معمول‌ترین نوع اتصال است. این اتصال دو مزیت عمده دارد:

نمونه‌ای از اتصال جوشی در اتصال تیر به تیر

۱- سادگی جفت و جور کردن: ساخت قطعات این نوع اتصال احتیاج به وقت زیاد، به میزانی که در انواع دیگر اتصالات جوشی مورد نیاز است، ندارد. قطعات می‌توانند بر روی هم کمی جابجا گردند تا خطاهای کوچک ساخت را پوشانده یا تنظیم طول را عملی سازند.

۲- سادگی اتصال دادن: لبه‌های قطعات متصل شونده احتیاج به آمادگی خاصی ندارند و اغلب برش عادی خورده یا با شعله بریده می‌شوند. در اتصال پوششی اغلب از جوش گوشه استفاده می‌گردد.



شکل ۷-۱۳- نمونه‌هایی از اتصالات پوششی (روی هم)



## اتصال سپری (Tee Joint)

این نوع اتصال در ساخت نیمرخ‌های مرکب به شکل T و I، تیر ورق‌ها، سخت‌کننده‌های تحت بار، آویزها، نشیمن‌های طاقچه‌ای و عموماً قطعاتی که با زاویه با هم جفت می‌گردند مانند شکل ۷-۱۲-پ، کاربرد دارد.



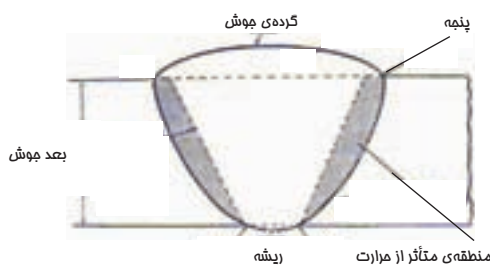
## اتصال گونیا (Corner Joint)

اتصال گونیا عمدتاً در ساخت مقاطع جعبه‌ای مستطیل شکلی که تیرها و ستون‌های مقاوم در برابر پیچش را تشکیل می‌دهند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. (شکل ۷-۱۲-ت)

## اتصال پیشانی (Edge Joint)

اتصال پیشانی اغلب نقش سازه‌ای به عهده ندارد و مورد استفاده آن معمولاً در نگهداری دو یا چند صفحه در یک سطح و یا نگهداری امتداد اولیه عضو است. (شکل ۷-۱۲-ث)

نمونه اتصال گونیا



مزایای جوش شیاری



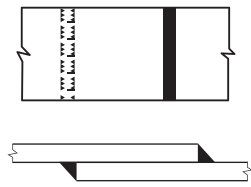
جوش شیاری

## ۷-۲-۳-۵- انواع جوش

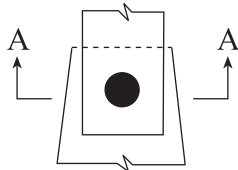
چهار نوع از جوش‌ها که در شکل ۷-۱۴ نمایش داده شده‌اند، عبارتند از: جوش شیاری، جوش گوشه، جوش کام و جوش انگستانه هر نوع جوش مزیت‌هایی مخصوص به خود دارد که دامنه کاربرد آن را تعیین می‌نماید. نسبت تقریبی استفاده از این چهار نوع جوش در ساخت اتصالات ساختمانی به این ترتیب است: جوش شیاری ۱۵ درصد، جوش گوشه ۸۰ درصد و ۵ درصد بقیه موارد، جوش‌های کام و انگستانه و انواع دیگری از جوش‌های مخصوص به کار می‌روند.

## جوش‌های شیاری

مورد استفاده اصلی جوش شیاری متصل ساختن قطعات سازه‌ای است که در روی یک سطح و در امتداد هم قرار گرفته‌اند. از آنجا که جوش‌های شیاری اغلب به منظور انتقال کل نیروی قطعاتی که به وسیله‌ی این جوش متصل می‌شوند مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا باید جوش از مقاومتی هم اندازه با مقاومت قطعات متصل شونده، برخوردار باشد. چنین جوش شیاری به عنوان جوش شیاری با نفوذ کامل شناخته می‌شود. وقتی که درز جوش چنان



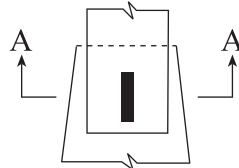
(ب) جوش گوشه



(ت) جوش انگشترانه



(الف) جوش شیاری



(پ) جوش کام

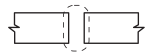
شکل ۷-۱۴- انواع جوش



(پ) جناغی دو طرفه



(ب) جناغی یکطرفه



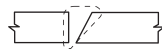
(الف) ساده



(ج) لاله‌ای



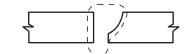
(ث) نیم جناغی دو طرفه



(ت) نیم جناغی



(خ) نیم لاله‌ای دو طرفه



(ح) نیم لاله‌ای یک طرفه

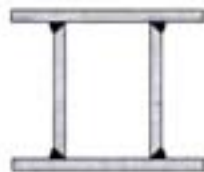


(چ) لاله‌ای دو طرفه

شکل ۷-۱۵- انواع معمول درز جوش شیاری



(ج) اتصال بال تیر به ستون



(ب) اتصال جان‌ها به بال‌ها



(الف) اتصال ساق به بال سپری

طراحی شود که جوش شیاری در تمام عمق قطعات متصل شونده گسترش نیابد، به چنین جوشی، جوش شیاری با نفوذ نسبی اطلاق می‌شود. در طراحی این جوش‌ها الزامات خاصی را باید در نظر داشت. لبه درز جوش در اغلب جوش‌های شیاری باید به طرز مخصوصی آماده گردد. نام‌گذاری انواع درز جوش شیاری نیز با توجه به این امر انجام شده است. شکل ۷-۱۵ انواع معمول درز جوش شیاری را به نمایش گذاشته و نحوه‌ی آماده ساختن درز جوش را در هر یک مشخص می‌سازد. انتخاب جوش شیاری مناسب به روند جوشکاری مورد استفاده، هزینه‌ی آماده کردن لبه‌ی درزهای جوش و هزینه عملیات جوشکاری بستگی دارد. از جوش شیاری همچنین می‌توان در ساخت اتصالات سپری مانند شکل ۷-۱۶ استفاده نمود.

شکل ۷-۱۶- استفاده از جوش شیاری در اتصال سپری

بیش‌تر بدانیم

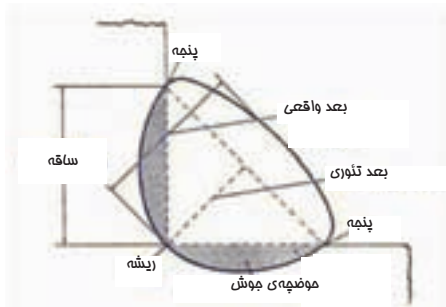
<http://www.iiw-iis.org> IIW انستیتو بین‌المللی جوش

<http://www.aws.org> انجمن جوش آمریکا AWS

## جوش گوشه

جوش گوشه به خاطر اقتصادی بودن آن، سادگی به کارگیری و قابلیت استفاده از آن در اغلب موارد جوشکاری، بیشتر از تمام انواع دیگر جوش بیشتر به کار می‌رود.

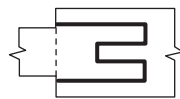
نمونه‌هایی از موارد استفاده‌ی جوش گوشه در شکل ۷-۱۷ ارائه شده است. در این نوع اتصالات به خاطر رویهم‌گذاری قطعات احتیاج به دقت کمتری در جفت و جور کردن می‌باشد، در حالی که در مورد جوش شیاری باید قطعات را به دقت در یک امتداد قرار داد و شکافی در ریشه‌ی جوش بین آنها باقی گذاشت. جوش گوشه به خصوص برای جوشکاری در محل نصب و یا برای جفت کردن دوباره‌ی اعضا یا اتصالاتی که قبلاً با رواداری‌های قابل قبولی ساخته شده‌اند ولی موقع نصب دقیقاً با هم جفت و جور نمی‌شوند، از مزیت‌های زیادی برخوردار است.



مزایای جوش گوشه



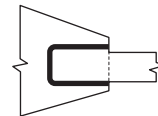
جوش گوشه



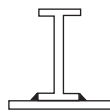
(پ) اتصال کام



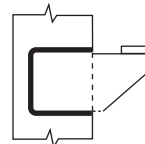
(ب) صفحات وصله



(الف) صفحات روی هم



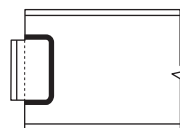
(ج) ورق زیر سری تیرها



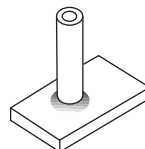
(ث) تیغه نشیمن



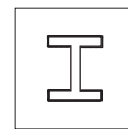
(ت) اتصال گونیا



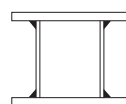
(خ) نبشی جان به تیر



(ح) اتصال لوله



(چ) صفحات کف ستون



(د) مقاطع ترکیبی و تیر ورق‌ها

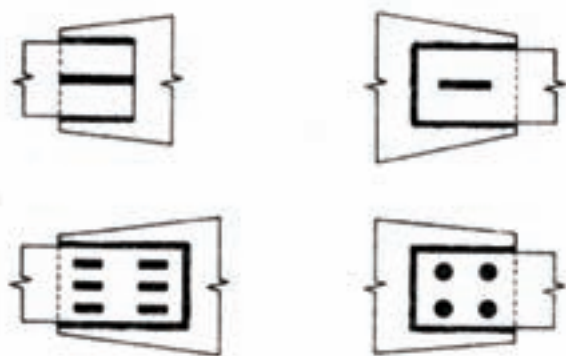
شکل ۷-۱۷- نمونه‌هایی از موارد استفاده از جوش گوشه

## جوش های کام و انگشانه

جوش های کام و انگشانه را می توان به تنهایی و یا در ترکیب با جوش گوشه مانند شکل ۷-۱۸ به کار گرفت. یکی از موارد استفاده ی جوش کام و انگشانه، انتقال برش در اتصالات پوششی است که طول جوش گوشه یا دیگر انواع جوش جوابگو نباشد. همچنین از این نوع جوش ها برای جلوگیری از کمانش قسمت های رویهم گذاشته شده، استفاده می شود.



شکل ۷-۱۹- جوش کام

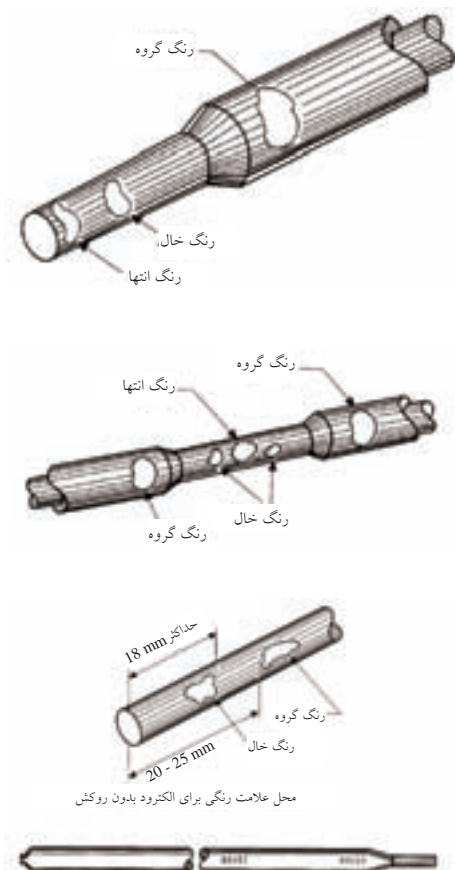


شکل ۷-۱۸- کاربرد جوش کام و انگشانه

## ۷-۲-۳-۶- شناسایی انواع الکتروود

در استانداردهای مختلف برای نشان دادن انواع الکتروود از علائم گوناگون استفاده می شود. به عنوان مثال استاندارد انجمن جوشکاری آمریکا، الکتروودها را با حرف E شروع می کند و با یک عدد چهار یا پنج رقمی دنبال می نماید. دو رقم اول سمت چپ معرف مقاومت کششی فلز الکتروود بر حسب هزار پوند بر اینچ مربع (psi) می باشد<sup>۱</sup>. به طور مثال الکتروودهای نشان داده شده به صورت E 60 XX دارای مقاومت کششی 60000psi (۴۲۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع) در فلز جوش است. اعداد بعدی که با XX نمایش داده شده اند، نمایشگر عوامل موثر دیگر مانند وضعیت جوشکاری، منبع توصیه شده برای تامین الکتریسیته، جنس روکش و مشخصات قوس الکتریکی می باشند. این استاندارد تا حدود زیادی در ایران متداول است و در این کتاب نیز از علائم آن استفاده شده است.

روش دیگر شناسایی الکتروودها، استفاده از یک سیستم رنگی است که توسط خطوط رنگی مشخص، انواع الکتروودها از یکدیگر تشخیص داده می شوند. این روش در حال حاضر منسوخ شده است.



۱- هر psi حدوداً معادل ۰/۰۷ کیلوگرم بر سانتیمترمربع است.



## ۷-۲-۳-۷- تجهیزات مورد استفاده در جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار

تجهیزات مورد نیاز برای جوشکاری قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار، ساده و قابل حمل و نسبت به تجهیزات لازم برای انواع دیگر جوشکاری ارزان قیمت هستند. با اجرای تمهیدات لازم جهت تهویه ی کافی، جلوگیری از آتش سوزی و دیگر خطرات موجود، این نوع جوشکاری می تواند در محیط بسته و هوای آزاد و در هر مکان و موقعیتی انجام شود.

به طور کلی سه نوع ماشین جوشکاری وجود دارد:

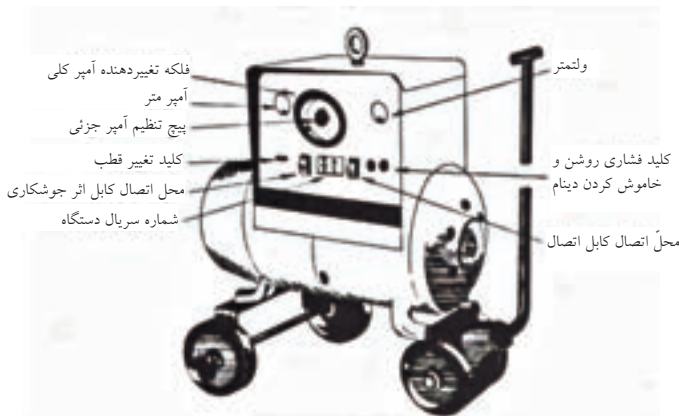
۱- موتور- مولدها، شامل موتور درونسوز یا موتور برقی (موتور - ژنراتور و دینام ها)

۲- مبدل-یکسوکننده ها (رکتیفایر)

۳- مبدل ها ( ترانس ها)

دینام جوشکاری کارگاهی شامل یک دینام (ژنراتور) تولید جریان و یک الکتروموتور سه فاز است که با هم کوپل شده یا اساساً محور آن ها مشترک است. در یک سو، محور الکتروموتور و در سوی دیگر محور دینام تعبیه شده است. (شکل

(۲۰-۷)



شکل ۷-۲۰- دینام جوش کارگاهی



شکل ۷-۲۱- قرار دادن کلید دینام جوشکاری

در حالت ▲

الکتروموتور حرکت دورانی مناسب را به وجود می آورد و این حرکت باعث گردش محور دینام می شود و برق مورد نیاز جوشکاری را تولید می کند. اتصال الکتروموتور به برق شهر توسط یک کلید ستاره و مثلث صورت می گیرد و برای راه اندازی آن لازم است ابتدا کلید روی حالت ستاره (▲) قرار گرفته تا موتور به دور کامل برسد؛ سپس کلید روی حالت مثلث (Δ) (شکل ۷-۲۱) قرار می گیرد تا دور موتور ثابت و آماده ی جوشکاری شود. هیچ گاه نباید در حالتی که کلید روی ستاره است، جوشکاری شود، زیرا باعث می شود که دور موتور کم و زیاد شده و در نهایت دستگاه از کار بیفتد.

ماشین جوشکاری از نوع دیزل، بنزینی، دینام و یا رکتیفایر باید وضعیت مناسبی داشته باشد و جریان یکنواختی برای جوشکاری تولید نماید.

## مبدل - یکسوکننده‌ها (رکتیفایرها)



شکل ۷-۲۲- (رکتیفایر جوشکاری)  
با الکتروود دستی

رکتیفایرها دارای طرح‌های متعدد برای مقاصد مختلف می‌باشند. انعطاف پذیری، یکی از دلایل پذیرش گسترده‌ی این ماشین در صنعت جوشکاری است. این ماشین‌ها قادر به تحویل جریان مستقیم (DC) با قطبیت منفی یا مثبت می‌باشند؛ همچنین ممکن است برای جوشکاری دستی با الکتروود، جوشکاری تحت حفاظت گاز، جوشکاری زیرپودری و جوشکاری گل‌میخ‌ها مورد استفاده قرار گیرند و امکان سرویس‌دهی همزمان به چندین کاربر را دارا می‌باشند.

## ۷-۲-۴- ابزار جوشکاری در ساخت و نصب اسکلت فلزی

برای اجرای موفق جوشکاری قوسی (به‌خصوص روش دستی) لازم است که از ابزار و تجهیزات دیگری نیز استفاده شود. این ابزار عبارتند از:

### چکش جوش:

از این وسیله برای برداشتن سرباره روی جوش و زدودن جرقه‌های اطراف خط جوش استفاده می‌شود. جنس آن بسیار سخت است و دو سر آن به دو صورت تبری و مخروطی تیز می‌باشد. (شکل ۷-۲۳)



شکل ۷-۲۳- چکش جوش

### برس سیمی:

برس سیمی برای تمیزکاری روی قطعات کار از گرد و غبار و زنگ به کار می‌رود و طوری ساخته شده که در برابر سایش مقاوم باشد. (شکل ۷-۲۴ و ۷-۲۵)  
یعنی سیم‌های آن نریزد و زود فرسوده نشود. برس سیمی معمولی از جنس فولاد ضدزنگ ساخته می‌شود.



شکل ۷-۲۴- برس سیمی و

چکش جوش سرهم

شکل ۷-۲۵- برس سیمی و تمیزکاری قطعه جوشکاری شده با آن

## سنگ فرز:

سنگ فرز یکی از تجهیزاتی است که برای آماده‌سازی لبه‌های جوشکاری مورد استفاده‌ی زیادی دارد. از سنگ فرز همیشه در حالت ایستاده استفاده می‌کنند، بنابراین شرایط استفاده از سنگ فرز تقریباً همیشه سخت و نامساعد بوده و باید با دقت بسیار مورد استفاده قرار گیرد. (شکل ۷-۲۶)

دستگاه سنگ فرز با برق معمولی شبکه‌ی شهری کار می‌کند. یعنی اگر سیم رابط معیوب باشد یا دستگاه سنگ اتصالی داشته باشد خطر برق گرفتگی آن زیاد است. لازم است قبل از کار با دستگاه سنگ فرز اطمینان حاصل شود که تیغه‌ی سنگ شکسته نباشد و یا پیچ اتصال آن به ماشین سنگ شل نشده باشد.



شکل ۷-۲۶- نوعی ماشین سنگ فرز دستی با سنگ مربوطه

## بیشتر بدانیم



جوش نا مرغوب موجب گسیختگی آن در محل اتصال ورق مهاربند به ستون در اثر نیروی ناشی از زمین‌لرزه شده است



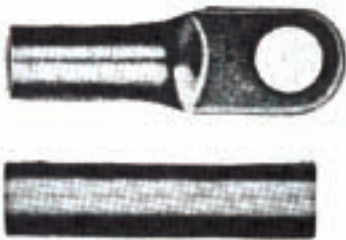
جوش ندادن ورق اتصال مهاربند به تیر باعث شده است تا در هنگام زلزله ناحیه‌ی اتصال از ظرفیت باربری لازم برخوردار نباشد



## کابل‌های جوشکاری و اتصالات آن‌ها:



شکل ۲۷-۷ مقطع کابل جوشکاری قوسی



شکل ۲۸-۷- کابل شش برای اتصال کابل‌ها به اتصال قطعه کار و به ماشین جوش



شکل ۲۹-۷- نمونه اتصال کابل‌ها به یکدیگر

کابل‌های جوشکاری از نوع افشان و با عایق بسیار قوی و سبک است. (شکل ۲۷-۷) جنس سیم آن مسی یا آلومینیومی است. یکی از آن‌ها کابل انبر و دیگری کابل اتصال آهن است. کابل‌ها را با کمک کابل شو (کفش کابل) (شکل ۲۸-۷) به دستگاه جوش و به انبر وصل می‌کنند. اتصال کابل به کفش کابل باید محکم و بدون لقی باشد تا گرم نشود.

وقتی بخواهند کابل‌ها را به یکدیگر متصل کنند تا بلندتر شود، آن‌ها را با کمک اتصالات سرهم می‌کنند. (شکل ۲۹-۷)

## انبرهای جوشکاری:

انبر جوشکاری وسیله گرفتن الکتروود و اجرای جوشکاری است. انبرها را برحسب ظرفیت جریانی که می‌توانند از خود عبور دهند، دسته‌بندی می‌کنند (شکل ۳۰-۷ و ۳۱-۷).

روی انبرها را از جنس عایق بسیار قوی و سبک می‌پوشانند. کائوچو، لاستیک و فیبر فشرده عایق‌های مناسبی هستند.

گیره‌های اتصال آهن نیز به کابل اتصال آهن متصل می‌شود و به پایه میز جوشکاری یا به قطعه‌ی مورد جوشکاری متصل می‌شود (شکل ۳۲-۷).

این گیره‌ها باید تمیز باشد و فنر قوی داشته باشد که خوب به پایه میز یا به کار بچسبد.

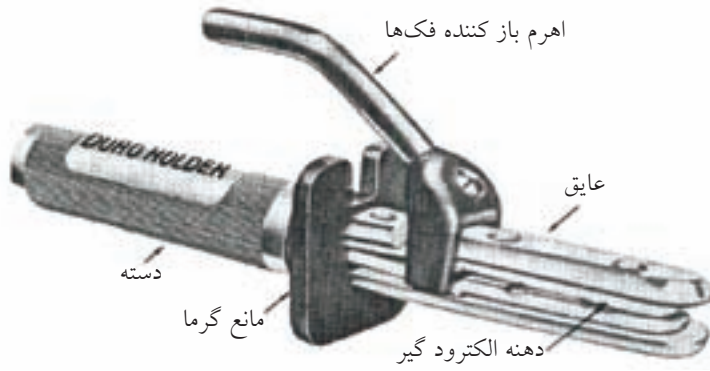


شکل ۳۰-۷- انبر، کابل شو و کابل جوشکاری



## جعبه ی الکتروود:

جهت حفاظت از الکتروودها و دسته بندی آنها، در صورت استفاده از چند نوع الکتروود، باید برای هر جوشکار یک جعبه ی الکتروود مناسب تهیه شود.



شکل ۷-۳۱- انبر جوشکاری

## گرم کن دستی:

جهت پیش گرم کردن درزهای جوش قبل از جوشکاری بخصوص در روزهای سرد، مطابق دستورالعمل های جوشکاری از گرم کن دستی استفاده می شود. (شکل ۷-۳۳ و ۷-۳۴)

فکها (دهانه)



این قسمت باز می شود تا کابل اتصال در آن قرار گیرد

شکل ۷-۳۲- گیره اتصال به قطعه کار



شکل ۷-۳۳- مشعل گرم کن درز اتصال



شکل ۷-۳۴- گرم کن دستی

## ابزارهای اندازه گیری:

از این ابزارها برای تعیین محل برش و یا مونتاژ قطعات استفاده می‌شود. یکی از سودمندترین ابزارهای اندازه‌گیری، متر فولادی فنری است. معمولاً متر فنری ۳ متری نیازهای متعارف را برآورده می‌سازد، اما در پروژه‌های بزرگ ممکن است به متر ۱۵ متری نیاز باشد. برای انجام کارهای کوچکتر می‌توان از یک خط‌کش فولادی ۳۰ یا ۵۰ سانتیمتری نیز استفاده نمود. مناسب است همیشه یک خط‌کش پلاستیکی ۱۵ سانتیمتری در جیب لباس کار جوشکار موجود باشد.

## ابزار نشانه گذاری:

از این ابزار برای ترسیم خط برش، بر طبق اندازه‌گیری‌های انجام شده، استفاده می‌شود. هنگام کار با مشعل برشکاری، به خط نشانه‌ای نیاز می‌باشد که بر اثر شعله محو نشود. ابزارهای نشانه گذاری عبارتند از سوزن خط کشی و سنبه نشان ۹۰ درجه یا ۳۰ درجه. سنبه نشان ۹۰ درجه منظور ما را برآورده می‌سازد، اما سنبه نشان ۳۰ درجه بصورت ویژه به همین منظور ساخته شده است. به کمک این سنبه نشان می‌توان خطی تشکیل شده از نشانه‌های نزدیک به هم ترسیم نمود.

روش دیگری برای نشانه گذاری فلز به منظور برشکاری با مشعل استفاده از سنگ صابون است. اثر این سنگ مانند اثر گچ است، اما در دمای بالای برشکاری نمی‌سوزد. بنابراین مناسب است همیشه چند قطعه سنگ صابون در جعبه ابزار موجود باشد.

برای ترسیم کمان یا دایره از پرگار فلزی استفاده می‌شود؛ این وسیله نوعی سوزن خط کشی شبیه پرگار است، اما دو نوک فولادی تیز دارد.

لازم به ذکر است که از سوزن خط کشی فقط باید برای ترسیم خط برش استفاده شود. این نکته به ویژه در هنگام خط کشی ورق باید رعایت شود، زیرا بسیار احتمال می‌رود که ترک یا پارگی از محل خط کشی به دلیل تمرکز تنش ایجاد شده آغاز شود.

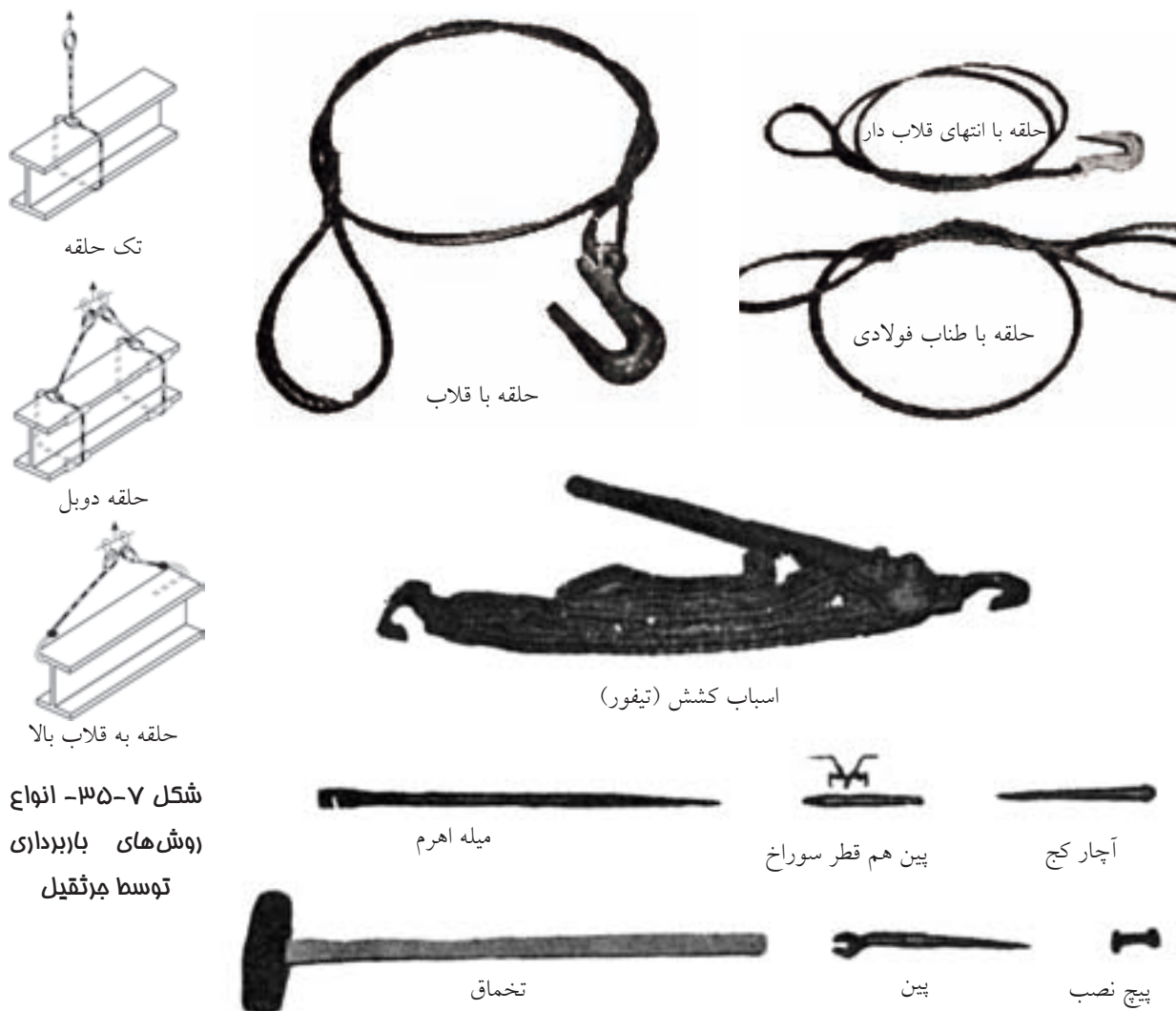


## ابزار نصب:

ابزار، وسایل و ماشین‌آلاتی که در نصب سازه‌های فولادی بکار می‌روند، بسته به نوع و اندازه سازه می‌توانند انواع مختلف داشته باشند. از طرف دیگر اغلب این وسایل طبق استانداردهای سازندگان مختلف تولید می‌شوند که از بین آن‌ها نوع و اندازه مناسب باید انتخاب شود. هرگاه بخواهند باری را به قلاب جراثقالی آویزان کنند. اگر اندازه و وزن بار اجازه چنین عملی را بدهد، می‌توان مطابق شکل ۷-۳۵ آن را به وسیله حلقه‌ای از طناب فلزی به قلاب آویزان کرد. طناب اصلی از یک قطعه طناب با طول مناسب که هر دو انتهای آن را به صورت حلقه کوچکی در آورده‌اند، تشکیل می‌شود. این طناب را دور قطعه به گونه‌ای که یکی از دو سر طناب از حلقه کوچک سر دیگر آن بگذرد، مهار می‌کنند. برای اتصال دو قطعه‌ی فلزی از وسایل اتصال استفاده می‌نمایند.

میله اهرم، اسباب کشش، تخم‌ماق برای جفت کردن و رسانیدن قطعه به وضعیت مورد نظر برای اتصال استفاده می‌شود. از پین و آچار کج برای همسو کردن سوراخ‌های قطعات استفاده می‌شود.

شکل ۷-۳۶، انواع ابزار نصب در سازه‌های فولادی و نحوه‌ی ایجاد حلقه را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۳۵- انواع روش‌های باربرداری توسط جرثقیل

شکل ۷-۳۶- ابزار نصب سازه‌های فولادی

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

۱- روش کوبیدن پرچ‌ها را شرح دهید و دلایل عدم استفاده از این روش را در سازه‌های امروزی بیان کنید.

۲- انواع سوراخ پیچ در اتصالات پیچی را با رسم شکل توضیح دهید.

۳- رفتار پرچ‌ها مانند کدامیک از انواع اتصالات اتکایی یا اصطکاکی است؟ توضیح دهید.

۴- روش‌های ایجاد پیش‌تندگی در پیچ‌های پرمقاومت را شرح دهید؟

۵- جوشکاری با استفاده از قوس الکتریکی را با رسم مدار جوش قوسی شرح دهید؟

۶- به نظر شما اگر قسمتی از روکش الکتروود به هر علتی شکسته و یا ریخته باشد، چه مشکلاتی ممکن است در جوشکاری بوجود آید؟

۷- انواع اتصالات جوشی را با رسم شکل نشان دهید؟ و توضیح دهید کدامیک از آن‌ها مقاومت سازه‌ای کمتری دارد؟

۸- مورد استفاده جوش شیاری را شرح دهید و آن را از نظر مقاومت با جوش گوشه مقایسه نمایید.

۹- تحقیق کنید که در چه زمانی از جوش شیاری یک طرفه یا دوطرفه استفاده می‌شود؟

۱۰- تحقیق کنید که دلیل استفاده از جوش شیاری نیم‌جناغی به جای جوش جناغی چیست و در چه مواردی استفاده از این نوع جوش مجاز است؟

۱۱- موارد استفاده از جوش کام و انگشتانه را بیان کنید؟

۱۲- در یک ساختمان با اتصالات جوشی، از چه نوع جوش‌هایی در اتصالات مختلف آن استفاده می‌شود؟ با تهیه‌ی عکس و گزارش از یک ساختمان فلزی این موضوع را بررسی و در کلاس گزارش نمایید.

۱۳- تحقیق کنید جوشکاری با رکتیفایر مناسب‌تر است یا ترانسفورماتور؟ چرا؟

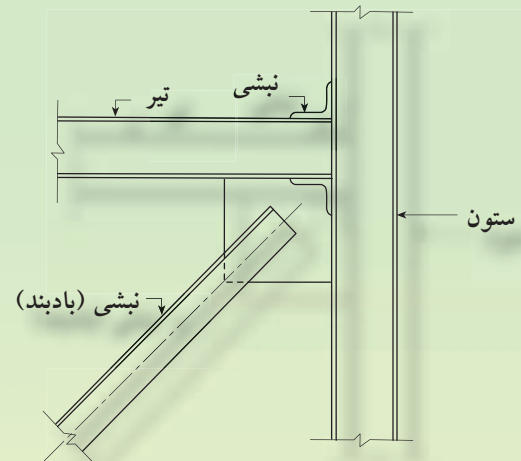
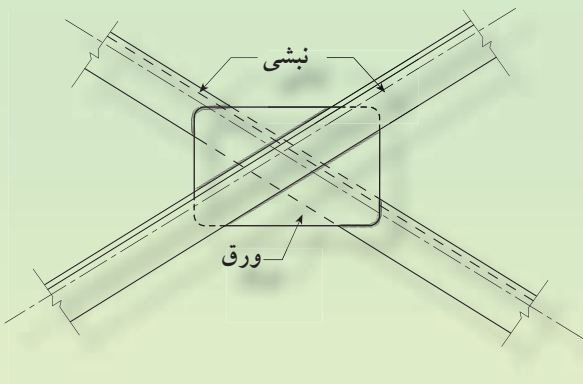
۱۴- حداقل ابزار لازم جهت انجام جوشکاری برای یک جوشکار چیست؟

۱۵- در صورتی که در کارگاه وزش شدید باد و بارش باران وجود داشته باشد و مجاز به تعطیل کردن کارگاه نباشید، چه راهی را جهت ادامه کار جوشکاری پیشنهاد می‌کنید؟



# فصل ۸

## اتصالات در سازه‌های فولادی



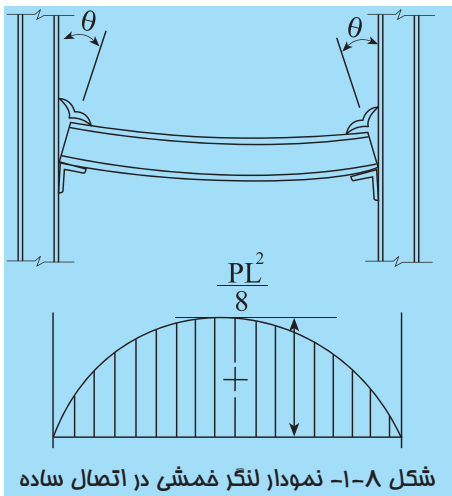
## هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل فراگیر باید بتواند:

۱. انواع اتصالات در ساختمان‌های فولادی را نام ببرد و هر کدام را توضیح دهد.
۲. انواع اتصالات تیر به ستون در ساختمان‌های فولادی را نام ببرد و تفاوت آن‌ها را از لحاظ عملکرد و نیروهای قابل تحمل شرح دهد.
۳. انواع اتصالات ساده را شرح دهد.
۴. روش‌های اجرای اتصالات ساده را توضیح دهد.
۵. اتصال صلب را تعریف کند و روش‌های اجرای آن را شرح دهد.
۶. اتصال خورجینی را تعریف کند و روش اجرای آن را شرح دهد.
۷. دلایل استفاده از اتصال خورجینی و نقاط ضعف آن را توضیح دهد.
۸. نکات اجرایی در اتصال مهاربندها را شرح دهد.
۹. دلایل وصله کردن تیرها و روش‌های اجرایی آن را شرح دهد.
۱۰. محل اتصال ستون به ستون و روش اجرای آن را شرح دهد.
۱۱. جزییات طراحی و اجرایی وصله‌ی تیرهای راه پله را شرح دهد.



اتصال اعضای قاب در اسکلت فولادی



## ۸-۱- انواع اتصالات در ساختمان‌های فولادی

اتصال (Connection) اعضای مختلف یک سازه‌ی فولادی متشکل از اعضای فشاری، کششی و خمشی به یکدیگر و به خودشان با روش‌های مختلف انجام می‌شود که شامل اتصال تیر به ستون، اتصال مهاربند به قاب، اتصال پای ستون و وصله‌ها می‌باشد.

## ۸-۲- اتصال تیر به ستون

مجموعه به هم پیوسته اعضای یک سازه را معمولاً «قاب» (Frame) می‌نامیم. اصولاً در ساختمان‌های فولادی نحوه اتصال و رفتار قطعات نسبت به یکدیگر در تکیه‌گاه (محل تقاطع اعضا) در محاسبات حائز اهمیت می‌باشد. بدون در نظر گرفتن چگونگی رفتار قطعات نسبت به هم، تعیین مشخصات مقاطع ستون‌ها و شاهتیرها میسر نیست. اتصالات در تکیه‌گاه ساختمان‌های فولادی که برای به هم پیوستن اعضای سازه به کار می‌رود، عموماً به سه دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند:

الف) اتصال ساده (مفصلی)

ب) اتصال نیمه صلب

پ) اتصال صلب

## ۸-۲-۱- اتصال ساده تیر به ستون (مفصلی)

### (hinge connection)

در این نوع اتصال تیر می‌تواند آزاد باشد و به راحتی دوران زاویه‌ای به خود بگیرد. بنابراین در این تکیه‌گاه لنگر گیرداری وجود ندارد. به عبارتی تکیه‌گاه، لنگری را منتقل نمی‌کند. اتصال با جفت نبشی جان، اتصال با نبشی نشیمن و اتصالات با نشیمن تقویت شده از این گروه هستند که آن‌ها را «اتصالات برشی» نیز می‌نامند.

## بیشتر بدانیم



اتصال صحیح تیر و ستون موجب پایداری سازه در زلزله بزم شده است.



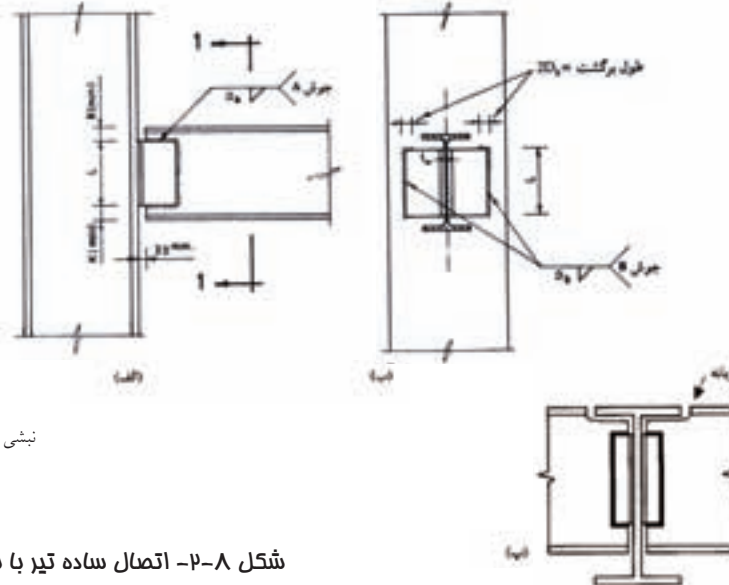
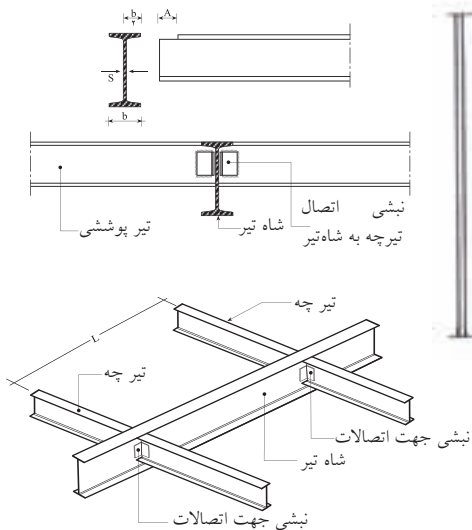
ضعف نبشی اتصال و جوش نامرغوب اتصال موجب جدا شدن تیر از ستون در زلزله‌ی بزم شده است.

## ۸-۲-۱-۱- اتصال ساده‌ی تیر با نبشی جان

اتصال ساده‌ی برشی به کمک نبشی جان، برای اتصال تیرچه به شاهتیر یا تیر به ستون به کار می‌رود. در این نوع اتصال، نبشی باید تا سر حد امکان انعطاف پذیر در نظر گرفته شود (شکل ۸-۲).



در این اتصال ساده‌ی تیر به تیر دو عدد نبشی را در یک سر تیر به جان آن جوش می‌دهند و در سمت دیگر با خال جوش به ستون یا شاهتیر متصل می‌کنند. جوش بین نبشی و ستون یا شاهتیر را بعد از این که اتصال تنظیم شد، بر روی کار انجام می‌دهند. وقتی که از نبشی جان برای اتصال تیر به ستون استفاده می‌گردد، فاصله‌ای در حدود ۲۰ میلی‌متر بین تیر و ستون در نظر گرفته می‌شود تا نصب تیر ساده باشد. وقتی که اتصال تیرچه به شاهتیر به نحوی انجام می‌گیرد که بال‌های فوقانی هر دو در یک تراز واقع می‌گردد، باید قسمتی از بال تیرچه را زبانه کرد (شکل ۸-۲-پ).



شکل ۸-۲- اتصال ساده تیر با نبشی جان

**یشی‌تر بدانیم**

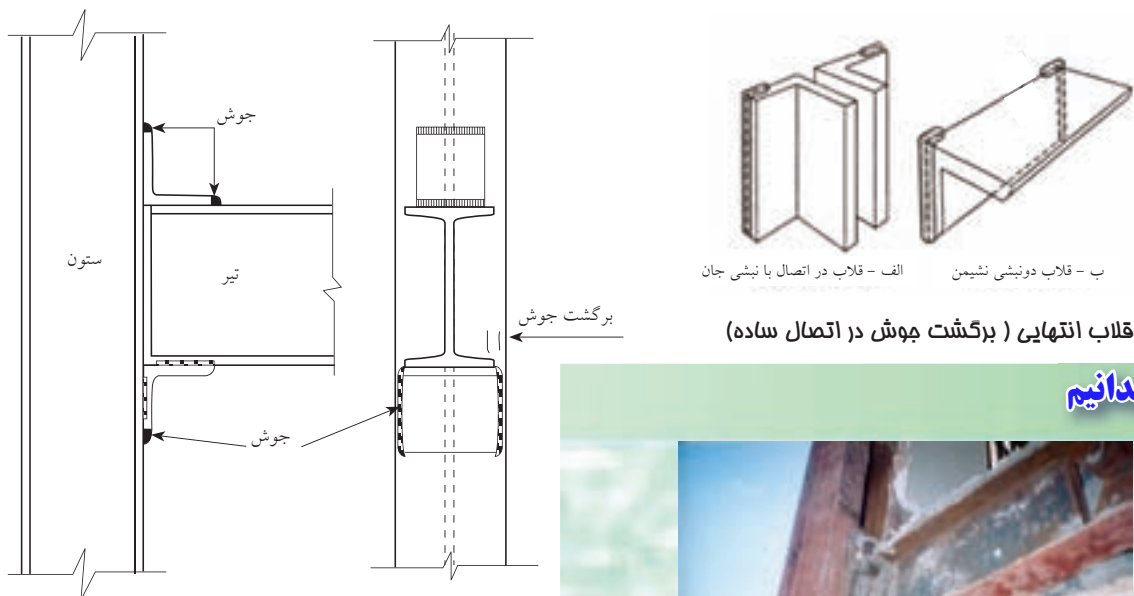
اتصال نادرست تیر به ستون با مقطع قوطی شکل که نبشی نشیمن چند سانتیمتر پایینتر از محل اصلی خود قرار گرفته است و سازنده به جای نصب نبشی نشیمن اقدام به سوراخ کردن قوطی کرده و تیر را در داخل آن قرار داده است.



## ۸-۲-۱-۲- اتصال ساده ی تیر با نبشی نشیمن:

مانند اتصال ساده با نبشی جان، از اتصال با نبشی نشیمن تنها برای انتقال واکنش تکیه‌گاهی قائم استفاده می‌شود. بنابراین اتصال نباید در انتهای تیر، گیرداری قابل توجهی ایجاد کند. به این دلیل است که نبشی نشیمن و نبشی بالایی باید نسبتاً قابل انعطاف باشند. در این نوع اتصال، تیر بر روی یک نشیمن که هیچ گونه تقویتی در آن صورت نگرفته است، قرار می‌گیرد.

نبشی نشیمن عمل نصب و تنظیم تیر را آسان می‌کند. این نوع نبشی معمولاً ابتدا در کارخانه یا در کارگاه در ارتفاع لازم به ستون جوش داده می‌شود و بعد از نصب ستون، تیر را روی آن سوار نموده و به آن جوش می‌دهند. در این اتصال، نبشی کمکی دیگری در بالای تیر نصب و جوش می‌شود که در باربری قائم مشارکت ندارد و تنها برای ثابت نگه داشتن تیر در محل خود و تأمین تکیه‌گاه عرضی و جلوگیری از غلتیدن آن به کار می‌رود. سعی می‌شود اتصال با نبشی نشیمن تا حد امکان انعطاف پذیر باشد تا از آزادی دورانی تیر در تکیه‌گاه جلوگیری نشود و در حقیقت بصورت اتصالی ساده و مفصلی عمل نماید و تکیه‌گاه لنگری را تحمل نکند. معمولاً عرض نشیمن نباید از  $7/5$  سانتی‌متر کمتر باشد. طبق ضوابط طراحی، عرض استاندارد ۱۰ سانتی‌متر برای نشیمن انتخاب می‌شود. برای این منظور نبشی فوقانی را با ابعاد ظریف انتخاب کرده و فقط دو لبه‌ی انتهایی بال‌های آن را (در امتداد عرض بال تیر) جوش می‌دهند. (شکل ۸-۳)

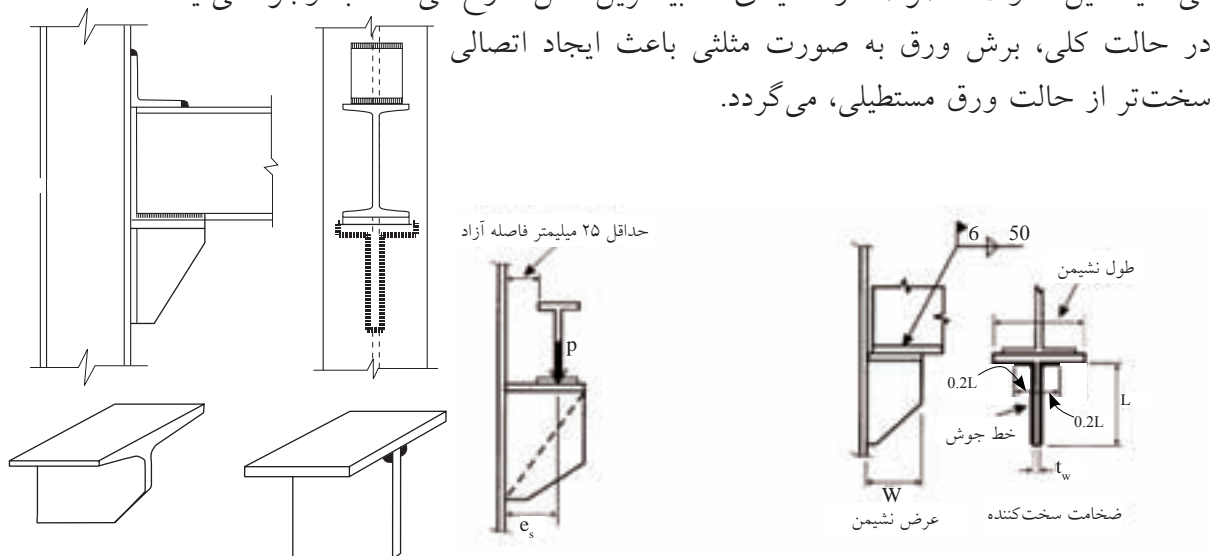


شکل ۸-۳- اتصال ساده تیر با نبشی نشیمن

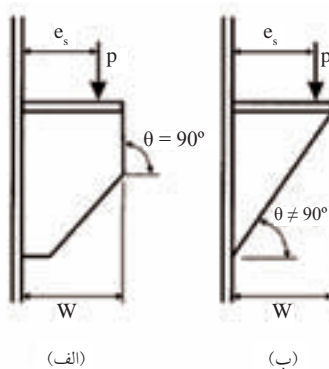
### ۸-۲-۱-۳- اتصال ساده تیر با نشیمن تقویت شده

وقتی که عکس العمل قائم در محل تکیه‌گاه زیاده‌تر از حد تحمل نشیمن‌های ساده گردد، می‌توان از نبشی با ورق تقویت شده استفاده کرد. ضخامت صفحه‌ی نشیمن‌گاه در حدود ضخامت بال تیر انتخاب می‌شود و از صفحات تقویت‌کننده (محکم‌کننده) زیر نشیمن به صورت مستطیلی یا مثلثی (که لچکی نامیده می‌شود) استفاده می‌گردد. (شکل ۸-۴)

وقتی که صفحات سخت‌کننده در زیر یک نشیمن طاقچه‌ای به صورت مثلثی مانند شکل ۸-۵-ب برش داده می‌شود، صفحه به صورتی متفاوت با حالتی که لبه‌ی آزاد موازی جهت بار وارده است (شکل ۸-۵-الف) عمل می‌نماید. این تفاوت خصوصاً در ناحیه‌ای که بیشترین تنش‌ها رخ می‌دهند به وجود می‌آید.



شکل ۸-۴- انواع اتصال ساده با نشیمن تقویت شده



شکل ۸-۵- اتصال ساده با نشیمن تقویت شده

با این که این اتصال برای نیمرخ‌های تک هم قابل استفاده است، ولی نیمرخ‌های زوج به دلیل عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی بالاتر، نیاز بیشتری به تکیه‌گاه‌های تقویت شده دارند.

لازم به ذکر است جهت جوش دادن ورق سخت‌کننده در داخل نبشی تکیه‌گاه نکات زیر باید رعایت شود:



موشکاری نبشی نشیمن روی زمین

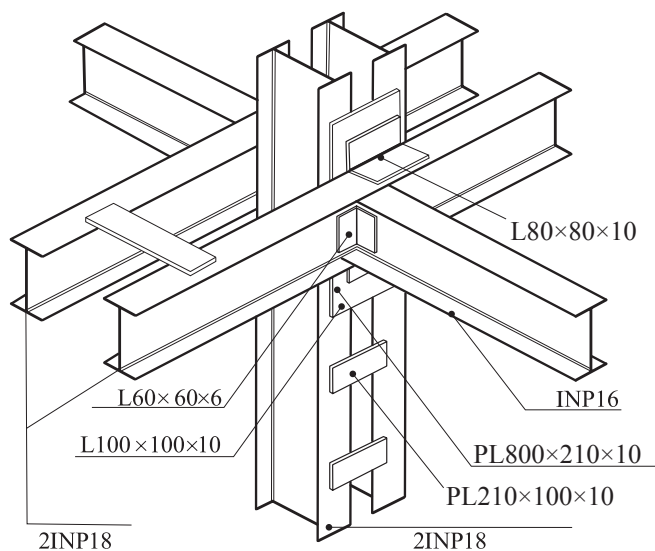
- ۱- جهت حرکت جوشکاری از گیرداری بیشتر به سمت آزادی بیشتر است یعنی از محل کنج داخلی نبشی به سمت بیرون.
- ۲- در انتهای جوش هر طرف سخت‌کننده یک برگشت به سمت مقابل (قلاب کردن جوش) انجام شود.
- ۳- از ایجاد حوضچه‌ی جوش پرنشده خودداری شود.

## ۸-۲-۱-۴- اتصال خورجینی

اتصال خورجینی در گذشته متداول‌ترین شکل اتصال در ساختمان‌های اسکلت فلزی در ایران بود. نحوه‌ی اجرای اتصال خورجینی بدین طریق است که تیرهای برابر از طرفین ستون‌ها به طور یکسره عبور داده می‌شوند و روی نبشی‌هایی که در طرفین ستون نصب شده‌اند قرار می‌گیرند. معمولاً در بالای هر تیر یک نبشی قرار می‌دهند، لذا اتصال خورجینی تامین‌کننده‌ی نشیمن برای عبور یک جفت تیر سرتاسری از طرفین ستون است. (شکل ۸-۶ و ۸-۷)

کاربرد گسترده‌ی این اتصال در ایران به علت سادگی اجرا، کاهش هزینه، کم کردن نیمرخ بال پهن و قابلیت استفاده از شماره‌های بالای نیمرخ IPE بوده است. یکی از اجزای کلیدی در اتصال خورجینی، نبشی‌های بالا و پایین اتصال است. تیرهای اصلی قاب‌ها که به صورت یکسره از کنار ستون‌ها عبور کرده‌اند، روی نبشی‌های نشیمن سوار می‌شوند و معمولاً از یک نبشی اتصال کوچک نیز برای اتصال بال فوقانی تیر به ستون استفاده می‌شود که مقداری گیرداری در اتصال به وجود می‌آورد. نبشی تحتانی با عرض پهن‌تر از پهنای بال تیر I شکلی که بر روی آن قرار می‌گیرد، انتخاب می‌شود و این عمل به خاطر فراهم نمودن سطحی است که بتوان تیر را به نبشی جوش داد.

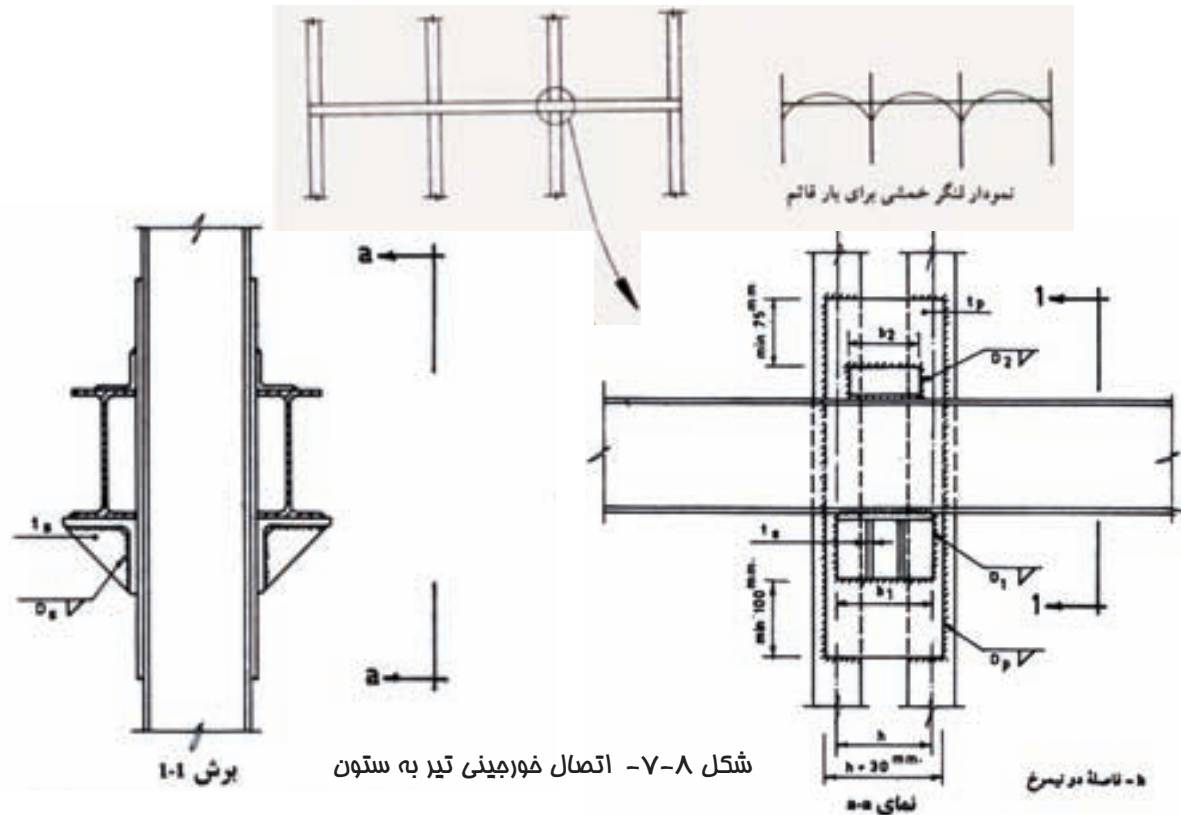
وقتی که ستون‌ها به صورت خوابیده بر روی زمین آماده‌سازی می‌شوند، نبشی‌های تحتانی در محل‌های خود جوش می‌شوند و پس از نصب ستون‌ها و قراردادن تیرها بر روی نبشی‌های تحتانی، بال تیر به نبشی تحتانی به صورت افقی جوش شده و سپس نبشی فوقانی نصب و به بال فوقانی تیر جوش می‌شود.



شکل ۸-۶- اتصال خورجینی تیر به ستون

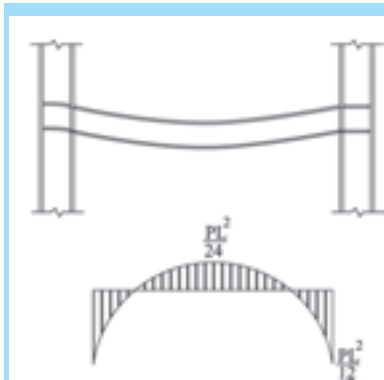
قاب با اتصال خورجینی فقط برای تحمل بارهای قائم طراحی می‌شوند. این اتصال در مقابل بارهای جانبی عملکرد خوبی ندارد و تنها برای تحمل بارهای قائم مناسب است و بارهای جانبی را باید سیستم‌های دیگری از جمله مهاربندها تحمل کنند.

یکی دیگر از مشکلات اتصال خورجینی هنگامی بروز می‌کند که تیرها در دو طرف، دهانه‌های نامساوی را پوشش دهند. در این صورت دهانه‌های نامساوی عکس‌العمل‌های نامساوی را در برابر بارهای وارده نشان خواهند داد و افزایش لنگرها را موجب می‌شوند. عدم اتصال تیرهای موازی به هم و نامساوی بودن دهانه‌ی طرفین، باعث می‌شود که نتوانند با هم کار کنند.



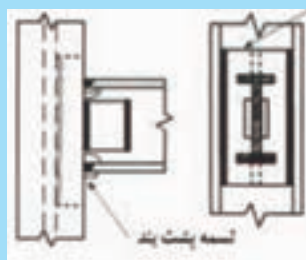
### ۸-۲-۲- اتصال صلب تیر به ستون (Rigid Connection):

در تکیه‌گاه کاملاً گیردار، دوران زاویه‌ای (چرخشی) بین تیر و ستون انجام نمی‌گیرد، در این نوع اتصال تکیه‌گاهی، تامین درصد گیرداری در حدود ۹۰ درصد یا بیشتر برای جلوگیری از تغییر زاویه ضرورت دارد.

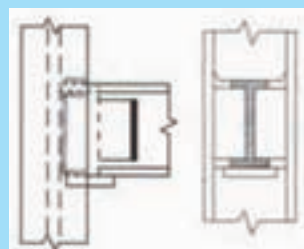


مقصود طراح در هنگام استفاده از اتصال صلب تیر به ستون این است که اتصال قادر به انتقال کامل لنگر باشد و هیچ گونه چرخش نسبی بین اعضای وارد به اتصال به وجود نیاید. تنوع اتصالات صلب تیر به ستون آنقدر زیاد است که مشکل بتوان لیست کاملی از آنها تهیه نمود، لیکن اتصالات رایج نشان داده شده در شکل ۸-۸ امروزه به نحو گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

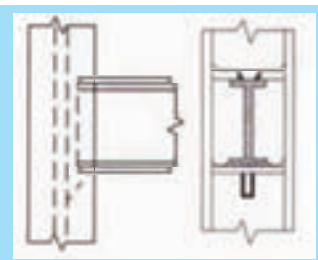
قسمتی از جوش اغلب این اتصالات در کارخانه و یا در روی زمین انجام می‌شود و مابقی آن پس از نصب توسط جوش در محل و یا پیچ‌های پرمقاومت تکمیل می‌گردد.



پ) نیم‌رخ T با ورق‌های پشت بند و ورق جان



ب) ورق فوقانی و تحتانی با ورق جان و ورق نشیمن



الف) ورق فوقانی و نبشی نشیمن

شکل ۸-۸- انواع اتصالات صلب تیر به ستون



### ۸-۲-۲-۱- اتصال مستقیم

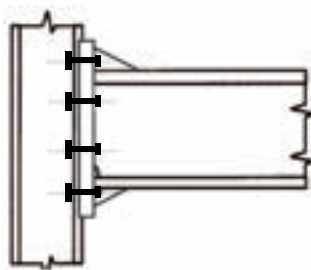
در شکل ۸-۹-الف، بال فوقانی و تحتانی به طور مستقیم و بدون هیچ واسطه‌ای با جوش شیاری با نفوذ کامل به ستون جوش شده است. اجرای این جزییات در پای کار مشکل است، زیرا طول تیر باید دقیقاً به اندازه‌ی فاصله‌ی آزاد دو ستون بریده شود که این عمل به راحتی امکان پذیر نیست.

### ۸-۲-۲-۲- اتصال با ورق زیرسری و روسری

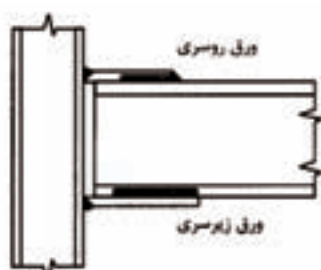
در شکل ۸-۹-ب برای هر دو بال تحتانی و فوقانی به ترتیب از ورق‌های زیرسری و روسری استفاده شده است. ورق زیرسری در کارگاه بر روی زمین به ستون جوش شده و ورق روسری پس از نصب تیر روی آن مونتاژ و جوش می‌شود. (شکل ۸-۱۰)

### ۸-۲-۲-۳- اتصال فلنجی

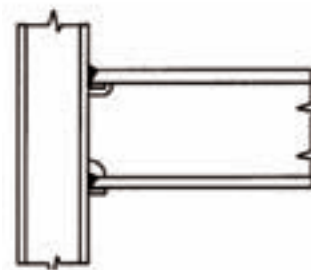
در شکل ۸-۹-پ، نوعی از اتصال صلب با استفاده از ورق اتصال فلنجی در انتهای تیر نشان داده شده است. روش اتصال تیرها به هم با استفاده از پیچ‌های پرمقاومت و بصورت اصطکاکی می‌باشد.



پ) اتصال فلنجی



ب) اتصال با ورق زیرسری و روسری



الف) اتصال مستقیم



اتصال فلنجی



اتصال با ورق زیرسری و روسری



### شکل ۸-۹- انواع اتصال صلب تیر به ستون



نصب ورق زیرسری روی ستون در کارگاه

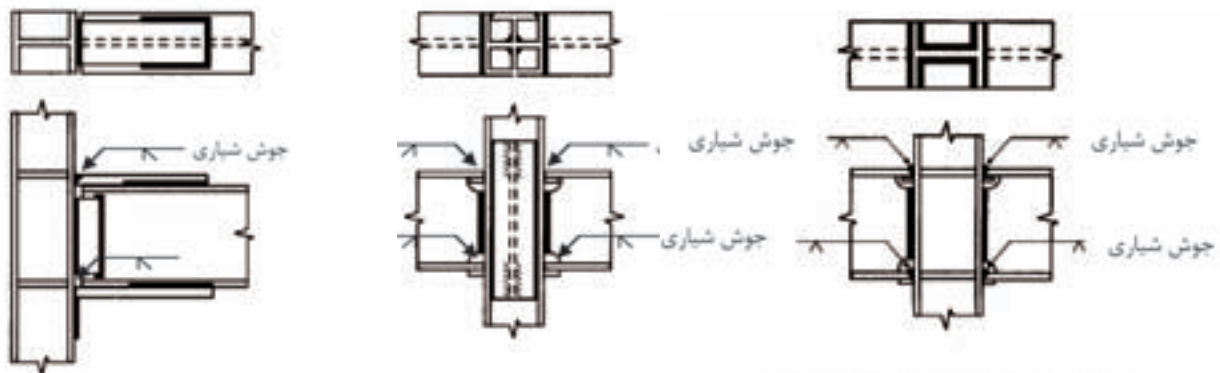


نصب و جوش ورق روسری در محل نصب

### شکل ۸-۱۰- نصب ورق زیرسری و روسری در اتصال صلب

## ۸-۲-۲-۴- اتصالات صلب در قاب‌های صفحه‌ای و فضایی

در اتصال صلب تیر به ستون، تیرها ممکن است از دو طرف به هر دو بال ستون بطور مستقیم متصل شده باشند (شکل‌های ۸-۱۱-الف و ب) و یا با استفاده از ورق‌های زیرسری و روسری به بال ستون متصل شوند (شکل ۸-۱۱-پ). همچنین ممکن است همانند شکل ۸-۱۲، تیرها از یک یا دو طرف به جان ستون به طور صلب متصل شده باشند. اگر در یک سیستم قاب صلب، تیرها فقط در یک راستا به دو بال و یا جان ستون متصل شده باشند سیستم را، قاب صلب صفحه‌ای می‌نامند. سیستم قاب صلبی که شامل اتصالاتی باشد که در آن تیرها در دو راستای متعامد به بال و جان ستون متصل شده باشند (البته ممکن است که فقط بر یک طرف جان و بال متصل شده باشند) به نام قاب صلب فضایی خوانده می‌شود.

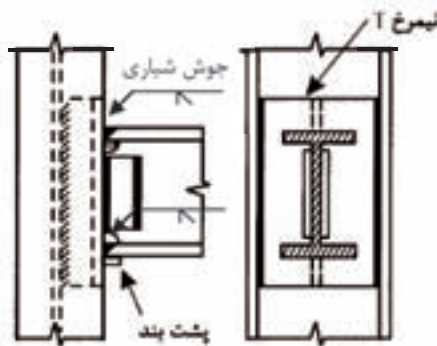


پ) اتصال با ورق روسری و زیرسری

ب) سخت کننده قائم

الف) اتصال مستقیم بال به بال توسط جوش شیار

شکل ۸-۱۱- اتصالات صلب تیر به بال ستون از نوع جوشی



شکل ۸-۱۲- اتصال صلب تیر به جان ستون از نوع

جوشی با استفاده از نیم رخ T

پیش‌تر بدانیم

به علت کم بودن طول  
اتصال چند دهانه پل  
تخریب شده است.

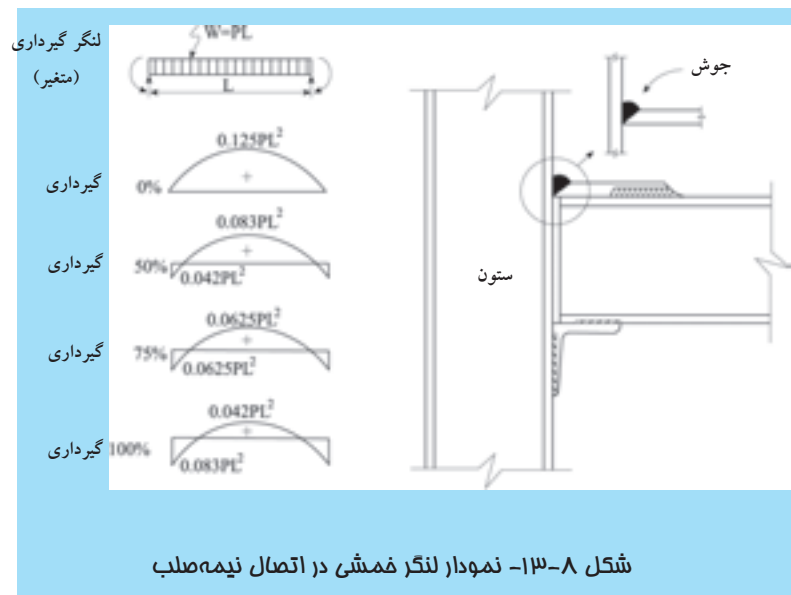


تخریب پل آگواکالینت، به علت ضعف در اتصالات تیرورق‌های  
عرشه‌ی پل به تکیه‌گاه، در زلزله گواتامالا (۱۹۷۶)



### ۸-۲-۳- اتصال نیمه صلب تیر به ستون (Semi-rigid-Connection)

اتصالاتی را که مقداری گیرداری در تکیه‌گاه به وجود می‌آورند و در نتیجه باید برش و لنگر را توأمان تحمل کنند «اتصالات نیم‌گیردار» می‌نامیم. در این حالت، بین تیر و ستون دورانی صورت می‌گیرد که مقدار آن کمتر از اتصال مفصلی است. در عین حال، مقداری لنگر گیرداری در تکیه‌گاه تولید می‌کند و گیرداری آن بسته به وضعیت اتصالات، بار و دهانه‌ی تیر ممکن است بین ۲۰ تا ۹۰ درصد باشد. (شکل ۸-۱۳)



شکل ۸-۱۴- نمونه‌ای از اتصال نیمه صلب تیر به ستون

### بیش‌تر بدانیم



شکست اتصال تیرچه به تیر اصلی در زلزله بم

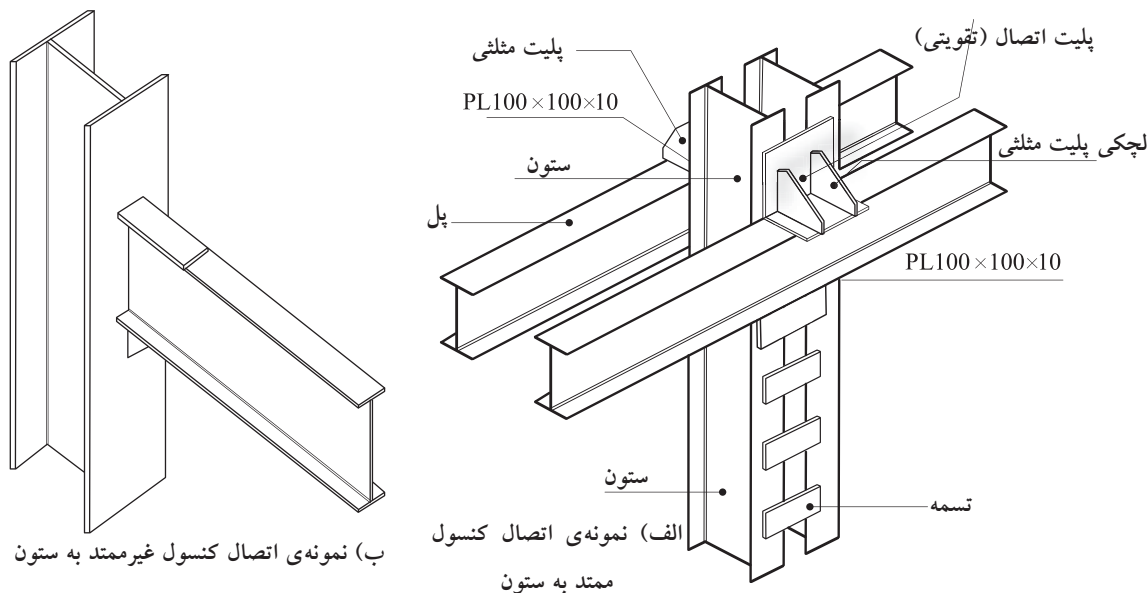


اجرای ناصحیح نبشی نشیمن در تکیه‌گاه تیرو ستون، منجر به تخریب کلی سقف شده است.

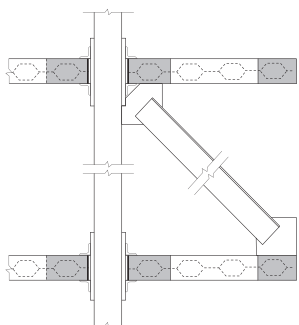


## ۸-۲-۴- اتصال کنسول‌ها به ستون

در سیستم اسکلت فلزی، پیش‌آمدگی (کنسول)، به دو شیوه اجرا می‌گردد؛ یکی پیش‌آمدگی ممتد که تیرها از ستون عبور می‌کنند (به صورت تک یا دوبل) و کنسول لازم به دست می‌آید؛ دیگر اینکه کنسول به صورت غیرممتد باشد (شکل ۸-۱۴). اتصالات باید متناسب با طول کنسول، مقدار بار وارده و نحوه گیرداری آن به ستون طراحی شود. چون کنسول در محل تکیه‌گاه لنگر منفی دارد، باید اتصال آن به ستون همانند اتصال صلب تیر به ستون اجرا شود. کلیه ابعاد و اندازه‌ی اتصالات و تقویت‌کننده‌ها بر اساس محاسبات انتخاب می‌شوند.



شکل ۸-۱۴- نمونه‌ی اتصال کنسول به ستون



شکل ۸-۱۵- نمونه اتصال کنسول با دستک

در صورت استفاده از اتصال مفصلی و یا در مواقعی که طول کنسول از حد معینی تجاوز کند و یا مقدار بار وارده به آن به اندازه‌ای باشد که نبشی‌ها یا ورق اتصال جواب‌گو نباشند، می‌توان از دستک استفاده کرد. با توجه به نقشه‌ی معماری می‌توان این دستک را در پایین یا بالای تیر در نظر گرفت و اتصال صحیح و اصولی را اجرا کرد. (شکل ۸-۱۵).

**بیش‌تر بدانیم**

این سازه در یک طرف دارای اتصالات خورجینی و در طرف دیگر دارای اتصالات ساده می‌باشد و هیچ‌گونه مهاربند جانبی در آن تعبیه نشده است. این موضوع سبب شده تا نیروی زلزله، مستقیماً به دیوارهای میان‌قاب وارد شده و از آنجا که این دیوارها، دارای ظرفیت باربری کمی هستند، به طور کامل تخریب شوند.

اتصال نامناسب تیر موجب فرو ریختن سقف شده است.

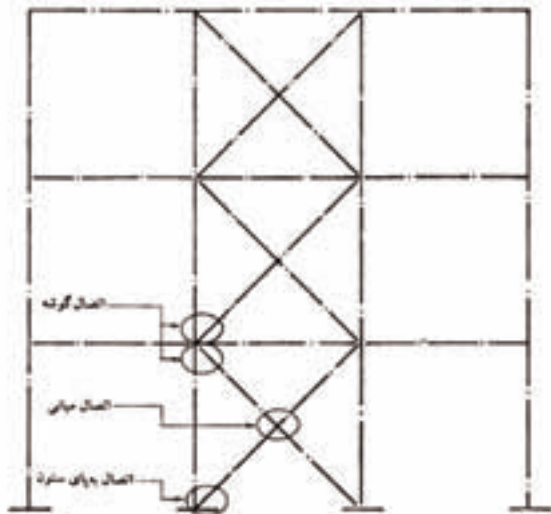


### ۸-۳- اتصال مهاربند به قاب فولادی

معمولترین مهاربندها در اسکلت‌های فولادی مهاربندهای ضربدری (X) می‌باشد. (شکل ۸-۱۶)

اتصال مهاربندها در گوشه‌ها به قاب فولادی، با یک صفحه (ورق فولادی) انجام می‌گیرد. نحوه ساخت و نصب به این گونه می‌باشد که با پروفیل‌های مورد نظر، اعضای مورب را بر روی سطح صاف نظیر کف کارگاه یا زمین معمولاً به وسیله ورق فلزی مربع مستطیل که در ناحیه وسط جوش می‌شود، تهیه می‌کنند.

اعضای مورب به وسیله بالابر یا جرثقیل یا کشیدن توسط طناب، در محل اتصال قرار می‌گیرند و در محل خود، در روی ورق فلزی که به ستون و تیر وصل است، جوش می‌گردد. (شکل ۸-۱۷)



شکل ۸-۱۶- بادبند فولادی ضربدری



شکل ۸-۱۷- نمونه‌ی اجرای اتصالات مهاربندی

بیشتر بدانیم

**نکته:**

- پایداری مهاربند به یک یا نیمه عرض بزرگتر از عرض یا تیر جهت جوشکاری تیر بصورت تخت بر روی آن و خول بزرگتر از نیمه عرض تیر اتصال پایداری به ستون جوش می‌گردد و یک از پروفیل‌های بادبند ضربدری به آن متصل می‌گردد.

- در پایداری اتصالات تیر به ستون نیز اجرا می‌گردد.

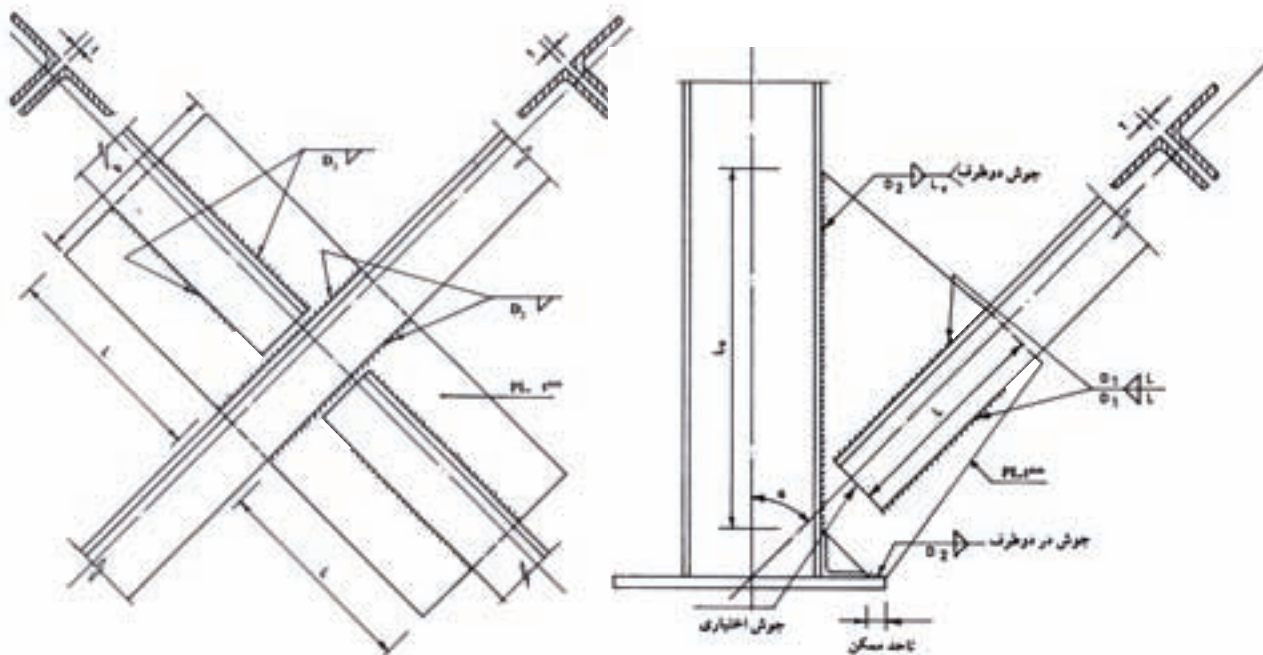
- تیر بعد از تمام شدن ستون بر روی اتصالات و پایداری مهاربند اجرا شده و جوشکاری لازم بصورت تخت و یا کیفیت خوب اجرا می‌گردد.

**پایبند پایداری**

**توضیح:**

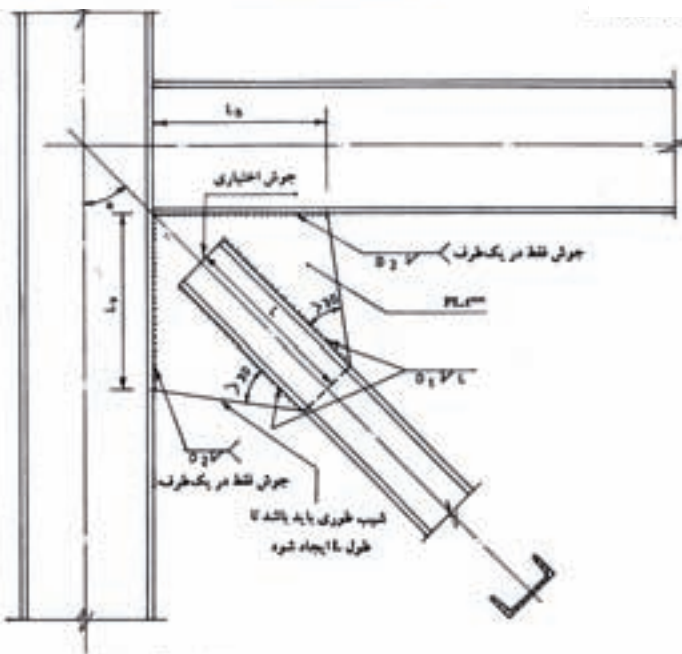
- اتصالات نامناسب بادبند به تیر - از نیمه عرض تیر نامناسب - خول جوش کم - جوشکاری یا کیفیت پایین - غیر مناسب بودن مورجای اتصال - شکل نامناسب ورق - ستون شدن فضای کافی برای اتصالات تیر به ستون

در شکل ۸-۱۸ چند نمونه بادبند و جزئیات اتصالات مهاربندها نشان داده شده است.



اتصال میانی در بادبند از نیمرخ نبشی زوج

اتصال به پای ستون در بادبند از نیمرخ نبشی زوج



اتصال گوشه در بادبند از نیمرخ ناودانی تک

### شکل ۸-۱۸- جزئیات اتصالات مهاربند

برای جوش دادن ورق‌های مهاربند به بال تیر یا بال ستون، باید جهت جوشکاری از سمت گیرداری بیشتر به سمت آزادی بیشتر انجام شود.

بهتر است ورق‌های مهاربندی در مرحله‌ی ساخت ستون‌ها روی ستون و در محل مناسب مطابق نقشه، نصب شوند و در روی زمین در وضعیت افقی جوشکاری شود. خروج از مرکزیت و ناگونیا بودن ورق‌های مهاربندی در زمان نصب باعث بوجود آمدن مشکلات فراوانی می‌شود.

در مهاربندهای جفت، باید در فواصل حدوداً یک متری از یک سری تسمه‌های فولادی به ضخامت ورق‌های مهاربندی جهت ثابت نگه داشتن آن‌ها استفاده شود.

در جوش اتصال عضو مهاربندی به ورق مهاربندی باید حدود ۲ سانتی متر از انتهای دو جوش سمت لبه‌ی بیرونی ورق مهاربندی جوشکاری نشود.

## ۴-۸- اتصال پای ستون

در طراحی اتصال پای ستون دو شرط اصلی زیر باید تأمین گردد:  
(الف) نیروی فشاری موجود در مقطع ستون باید توسط ورق کف ستون در شالوده گسترش یابد که تنش فشاری در بتن شالوده کمتر از مقادیر مجاز توصیه شده توسط آیین‌نامه‌ها شود.  
(ب) ورق کف ستون و ستون کاملاً به بتن شالوده مهار گردد.

## ۴-۸-۱- انواع اتصال ستون به شالوده

جزئیات اتصال ستون فلزی به شالوده بتنی، به نیروی موجود در پای ستون بستگی دارد. در ستون با انتهای مفصلی فقط نیروی فشاری و برشی از ستون به شالوده منتقل می‌شوند. اگر بخواهیم لنگر خمشی را نیز به شالوده منتقل نماییم، در آن صورت، نیاز به طرح اتصال مناسب برای این کار خواهیم داشت که «اتصال گیردار» خوانده می‌شود. (شکل ۴-۲۸)

### بیشتر بدانیم



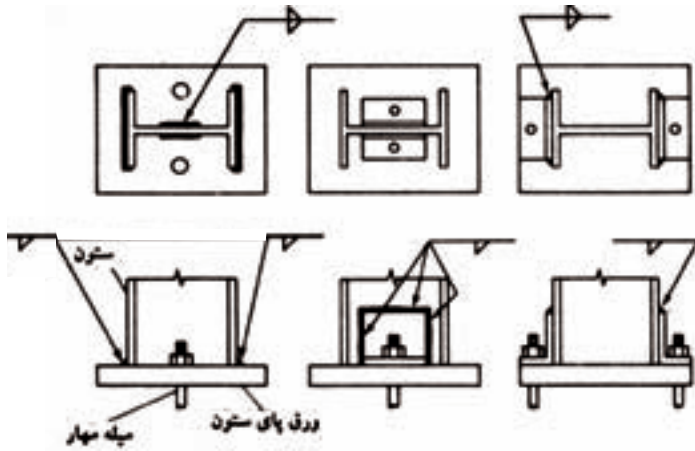
اتصال نادرست مفصلی تیر و ستون موجب تخریب سازه در زلزله بم شده است.



ضعف اتصال مفصلی تیر و ستون موجب تخریب سازه در زلزله شده است.

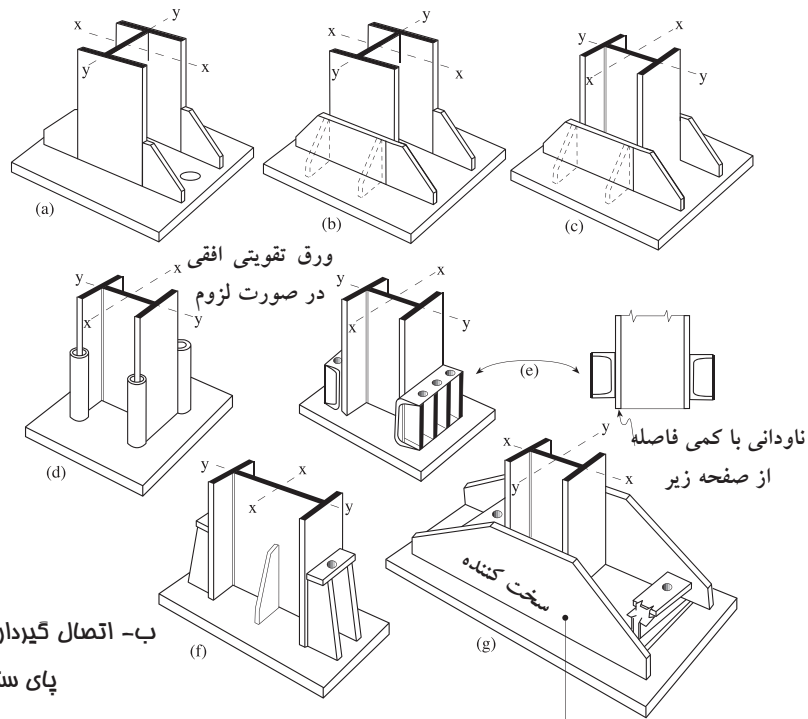


## ۸-۴-۲- اتصال ستون به ورق پای ستون



الف - اتصال ساده‌ی ستون به ورق پای ستون

در اتصال مفصلی پای ستون، فقط نیروی محوری و نیروی برشی از ستون به ورق پای ستون منتقل می‌شود. در شکل ۸-۱۹-الف چند نمونه از جزئیات اتصال ساده‌ی ستون به ورق پای ستون نشان داده شده است. در اتصال گیردار پای ستون علاوه بر نیروهای محوری و برشی، لنگر خمشی نیز به ورق پای ستون انتقال می‌یابد. شکل ۸-۱۹-ب، نمونه‌هایی از اتصال گیردار ستون به ورق پای ستون را نشان می‌دهد.



ب- اتصال گیردار ستون به ورق پای ستون

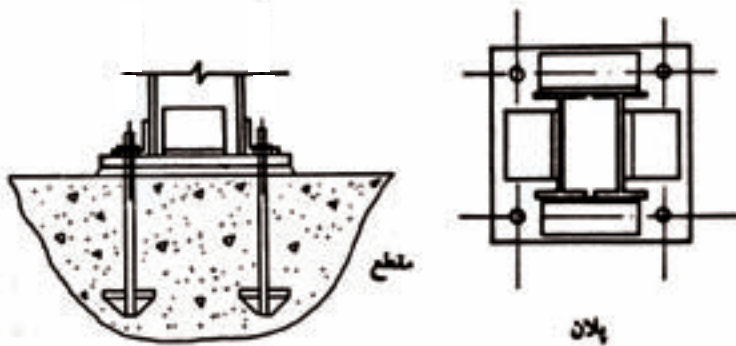
شکل ۸-۱۹- نمونه‌هایی از اتصال ستون به ورق پای ستون



جدا شدگی دو بال نبشی نشیمن تیر به ستون، نشان‌دهنده‌ی ضعف مقاومت کششی نبشی در مقابل نیروی ناشی از زلزله بوده است. زیرا اندازه‌ی نبشی و مقدار جوش آن به اندازه کافی نبوده است.



انتهای ستون که با ورق کف ستون در تماس است، باید به صورت گونیا بریده شده و سنگ زده شود تا در تماس کامل با ورق کف ستون قرار بگیرد. در چنین حالتی، اکثر نیروی محوری توسط فشار تماسی منتقل می‌شود و نبشی‌ها و یا جوش فقط عمل نگهداری و انتقال نیروی برشی را برعهده می‌گیرند. در صورتی که انتهای ستون سنگ زده نشود، جوش و نبشی‌های اتصال باید بتوانند صد در صد نیروی محوری را انتقال دهند. (شکل ۸-۲۰)



شکل ۸-۲۰- نمونه‌ای از اتصال مفصلی ستون به ورق پای ستون

### ۸-۴-۳- استفاده از ورق‌های سخت کننده در اتصال گیردار پای ستون

گاهی مواقع به منظور کم کردن ضخامت ورق کف ستون، از ورق‌های سخت کننده‌ی مثلثی یا دوزنقه‌ای در اتصال گیردار پای ستون استفاده می‌شود. (شکل ۸-۲۱)



شکل ۸-۲۱-  
نمونه‌ی اتصال  
گیردار پای ستون با  
ورق سفت‌کننده



### بیشتر بدانیم



اتصال نامناسب ورق اتصال مهاربند به ستون، ناکافی بودن طول جوش و ابعاد ورق اتصال و لاغری عضو، منجر به گسیختگی مهاربند از محل اتصال شده است



اجرای نامناسب جوش در درون گوشه‌ی مهاربند منجر به جدا شدن مهاربند از ستون در اثر نیروی ناشی از زلزله شده است

## ۸-۵- وصله‌ها

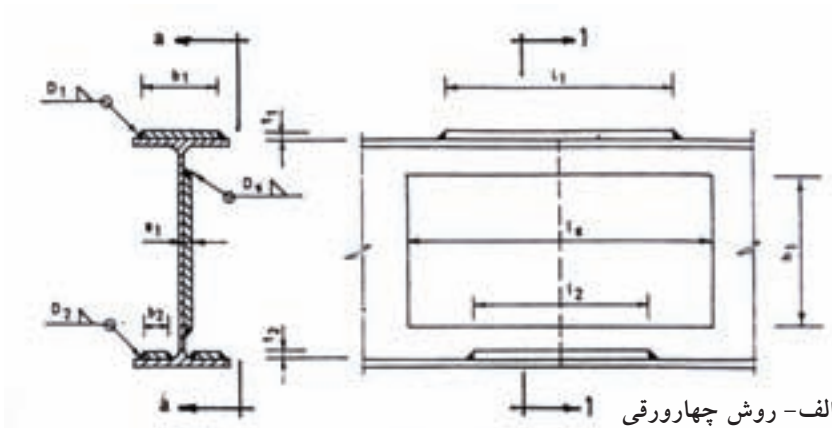
### ۸-۵-۱- وصله‌ی تیرها

در اجرای تیرها و یا شاهتیرها به دلایلی باید جهت اتصال قطعات از وصله استفاده نمود که مهمترین آنها عبارتند از:

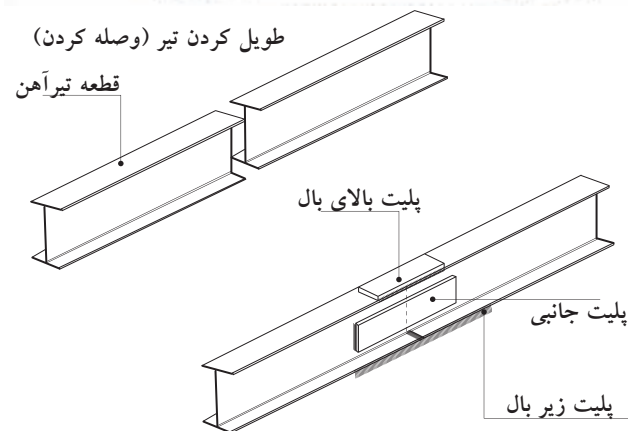
۱- طول استاندارد پروفیل کافی نباشد.

۲- تغییر اندازه‌ی تیر آهن یا پروفیل لازم باشد.

۳- کاهش ضایعات تیر آهن ضروری باشد.



الف- روش چهارورقی



طویل کردن تیر (وصله کردن)

قطعه تیر آهن

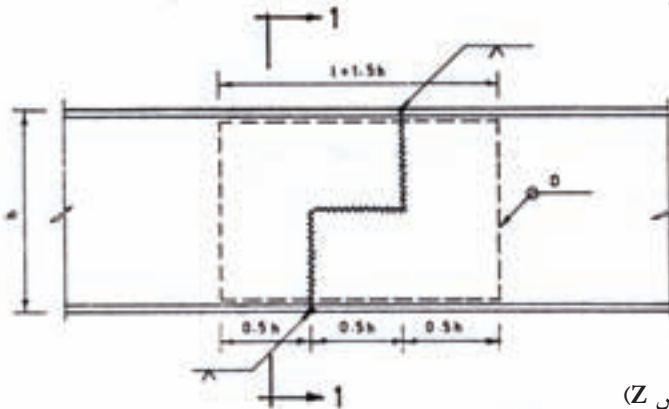
پلیت بالای بال

پلیت جانبی

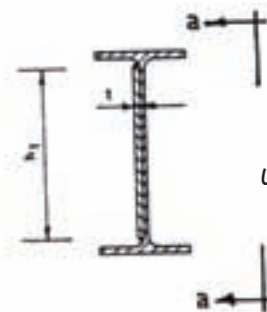
پلیت زیر بال

وصله کردن تیرها به سه روش نشان داده شده در شکل ۸-۲۲ انجام می‌شود. وصله‌ی تیرها به صورت مستقیم و بدون استفاده از ورق‌های تحتانی و فوقانی بیشتر، در مواردی که ملاحظات معماری اجازه‌ی استفاده از ورق‌های تحتانی و فوقانی را نمی‌دهد قابل استفاده است.

ب- روش سه ورقی

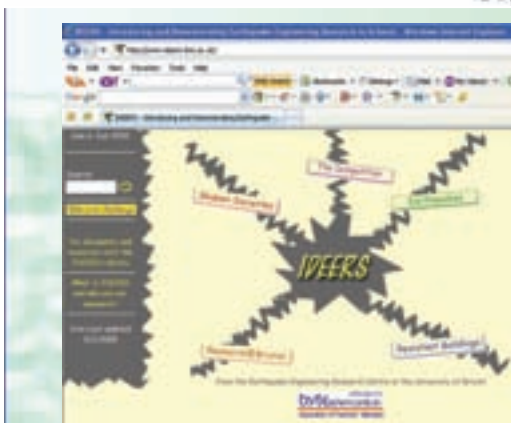


پ- روش مستقیم (روش Z)



شکل ۸-۲۲- وصله‌ی تیرها

برش ۱-۱



## بیش‌تر بدانیم

مرکز IDEERS

<http://WWW.IDEERS.bris.ac.uk>

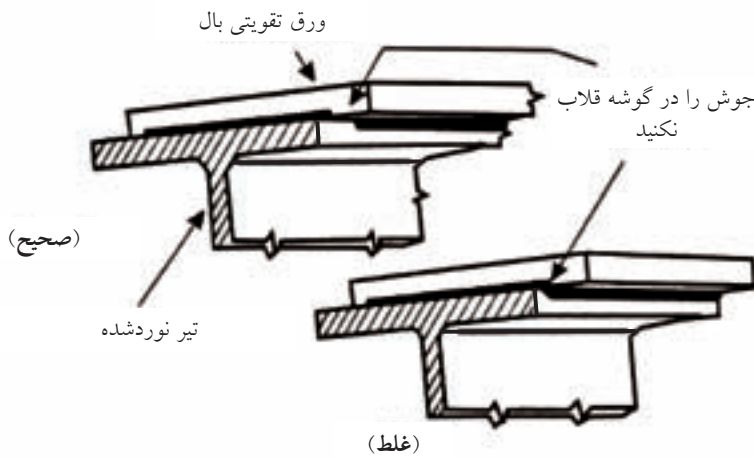
این مرکز معرفی پژوهش‌ها و تحقیقات مهندسی زلزله و زلزله شناسی را در مدارس بر عهده دارد که زیر نظر دانشگاه بریستول انگلستان می‌باشد. این سایت به صورت سمعی و بصری بوده و باروش مولتی مدیا مطالب مختلف را در مورد مهندسی زلزله با فهم ساده به دانش‌آموزان آموزش می‌دهد. کتابخانه، اخبار و اطلاعات، بازی و پرسش از دیگر بخش‌های این سایت می‌باشد.

## جزئیات اجرایی وصله‌ی تیرها:

ابتدا در محل مناسب، دو تیر آهن (پروفیل) در امتداد یکدیگر بصورت ریسمانی قرار گرفته و برای جوشکاری کامل بین دو تیر آهن، در هر یک از پروفیل‌ها درز یا پخ مناسب ایجاد می‌شود؛ سپس جوشکاری با نفوذ لازم انجام می‌شود و پس از آن سطح جوش سنگزنی شده و بلافاصله با ورق درز پوشانده شده و اطراف آن جوش دورتادور داده می‌شود. اندازه‌ی وصله‌ی اتصال و طول جوش مورد نیاز باید محاسبه شود.

بهترین محل ورق برای وصله کردن، ناحیه‌ی نقطه عطف لنگر خمشی و تنش برشی است (که مقادیر این نیروها کمینه می‌باشد) و باید از اتصال ورق در ناحیه برش (نزدیک تکیه گاه) و لنگر حداکثر (وسط دهانه) پرهیز کرد. باید علاوه بر جان تیر آهن (پروفیل) بال‌ها را به نحو مطلوب با ورق اتصال جوشکاری کرد.

چنانچه ورق تقویتی از بال تیر عریض‌تر باشد، جوش اتصال به بال باید در انتها قطع شده و به صورت قلاب در نیاید (شکل ۸-۲۳).



در صورت اجرای روش وصله‌ی مستقیم ترتیب

جوشکاری به شرح زیر می‌باشد:

۱. برشکاری مطابق ابعاد نقشه
۲. مونتاژ ریسمانی دو سر تیر
۳. جوشکاری درز جان و پشت درز بال
۴. مونتاژ ورق وصله‌ی جان
۵. سنگزنی درز جوش بال از روی بال و آماده سازی لبه جهت جوش نفوذی
۶. جوشکاری درز جوش بال
۷. جوشکاری دورتادور ورق وصله‌ی جان

شکل ۸-۲۳- جزئیات اجرایی جوش وصله تیرها با ورق تقویتی



گسیختگی در اثر طول جوش کم عضو مهارب به ورق اتصال



عدم اتصال صفحه مهاربند به گره تقاطع تیر و ستون



ضعف مقاطع ستون‌ها و اتصالات دو قسمت سازه منجر به تخریب آن شده است.



گسیختگی در اثر اتصال مهاربند به ستون بدون ورق اتصال

بیش‌تر بدانیم



## ۸-۵-۲- وصله ستون

سازه‌های فولادی را اغلب در چندین طبقه احداث می‌کنند. طول نیم‌رخ‌های نورد شده برای ساخت ستون محدود است. از طرفی با در نظر گرفتن بار وارده و دهانه‌ی بین ستون‌ها و نحوه‌ی قرار گرفتن ستون‌های کناری، مقاطع مختلفی برای ساخت ستون‌ها به دست می‌آید.

ممکن است در هر طبقه، ابعاد مقطع ستون با طبقه‌ی دیگر تفاوت داشته باشد؛ بنابراین باید اتصال مقاطع با ابعاد مختلف برای طویل کردن ستون با دقت زیادی انجام شود. (شکل ۸-۲۴ و ۸-۲۵) محل مناسب برای وصله‌ی ستون‌ها به هنگام طویل کردن آن‌ها، حداقل در ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر بالاتر از کف هر طبقه یا یک سوم ارتفاع طبقه می‌باشد. این ارتفاع کمترین اندازه‌ای است که از نظر دسترسی به محل اجرای جوش و نصب اتصالات مورد نیاز برای ادامه‌ی ستون یا اتصال مهاربندی لازم است. در شکل ۸-۲۶ انواع وصله‌ی کارگاهی ستون با مقطع یکسان I شکل نشان داده شده است.

جهت اجرای وصله ستون‌ها به هم عموماً قبل از نصب ستون‌های مرحله‌ی اول در روی زمین ورق‌های اتصال دوبال یا یک بال و یک جان روی ستون نصب شده و در حالت تخت یا افقی جوش داده می‌شود. پس از اجرای مرحله‌ی اول اسکلت (ستون‌های مرحله‌ی اول)، ستون‌های مرحله‌ی دوم که این بار ورق‌های وصله در وجه باقیمانده روی آن جوش داده شده‌اند روی ستون‌های اول با دقت نصب می‌شوند.



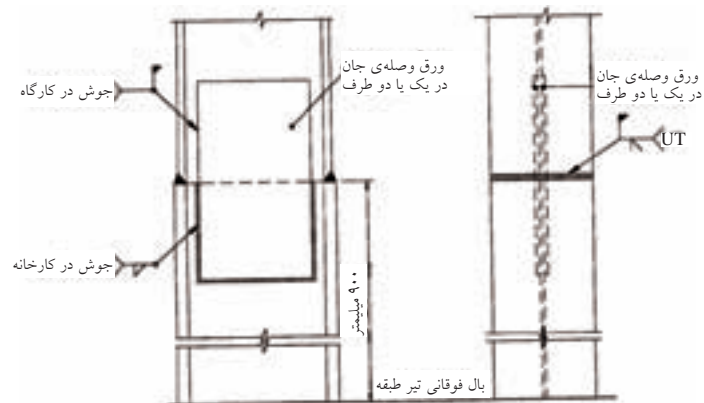
شکل ۸-۲۴- وصله جوشی ستون جعبه‌ای



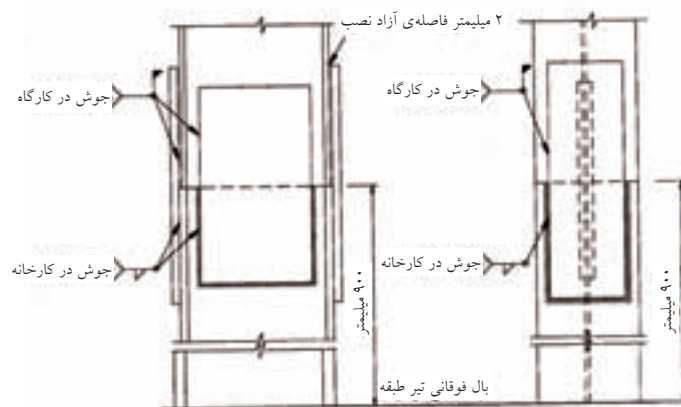
شکل ۸-۲۵- اتصال ستون به ستون بصورت پیچ و مهره‌ای



به این ترتیب حدود نیمی از جوشکاری‌های ورق‌های اتصال ستون به ستون در روی زمین و در وضعیت‌های افقی یا تخت و با دقت و کنترل بیشتری انجام خواهد شد. جهت انجام عملیات وصله‌ی ستون‌ها ابتدا سطح تماس دو ستون را به خوبی گونیا می‌کنند و با سنگ زدن صاف می‌نمایند تا کاملاً در تماس با یکدیگر و صفحه‌ی وصله قرار گیرد. در صورتی که پروفیل دو ستون یکسان نباشد، باید اختلاف نمره‌ی دو ستون را با قرار دادن صفحات پرکننده (هم سطح کننده) در ابتدای ستون فوقانی پر نمود و سپس ورق وصله را نصب کرده و جوش لازم را انجام داد (شکل ۸-۲۷-الف). اگر ابعاد مقطع دو نیمرخ که به یکدیگر متصل می‌شوند تفاوت زیاد داشته باشد، به طوری که قسمت بزرگی از سطح آن دو در تماس با یکدیگر قرار نگیرد، در این صورت باید یک صفحه‌ی تقسیم فشار افقی در بین دو نیمرخ قرار داد (شکل ۸-۲۷-ب). این صفحه معمولاً باید ضخیم انتخاب شود تا بتواند بدون تغییر شکل زیاد، عمل تقسیم فشار را انجام دهد. کلیه‌ی ابعاد و ضخامت صفحه و مقدار جوش لازم را باید محاسبه کرد و کلیه‌ی عملیات براساس نقشه‌های اجرایی باشد. همچنین می‌توان بدون استفاده از ورق پر کننده و ورق سر به کمک یک ورق مورب ستون‌ها را به یکدیگر متصل نمود. (شکل ۸-۲۷-پ)

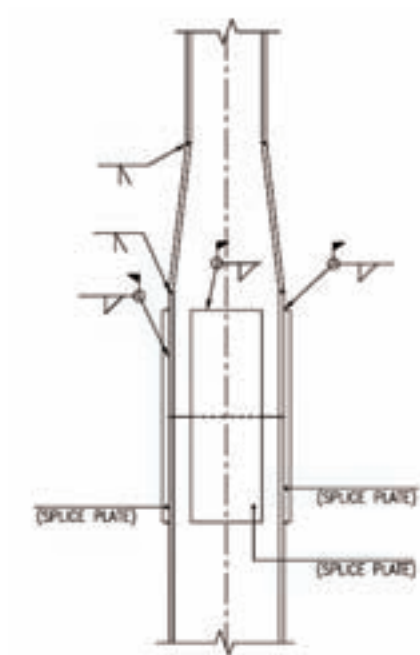


(الف) اتصال لب به لب بال و ورق وصله‌ی جان

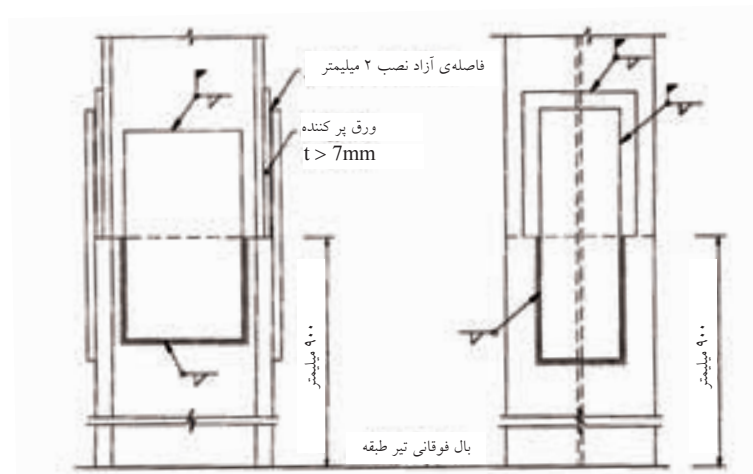


(ب) اتصال با ورق وصله‌ی بال جان

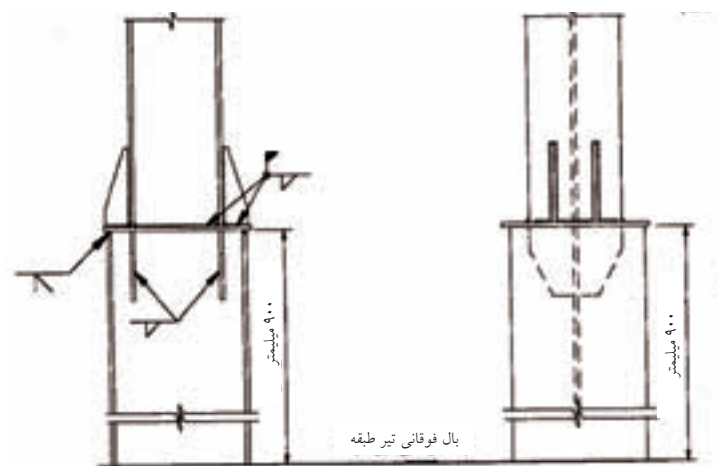
شکل ۸-۲۶- انواع وصله ستون با مقطع یکسان I شکل



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



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



ب) اتصال با ورق سر (صفحه‌ی تقسیم فشار)

### شکل ۸-۲۷- انواع اتصال ستون به ستون در ممل تغییر مقطع ستون

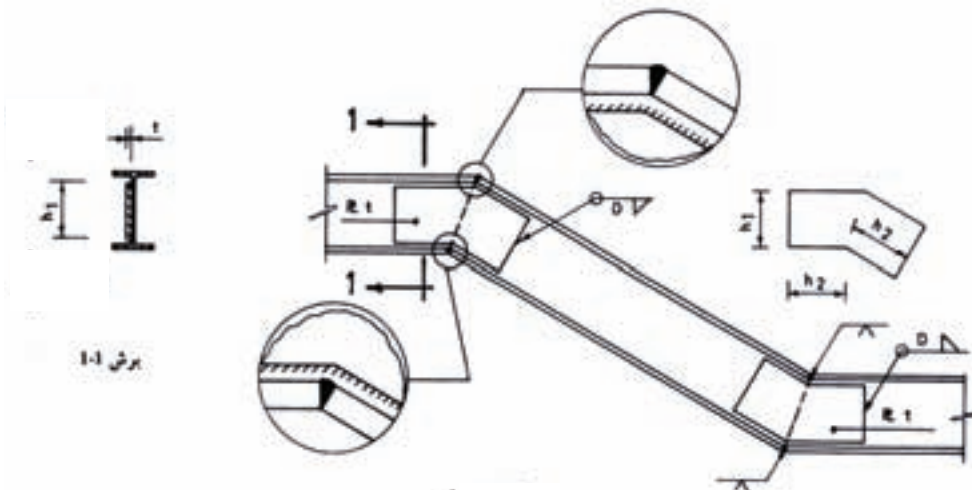
## بیشتر بدانیم

اتصال دو قسمت یک تیر به یکدیگر بدون استفاده از ورق‌های اتصال انجام شده است و این سبب شده تا طول جوش موجود کمتر از ظرفیت کششی تیر باشد و در هنگام زمین لرزه دو قسمت در این مقطع از یکدیگر جدا شوند. به منظور تامین طول جوش، لازم است همواره در ناحیه اتصال از صفحات فولادی در جان و یا بال تیر آهن استفاده شود، تا عملکرد آنها در هنگام زمین لرزه که نیروهای شدید برشی و کششی در آنها ایجاد می شود مختل نگردد.

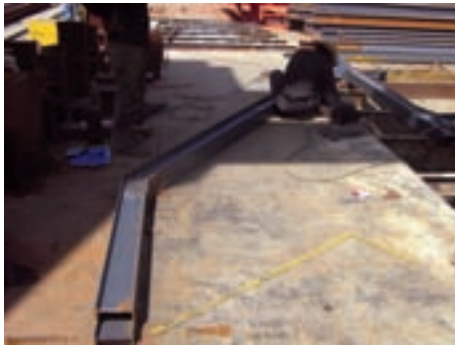
### ۸-۵-۳- وصله ی

#### تیر راه پله

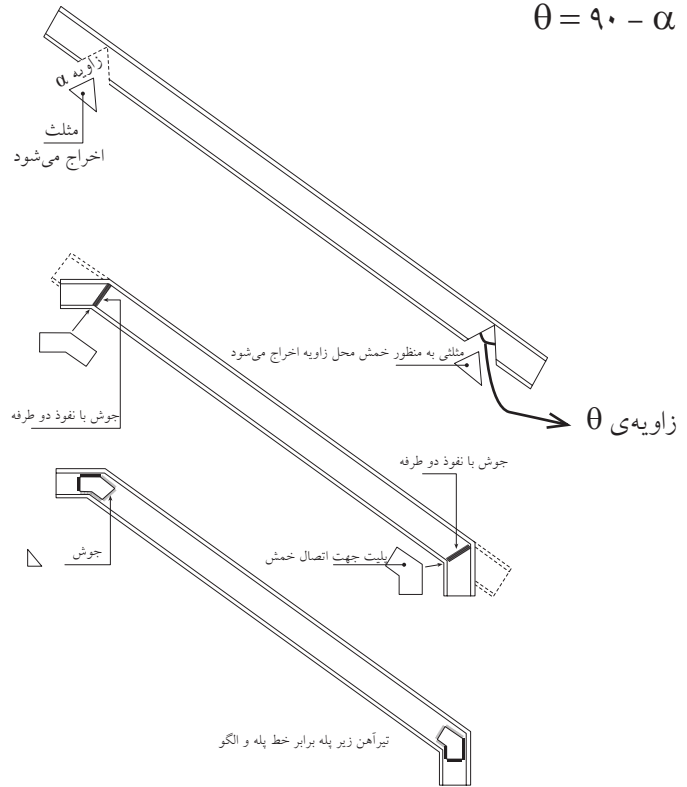
جزئیات ساخت تیر راه پله (شمشیری پلکان) در شکل ۲۹-۸ نشان داده شده است. ورق وصله ی جان که در یک طرف جوش می شود به همراه اتصال لب به لب بال ها، امکان برقراری یک اتصال با ظرفیت کامل را فراهم می آورد.



شکل ۸-۲۹- وصله تیر راه پله (شمشیری)



برای ساخت تیر راه پله، ابتدا الگوی آن تهیه شده و سپس مطابق شکل ۸-۳۰ شمشیری ساخته می شود. ضمناً زاویه ی الگو ( $\alpha$ )، برابر با زاویه ی شیب راه پله می باشد. و زاویه ی  $\theta$  متمم  $\alpha$  خواهد بود یعنی:

$$\theta = 90 - \alpha$$


شکل ۸-۳۲- مراحل سه گانه سافت تیر راه پله (شمشیری)

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

- ۱- اتصالات در ساختمان‌های فولادی برحسب مقدار گیرداری در تکیه‌گاه‌ها، به چند دسته تقسیم می‌شوند؟ نام ببرید و هر یک را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۲- روش‌های اتصال ساده‌ی تیر به ستون را شرح دهید.
- ۳- اتصال خورجینی را شرح داده و نقاط قوت و ضعف آن را بیان کنید.
- ۴- مزایای اتصالات صلب را نسبت به اتصالات ساده بیان نمایید.
- ۵- رایج‌ترین اتصال صلب مورد استفاده در ساختمان‌های فلزی کشور کدام است؟
- ۶- در چه مواقعی لازم است از دستک جهت نگه‌داشتن تیرهای کنسول استفاده شود؟
- ۷- دلایل وصله کردن ستون‌ها چیست؟ به چه روش‌هایی انجام می‌شود؟ و محل مناسب آن کجاست؟
- ۸- اگر بخواهیم تیر شمشیری راه‌پله بسازیم و نخواهیم از ورق وصله‌ی جان استفاده کنیم، چه روشی را پیشنهاد می‌کنید؟ در این خصوص تحقیق نمایید و گزارش تحقیق خود را ارائه نمایید.



# فصل ۹

## سامانه‌های ساختمانی

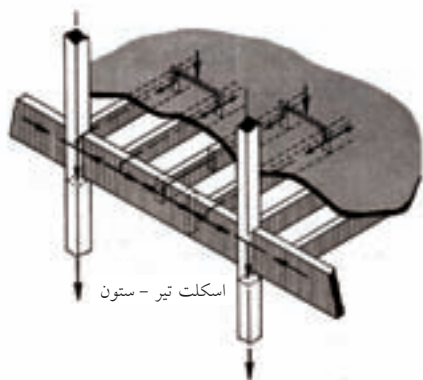


## هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

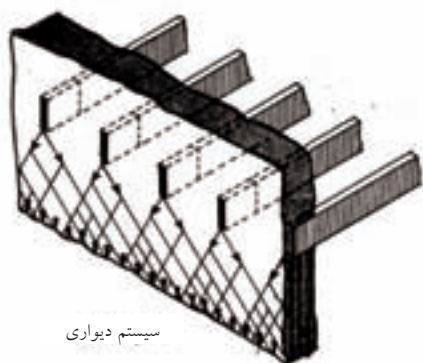
۱. سامانه‌ی ساختمانی را تعریف نماید.
۲. مسیر انتقال بار در سازه‌های فولادی را شرح دهد.
۳. سامانه‌های باربر قائم و جانبی لرزه‌ای را تعریف کند.
۴. عناصر یا اجزای سامانه‌ی باربر قائم را شرح دهد.
۵. انواع سامانه‌های باربر جانبی را شرح دهد.
۶. سامانه‌های متداول در ساختمان‌های اسکلت فولادی را نام ببرد و ویژگی هر کدام را شرح دهد.

## ۹-۱- تعریف سامانه‌های ساختمانی



نحوه‌ی انتقال بارهای قائم و جانبی در سازه بستگی به نحوه‌ی ترکیب و آرایش اعضای باربر قائم سازه‌ای نظیر ستون‌ها، تیرها و اعضای باربر جانبی نظیر مهاربندها و نحوه‌ی اتصال این اعضا دارد. به این ترکیب سامانه‌ی ساختمانی (سیستم ساختمانی- Structural system) گویند.

## ۹-۲- مسیر انتقال بار در سازه‌های فولادی



مسیرهای انتقال بار

سازه‌های فولادی شامل عناصر باربر قائم نظیر تیر و ستون به شکل قاب و عناصر باربر جانبی نظیر مهاربندها یا دیوارهای برشی می‌باشد. بدیهی است انتقال بارهای افقی و قائم از طریق این اجزاء صورت می‌گیرد.

## ۹-۳- سامانه‌های باربر قائم

سامانه‌ی باربر قائم قسمتی از سازه است که برای تحمل بارهای ثقلی به کار گرفته می‌شود.

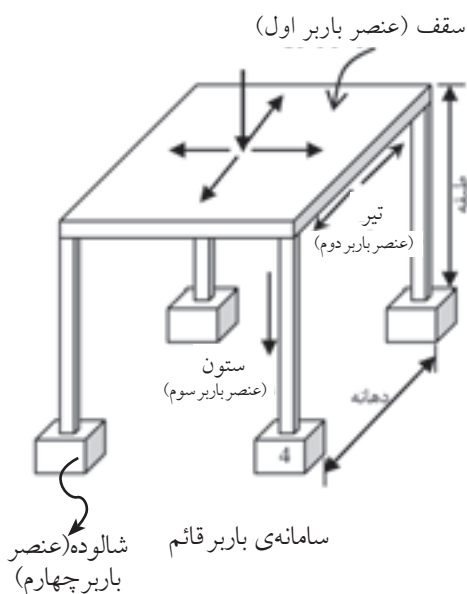
۱- بارهای قائم ابتدا به سقف سازه (عنصر باربر اول) وارد می‌شود و از طریق آن به شاهتیرها (عنصر باربر دوم) منتقل می‌شود.  
۲- شاهتیرها عنصر باربر دوم بوده و بار را از سقف گرفته و به دو انتهای خود یعنی محل اتصال به ستون منتقل می‌کنند.

۳- ستون‌ها که عنصر باربر سوم می‌باشند، بارها را از تکیه‌گاه‌های دو سر تیر به شالوده (عنصر باربر چهارم) انتقال می‌دهند.  
ماهیت انتقال بار از طریق تیرها به تکیه‌گاه‌ها و روش قرارگیری تیرها (تیرریزی) به عوامل زیر بستگی دارد:

الف) نوع مقطع قابل استفاده با توجه به طراحی معماری  
ب) فواصل تکیه‌گاه‌ها و طول دهانه‌ی تیر با توجه به طراحی سازه

پ) روش انتقال بار توسط اجزای باربر

ت) سامانه‌ی تکیه‌گاهی انتخاب شده (صلب، نیمه‌صلب، ساده)  
بارهای قائم وارد بر سازه شامل وزن ساختمان، وزن افراد و وزن تجهیزاتی است که در ساختمان وجود دارند.

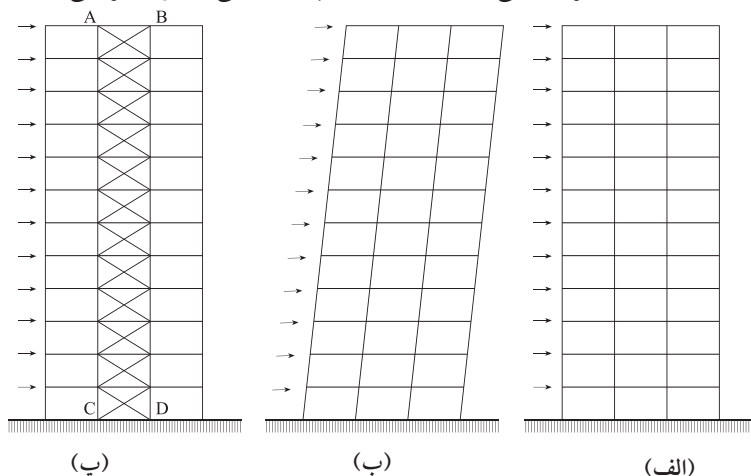


## ۹-۴- سامانه‌های باربر جانبی

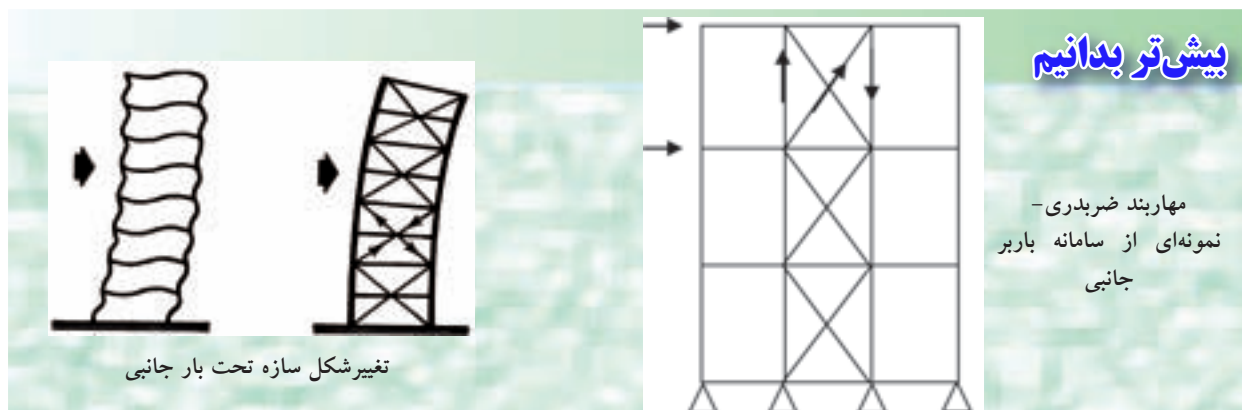
سامانه‌ی باربر جانبی قسمتی از کل سازه است که برای تحمل بارهای جانبی ناشی از باد و زلزله به کار گرفته می‌شود.

در ساختمان‌های بلند اسکلت فلزی مرکب از تیر و ستون، استحکام و مقاومت آن‌ها در مقابل نیروهای جانبی (باد و زلزله) بستگی به درجه‌ی گیرداری اتصالات تیر و ستون‌شان دارد.

شکل ۹-۱-الف، را که نمای اسکلت یک ساختمان مرتفع است، در نظر می‌گیریم. اگر اتصالات بین تیر و ستون طوری مستحکم باشند که زاویه‌ی میان آن‌ها تغییر نکند، ساختمان می‌تواند نیروهای جانبی را تحمل کند و از حالت شاقولی خارج نشود. اگر گیرداری بین تیر و ستون موجود نباشد و مثلاً اتصالات نزدیک به حالت مفصلی باشند، با وارد شدن نیروهای جانبی، زاویه‌ی بین تیرها و ستون‌ها تغییر خواهد کرد و ساختمان به وضع شکل ۹-۱-ب، به یک طرف متمایل می‌شود. واضح است که در این وضع، حالت تعادل پایدار نیست و سرانجام به خرابی ساختمان منجر خواهد شد. در حالت اخیر، اگر یک دهانه از قاب‌های ساختمان را در ارتفاع، با گذاردن قطعات چپ و راست به صورت شکل‌های مثلثی درآوریم (شکل ۹-۱-پ)، در بخش مرکزی ABCD، شکل مستحکم و تغییرناپذیری ایجاد خواهد شد و قسمت‌های دیگر ساختمان با تکیه بر روی آن حالت پایدار به خود خواهند گرفت، زیرا زوایای هر مثلث بدون تغییر طول اضلاع آن تغییر نخواهد کرد؛ به عبارت دیگر، نیروی بسیاری لازم است تا طول اضلاع تغییر یابد. انواع سامانه‌های باربر جانبی عبارتند از: قاب خمشی، دیوار برشی و مهاربندی



شکل ۹-۱- تاثیر سامانه‌ی باربر جانبی در رفتار سازه





### ۹-۴-۱- قاب خمشی

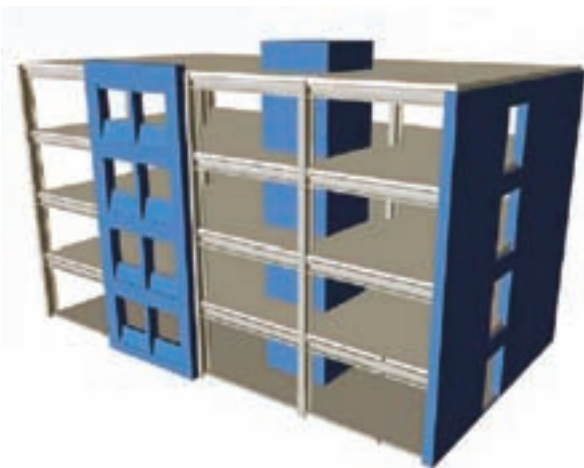
قاب خمشی، قابی است که در آن اتصالات تیرها به ستون‌ها به صورت گیردار است. در این نوع سامانه با بهره‌گیری از صلبیت اتصال بین تیر و ستون، نیروهای جانبی وارد به سازه مهار می‌شود. (شکل ۹-۲)



شکل ۹-۲- قاب فمثنی در سازه فولادی

### ۹-۴-۲- دیوار برشی

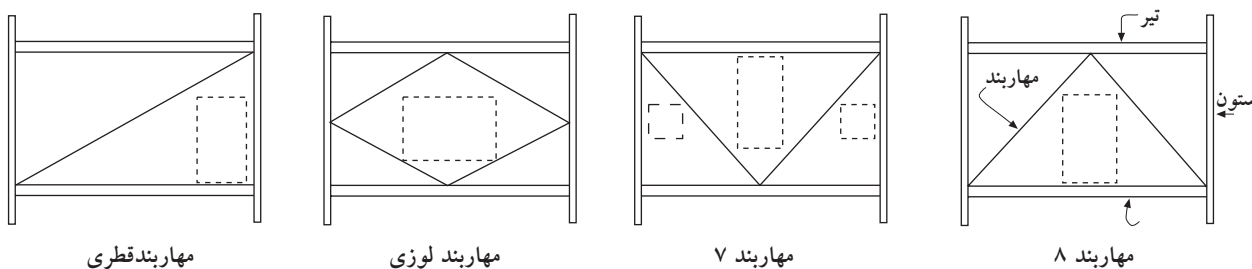
دیوار برشی، دیواری است عموماً بتنی که برای مقاومت در برابر نیروهای جانبی، (که در صفحه‌ی دیوار وارد می‌شوند) بکار گرفته خواهد شد. به این دیوارها دیافراگم قائم نیز گفته می‌شود. (شکل ۹-۳)



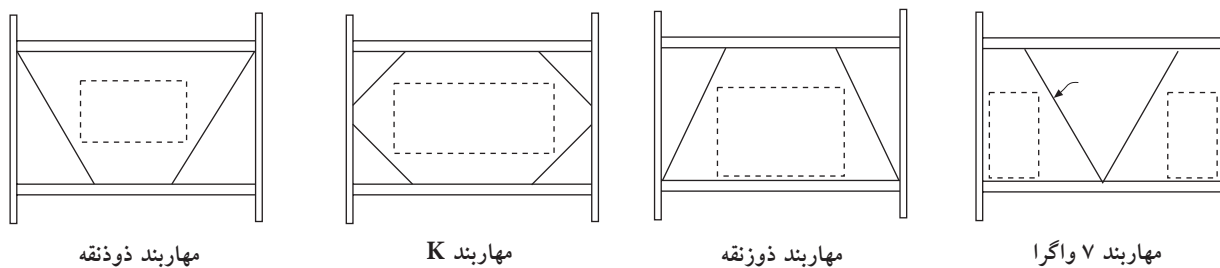
شکل ۹-۳- دیوار برشی بتنی در سازه فولادی

### ۹-۴-۳- قاب‌های مهاربندی شده

قاب‌های مهاربندی شده متشکل از اعضای قائم (ستون‌ها)، اعضای افقی (تیرها) و اعضای قطری (مهاربندها) هستند که برای مقابله با نیروهای جانبی در نظر گرفته می‌شوند و مانع کج شدن اسکلت ساختمان در هنگام اعمال نیروی جانبی می‌گردند. جانمایی مهاربندها در پلان ساختمان ترجیحاً باید به صورت متقارن باشد، مهاربندها می‌توانند بصورت همگرا یا واگرا باشند. در مهاربند همگرا، محور اعضای قطری در یک نقطه از تیر یا ستون یا محل تقاطع آن‌ها متقارنند، لیکن در مهاربندهای واگرا قطرها می‌توانند از یک نقطه عبور نکنند. برحسب دلایل معماری می‌توان از انواع مهاربند مورد پذیرش آیین‌نامه‌های طراحی سازه (مثل مبحث دهم و استاندارد ۲۸۰۰) استفاده کرد. (شکل ۹-۴ و ۹-۵) بطور مثال در دهانه‌هایی که می‌خواهیم از پنجره، نورگیر و یا در استفاده کنیم، از حالت‌های مختلف مهاربند مطابق شکل ۹-۴ استفاده می‌شود.



#### الف- مهاربندهای همگرا



#### ب- مهاربندهای واگرا

شکل ۹-۴- انواع مهاربند قائم در سافت‌مان



ب- مهاربند ذوزنقه واگرا در اسکلت فولادی



الف- مهاربندهای همگرا در اسکلت فولادی



شکل ۹-۵- نمونه‌هایی از مهاربندهای همگرا و واگرا

## ۹-۵- سامانه‌های متداول در ساختمان‌های فولادی متعارف

سامانه‌های متداول در ساختمان‌های فولادی عبارتند از:

- ۱- سامانه‌ی نیمه اسکلت (کلاف دار)
- ۲- سامانه‌ی قاب با اتصالات ساده
- ۳- سامانه‌ی قاب با اتصالات صلب (سامانه‌ی قاب خمشی)
- ۴- سامانه‌ی دوگانه یا ترکیبی

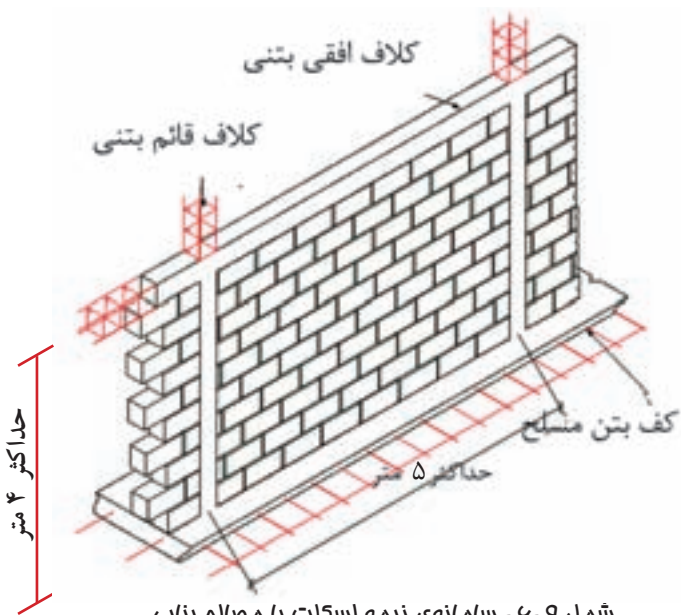
### ۹-۵-۱- سامانه‌ی نیمه اسکلت کلاف‌دار

مشکل از دیوارهای باربر آجری با کلاف‌های بتنی قائم و افقی یا ستون‌های منفرد فولادی و سقفی از نوع طاق ضربی یا تیرچه بلوک می‌باشد. اکثر ساختمان‌های مسکونی موجود در شهرهای متوسط کشور با این سامانه ساخته شده یا در حال اجرا هستند. (شکل ۹-۶ و ۹-۷)

طبق استاندارد ۲۸۰۰ (آیین‌نامه طرح ساختمان در برابر زلزله)، حداکثر تعداد طبقات چنین سامانه‌ای بدون احتساب طبقه‌ی زیرزمین، محدود به ۲ طبقه می‌باشد و همچنین تراز روی بام نسبت به متوسط تراز زمین مجاور نباید از ۸ متر تجاوز نماید. زیرزمین طبقه‌ای است که تراز روی سقف آن نسبت به متوسط تراز زمین مجاور از ۱/۵ متر بیشتر نباشد، در غیراینصورت این طبقه نیز به حساب تعداد طبقات ساختمان منظور می‌گردد. همچنین در چنین سامانه‌ای حداکثر ارتفاع یک طبقه ۴ متر می‌باشد. به طور کلی در این سیستم، بار قائم توسط دیوارهای باربر و یا ترکیبی از دیوارهای باربر و ستون‌های فولادی حمل می‌شود. سامانه‌ی سقف نیز ترکیبی از شاهتیرهای فولادی (یکسره یا ساده) و تیرهای فولادی با طاق ضربی (یا تیرچه بلوک) می‌باشد که بارهای وارده را به دیوارها و ستون‌ها انتقال می‌دهند. مقابله با نیروهای جانبی زلزله نیز برعهده‌ی دیوارها می‌باشد که مطابق ضوابط فصل سوم آیین‌نامه‌ی زلزله ایران باید دارای کلاف‌بندی قائم و افقی باشند.



شکل ۹-۷- یک سافتمان با مصالح بنایی در حال سافت



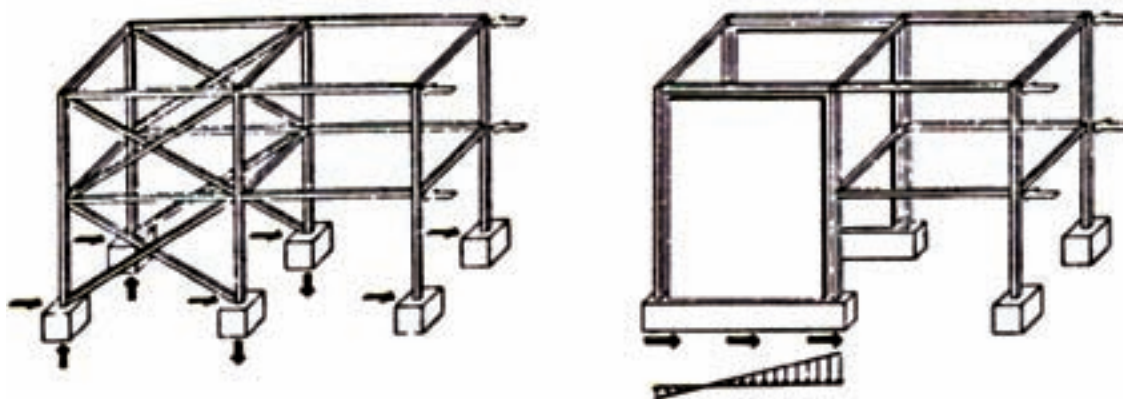
شکل ۹-۶- سامانه‌ی نیمه اسکلت با مصالح بنایی



## ۹-۵-۲- سامانه قاب با اتصالات ساده

مشکل از تیرها و ستون‌هایی است که به یکدیگر با اتصالات ساده (مفصلی) ترکیب شده و تشکیل قاب می‌دهند. در این سامانه اتصال تیر به ستون ساده بوده و هیچگونه لنگری بین این اعضا منتقل نمی‌شود. این سامانه به تنهایی قدرت تحمل نیروهای قائم ساختمان را داشته و برای اینکه قدرت باربری نیروهای جانبی ساختمان (باد و زلزله) را نیز داشته باشد باید به کمک مهاربند و یا دیوار برشی تقویت گردد. (شکل ۹-۸)

ساختمان‌های فولادی که اتصال تیر به ستون در آن‌ها بصورت نبشی نشیمن، نبشی جان و یا خورجینی طراحی شود در رده این نوع سامانه قرار می‌گیرد. مطابق استاندارد ۲۸۰۰ این سامانه تا ارتفاع ۵۰ متر قابل استفاده است. این سامانه به تنهایی کامل نیست و برای مقابله با بارهای جانبی نیاز به مهاربند یا دیوار برشی دارد.



شکل ۹-۸ - سامانه قاب با اتصالات ساده، تمام بار قائم توسط قابی متشکل از تیر و ستون با اتصالات ساده و نیروی جانبی توسط مهاربندها و دیوار برشی تحمل می‌شود.



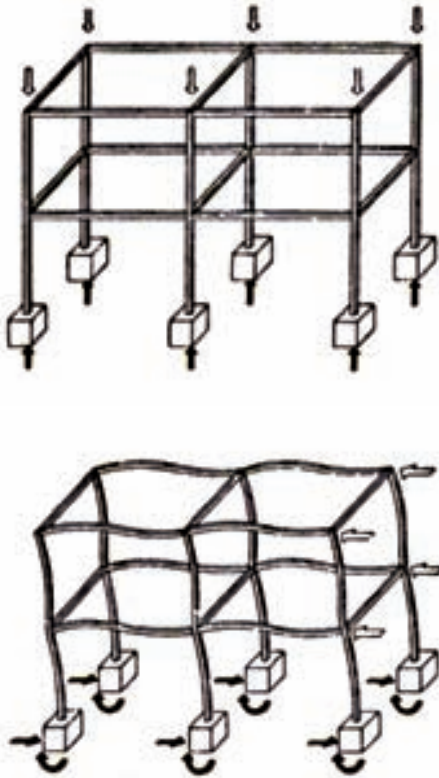
اجرا و طراحی مناسب اعضای سكلت فولادی و پایداری آن‌ها در زلزله بم

اجرا و طراحی نامناسب تیر و ستون و اتصالات آن‌ها که منجر به تخریب کلی سازه در زلزله شده است.



### ۹-۵-۳- سامانه قاب با اتصالات صلب (سامانه قاب خمشی)

متشکل از تیرها و ستون‌هایی است که به یکدیگر با اتصالات صلب (خمشی) متصل شده و تشکیل قاب می‌دهند. یعنی اتصال قابلیت انتقال لنگر از تیر به ستون را داراست (شکل ۹-۹). این سامانه بدون هرگونه مهاربندی جانبی، قادر به تحمل نیروهای قائم و جانبی ساختمان می‌باشد. اتصال تیر به ستون با استفاده از ورق زیرسری و روسری و یا اتصال فلنجی (ورق انتهایی تیر) از جمله اتصالات متداول در اجرای قاب‌های خمشی در کشور می‌باشد.



اتصال صلب تیر به ستون

شکل ۹-۹- سامانه قاب با اتصالات صلب، تمام بار قائم و نیروی جانبی به وسیله قاب‌های خمشی (بدون مهاربندها و دیوار برشی) تحمل می‌شود.

### ۹-۵-۴- سامانه دوگانه یا ترکیبی

سیستم مختلط شامل قاب فضایی خمشی و دیوارهای برشی یا مهاربندی‌ها که در آن بارهای قائم توسط قاب خمشی و نیروهای جانبی، توأمًا توسط قاب خمشی و دیوارهای برشی و یا توسط قاب خمشی و مهاربندی‌ها تحمل می‌شود. نیروی جانبی بین قاب خمشی و دیوار برشی و یا بین قاب خمشی و مهاربندی‌ها به نسبت صلبیت آن‌ها توزیع می‌گردد؛ ولی در هر حال قاب به تنهایی باید ظرفیت تحمل حداقل ۲۵ درصد نیروی جانبی زلزله را داشته باشد. (شکل ۹-۱۰)



شکل ۹-۱۰-

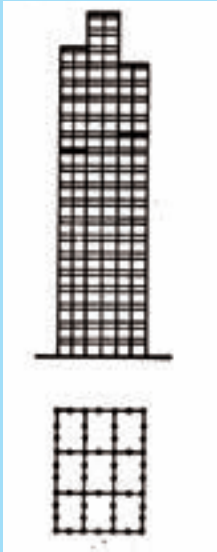
سامانه مختلط قاب خمشی و مهاربندی

## ۹-۶- سامانه‌های نوین در سازه‌های فولادی بلند

### ۹-۶-۱- سامانه‌ی قاب محیطی یا لوله‌ای

#### (Framed tube structure)

در این سامانه تجمع ستون‌ها در قاب محیطی سازه بیشتر بوده و در ستون‌های محیطی بصورت یک لوله، سازه را در میان گرفته است و بارهای جانبی به این قاب محیطی وارد می‌شود. همچنین قاب محیطی نیز نمای مطلوبی به ساختمان می‌دهد. برج‌های دوقلوی سازمان تجارت جهانی در نیویورک که مورد حمله تروریستی قرار گرفت، تحت این سامانه ساخته شده بودند. این سامانه برای ساختمان‌های بالای ۱۵۰ طبقه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

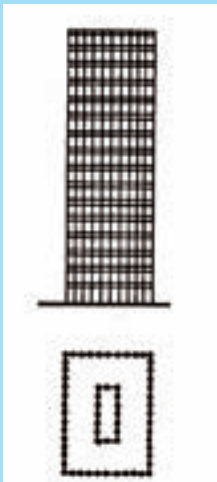


سامانه قاب محیطی (لوله‌ای)

### ۹-۶-۲- سامانه‌ی لوله در لوله

#### (Tube in tube Structure)

واکنش یک سامانه‌ی لوله در لوله در مقابل بارهای جانبی مشابه واکنش سازه مرکب از قاب صلب و دیوار برشی است؛ اما لوله‌ی قابی خارجی خیلی سخت‌تر از قاب صلب می‌باشد. لوله‌ی خارجی، اکثر بار جانبی را در قسمت بالایی ساختمان تحمل می‌کند، در صورتی که هسته، بیشتر بار را در قسمت پائین ساختمان تحمل می‌نماید. روش لوله در لوله در ساختمان ۳۸ طبقه برانسویک در شیکاگو به کار رفته است.

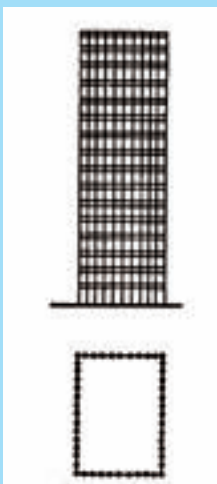


سامانه لوله در لوله

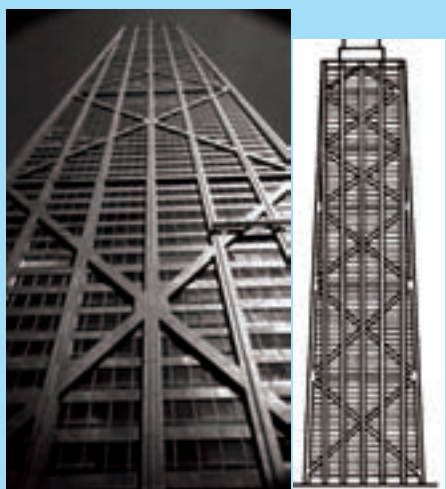
### ۹-۶-۳- سامانه‌ی لوله‌های چندگانه

#### (Multi tube Structure)

این سامانه نیز مانند قاب محیطی می‌باشد با این تفاوت که ساختمان از چند قاب محیطی تشکیل یافته است به عنوان مثال برج سیرزتاور در شیکاگو که بلندترین برج آمریکا می‌باشد، از چهار قاب محیطی ساخته شده است.



سامانه لوله‌های چندگانه



سامانه ابر مهاربندی

### ۹-۶-۴-سامانه‌ی ابرمهاربندی (Mega-Braced Structure)

در ساختمان‌های متعارف، مهاربندی ساختمان در ارتفاع طبقه و به عرض دهانه انجام می‌شود. در دو دهه گذشته، در ساختمان‌های بلند و به جهت بازدهی بیشتر و حتی به عنوان ابزار معماری در نمای ساختمان، استفاده از مهاربندی‌هایی در مقیاس بزرگتر از یک طبقه و یک دهانه در سازه تکامل یافته است که به آن سامانه‌ی ابرمهاربندی گفته می‌شود.

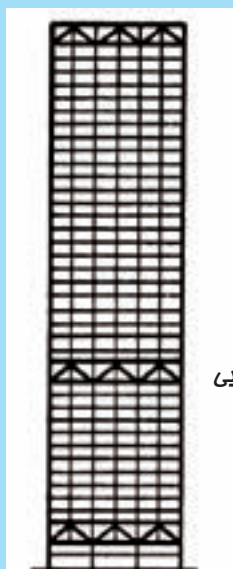
### ۹-۶-۵-سامانه‌ی کمر بند خرپایی

### (Outrigger-Braced Structure)

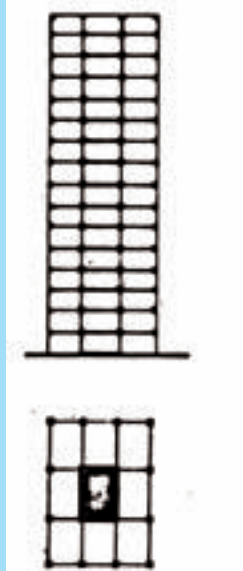
اگر تعدادی از طبقات یک ساختمان بوسیله‌ی یک کمر بند در پیرامون سازه که از اعضای بادبندی تشکیل شده‌اند و در نمای ساختمان به شکل خرپا دیده می‌شوند، محصور گردد، مراکز تغییر شکل جانبی ساختمان به شدت کم می‌شود. به این سامانه، سامانه‌ی کمر بند خرپایی گفته می‌شود.

### ۹-۶-۶- سامانه‌ی هسته مرکزی (Core Structure)

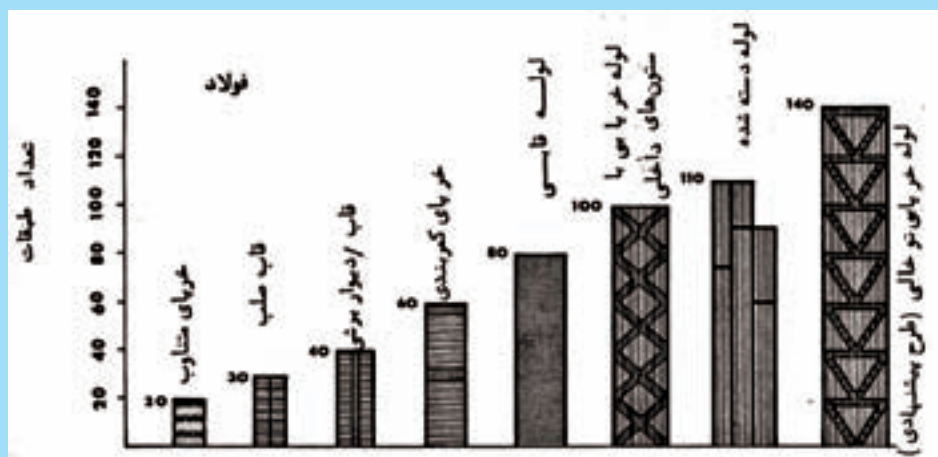
در سامانه‌ی هسته مرکزی، به جای اینکه عناصر مقاوم جانبی در نقاط مختلفی از پلان قرار گیرند، با استفاده از سیستم دیوار برشی در مرکز ساختمان قرار می‌گیرند. در این حالت نمای ساختمان باز خواهد بود و از فضای هسته‌ی مرکزی می‌توان به عنوان راه پله یا محل نصب آسانسور استفاده نمود.



سامانه کمر بند خرپایی



سامانه هسته مرکزی



شکل ۹-۱۱- انتخاب سامانه‌های ساختمانی با توجه به تعداد طبقات

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

- ۱- انواع بارهای وارد بر ساختمان چیست و چه اعضایی در سازه در مقابل آنها مقاومت می‌کنند؟
- ۲- بارهای قائم وارد بر سازه شامل چه مواردی است؟ بارهای جانبی وارد بر سازه چگونه؟
- ۳- علت پایداری قاب مهاربندی شده نسبت به قاب ساده چیست؟
- ۴- علاوه بر مهاربندی از چه روش‌های دیگری جهت پایداری قاب‌های ساختمانی می‌توان استفاده کرد؟
- ۵- تفاوت مهاربندهای واگرا و همگرا در چیست؟ از هر کدام بصورت ترسیمی چهار نمونه مثال بزنید؟
- ۶- سامانه‌ی نیم اسکلت کلاف‌دار عموماً در چه نوع ساختمان‌هایی مجاز است؟
- ۷- سامانه‌ی باربر جانبی در ساختمانی که دارای اتصالات تیر به ستون به صورت گیردار (صلب) به همراه مهاربندی ضربدری می‌باشد، چیست؟



# فصل ۱۰

## سامانه‌های مورد استفاده در ساختمان‌های صنعتی



## هدف‌های رفتاری:

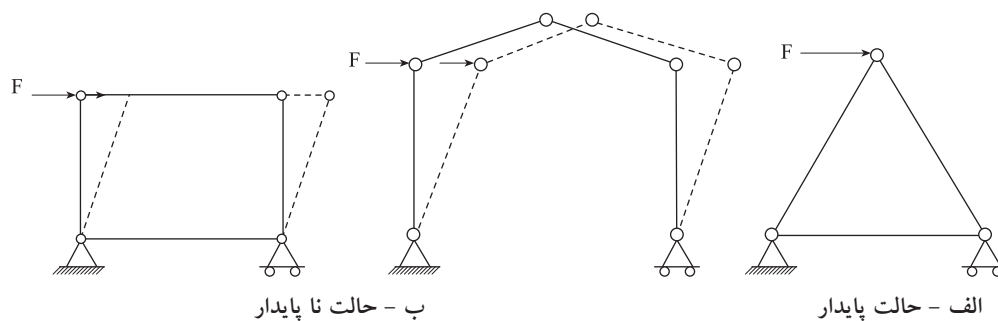
در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

- ۱- خرپا را تعریف کند.
- ۲- انواع خرپاها را از نظر شکل شرح دهد.
- ۳- پروفیل‌های مورد استفاده در خرپاسازی را نام ببرد.
- ۴- اجزای تشکیل‌دهنده‌ی خرپا و ورق‌های اتصال آن‌ها را با رسم شکل نمایش دهد.
- ۵- خرپاهای صفحه‌ای و فضایی را تعریف کند.
- ۶- انواع معمول خرپاهای سقف را از نظر فرم (شکل) ترسیم کند.
- ۷- چگونگی برش، مونتاژ و ساخت قاب‌های شیب‌دار را شرح دهد.
- ۸- قاب‌های شیب‌دار با مقطع ثابت و مقطع متغیر را شرح دهد.
- ۹- اتصال ستون (پایه) به شالوده را همراه با رسم شکل توضیح دهد.
- ۱۰- انواع اتصال ستون به شالوده را به صورت مفصل (کشویی - پیچی - نقطه‌ای) توضیح دهد.
- ۱۱- روش‌های مختلف اتصال تیر به ستون را توضیح دهد.
- ۱۲- اتصالات مختلف قاب‌ها را توضیح دهد.

## ۱-۱۰- سامانه‌ی خرپا

### ۱-۱-۱۰- تعریف

خرپا مجموعه‌ای است از میله‌های مستقیم که به طور مفصلی به هم متصل شده، شبکه‌های مثلثی را به وجود می‌آورند. در خرپاها، فرض می‌شود که اعضا در انتهای خود به اعضای دیگر لولا شده‌اند. با مطالعه‌ی سازه‌های شکل ۱-۱۰ واضح است که خرپای مثلثی نشان داده شده تحت تاثیر نیروی وارد آمده تغییر شکل نمی‌دهد، مگر این که یکی از اعضای آن خم شود یا بشکند. (بنابراین ((شکل مثلثی)) تنها شکل پایدار خواهد بود.)

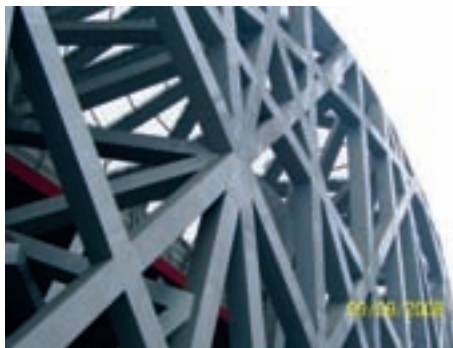


شکل ۱-۱۰- پایداری شبکه‌های مثلثی

شبکه‌هایی که از اجزای چهار عضوی یا بیشتر تشکیل شده باشند، پایدار نیستند و تحت تاثیر نیروهای موثر فرو می‌ریزند (شکل‌های ۱-۱۰-ب). این شکل‌ها بدون این که در طول و اندازه‌ی اعضای آنها تغییری رخ دهد، هندسه‌ی آنها تغییر می‌کند.



سازه‌ی استادیوم لانه پرنده-چین



شکل ۱-۲- نمونه‌هایی از سامانه‌های صنعتی

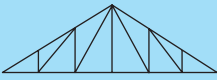
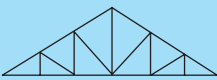
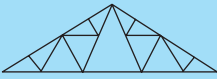
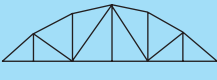

### ۱۰-۱-۲- کاربرد خرپا

خرپاها از مفیدترین و معمولترین فرم‌های سازه‌ای هستند که در انواع ساختمان‌ها و ماشین‌ها به کار می‌روند. ساختمان‌های خرپایی، در مقابل نیروهای وارد آمده مقاومت بسیاری دارند و از لحاظ اقتصادی نیز ساخت آن‌ها مقرون به صرفه است (شکل ۱۰-۲). اتصال اعضای خرپاها به یکدیگر به وسیله‌ی جوش یا پرچ و یا پیچ صورت می‌گیرد. خرپا را برای پوشاندن سقف‌ها، به ویژه سقف‌های با دهانه‌های زیاد و نیز پل‌ها به کار می‌برند. در بعضی از ماشین‌های سنگین، مثل جرثقیل‌ها نیز از خرپا استفاده می‌شود. خرپاها ضمن داشتن مقاومت زیاد، از نظروزن سبک هستند. استخوان‌بندی بال بعضی از پرندگان که برای پرواز باید سبک باشند، به صورت خرپا تکوین یافته است. اسکلت‌بندی هواپیماها را نیز به همین علت از نوع خرپایی انتخاب می‌کنند.

### ۱۰-۱-۳- انواع خرپا از نظر شکل

خرپاها به طور کلی به دو دسته‌ی صفحه‌ای و فضایی تقسیم‌بندی می‌شوند. فرم پایه‌ی خرپاهای صفحه‌ای از سه عضو و سه گره تشکیل می‌شود. خرپاهای صفحه‌ای از نظر شکل ظاهری به گونه‌های متفاوتی ساخته می‌شوند که نمونه‌هایی از آن‌ها را در شکل‌های جدول ۱۰-۱ و ۱۰-۲ ملاحظه می‌کنید.

جدول ۱۰-۱- انواع معمول فریهای صفحه‌ای مورد استفاده در سقف‌های شیبدار

شرح	جنس	شکل خرپا	نوع
دهانه حداکثر در حدود ۳۰ متر	معمولاً فولاد، در بعضی موارد چوب		پرات (pratt)
دهانه حداکثر در حدود ۳۰ متر	معمولاً چوب		هاو (Hawe)
معمولاً دهانه به حداکثر در حدود ۲۰ متر محدود می‌شود	معمولاً فولاد		فینک (Fink)
معمولاً برای سقف مناره‌ها، سوپر مارکت‌ها و گاراژها به کار برده می‌شود و دهانه ممکن است به ۳۰ متر برسد.	معمولاً فولاد		قوسی (Bowst ring)
سمت شیب تند خرپا برای استفاده از نور خارج است که برای یکنواختی به طرف شمال قرار داده می‌شود و در مواردی به کار برده می‌شود که وجود ستون‌های زیاد اشکالی ایجاد ننماید.	چوب یا فولاد		دندانه‌ای (Saw Tooth)



جدول ۱۰-۲- انواع معمول فریهای صفحه‌ای مورد استفاده در سقف‌های تفت

نوع	شکل خرپا	جنس	شرح
پرات (pratt)		فولاد	دهانه حداکثر تا حدود ۶۰ متر
هاو (Hawe)		چوب یا فولاد	در گذشته بسیار مورد استفاده بوده ولی در حال حاضر به ندرت از آن استفاده می‌شود
وارن (Warren)		فولاد	نوع بسیار معمول دهانه تا حدود ۶۰ متر
بالتیمور (Baltimore)		فولاد	برای دهانه‌های بیش از حدود ۱۰۰ متر به کار می‌رود.
خرپای K (K Tauss)		فولاد	برای دهانه‌های بیش از ۱۰۰ متر به کار می‌رود.



شکل ۱۰-۳- نمونه‌ی اجرایی از یک فریای مسطح

#### ۱۰-۱-۴- اجزای تشکیل دهنده‌ی خرپا

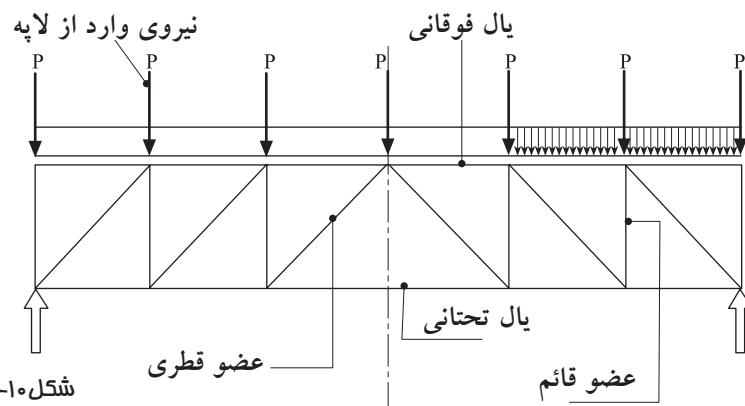
اجزای تشکیل دهنده‌ی خرپا مطابق با شکل ۱۰-۴ بصورت زیر نامگذاری می‌شوند:

الف- یال تحتانی (Bottom Chord)

ب- یال فوقانی (Top Chord)

پ- اعضای قائم (Verticals)

ت- اعضای قطری (Diagonals)



شکل ۱۰-۴- نامگذاری اعضای خرپا

## ۱۰-۱-۵- نیمرخ‌های رایج در ساخت

### خرپا:

در خریاسازی می‌توان بر حسب مورد از نیمرخ‌های فولادی مختلف نظیر موارد ذیل استفاده کرد.

۱- نیمرخ‌های L (نیشی) و L (سپری)

۲- پروفیل‌های IPE و IPB و UNP

۳- پروفیل‌های قوطی مربع و مستطیل

۴- از پروفیل‌های لوله‌ای شکل نیز در ساخت خرپا استفاده می‌شود. تنها مشکل در استفاده از این نوع پروفیل‌ها بریدن و جفت و جور کردن قطعات به یکدیگر است. استفاده از این نوع پروفیل‌ها در صنایع جراثیل سازی اهمیت بسیار دارد.



استفاده از فرپا در سازه پل

### پیش‌تر بدانیم



کاربرد المان خریایی در سازه پل فولادی



کاربرد المان خریایی در سازه صنعتی



اتصال اعضای لوله‌ای

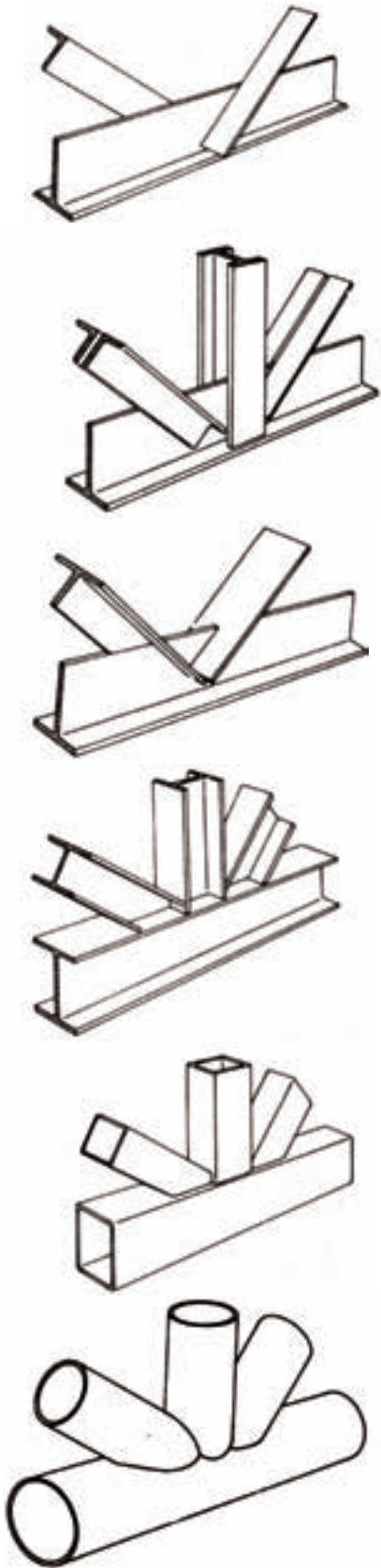


کاربرد لوله در اعضای خریاها

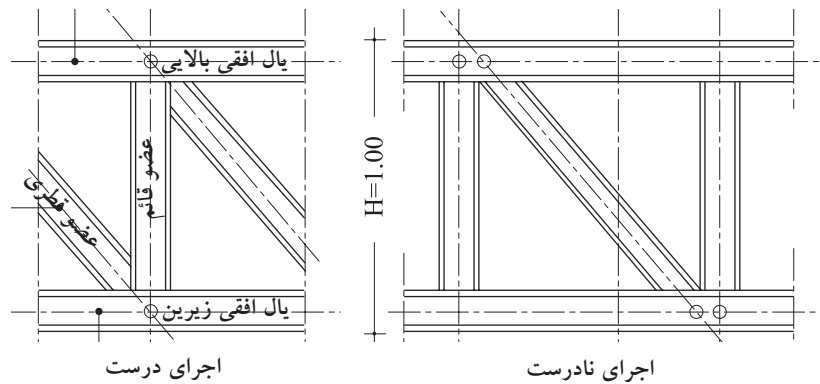
## ۱۰-۱-۶- اتصالات در خرپاها

اعضای خرپاها به وسیله‌ی جوش، پیچ و مهره و یا پرچ به یکدیگر متصل می‌شوند.

اتصال اعضا گاهی به طور مستقیم و گاهی به وسیله‌ی ورق‌های موسوم به ((ورق اتصال)) صورت می‌گیرد. بنابراین، در عمل، نه تنها حالت اتصال مفصلی در انتهای اعضا وجود ندارد، بلکه پیوند آن‌ها به یکدیگر و به ورق اتصال از گیرداری نسبی نیز برخوردار است، که موجب پیچیدگی در رفتار اعضا می‌شود. از مهم‌ترین ملاحظات در این مورد آن است که در طراحی خرپا سعی شود تا امتداد محور میله‌ها از نقطه‌ی مشترکی بگذرد، همچنین اعمال نیروهای خارجی به محل گره‌ها از شرایط دیگر این فرض می‌باشد. زاویای قطری نیز بهتر است در حدود ۴۵ درجه حفظ گردد و نسبت ارتفاع به دهانه نباید کمتر از  $\frac{1}{10}$  باشد.



نمونه اتصال اعضای خرپاها



شکل ۱۰-۵- همگرایی ممور اعضا در ممل گره‌ها

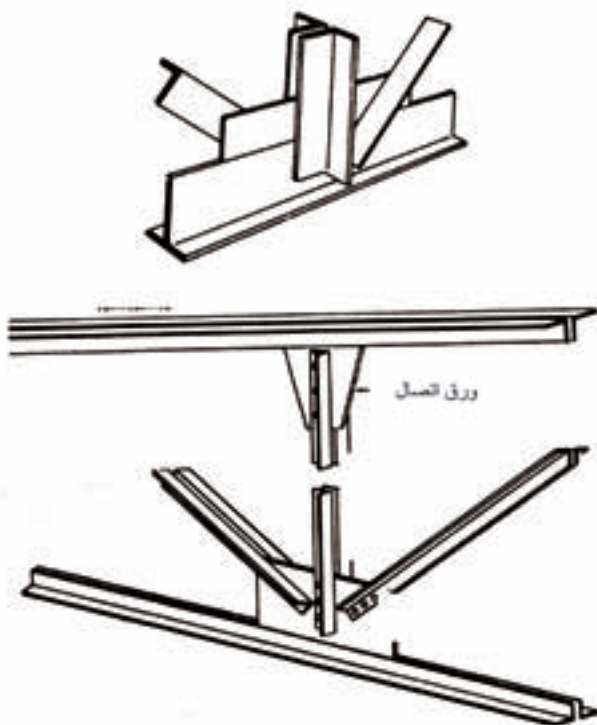


استفاده از فریا در سازه سقف عریض



## ورق‌های اتصال در خریا:

ورق اتصال در خریا با توجه به فرم اعضای آن به دست می‌آید. یکی از مسائلی که گاهی در اتصالات خریاها پیش می‌آید، خمش ورق اتصال است. خمش ورق اتصال در بعضی موارد موجب تغییر فرم و کج شدن خریا و احتمالاً خرابی آن می‌شود. بسیاری از خرابی‌های خریاها به علت اتصال ضعیف (جوش یا پرچ یا پیچ) و خمش ورق اتصال اتفاق افتاده است. گسیختگی جوش، پارگی ورق و برش پیچ‌ها و پرچ‌ها را نیز باید از علل اتصالات ضعیف خریاها به شمار آورد. (شکل ۱۰-۶ و ۱۰-۷)



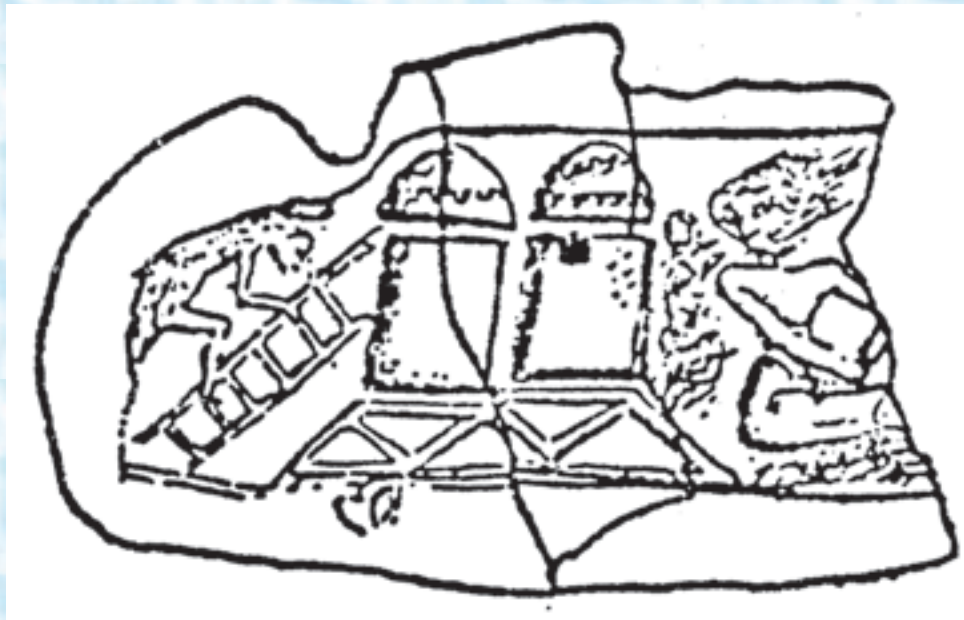
شکل ۱۰-۷ - مزئیات ورق اتصال



شکل ۱۰-۶ - اتصال پیچ و مهره‌ای اعضای خریاها



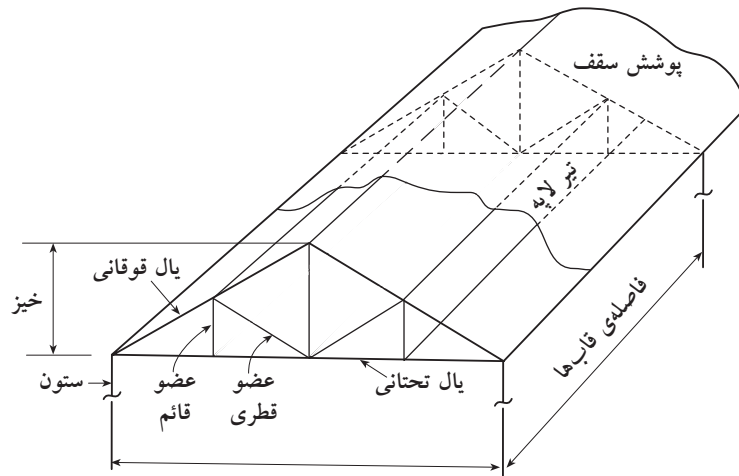
در کتاب‌های تاریخ فنی غربی چنین آمده است که اولین نوع ساختمان‌های خرپایی در قرن شانزدهم میلادی توسط یک مهندس رومی به نام پالادیو (Paladio) در سال‌های ۱۵۱۸-۱۵۸۰م ابداع و ساخته شده است. اما چنین به نظر می‌رسد که تاریخ ساختمان‌های خرپایی با دقتی که شایسته آن است مطالعه نشده و اکتشافات باستان‌شناسی نیز تاکنون در این مورد دقیقاً بررسی نشده است. اسناد تاریخی نشان‌دهنده آن است که ساختمان خرپایی در ایران باستان از هزاره سوم قبل از میلاد ساخته می‌شده است. مورد استناد در این بررسی لوحه‌ای است که در حفاری‌های باستان‌شناسی به دست آمده و تاریخ آن به پنج هزار سال می‌رسد. اگر نردبانی که در این مَهر تصویر شده است به عنوان مقیاس استفاده می‌کنیم متوجه خواهیم شده



که این اثر نمایش‌دهنده سیلوهای استوانه‌ای با سقف‌های گنبدی واقع بر سکویی بلند است. خصوصیتی که در این مَهر به چشم می‌خورد ساختمان خرپایی است که به عنوان پایه‌ی سیلوه‌ها به کار رفته است. چنان که به وضوح مشاهده می‌شود این فرم خرپایی به دست پدیدآورنده‌ی اثر به نحوی ماهرانه و یقیناً تقلید از ساختمان واقعی موجود ارائه شده است. از لحاظ هندسی، این خرپا با دقتی خاص و به صورت مجموعه‌ای از اشکال مثلثی که از لحاظ مکانیکی برای ایستایی خرپا ضرورت دارد ترسیم گشته است. ترسیم مجموعه خطوطی که با این ترتیب خاص فرم خرپایی را به وجود آورده‌اند، نمی‌تواند تصادفی و بدون طرح قبلی بوده باشد، به طوری که مشاهده می‌شود جزئیات ساختمانی از قبیل اتصال عناصر در گره‌ها و اشکال مثلثی، و این که برای تسهیل در پخش نیرو عنصر زیرین طولانی‌تر از عنصر بالایی خرپا است، از طرف طراح آن را به خوبی مجسم شده است.

## ۱۰-۱-۷- لاپه‌ریزی روی خرپاها و مهار کردن آنها

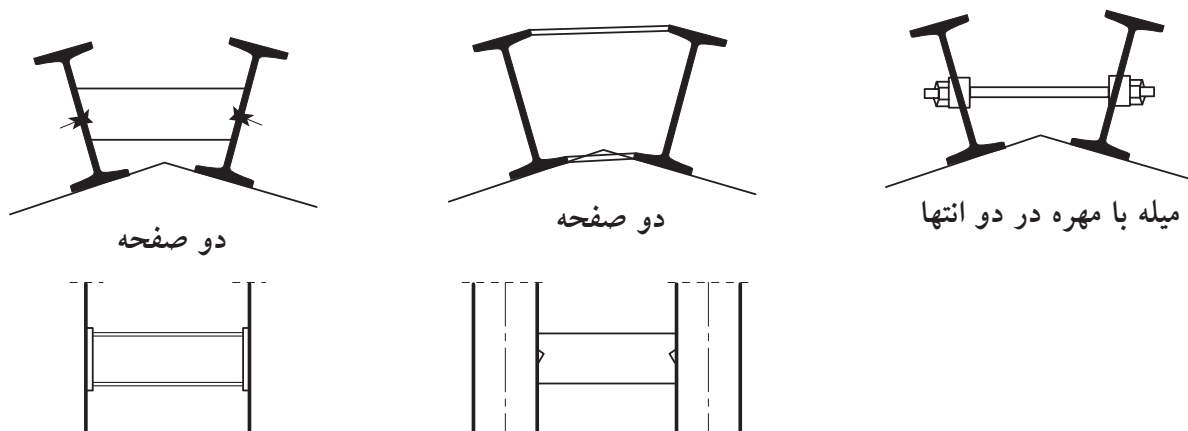
خرپاها معمولاً به فواصل ۳ تا ۶ متر از یکدیگر قرار می‌گیرند و بر روی آنها تیرهایی در امتداد عمود بر صفحه‌ی خرپاها و یا قاب‌های خرپایی قرار می‌گیرند که لاپه نامیده می‌شود. برای نمونه قاب ساختمانی از این نوع با تیرهای طولی یا لاپه‌های متکی بر آنها در شکل ۱۰-۸ نشان داده شده است.



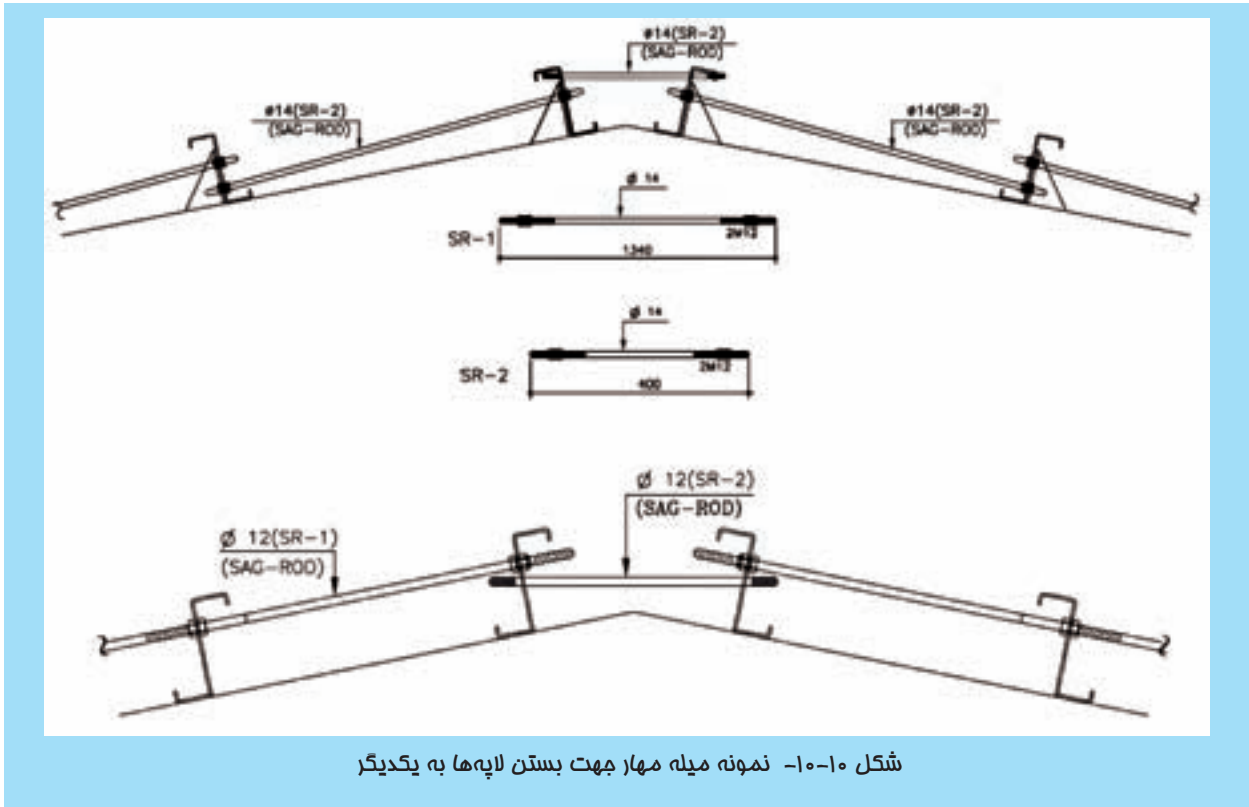
شکل ۱۰-۸- تیر ریزی (لاپه‌ریزی) سقف

در شکل ۱۰-۸ بار سقف ابتدا به تیرهای طولی یا لاپه‌ها منتقل می‌شود و سپس تیرهای طولی نیرو را به قاب خرپایی انتقال می‌دهند. لاپه‌ها را معمولاً از پروفیل‌های U, Z, و I انتخاب می‌کنند. لاپه‌ریزی از ابتدای خرپا آغاز و تا نزدیکی راس خرپا به صورت موازی ادامه می‌یابد. توجه به این نکته ضروری است که لاپه‌ها حتماً باید روی گره‌های خرپا قرار گیرند.

طرز قرار گرفتن لاپه‌های راسی و مهار آنها و نحوه‌ی مهار کردن سایر لاپه‌ها به یکدیگر برای جلوگیری از رانش (غلتیدن) لاپه‌ها در شکل ۱۰-۹ نشان داده شده است. برای جلوگیری از خمش عرضی، لاپه‌ها را در فواصل یک سوم طول آنها در امتداد شیب به کمک میل‌گردهایی به هم می‌بندند که به آنها میل مهار می‌گویند.



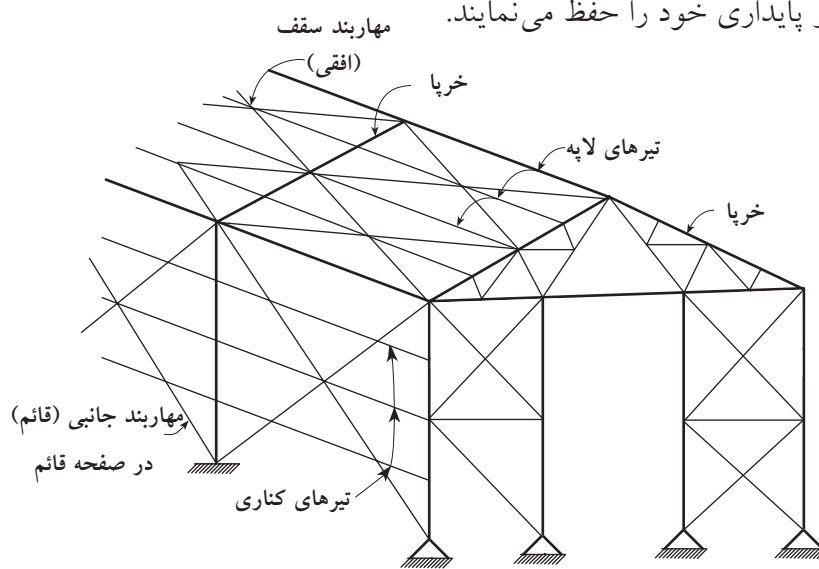
شکل ۱۰-۹- نمونه مهار لاپه‌ی راس در فرپاها



شکل ۱۰-۱۰- نمونه میله مهار جهت بستن لایه‌ها به یکدیگر

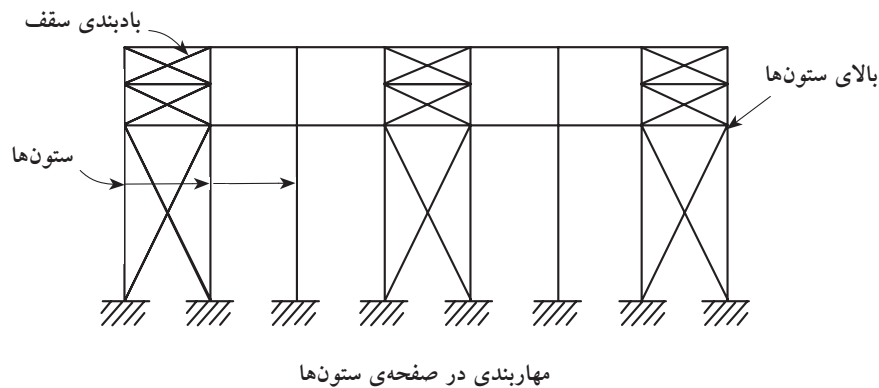
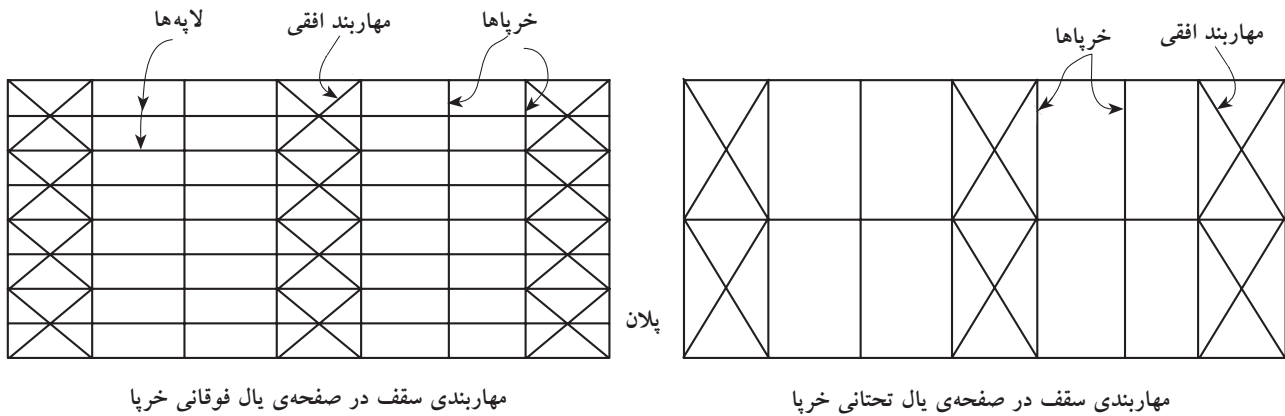
### ۱۰-۱-۸- مهاربندی‌ها در خرپاها

مقاومت قاب‌های خرپایی در برابر نیروهای عمود بر صفحه‌ی قاب‌های خرپایی بسیار کم است. لذا برای بالا بردن مقاومت ساختمان در امتداد عمود بر قاب‌های خرپایی، از مهاربند استفاده می‌کنند. فلسفه‌ی وجودی مهاربند جانبی آن است که مقاومت سیستم قاب‌ها را در جهت عمود بر قاب‌ها افزایش می‌دهد و در جهت عرضی خرپاهای ابتدا و انتها را مطابق شکل (۱۰-۱۱) مهاربندی نموده و سایر خرپاهای میانی با توجه به مهاربندهای افقی به خرپاهای ابتدا و انتها تکیه کرده و پایداری خود را حفظ می‌نمایند.



شکل ۱۰-۱۱- مهاربندی قاب‌های خرپایی

به طوری که ملاحظه می‌شود، سامانه مهاربندی ستون‌ها عبارت است از مجموعه‌ای از اعضای کششی که در صفحه‌ی قائم به طور ضربدری قاب‌ها را به هم متصل می‌سازد. در این حالت قاب‌های انتهایی ساختمان توسط مهاربندها به اولین قاب درونی متصل شده‌اند. این روش، برای ایجاد استحکام جانبی اسکلت مناسب است و عملکرد آن به این صورت است که قاب‌های خرپایی به این وسیله به هم متصل می‌شود و حالت قفسه‌ای پیدا می‌کند. این قفسه در جهات مختلف تحت اثر نیروهای جانبی دارای صلبیت و پایداری است و واژگون نمی‌شود، علاوه بر مهاربندی ستون‌ها، مهاربندی سقف خرپاها به منظور ایجاد صلبیت در دیافراگم سقف لازم است. مهاربندی سقف باید در یال تحتانی و فوقانی خرپا انجام شود. در شکل ۱۰-۱۲ مهاربندی سقف و مهاربندی ستون‌ها در پلان و نما نشان داده شده است



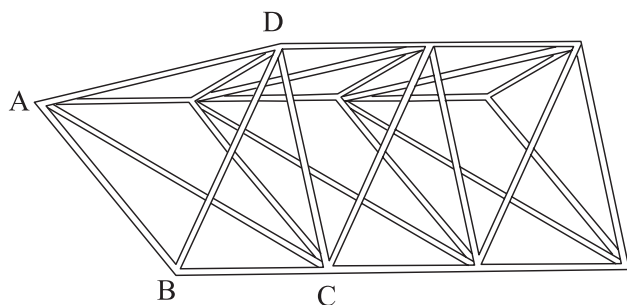
شکل ۱۰-۱۳- انواع مهاربندی قاب‌های فریایی



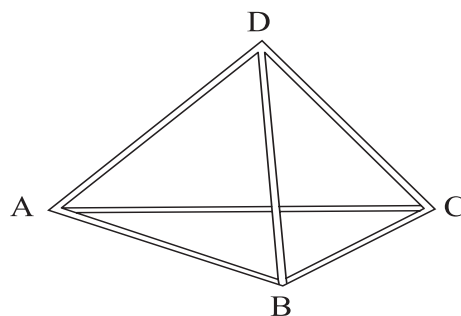
### ۱۰-۱-۹-خرپای فضایی (فضاکار)

یکی از مقاوم‌ترین و جالب‌ترین سازه‌ها، شبکه‌ی فضایی یا خرپای فضاکار است. فرم پایه‌ی خرپای فضایی از ۶ (شش) عضو و چهار گروه تشکیل شده است که مطابق شکل ۱۰-۱۳ به هم مفصل شده‌اند و قاب بسیار سختی را ایجاد می‌کنند.

با اضافه کردن عضوهای دیگر، یک مجموعه لوله‌ی مثلث بندی شده، مطابق شکل ۱۰-۱۴ به دست می‌آید.

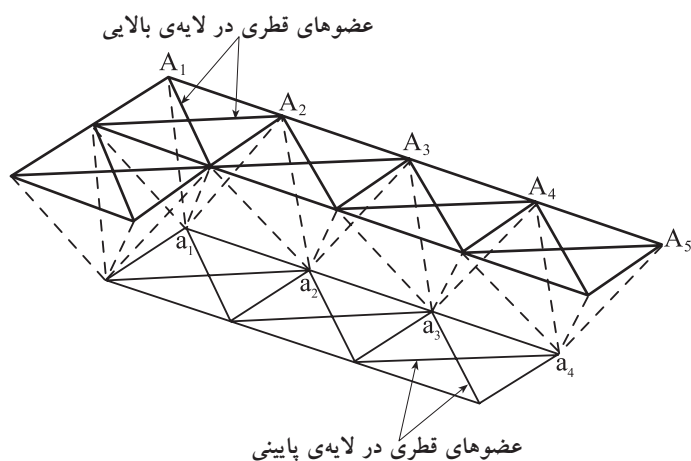


شکل ۱۰-۱۴- فرپای فضاکار



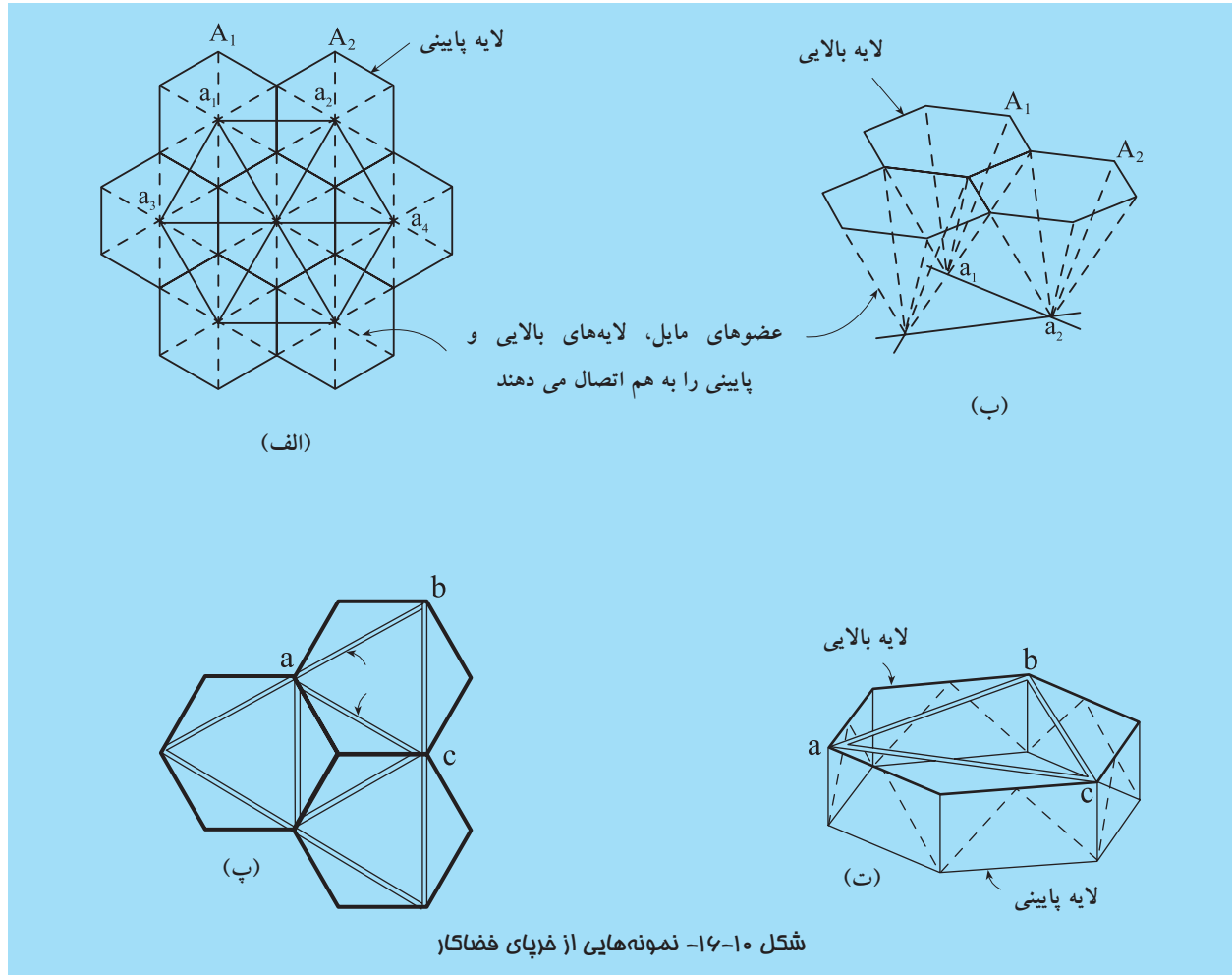
شکل ۱۰-۱۳- شکل پایه فرپای فضاکار

با ارتباط دادن چند مجموعه لوله‌ی مثلث بندی شده به یکدیگر می‌توان به یک بام مستطیل شکل یا مربع شکل و ... دست یافت. (شکل ۱۰-۱۵)



شکل ۱۰-۱۵- نمایی از یک فرپای فضایی

از خرپاهای فضایی، به علت سختی و استحکام زیادی که دارند، برای پوشش فضاهای کارخانه‌ها، نمایشگاه‌ها، استخرها و ... استفاده می‌شود.

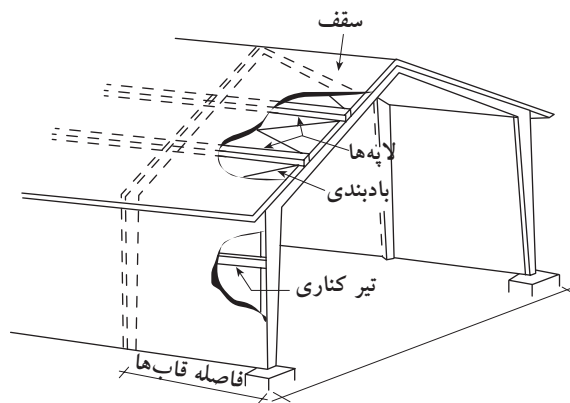
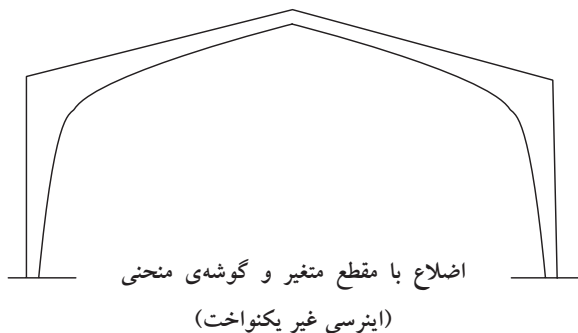
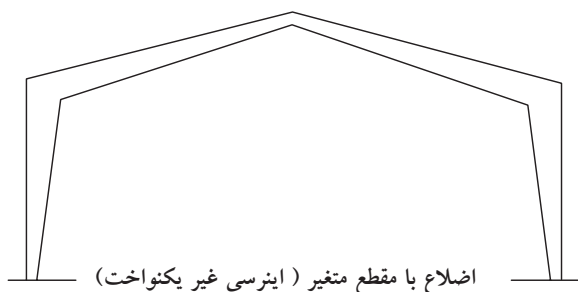
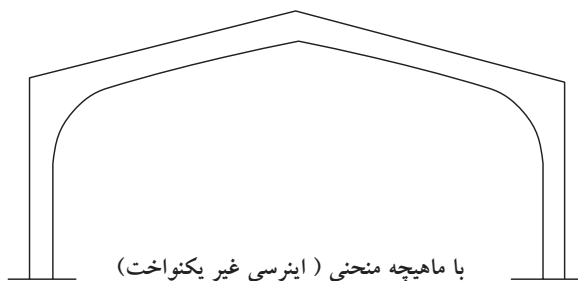
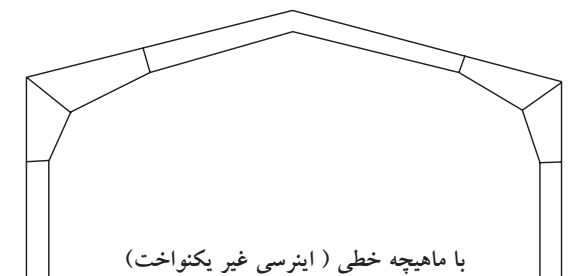
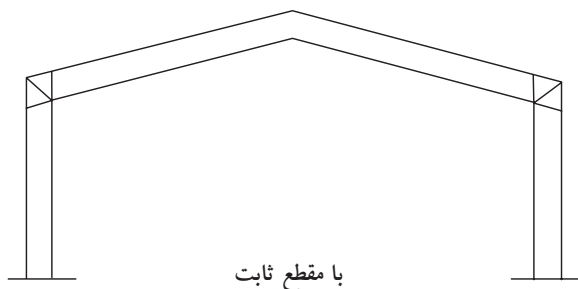


شکل ۱۰-۱۷- نمونه‌ای از سازه با فرپای فضاکار



## ۱۰-۲- قاب‌های فولادی شیب‌دار

قاب‌های فولادی شیب‌دار که به آن‌ها سوله نیز می‌گویند، در پوشش دهانه‌های بزرگ، در ساختمان‌هایی مانند کارخانه‌ها، انبارها، آشیانه‌ی هواپیما، سالن ورزشی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع پوشش نسبت به انواع خرپاها دارای مزایایی است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: صرفه‌جویی در مصالح و زمان ساخت و نصب، نمای زیباتر و استفاده‌ی بیشتر از فضای زیر سقف، شکل ۱۰-۲۱ انواع مختلف قاب‌های شیب‌دار را نشان می‌دهد. در شکل ۱۰-۲۲ نیز قاب شیب‌دار صنعتی به همراه اجزای آن ارائه شده است.



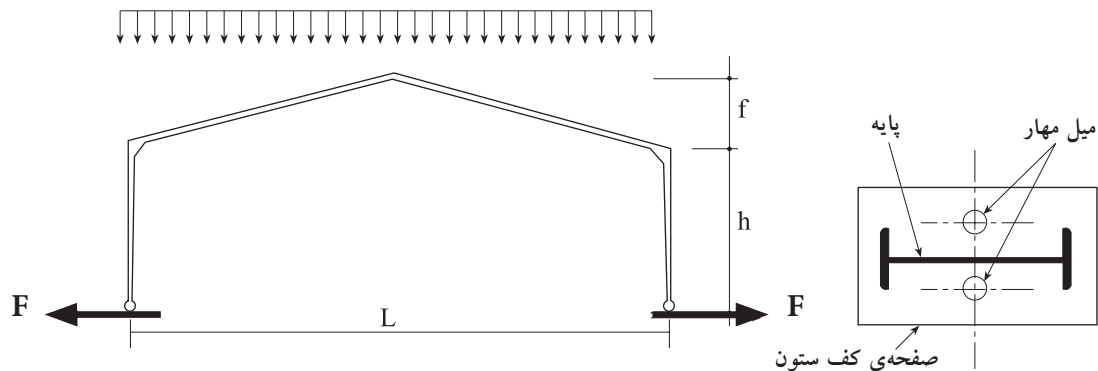
شکل ۱۰-۲۲- اجزای قاب شیب‌دار صنعتی

شکل ۱۰-۲۱- قاب‌های فولادی شیب‌دار (تیر ماهیچه‌ای به شکلی از تیر گفته می‌شود که در انتهای آن در محل اتصال به ستون ارتفاع جان افزایش یابد)

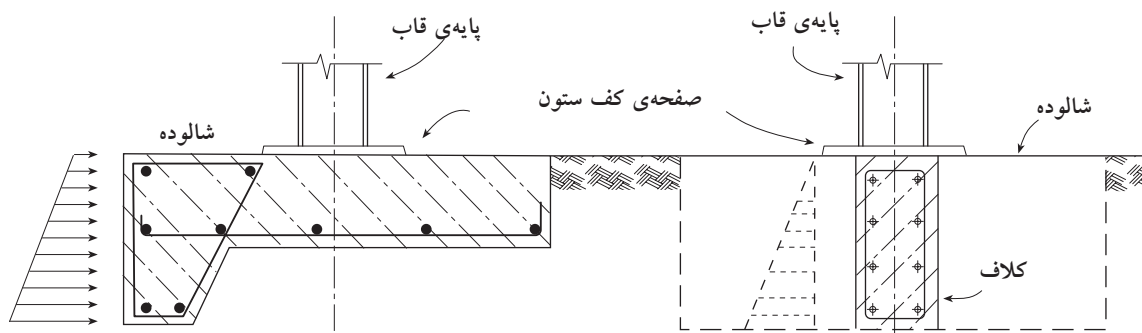


وقتی که دهانه‌ی قاب بیش از ۱۵ متر است و یا در مواردی که نسبت ارتفاع به طول دهانه کوچک است، نیروی رانش افقی پایه‌ها که بر شالوده اثر می‌کند بزرگ می‌شود. در نتیجه برای مقابله با آن از روش‌های نشان داده شده در شکل ۱۰-۲۳ استفاده می‌شود.

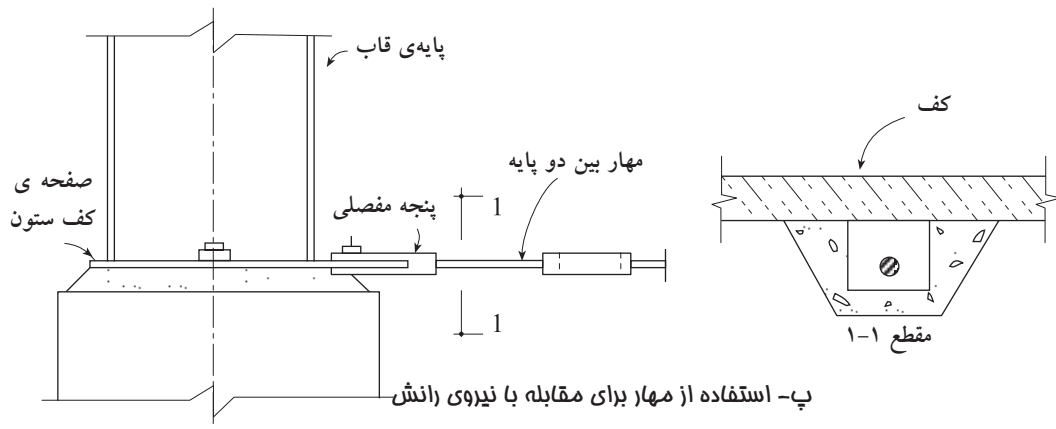
در بعضی موارد رانش بین دو پایه، با تعبیه‌ی مهار فلزی در بین دو پایه کنترل می‌شود. مهارها برای تمام نیروی رانشی بین پایه‌ها محاسبه می‌شود که پنجه‌ی مفصلی را به صفحه‌ی پای ستون متصل می‌کنند و اغلب لازم است که با گذاردن بست قورباغه‌ای آن‌ها را به حالت پیش‌تنیده در آورد. (شکل ۱۰-۲۳ پ) وقتی که مهار در محل صحیح خود قرار گرفت و به اندازه‌ی لازم پیش‌تنیده شد، می‌توان برای جلوگیری از زنگ‌زدگی، اطراف آن‌ها را با بتن پوشاند و یا به روش‌های دیگری از آن محافظت کرد.



الف- نیروی رانش پای قاب



ب- استفاده از نیروی مقاوم فاک برای مقابله با نیروی رانش



پ- استفاده از مهار برای مقابله با نیروی رانش

شکل ۱۰-۲۳- نمونه‌ی مقابله با نیروی رانش پای ستون قابهای شیبدار

## ۱۰-۲-۱- روش ساخت قاب‌ها و مونتاژ آن‌ها

قاب‌ها را می‌توان از نیمرخ‌های نورد شده، مقاطع مرکب و یا تیر ورق ساخت. قاب‌های شیب‌دار ساخته شده از نیمرخ‌های نورد شده تا دهانه‌های حدود ۱۰ متر کاربردهای فراوانی دارد. برای دهانه‌های بزرگ‌تر، از مقاطع مرکب با مقطع متغیر استفاده می‌شود. برای ساخت قطعات قاب در کارخانه (کارگاه)، ابتدا شکل قطعه‌ی مورد نظر بر سطح صافی ترسیم شده و سپس مطابق با آن الگوی تهیه شده، بریده شده و به یکدیگر جوش می‌شوند.

قاب‌های فلزی را می‌توان در دهانه‌های حدود ۸ تا ۶۰ متر و بیشتر به کار برد. فاصله‌ی قاب‌ها از یکدیگر بر حسب مقدار بار و دهانه، معمولاً بین ۴/۵ تا ۱۰ متر است و می‌توان ارقام زیر را به عنوان راهنما در طرح آن در نظر داشت:

فاصله‌ی قاب‌ها به متر	دهانه به متر
۴/۵	۹ تا ۱۲
۵/۵	۱۲ تا ۱۸
۶	۱۸ تا ۳۰
$\frac{1}{5}$ تا $\frac{1}{6}$ دهانه	بیش از ۳۰

### بیش‌تر بدانیم



اجرای صحیح ستون‌های قاب‌های انتهایی سوله که به منظور پشت بند دیوارهای خارجی تعبیه شده است، پایداری دیوار انتهایی سوله را حفظ کرده است.



عدم اجرای پشت بند (ستون‌های دهانه انتهایی سالن) و عدم اجرای کلاف افقی باعث تخریب کامل دیوار گردیده است.

## ۱۰-۲-۲- درز انبساط در سامانه‌های قابی

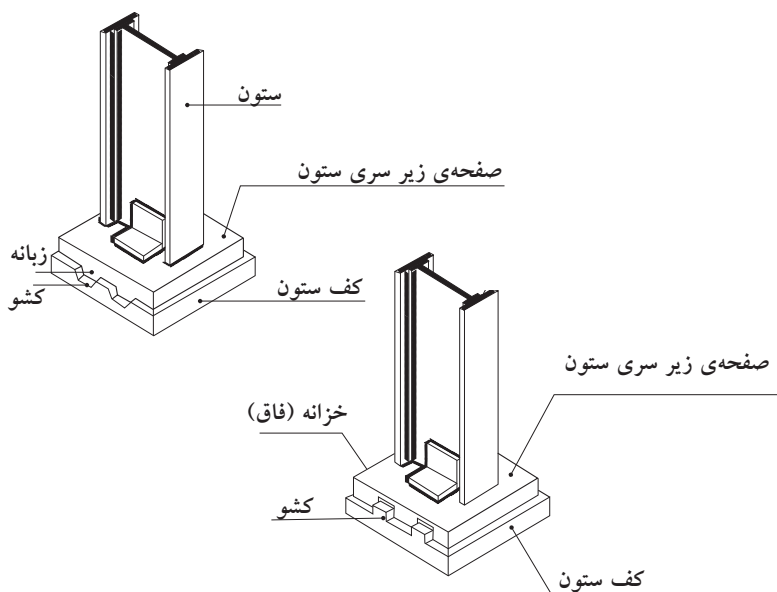
در قاب‌های فولادی که در تماس با دیوارهای مصالح بنایی قرار می‌گیرند، و طول آن‌ها بیش از ۵۰ متر باشد، بسته به طول ساختمان و تغییرات درجه حرارت محیط، تعبیه‌ی درز انبساط لازم است.

### ۱۰-۲-۳- انواع اتصال ستون به شالوده در قاب شیبدار (سوله)

اتصالات در سامانه قاب‌های با مقطع متغیر با اتصالات ستون‌های معمولی اسکلت فلزی متفاوت است (انواع اتصالات ستون‌ها با شالوده قبلاً در فصل هشتم شرح داده شده است). اتصالات در تکیه‌گاه ستون‌ها در سوله‌ها به شکل تکیه‌گاه‌های خطی مفصلی یا ریلی، نقطه‌ای یا کفشکی و یا مفصلی ساده انجام می‌گیرد.

#### ۱- اتصال خطی مفصلی یا ریلی:

در این نوع اتصال ستون بر روی صفحه‌ی شیارداری متصل می‌شود. در زیر این صفحه، صفحه‌ی کف ستون قرار می‌گیرد که در ناحیه‌ی وسط آن، قطعه‌ی فولادی قوی به شکل برجسته در شیار صفحه‌ی بالایی واقع می‌شود و به این ترتیب ستون می‌تواند در یک ریل حرکت کند (شکل ۱۰-۲۴)



شکل ۱۰-۲۴- کف ستون ریلی



سافت و نصب اسکلت صنعتی

## ۲- اتصال نقطه‌ای یا کفشی:

در این حالت نیز ستون به صفحه‌ی فولادی قوی جوش می‌شود و در وسط صفحه تورفتگی به شکل مقعر ایجاد می‌گردد. در مقابل تورفتگی مقعر، برجستگی (محدب) کاملاً به اندازه‌ی تورفتگی، بر صفحه‌ی کف ستون قرار دارد. تورفتگی مقعر در بالا و برآمدگی محدب در پایین قرار دارد تا سبب جمع شدن آب در زیر ستون نگردد. (شکل ۱۰-۲۵)



سرپا کردن



نصب کلاف طولی



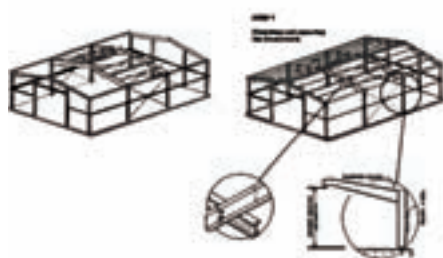
نصب قاب و مهار آن



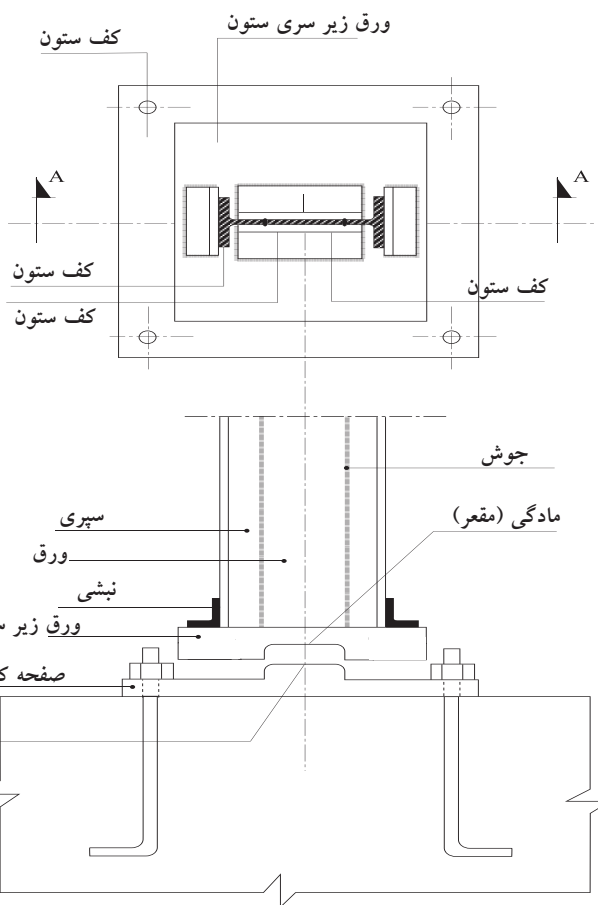
نصب قاب بعدی و نصب کلاف طولی سقف



اجرای زیرسازی پوشش سقف (لاپه ریزی)



مراحل برپا کردن قاب‌های شیبدار



شکل ۱۰-۲۵- اتصال نقطه‌ای

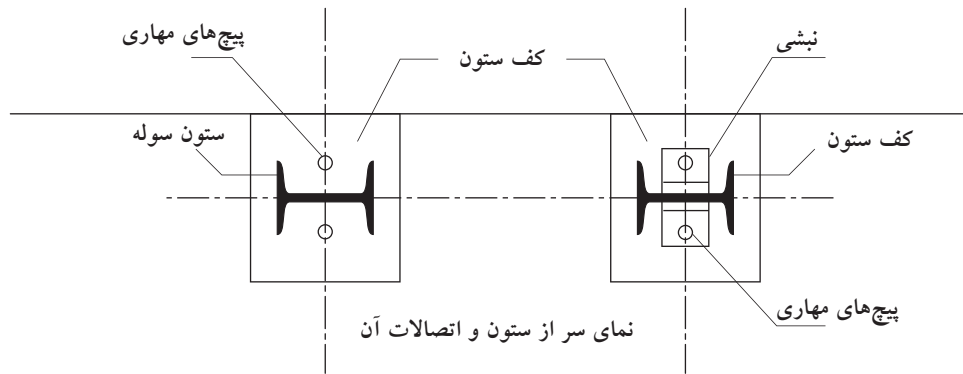


بیشتر بدانیم



### ۳- اتصال مفصلی ساده:

در شکل ۱۰-۲۶ اتصال مفصلی پای ستون نشان داده شده است. در این حالت پیچ‌های مهاریه در امتداد محور ستون در فونداسیون قرار داده می‌شود. ورق کف ستون نیز به پای ستون جوش می‌شود و مجموعه‌ی کف ستون و ستون، بر پیچ‌های مهاریه سوار می‌گردد.



شکل ۱۰-۲۶- اتصال مفصلی ستون به کف ستون

### ۱۰-۲-۴- اتصالات در قاب‌های صنعتی

اتصالات در این گونه سازه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و عموماً از آن‌ها عملکردی صلب که نیروهای محوری، برشی و لنگر خمشی را در گوشه‌ها (محل اتصال تیر به ستون) به ستون منتقل می‌کند، انتظار می‌رود. امروزه برای ساخت و اجرای قاب‌های صنعتی (سوله‌ها)، بعضی از اتصالات آن‌ها در کارخانه سازنده سوله تعبیه و در محل اجرای سازه به قطعات دیگر متصل می‌شوند. از انواع اتصالات اصلی در قاب‌های صنعتی می‌توان از اتصال گوشه، اتصال راس سوله، اتصال لایه‌ها به قاب و اتصال اعضای بادبندی به قاب سوله نام برد.

اتصال تیر به ستون در یک قاب صنعتی (اتصال گوشه) در ساخت آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است سه نوع رایج از اتصالات گوشه‌ای در سوله‌ها اتصال با ورق‌های انتهایی، اتصال با ورق روسری و اتصال ساعتی می‌باشند.



شکل ۱۰-۲۷- نمونه‌ای از قاب صنعتی



### ۱۰-۲-۴-۱- اتصال فلنجی (ورق سر)

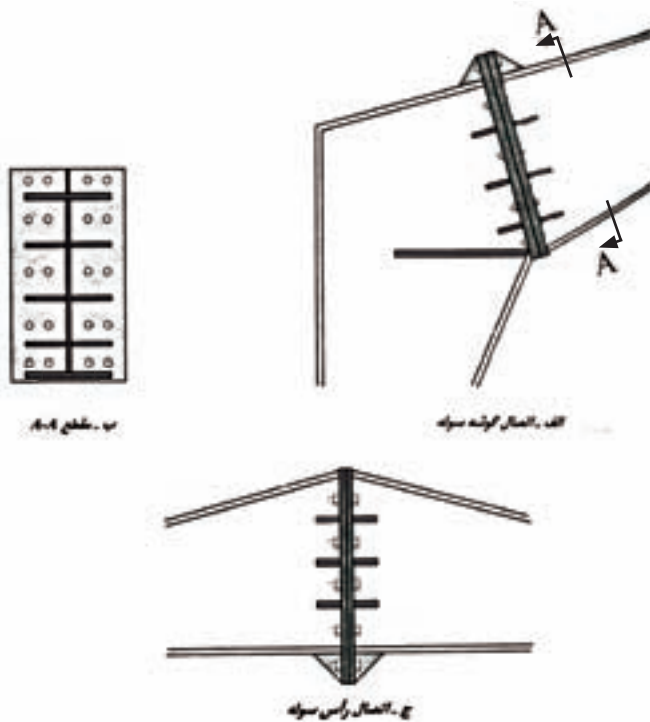
این اتصال همانگونه که در شکل ۱۰-۲۸ نشان داده شده است دارای محاسن و معایبی به این شرح است:

- محاسن :

- الف) بی‌نیازی از تقویت قطری جان
- ب) نشیمن مناسب تیر در موقع نصب

- معایب :

- الف) نیاز به ورق‌های نسبتاً ضخیم در ورق سر



فلنج انتظار در ساختمان صنعتی

شکل ۱۰-۲۸- اتصال توسط ورق انتهایی (فلنجی)

### ۱۰-۲-۴-۲- اتصال با ورق روسری

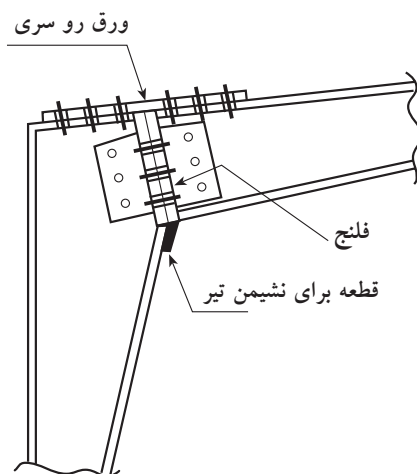
این اتصال در شکل ۱۰-۳۰ نشان داده شده و محاسن و معایبی به شرح زیر دارد:

- محاسن :

- الف) استفاده از ورق نسبتاً نازک به عنوان ورق روسری
- ب) بازوی نسبتاً بلند برای ایجاد ممان مقاوم

- معایب :

- الف) نیاز به تقویت قطری جان در اکثر موارد
- ب) نیاز به جوش دادن قطعه‌ای به ستون برای نشیمن تیر.



شکل ۱۰-۲۹- اتصال با ورق روسری

## ۱۰-۲-۳- اتصال ساعتی

این اتصال که در شکل ۱۰-۳۰ نشان داده شده، دارای محاسن و معایبی می‌باشد.

- محاسن:

الف) راحتی سوراخ کاری

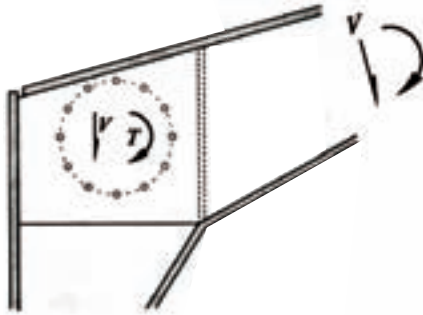
ب) راحتی حمل و نصب

ج) بی‌نیازی به ورق تقویتی قطری در جان

- معایب:

الف) برش ایجاد شده در بال

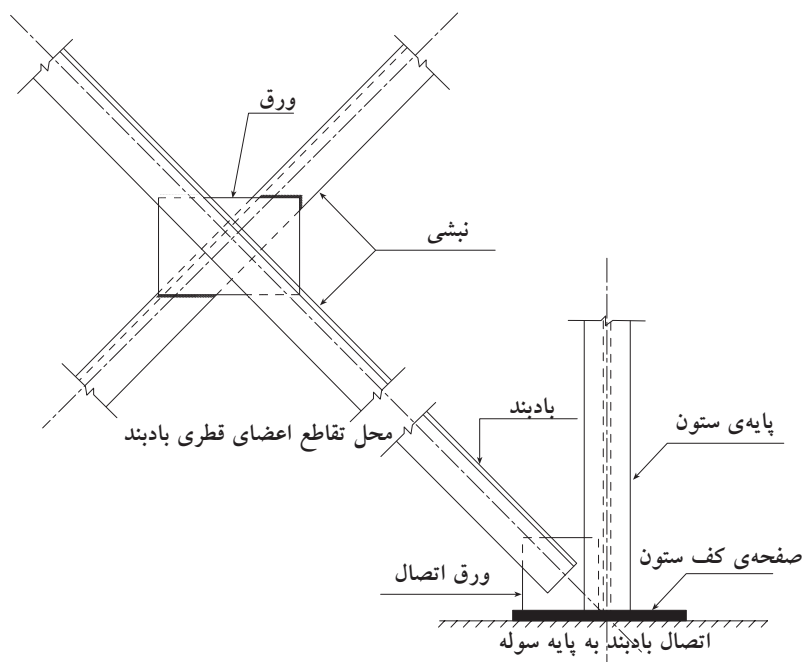
ب) تغییرات ناگهانی ضخامت بال در گوشه



شکل ۱۰-۳۰- اتصال ساعتی در قاب صنعتی

## ۱۰-۲-۵- مهاربندی در قاب‌های شیبدار (مهاربندی قائم و افقی)

موارد گفته شده در مبحث مهاربندی قاب‌های خرپایی، برای قاب‌های فولادی شیبدار نیز صادق است. لازم به یادآوری است مهاربندی افقی در سقف قاب‌ها معمولاً با میلگرد انجام می‌گیرد که این میلگردها لازم است به کمک دو پیچ، پیش‌تنیده گردند. پروفیل‌های مورد مصرف در مهاربندی‌های قائم در قاب‌های یک طبقه معمولاً از میلگرد، نبشی تک یا نبشی دابل هستند. جزئیات اتصال مهاربندی در شکل ۱۰-۳۱ و ۱۰-۳۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۳۲- جزئیات اتصال بادبند در قاب سوله



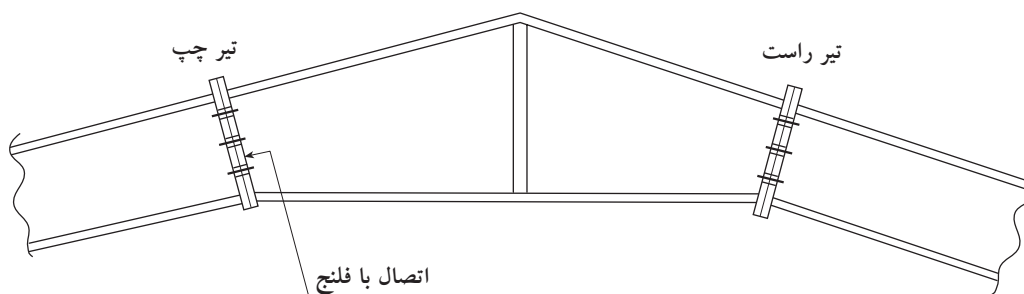
شکل ۱۰-۳۱- اجرای مهاربند افقی در قاب شیبدار

### ۱۰-۲-۵-۱- ضخامت و طول جوش در مهاربندها

به طور کلی نوع پروفیل، مشخصات پروفیل، ابعاد ورق، همچنین نوع و ضخامت جوش طبق محاسبات فنی در نقشه‌های سازه (اجرایی) برای مهاربندها مشخص می‌گردد.

### ۱۰-۲-۵-۲- تقویت قاب‌های فلزی در گوشه‌ها (زانویی)

به طور کلی، تقویت قاب در گوشه‌ها (محل اتصال تیر به ستون) یا راس قاب در صورت لزوم بر اساس محاسبات فنی انجام می‌شود. نمونه‌ای از جزئیات اجرایی اتصال راس قاب و محل اتصال تیر به ستون را در شکل ۱۰-۳۳ و ۱۰-۳۴ مشاهده می‌کنید.



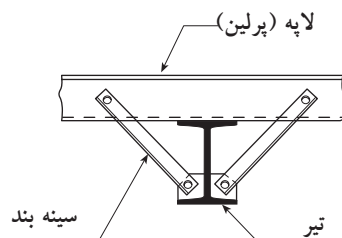
شکل ۱۰-۳۳- جزئیات اجرایی راس قاب



شکل ۱۰-۳۴- اجرای ماهیچه در محل اتصال تیر به ستون

### ۱۰-۲-۶- سینه‌بندها

از سینه‌بندها برای جلوگیری از کمانش قسمت فشاری و همچنین پیش‌مقطع استفاده می‌شود. نیرویی که این سینه‌بندها متحمل می‌شوند، تقریباً ۲ درصد نیروی فشاری موجود در قطعه‌ی اصلی است.

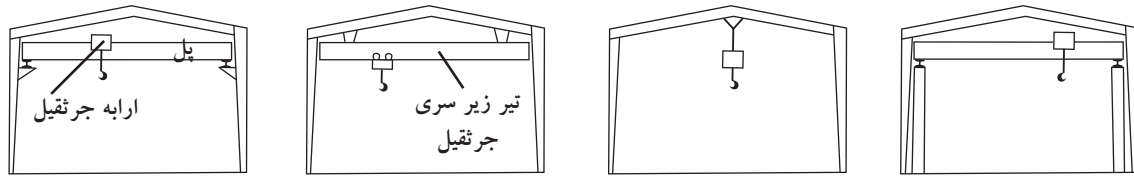


شکل ۱۰-۳۶- سینه بند



## ۱۰-۲-۷- جرثقیل سقفی

برای حمل و نقل قطعات در زیر پوشش صنعتی نیاز به جرثقیل‌های سقفی داریم. در شکل ۱۰-۳۶، حالات مختلفی از جرثقیل‌های سقفی نشان داده شده است. اجزای جرثقیل سقفی عبارتند از پل، ارابه و تیر زیرسری جرثقیل.



الف- قاب با انواع جرثقیل سقفی



پ- کاربرد جرثقیل سقفی در ساختمان صنعتی



ب- قاب فلزی (سوله) دو دهانه با ستون مشترک و ریل جرثقیل سقفی

شکل ۱۰-۳۶- جرثقیل سقفی

## آیا می‌دانید که...



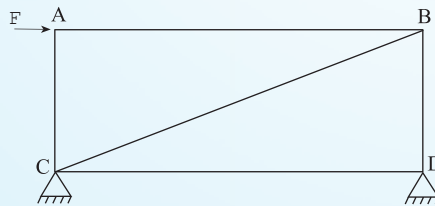
آنان که ساختمان‌های ستبری چون کاخ‌های تخت جمشید در ایران را به چشم دیده و یا تصاویر آن‌ها را مشاهده کرده‌اند، ممکن است این پرسش را پیش نهند که قطعات بزرگ سنگ که وزن آن‌ها تا به ده تن می‌رسیده چگونه از جایی به جای دیگر منتقل شده و یا در درازای ستون و بلندی ساختمان کار گذاشته می‌شده است؟ برای جا به جایی در افق استفاده از ارابه‌ها و امثال این در ایران رایج بوده است ولی گمان نزدیک به یقین آن است که سازندگان باستان از قرقره و طناب برای بلند کردن پاره‌های سنگ استفاده می‌کرده‌اند. در واقع تعدادی از این قرقره‌ها در محوطه‌ی تخت جمشید یافت شده و در موزه‌ی آن دیده می‌شود. احتمال می‌رود که پیشینیان وسایلی همانند اهرم و گونه‌هایی ساده از ماشین‌های گرانش (جرثقیل) در اجرای ساختمان‌های عظیم به کار برده‌اند. از دیگر آثاری که در این زمینه به جای مانده، نوشته‌ای است که در فن جراثقال به نام معیار العقول به ابوعلی سینا (۳۷۰ تا ۴۲۸ ه.ق) منسوب گشته است. وی در این نوشته ابتدا به تعریف اجزای وسیله‌ی جراثقال می‌پردازد و سپس به شرح هر یک از آن‌ها و خواصشان پرداخته و نحوه‌ی ساخت آن‌ها را به همراه شکل ارائه داده است.

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

۱- از ۴ قطعه چوب باریک، مستطیلی مانند شکل زیر بسازید، آن گاه آن را تحت نیرویی مطابق شکل قرار دهید. مستطیل ABCD به چه صورتی درخواهد آمد؟



۲- در آزمایش دوم، در امتداد قطر BC چوب باریک دیگری قرار دهید. اکنون آزمایش پرسش ۱ را تکرار کنید.



حال مستطیل ABCD به چه صورتی درخواهد آمد؟ نتایج خود را شرح دهید و علت‌ها را بیان کنید. به نظر شما افزودن عضو AD چه تأثیری بر رفتار مستطیل ABCD برای مقابله با نیروی جانبی F دارد؟

۳- قاب سوله، با وجود متغیر بودن مقطع آن، از نظر آهن مصرفی نسبت به حالتی که ستون و تیر آن دارای مقطع ثابت است چه امتیازی دارد؟

۴- یک انبار با اسکلت فولادی و سقف تیرچه بلوک را با انبار دیگری به صورت سوله، از نظر اقتصادی و فنی، مقایسه کنید.

۵- چه شباهتی میان پوشش سقف‌های ساختمانی با طاق‌های قوسی سنتی و قاب‌های شیب‌دار سوله‌ها وجود دارد؟

# فصل ۱۱

تولید صنعتی قطعات فولادی

روش کارخانه‌ای



## هدف‌های رفتاری:

در پایان این فصل از فراگیر انتظار می‌رود بتواند:

۱. مراحل ساخت قطعات تیر ورقی را نام ببرد.
۲. انواع روش‌های برشکاری را نام ببرد.
۳. مراحل آماده‌سازی لبه را بطور کامل شرح دهد.
۴. دلیل تسمه‌سازی ورق و روش اجرای آن را شرح دهد.
۵. مراحل مونتاژ ستون یا تیرهای I شکل را شرح دهد.
۶. راه‌های حفاظت و نگهداری قطعات را توضیح دهد.
۷. مراحل رنگ‌آمیزی، حمل و نصب قطعات را شرح دهد.
۸. نکات ایمنی در کارگاه‌های ساخت و نصب اسکلت فولادی ساختمان را شرح دهد.



## ۱۱-۱- مقدمه



روش ساخت اعضا بر حسب اینکه از ورق ساخته شوند و یا پروفیل، متفاوت خواهد بود. در صورتی که اعضا از ورق ساخته شوند، مراحل کار به صورت زیر است:

۱- برشکاری

۲- تسمه‌سازی؛ یکسره کردن ورق‌ها و انجام جوش درزهای آنها در روی شاسی و بازرسی جوش درزها

۳- مونتاژ اولیه؛ مونتاژ بال و جان و خال جوش کردن آن در داخل قالب

۴- جوش اولیه؛ تکمیل جوشکاری بال و جان و یا جوش

سخت‌کننده‌های ستون‌های جعبه‌ای

۵- مونتاژ صفحه ستون یا فلنج تیر

۶- تابگیری

۷- مونتاژ سخت‌کننده‌ها و سایر الحاقیات هسته ستون و یا مونتاژ وجه چهارم در ستون‌های جعبه‌ای

۸- جوش ثانویه؛ تکمیل جوش هسته ستون و یا تیر

۹- مونتاژ نهایی؛ جوشکاری ملحقات ستون (دستک، ورق زیرسری، ورق بادبند و ...)

۱۰- جوش نهایی



در مواقعی تقدم و تأخر ردیف‌های ۲ و ۳ عوض می‌شود؛ یعنی ابتدا ورق‌های بال و جان مونتاژ می‌شوند و سپس جوش درزها انجام می‌شود. این کار هر چند ممکن است از نظر کنترل تغییر شکل‌ها مفید باشد، لیکن به علت بوجود آمدن دو عیب عمده زیر غیرمجاز می‌باشد:

۱- ایجاد تنش‌های پسماند با توجه به قیدهای موجود در مقابل تغییرشکل‌های حرارتی جوش و فلز جوش شده.

۲- دشواری اجرای جوش درزها به صورت پیوسته و بی‌عیب.



کارخانه تولید صنعتی قطعات فولادی

## ۱۱-۲- روش های برشکاری

عملیات برشکاری برحسب ضخامت ورق، به دو روش برش گرم (شعله‌ای و قوسی) و برش سرد (مکانیکی) انجام می‌شود.

### ۱۱-۲-۱- برش سرد

متداول‌ترین وسیله‌های مورد استفاده برای برش مکانیکی عبارتند از: قیچی برش، پانچ، برش غلتکی، اره گرد و اره تسمه‌ای.



الف- برش غلتکی تیرهای لانه‌زنبوری



ج- اره تسمه‌ای



ب- دستگاه برش پروفیل‌های سبک (نبشی و ناودانی) و پانچ

شکل ۱۱-۱- دستگاه‌های برش سرد

### ۱۱-۲-۲- برش گرم

برش گرم عبارتست از هر نوع برش ورق و یا پروفیل که توسط فرآیندهای ذوبی انجام شود، که می‌توان به برش شعله‌ای یا برش قوسی اشاره کرد.



شکل ۱۱-۲- دستگاه برش ریلی

## ۱۱-۳- مراحل آماده‌سازی لبه

### ۱- ساخت شاسی برش



الف- شاسی‌کشی برای برشکاری

برای انجام عملیات برشکاری به روش حرارتی ابتدا شاسی‌های مناسبی که ورق یا پروفیل را در وضعیت تخت و تراز قرار می‌دهند، ساخته می‌شوند. در تصویر مقابل شاسی‌های برش حرارتی نشان داده شده است.

### ۲- انتخاب و آماده‌سازی ورق



ب- عملیات برشکاری مرارتی ورق

در این مرحله از محل انبار ورق، (این کار با هماهنگی قبلی و با توجه به برگه دستور برش که معمولاً توسط دفتر فنی کارخانه تهیه می‌شود) ورق مورد نظر از میان ورق‌های تایید شده واحد کنترل کیفیت جهت برش انتخاب می‌شود.

ورق مورد نظر تمیزکاری شده و در صورت داشتن قوس زیاد (در اثر انبارداری نامناسب) از جهت مخالف تحت بار قرار می‌گیرد تا حدی که ورق به راحتی روی شاسی برشکاری بنشیند.

### ۳- لبه‌گیری



پ- دستگاه برش چند مشعل

به علت گرد بودن لبه‌های نورد شده و ناصاف بودن آن‌ها باید قبل از هر گونه برشکاری، از یک سمت ورق، لبه آن بصورت صاف و گونیا برداشته شود.

در برشکاری حرارتی باید هر تسمه از هر دو سمت حرارت ببیند تا در نهایت حرارت باقیمانده و تغییر شکل ناشی از آن در تسمه‌ها موازنه شود.

### ۴- ریل‌گذاری و برش



ت- ریل‌گذاری جهت برش ریلی

در این مرحله، به کمک ابزار متر و گونیای بلند یک متری ریل‌های برش مطابق نقشه‌ی دستور برش بر روی ورق قرار داده می‌شود. بر حسب ضخامت ورق، اپراتور سرعت حرکت مناسبی برای دستگاه برش را تنظیم می‌نماید و دستگاه با حرکت به سمت جلو عملیات برش را به صورت اتوماتیک تحت کنترل اپراتور انجام می‌دهد.

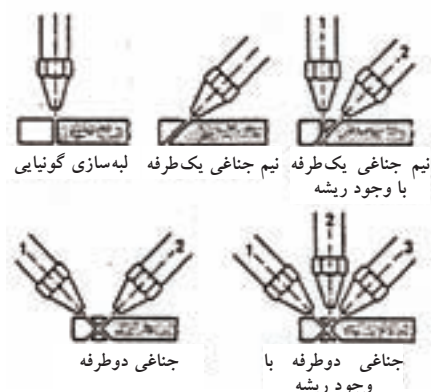
در برش ورق بصورت تسمه‌های طولی (نه قطعات کوچک که ناگزیر به برش‌های عرضی می‌باشد مانند ورق‌های اتصال بادبندی یا سخت‌کننده‌ها و ...) جهت حمل و نقل آسان ورق‌های برش خورده

مراحل آماده‌سازی لبه



ث- پخ‌سازی شعله‌ای

باید در امتداد برش حدوداً هر دو متر برشکاری قطع گردد و چند سانتیمتر جلوتر ادامه یابد. به علت به وجود آمدن انقباض که در نتیجه برش گرم رخ می‌دهد، در صورتی که ورق از یک طرف بریده شود، به صورت شمشیری در می‌آید. به همین دلیل بهتر است هر دو سمت تسمه به صورت همزمان برش داده شوند. عملیات با یک دستگاه برش که دارای چندین مشعل می‌باشد، به طور همزمان صورت می‌گیرد.



ج- مراحل پخ‌سازی

## ۵- پخ‌زنی

پس از انجام برش‌های اصلی، به دستگاه برش حرارتی زاویه داده می‌شود و این بار با انجام برش زاویه‌دار، پخ لازم به لبه‌ها جهت انجام جوش شیاری داده می‌شود.

پخ یک‌طرفه معمولاً در یک مرحله و پخ دوطرفه در سه مرحله مطابق شکل روبرو انجام می‌شود. امروزه دستگاه‌های برشکاری ساخته شده است که این مراحل را در یک مرحله انجام می‌دهند.

## ۱۱-۴- تسمه‌سازی



د- پخ‌زنی لبه‌ها به‌طور همزمان

تسمه‌سازی فقط در مورد اعضای ساخته شده از تیورق بکار می‌رود. از آنجایی که ورق بصورت رول برش نخورده و یا اغلب بطول ۶ متری برش خورده در بازار موجود می‌باشد و از طرفی اکثر دستگاه‌های برش گیوتین قابلیت برش ورق تا طول حداکثر ۶ متر را دارا می‌باشند، جهت ساخت اعضای سازه نظیر ستون‌ها و یا حتی شاتیرها که دارای طول بیش از ۶ متر می‌باشند تسمه‌سازی امری اجتناب ناپذیر می‌باشد.

در تسمه‌سازی باید از تسمه‌ورق‌های صاف و بدون پیچیدگی و یا شمشیری شده استفاده شود. مونتاژ و یا سرهم کردن صحیح تسمه‌ها و رعایت محل قرارگیری بندهای جوش در قطعه نهایی از نکات بسیار مهم در کیفیت نهایی و کارایی تیورق‌ها می‌باشد.

در مرحله مونتاژ، تسمه‌ها روی یک شاسی مسطح در راستای یک سری صفحات عمودی کوچک (بصورت لچکی) که از قبل باید بصورت ریسمانی در یک راستا قرار گرفته باشند، قرار می‌گیرند و درز جوش‌ها هم‌راستا شده و با خال‌جوش بهم متصل می‌شوند.

مراحل آماده‌سازی لبه (ادامه)





الف- شاسی تسمه سازی



ب- جوشکاری روی درز

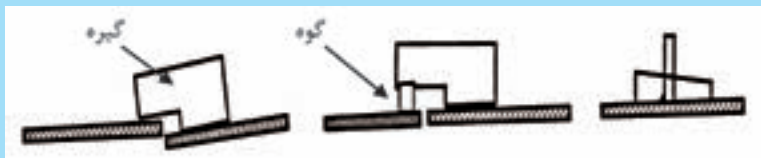


ب- پشت برداری و جوشکاری پشت درز

مراحل تسمه سازی

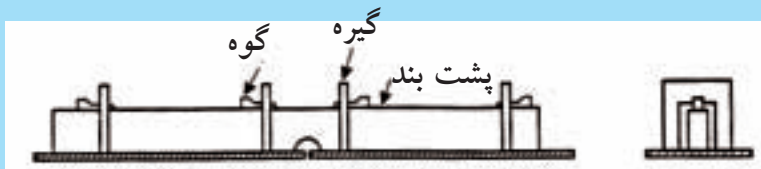
قطعاتی که با جوش شیاری به صورت لب به لب به یکدیگر متصل می‌شوند، باید هم‌باد یکدیگر قرار گرفته و به وسیله پیچ، گیره، گوه، قید و یا خال جوش تا اتمام جوشکاری در وضعیت خود تثبیت شوند. در صورت امکان استفاده از قید و قالب، توصیه می‌شود، آزادی‌های مناسب برای جمع شدگی و تابیدگی وجود داشته باشد.

روش‌های مختلفی برای هم‌باد کردن ورق‌ها وجود دارد که شکل ۱۱-۳ یکی از این روش‌ها را نشان می‌دهد. زمانی که ورق‌ها زیاد ضخیم نیستند، می‌توان گیره‌های کوچکی به انتهای یکی از ورق‌ها جوش داد. راندن یک گوه فولادی بین هر گیره و ورق دیگر، لبه‌ها را هم‌راستا می‌نماید. جوش دادن گیره‌ها در یک سمت، تا حد زیادی برداشتن آن‌ها را تسهیل می‌کند.



شکل ۱۱-۳- گیره فقط در یک لبه جوش می‌شود، بنابراین می‌تواند به راحتی با یک چکش برداشته شود. گوه فولادی به منظور قرار دادن لبه‌های ورق در یک ردیف به زیر گیره رانده می‌شود.

شکل ۱۱-۴- هم روش دیگری را که معمولاً در مورد بال‌های ضخیم‌تر، مورد استفاده قرار می‌گیرد نشان می‌دهد.



الف- استفاده از پشت بند و گیره و گوه برای هم راستایی ورق‌ها



ب- استفاده از پشت بند و پیچ و مهره برای هم راستایی ورق‌ها

شکل ۱۱-۴- هم راستا نمودن ورق‌های ضخیم

## ۱۱-۵- مونتاز اولیه - مونتاز در قالب

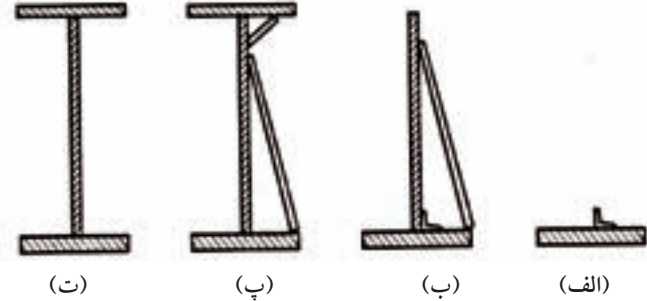


مونتاز قائم بال و جان تیر ورق‌ها

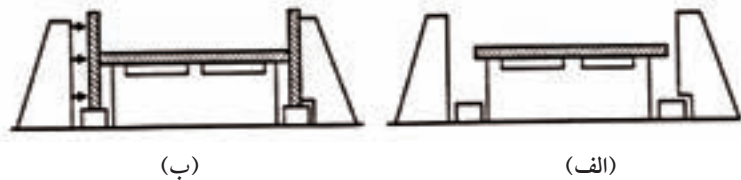
تیر ورق های I شکل را می‌توان به یکی از روش‌های زیر مونتاز نمود: حالت اول، نخست بال بر روی زمین به صورت تخت قرار داده شده و محور آن علامت زده می‌شود. در این حالت گیره‌های قائم کوچکی در فواصل مشخصی نسبت به یکدیگر در طول بال، در نزدیکی خط میانی آن جوش می‌شوند ( شکل ۱۱-۵). سپس جان تیرورق به صورت قائم بر روی بال قرار گرفته و به طور موقت با میل مهارهایی که بین جان و بال جوش شده‌اند، نگه داشته می‌شود. گیره‌ها در طول بال، موقعیت جان را در طول خط میانی بال حفظ می‌کنند. حال می‌توان ورق بال فوقانی را در بالای جان نصب و خال جوش کرد. این روش در مورد تیرهای مستقیم با ارتفاع کم و متوسط به کار می‌رود. می‌توان تیرورق را با خواباندن ورق جان بر روی قالب در موقعیت افقی مونتاز نمود (حالت دوم، شکل ۱۱-۶).



مونتاز تیرورق در قالب



شکل ۱۱-۵- مراحل مونتاز و جوشکاری ورق جان و بال تیرورق



شکل ۱۱-۶- مونتاز تیرورق در قالب

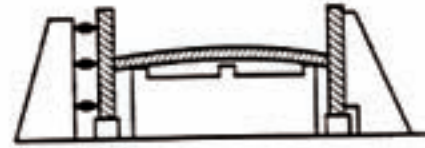
در این روش بعد از خواباندن جان بر روی قالب، ورق های بال در موقعیت خودشان قرار گرفته و با وسایلی نظیر گوه ، پیچ ، جک و یا در بعضی شرایط هوای فشرده، به دو لبه جان محکم می‌شوند. قالب به صورت اتوماتیک، بال را در موقعیت مشخص به صورت قائم نگه می‌دارد. اگر جان لاغر و یا عمیق (با ارتفاع زیاد) باشد، باید احتیاط کرد که فشار زیادی بر روی بال‌ها وارد نشود، چرا که می‌تواند باعث کمانه کردن جان به سمت بالا شود (شکل ۱۱-۷). از آنجایی که بال‌ها به صورت قائم بر روی پایه نگه داشته می‌شوند، زمانی که فشار از روی آن‌ها برداشته شده و جان به صورت اولیه در می‌آید، امکان دارد که بال‌ها بچرخند و دیگر نسبت به هم موازی نباشند.



مونتاز تیرورق با تغییر مقطع در قالب



(ب)



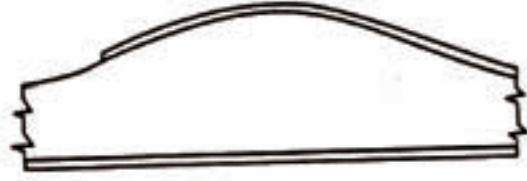
(الف)

شکل ۱۱-۷- کمانه کردن جان به سمت بالا در تیر با جان لاغر و یا عمیق

تیرهای ماهیچه‌ای به شکل شکم ماهی، معمولاً با خواباندن جان به صورت افقی مشابه حالت شرح داده شده مونتاز می‌شوند. اما در عین حال برخی از این گونه تیرها، که زیاد عمیق نیستند، به صورت کاملاً بالعکس یعنی به روش قرارگیری جان به صورت قائم مونتاز می‌شوند (شکل ۱۱-۸). در این روش بال تحتانی، روی قسمت فوقانی قرار داده شده و با کمی فشار و یا حرارت در مقابل لبه منحنی جان محکم می‌شود.



مونتاز اولیه ستون جعبه‌ای



شکل ۱۱-۸- مونتاز قائم تیرهای ماهیچه‌ای

### مونتاز اولیه مقاطع جعبه‌ای

ستون‌های جعبه‌ای دارای دو بال و دو جان می‌باشند و در اکثر سازه‌های ساختمانی با اسکلت فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به عدم امکان دسترسی به داخل ستون پس از بسته شدن آن و در نتیجه عدم امکان جوشکاری سخت‌کننده‌های داخلی آن در مرحله مونتاز اولیه، یک وجه از چهار وجه ستون نباید مونتاز شود.

ترتیب کار به این شکل است که مطابق مونتاز مقاطع I شکل ابتدا یک قالب یا فیکسچر مناسب در روی یک شاسی ساخته می‌شود. در اینجا مونتاز بر روی یک بال انجام می‌شود، و دو جان ستون مطابق نقشه‌های کارگاهی با رعایت فاصله آن‌ها از لبه بال، روی بال زیرین مونتاز می‌شوند.

جهت مونتاز دو وجه جان روی بال زیرین، ابتدا تعدادی ورق‌های کوچک که به صورت گونیا بریده شده‌اند از داخل روی بال خال‌جوش می‌شوند به نحوی که دو ورق جان پس از چسبیدن به آن‌ها در محل نهایی خود قرار گرفته باشد. لازم به ذکر است این ورق‌های کوچک پس از تکمیل مونتاز ورق‌های جان برداشته شده و جهت ساخت ستون‌های بعدی به کار می‌روند. پس از مونتاز ورق‌های جان روی بال، باید این ورق‌ها روی بال گونیا شوند که این امر توسط مونتازکار بوسیله ابزار مناسب نظیر گوه، پتک آهنگری و گونیا انجام می‌شود.



ورق‌های سخت‌کننده نیز در این مرحله مطابق نقشه‌های کارگاهی باید در داخل ستون جعبه‌ای (که اکنون بصورت یک مقطع U شکل می‌باشد) مونتاژ می‌شود. این کار با رعایت اضافه طول مناسب جهت جمع شدگی پس از جوشکاری، که متناسب با ضخامت ورق و اندازه جوش بال به جان باشد، صورت می‌گیرد.



مونتاژ اولیه ستون جعبه‌ای

تیرهای جعبه‌ای در صورتیکه جان آن‌ها بسیار نازک و یا عمیق باشد در حالت خوابیده روی جان مونتاژ می‌شوند. در این حالت ابتدا مانند مقاطع I شکل یک جان و دو بال آن مونتاژ شده سپس با نصب لچکی روی بال، جان دوم نیز در موقعیت اصلی آن مطابق نقشه‌های کارگاهی مونتاژ می‌گردد.

در ستون‌های جعبه‌ای در حالت U شکل، جهت جلوگیری از تغییر شکل و ناگونیایی جان و بال نسبت به هم از میله‌های مهاری در سرتاسر طول ستون استفاده می‌شود. این کار از ناحیه داخل جعبه بصورتی انجام می‌شود که دو جان نسبت به هم و نسبت به بال ستون مهار شده باشد.



مونتاژ وجه چهارم ستون جعبه‌ای

### ۱۱-۶- جوش اولیه

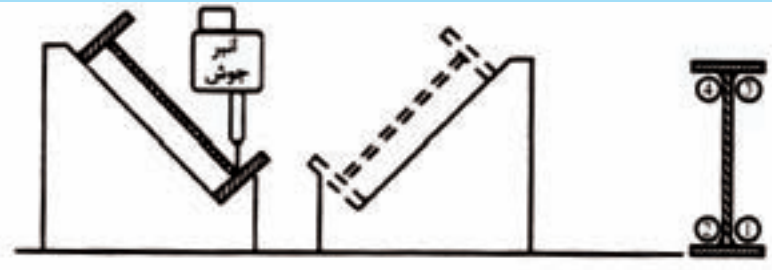
چنانچه تیورورق‌ها متقارن باشند، چهار نوار جوش به خوبی در حول محور خنثی مقطع متعادل می‌شوند و در نتیجه انحنای حاصل از جوشکاری بسیار کم خواهد بود (شکل ۱۱-۹). ترتیب و توالی جوشکاری اتوماتیک جهت انجام چهار نوار جوش، می‌تواند بدون تأثیر عمده‌ای در تغییر شکل متفاوت باشد. در بیشتر حالات، توالی و ترتیب جوشکاری تابعی از نوع قالب به کار رفته و روش حرکت تیر از یک موقعیت جوشکاری به موقعیت دیگر در کارگاه می‌باشد.



شکل ۱۱-۹- محور خنثی در تیورورق متقارن H شکل

در شکل ۱۱-۱۰، دستگاه مونتاژ دارای دو پایه برای حفظ ورق‌های مونتاژ شده تحت دو زاویه مخالف می‌باشد. وضعیت قرارگیری طوری است که جوش بال به جان در وضعیت تخت انجام می‌شود. از آنجایی که برگرداندن کامل تیر، مشکل و وقت‌گیر است، لذا توالی و ترتیب جوش‌ها باید به گونه‌ای طراحی شود که تعداد برگرداندن تیر تا حد امکان کاهش یابد.





شکل ۱۱-۱۰- ترتیب و توالی و طرهمواره اجرای جوش طولی تیر یا ستون در حالت تفت



جوش طولی به روش زیرپودری

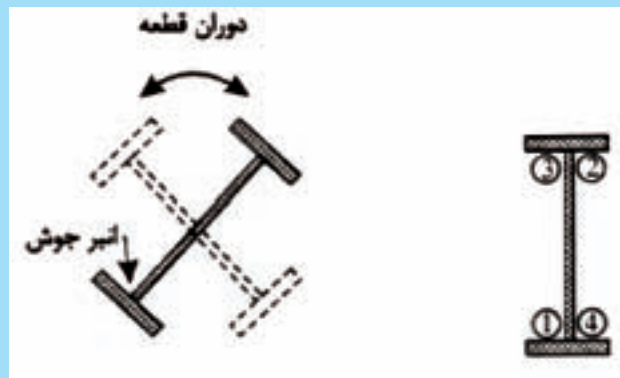
مطابق شکل ۱۱-۱۰، مجموع تیر مونتاژ شده، نخست بر روی پایه چپ قرار گرفته و جوش ۱ اجرا می‌شود. ساده‌ترین گام بعدی برداشتن تیر با جرتقیل قلاب شده به بال فوقانی و خواباندن آن بر روی پایه سمت دیگر می‌باشد. در این مرحله جوش ۲ بر روی همان بال اما در سمت دیگر جان انجام می‌شود. حالا تیر برداشته شده و بر روی زمین قرار گرفته و پس از سر و ته شدن، برای اجرای جوش ۳ در موقعیت تخت، بر روی یکی از پایه‌ها قرار داده می‌شود. بالاخره تیر برداشته شده و جهت انجام جوش ۴، بر روی پایه دیگر خوابانده می‌شود.

در شکل ۱۱-۱۱ از یک قالب چرخان برای اجرای جوش بال به جان استفاده شده است. بعد از اینکه جوش ۱ کامل شد، تیر دوران یافته و جوش ۲ انجام می‌شود. حال باید سر دستگاه جوش به عقب و به سمت دیگر جان تیر برگشته و جوش ۳ را اجرا کند، در نهایت دوباره تیر دوران یافته و جوش ۴ انجام می‌گردد.

ترتیب‌های مختلف عبور جوش که در بالا بیان شد، بستگی کامل به قالب و روش به کار رفته و ترجیحاً مقدار تأثیر آن بر تغییر شکل اجزای تیرورق دارد.



جوش طولی به روش دستی

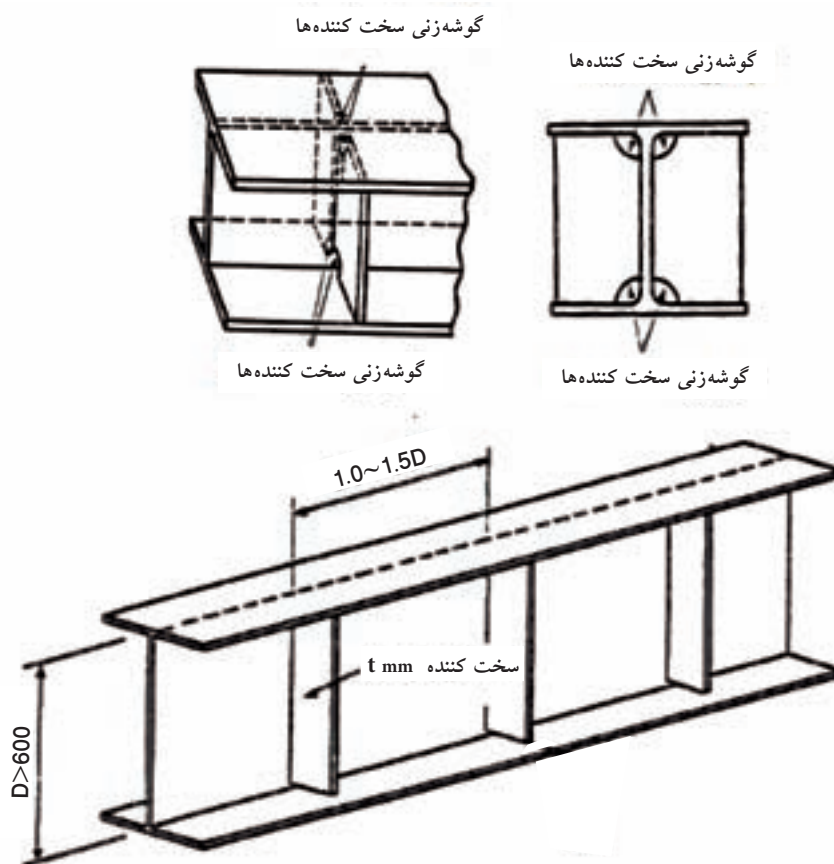


شکل ۱۱-۱۱- ترتیب و توالی در روش قالب پرفران

## ۱۱-۷- مونتاز ثانویه - مونتاز سخت کننده‌ها

معمولاً بعد از تکمیل نوارهای جوش بال به جان، سخت کننده‌های عرضی مونتاز شده و به تیر یا ستون جوش می‌شوند (شکل ۱۱-۱۲).

از مهمترین نکات قبل از مونتاز سخت کننده‌ها، تمیزکاری محل مونتاز ورق سخت کننده است. باید حداقل محدوده‌ای به پهنای ۸ سانتیمتر تمیزکاری شود.



شکل ۱۱-۱۲- مونتاز سخت کننده‌ها

اگر ورق بال لاغر و عریض باشد، امکان ایجاد پدیده افتادگی بال یا هلالی شدن در ورق بال در حین اجرای جوش بال به جان وجود دارد. در صورت وقوع چنین پدیده‌ای قبل از قرار دادن سخت کننده، ورق بال را باید با فشار به وضعیت اولیه درآورد.

در صورت عدم استفاده از جوش اتوماتیک، سخت کننده‌های عرضی را قبل از جوشکاری بال به جان (جوش اولیه)، در جای خود قرار می‌دهند. از آنجایی که بال‌های جوش نشده کاملاً مسطح هستند (تغییر شکل نداده‌اند)، این عمل به راحتی انجام می‌شود. در این حال جوش بال و جان در حد فاصل دو سخت کننده به روش دستی یا نیمه اتوماتیک انجام می‌شود.



سفت کننده عرضی



استفاده از مهارى جهت جلوگیری از افتادگی بیش از مد بال

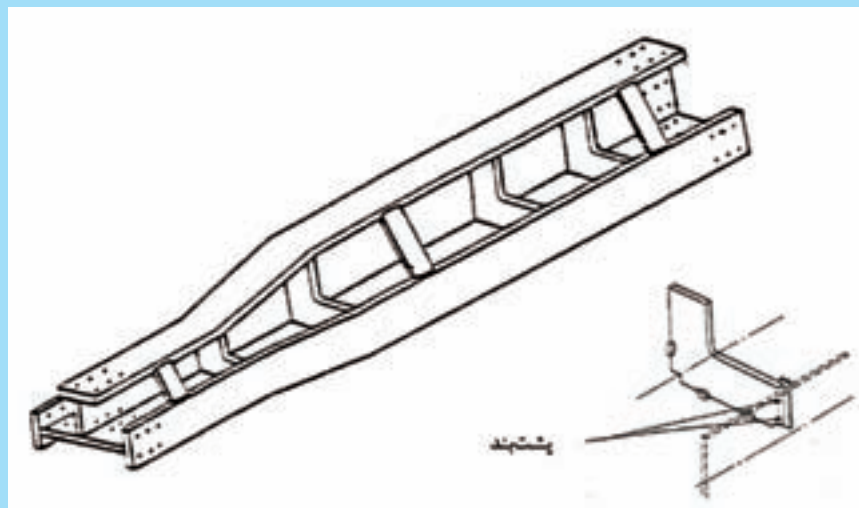
گوشه‌های سخت‌کننده‌ها جهت پیوستگی نوار جوش بال به جان، به صورت ۴۵ درجه بریده (گوشه‌زنی) می‌شوند (شکل ۱۱-۱۲).

### مونتاژ وجوه سوم و چهارم ستون‌های صلیبی شکل

در خصوص ستون‌های صلیبی شکل مونتاژ وجوه سوم و چهارم (که از قبل بصورت T شکل آماده شده و جوش بال به جان آن انجام شده است) به طریق زیر انجام می‌شود.

#### ۱- مونتاژ تک مرحله‌ای

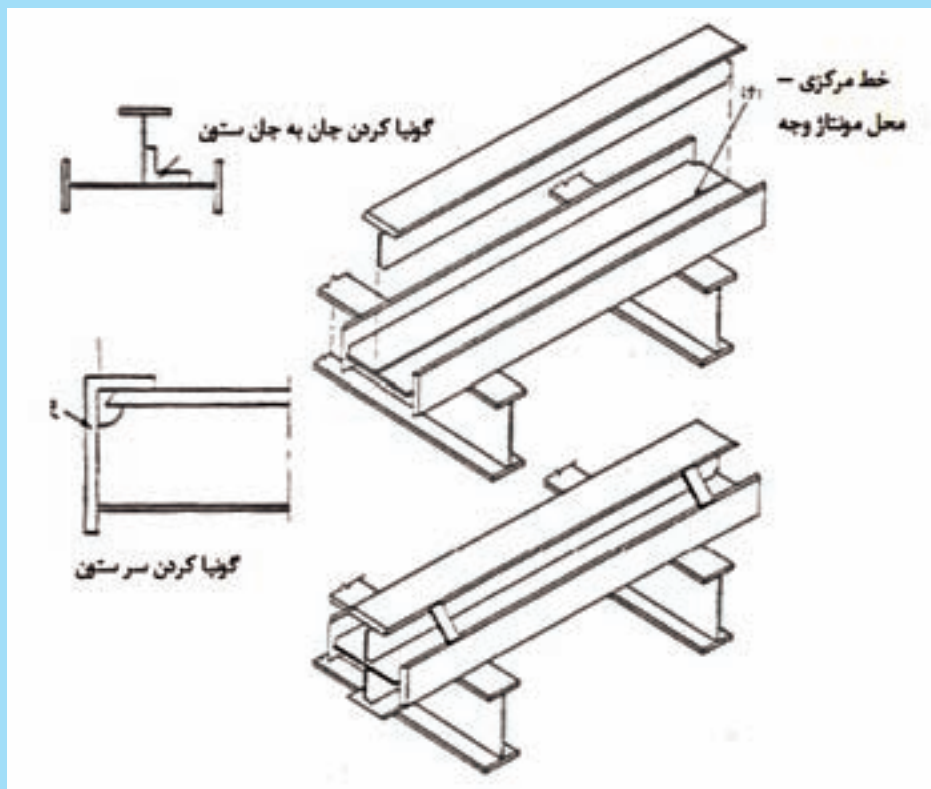
در این روش ابتدا سخت‌کننده‌های ستون که از قبل برشکاری و آماده‌سازی شده‌اند با خط‌کش مناسب مونتاژ می‌شوند. این کار مطابق نقشه‌های کارگاهی و با در نظر گرفتن اضافه طول جهت جبران جمع‌شدگی ناشی از جوش‌های طولی جان به جان ستون و حتی جوش‌های نفوذی سخت‌کننده‌ها صورت می‌گیرد. سپس با استفاده از ابزار مناسب مانند زنجیر و جک هیدرولیکی وجه T شکل را در محل خود قرار داده و محکم می‌کنند. به همین ترتیب وجه دیگر نیز مونتاژ می‌شود.



شکل ۱۱-۱۳- مونتاژ همزمان وجه چهارم و سفت کننده‌های آن

## ۲- مونتاژ دو مرحله‌ای

در این روش ابتدا وجوه T شکل سوم و چهارم باید در محل خود با دقت مونتاژ گردد و محکم شود. کنترل گویایی بودن و نداشتن خروج از مرکزیت این وجوه نسبت به وجوه اول و دوم و نیز نسبت به خودشان از نکات بسیار حائز اهمیت می‌باشند. در این مرحله جوش طولی جان به جان ستون، به روش دستی یا اتوماتیک اجرا می‌شود. پس از تکمیل جوش جان به جان سخت‌کننده‌ها مونتاژ می‌شوند. در هر دو روش فوق باید دقت شود که در صورتی که اتصالات از نوع پیچ و مهره‌ای بوده و نیاز به سوراخکاری جان ستون باشد، باید قبل از هر گونه مونتاژ عملیات سوراخکاری جان ستون انجام شده باشد.



شکل ۱۱-۱۴- مراحل سافت ستون‌های صلیبی شکل



مونتاژ وجوه سوم و چهارم در روش مونتاژ تک مرحله‌ای ستون‌های صلیبی



## ۱۱-۸- جوش ثانویه- جوش سخت کننده‌ها

سخت کننده‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: سخت کننده‌های ساده و ورق‌های پیوستگی. سخت کننده‌های ساده معمولاً در میانه تراز طبقات و یا در ادامه ورق‌های سخت کننده اتصالات نصب می‌شوند که جوش آن‌ها به ستون اصولاً بصورت جوش گوشه می‌باشد. ورق‌های پیوستگی ستون نیز در محل اتصال بال تیرها به ستون در داخل ستون نصب شده و بخصوص در مورد قاب‌های خمشی باید با جوش نفوذی به بال‌های ستون جوش شوند، و جوش اتصال دهنده آن‌ها به جان ستون از نوع جوش گوشه می‌باشد مگر این که در نقشه‌ها به شکل دیگری مشخص شده باشد.

بطور کلی ترتیب جوشکاری سخت کننده‌ها چه در ستون‌های I شکل و چه در ستون‌های صلیبی، بصورت اجرای کامل پاس اول جوش کل سخت کننده‌ها و سپس اجرای کامل جوش با در نظر داشتن نکات پیشگیری از اعوجاج قطعات انجام می‌شود.

در جوشکاری ستون‌های صلیبی بهتر است قبل از اجرای جوش کامل سخت کننده‌ها، جوش طولی جان به جان ستون به طور کامل اجرا شده باشد. در مونتاژ تک مرحله‌ای این ستون‌ها، پاس اول جوش کلیه سخت کننده‌ها و جوش طولی جان به جان ستون اجرا می‌شود و در مرحله دوم جوش جان به جان در وضعیت جوشکاری تخت انجام می‌شود و در مرحله آخر جوش نهایی سخت کننده‌ها نیز با رعایت ترتیب و توالی پیشنهادی جهت پیشگیری از اعوجاج و تابیدگی ستون و همچنین رعایت دستورالعمل‌های جوشکاری تأیید شده انجام می‌شود.

## ۱۱-۹- مونتاژ نهایی

پس از اجرای کامل جوش‌های هسته ستون، سایر اعضای ستون مانند دستک‌ها یا ورق‌های زیرسری، و اتصالات بادبندی مطابق نقشه، به ترتیب روی ستون نصب می‌گردد. (شکل ۱۱-۱۵)



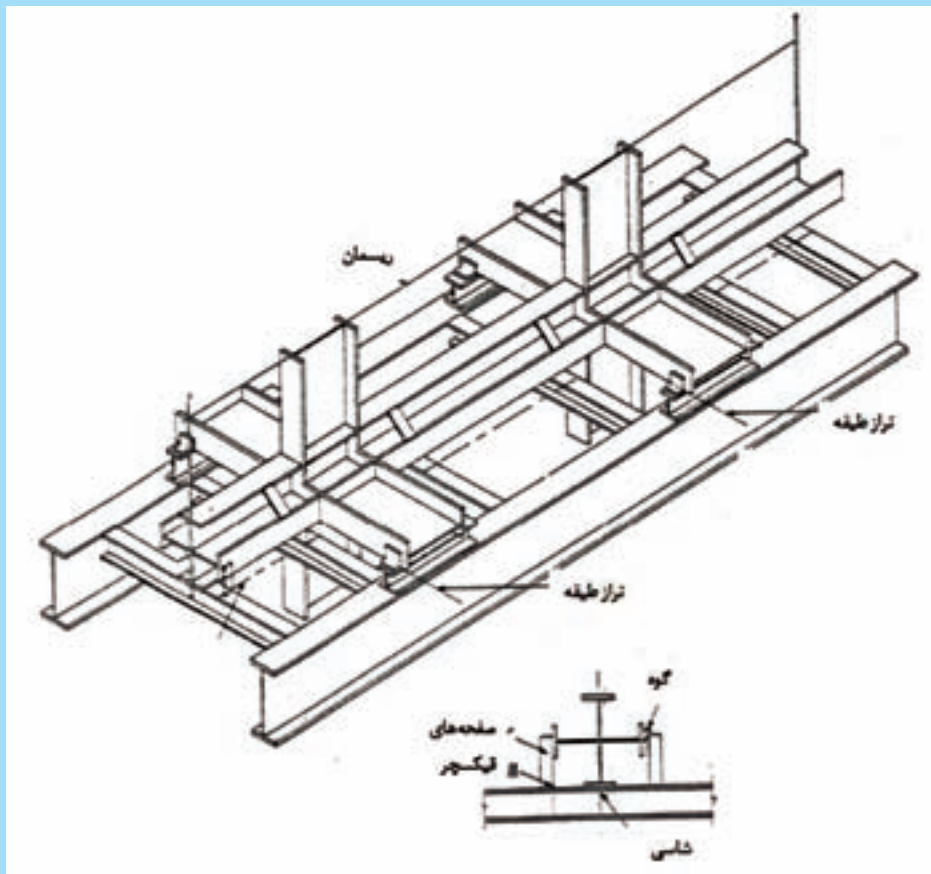
قبل از مونتاژ نهایی قطعات، باید هسته ستون، که تحت جوشکاری‌های مختلفی قرار گرفته، از لحاظ صاف بودن کنترل گردد. در صورت وجود پیچیدگی، کمانش و یا شمشیری تا حد قابل پذیرش صاف گردد. برش انتهای ستون (و سوراخ کاری بال‌های ستون در اتصالات پیچ و مهره‌ای) نیز در این مرحله انجام می‌شود.



تکمیل مونتاژ و به سه و چهارم ستون صلیبی

## ۱۰-۱۱- جوش نهایی

در این مرحله کلیه ملحقات نهایی نظیر دستک، ورق زیرسری، لچکی و ورق اتصال بادبندی مطابق دستورالعمل‌های تاییدشده جوشکاری می‌شوند.



شکل ۱۱-۱۵- فیکسچر مونتاز نهایی قطعات الماقی دستک‌ها روی ستون صلیبی شکل



جوشکاری دستک روی ستون توسط دو جوشکار به طور همزمان جهت پیشگیری از پیچیدگی دستک روی ستون



سنگ‌زنی درز جوش‌های شیاری پس از اجرای جوش گوشه پشت آنها



مونتاز دستک روی ستون در کارگاه ساخت

## ۱۱-۱۱- کنترل تغییر شکل

عامل موثر دیگر در کیفیت جوش، انقباض می‌باشد. اگر یک زنجیره جوش به طور ممتد روی یک صفحه اجرا شود باعث می‌گردد که صفحه مانند شکل ۱۱-۱۶ تاب بردارد. این تاب خوردگی در صورت عدم دقت کافی در طرح اتصال و نحوه اجرای جوش آن اتفاق می‌افتد.

شکل ۱۱-۱۷ نتیجه استفاده از جوش غیر قرینه را با جوش قرینه به مقایسه می‌گذارد. اگرچه روش‌های متعددی برای به حداقل رساندن تاب خوردگی وجود دارد ولی معمول‌ترین روش، استفاده از جوش‌های منقطع مانند آنچه در شکل ۱۱-۱۸ الف، نمایش داده شده و بعد پرکردن فواصل مانند شکل ۱۱-۱۸ ب، با ترتیب خاصی که به عنوان نمونه ارائه شده است، می‌باشد. برای خیلی از سازه‌ها مثل تیر ورق‌ها، قطعات کوتاه جوش (خال جوش) را اول در نقاط حساس برای نگهداری قطعات در جای خود اجرا می‌کنند، بعداً جوشکاری به شکل خطوط ممتد مطابق طرح قبلی انجام می‌شود.



شکل ۱۱-۱۶- تاب خوردگی صفحه

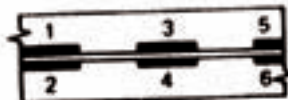


الف) طرح بد

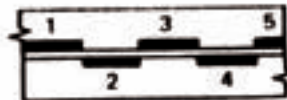


ب) طرح خوب

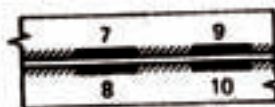
شکل ۱۱-۱۷- تأثیر ممل قرارگیری جوش



یا



الف) اولیه



یا



ب) نهایی

شکل ۱۱-۱۸- ترتیب جوش منقطع

روش‌های به حداقل رساندن تغییر شکل به طور خلاصه به شرح زیر می‌باشد :

### ۱۱-۱۱-۱- کم کردن نیروی انقباض به وسیله:

الف) استفاده از حداقل فلز جوش، (برای جوش‌های نفوذی از شکاف ریشه بیش از حد نیاز استفاده نکنید و جوش اضافی به کار نبرید).

ب) استفاده از تعداد دفعات عبور هر چه کمتر.

پ) آماده کردن و آرایش مناسب لبه‌ها.

ت) استفاده از جوش منقطع، حداقل برای اتصال اولیه.

ث) استفاده از روش گام به عقب، به این ترتیب که قطعاتی از جوش خلاف جهت اصلی جوشکاری و به سمت قطعاتی از جوش که قبلاً انجام شده، اجرا گردد.

### ۱۱-۱۱-۲- اجازه انقباض دادن به جوش به وسیله:

الف) منحرف ساختن صفحات از راستای صحیح خود چنان‌که بعد از انقباض به طور صحیح قرار گیرند.

ب) استفاده از پیش‌تاب‌دهی قطعات.

### ۱۱-۱۱-۳- متعادل ساختن نیروهای انقباض به وسیله

الف) استفاده از تقارن در جوشکاری، (جوش‌های گوشه در دو طرف یک قطعه اثر یکدیگر را خنثی می‌نمایند).

ب) استفاده از جوشکاری با ترتیب متناوب.

پ) استفاده از چکش‌کاری، آزاد کردن تنش‌ها از طریق چند ضربه در جوش‌های ضخیم.

ت) استفاده از گیره و بست. این وسایل باعث کش آمدن فلز جوش در حین سرد شدن آن می‌گردد.



استفاده از مهار جهت جلوگیری از افتادگی  
بال ناشی از جوش



صاف کردن قطعات به کمک مارت



استفاده از مهار پشت‌بند جهت جلوگیری  
از تاب برداشتن ورق کف ستون در  
کارخانه



## ۱۱-۱۲- راه‌های حفاظت و نگهداری قطعات

### ۱۱-۱۲-۱- خوردگی

خوردگی غالباً به زنگ‌زدگی یا کدر شدن فلزات اطلاق می‌شود؛ ایجاد سوراخ، نوع موضعی حمله خوردگی است که در آن میزان خوردگی از سایر نقاط بیشتر است.

عمق حفره‌های ایجاد شده، تابع شدت حمله خوردگی موضعی است. حمله شدید باعث ایجاد حفره عمیق می‌شود. شدت حمله بستگی به این دارد که آیا فلز حفاظت شده باشد یا نه. اگر قطعه فلزی کاملاً حفاظت شده باشد، خوردگی ایجاد نخواهد شد یا خیلی کم خواهد بود، اما اگر هیچ نوع حفاظتی صورت نگرفته باشد یا خوب حفاظت نشده باشد، تمامی قطعات فلزی دچار حمله خوردگی خواهد شد و رفته رفته باعث خوردگی‌های شدیدتر خواهد گردید که در شدیدترین حالت منجر به تشکیل ترک‌های ریز نفوذی می‌شود که در نتیجه قسمت سالم سطح مقطع فلزی را کاهش می‌دهد و سرانجام هنگامی که نیرو به حد کافی باشد، فلز تحت تاثیر نیرو، گسیخته و منهدم خواهد شد. در نتیجه، می‌توان گفت، خوردگی باعث ایجاد دو مشکل اساسی می‌گردد: نخست افزایش حجم که هنگام اکسید شدن فلز بروز می‌کند و این پدیده در بتن مسلح به صورت ترک برداشتن و خرد شدن تحت تاثیر فشارهای داخلی ظاهر می‌گردد. مشکل دوم این است که در اثر تبدیل شدن فلز به اکسید در اثر خوردگی، سطح مقطع موثر و اولیه آن کاهش می‌یابد و قطعه فولادی ضعیف می‌شود.



خوردگی در قطعات فولادی

### ۱۱-۱۲-۲- روش‌های حفاظت فولاد

#### ۱۱-۱۲-۲-۱- رنگ‌آمیزی

قبل از رنگ‌آمیزی، روغنکاری یا عملیات مشابه دیگر روی قطعات فلزی، باید آن‌ها را کاملاً خشک کرد و سطوح آن‌ها را از هر نوع زنگ‌زدگی، خوردگی و آلودگی‌های دیگر به کمک برس سیمی دستی یا روش‌های دیگر پاک نمود، در پاره‌ای موارد ماسه‌پاشی (Sand Blast) با فشار نیز لازم خواهد بود. رنگ‌های مورد مصرف به نام رنگ‌های ضد زنگ معروفند. باید دقت شود قسمت‌هایی از اسکلت که قرار است جوشکاری شود تا فاصله مناسب از محل جوشکاری و قسمت‌هایی که قرار است در بتن مدفون گردد، نباید رنگ‌آمیزی شوند. بدیهی است پس از جوشکاری، رنگ‌آمیزی قسمت‌های جوش شده الزامی است.

رنگ آمیزی در کارگاه نباید در هوای یخبندان یا مه آلود یا هنگامی که رطوبت باعث ایجاد شبنم بر روی سطح مورد نظر می شود، انجام گیرد.

پس از انجام رنگ زدن هر چند وقت یکبار، رسیدگی و نگهداری آن لازم خواهد بود و درجایی که حفاظت در برابر خوردگی اهمیت زیادی دارد، لازم است دو لایه رنگ به منظور آستر زده شود؛ بویژه در محل لبه های تیز و درزها که رنگ کمتری به آنها نفوذ می کند و پاشیده می شود. مواد ضد زنگ دارای ترکیبات شیمیایی از قبیل: سرنج، ترکیبات فلزی سرب، پلمبات سدیم، فسفات روی و کرومات هستند.

### ۱۱-۱۲-۲-۲- پوشش های فلزی

متداولترین پوشش فلزی استفاده از فلز روی است که می تواند به صورت گالوانیزه کردن به روش مذاب، پیش از احداث سازه یا به صورت پاشیدن فلز پس از ساخت مورد استفاده قرار گیرد. از آلومینیوم نیز برای حفاظت فولاد استفاده می شود و عملکرد آن نیز کم و بیش مشابه عملکرد روی می باشد. استفاده از آلومینیوم در محیط های صنعتی که به شدت آلوده است موفقیت آمیز بوده است. پل جدید فولادی در انگلستان با پوشش فلزی از نوع پاشیدن روی و آستر از نوع کرومات روی و دو لایه رنگ اکسید آهن میکایی محافظت شده است.

### ۱۱-۱۲-۲-۳- پوشش های قیری

رنگ های قیری که به صورت غلیظ شده قیر و قیر زغالی است، بسیار مفید و موثر هستند و حداقل در سه لایه به کار می روند. به طور کلی این رنگ ها برای حفاظت قطعاتی که در معرض تابش نور خورشید قرار دارند، مناسب نیستند و روی سطح آن ها غالباً ترک خوردگی هایی ظاهر می شود. این اشکال را می توان با استفاده از یک لایه رویه از مواد قیری آلومینیوم دار کاهش داد. از پوشش های قیری برای حفاظت قطعاتی که در آب غرقه هستند نیز می توان استفاده کرد.



استفاده از پوشش قیری در سازه دریایی

### ۱۱-۱۲-۲-۴- پوشش های پلاستیک

این مواد به صورت خمیر استفاده شده و به وسیله غلتک پخش می شود؛ سپس با استفاده از حرارت یا چسب به فلز اتصال می یابد. گاه به صورت پودر و استفاده از حرارت، سخت می شود و پوشش های با مقاومت شیمیایی بالا را به وجود می آورد. لایه های ضخیمی را که با استفاده از این روش ها به دست می آیند، چه نرم و ارتجاعی، چه سخت و شکننده می توان «پوشش پلاستیک» نام گذاری کرد.

پلاستیک هایی که بیشترین کاربرد را در پوشش دادن فولاد دارند عبارتند از: پلی کلرووینیل (PVC)، پلی اتیلن و پوشش های پودر اپوکسی (کاربرد در کارخانه). استفاده از پوشش های پلاستیک در درجه حرارت های بالا آسان و موفقیت آمیز نیست. پوشش های پلاستیک (PVC) روی هسته های چوبی یا فولادی، امروزه به صورت قاب های آماده شده برای پنجره ها در دسترس هستند.

### ۱۱-۱۲-۲-۵- پوشش بتنی

فولادی که در درون بتن جاگذاری می کنند، با محیط قلیایی احاطه می شود ( $PH > 12/5$ ) این میزان قلیایی بودن قطعه فلز را به نحوی مناسب در مقابل اکثر انواع خوردگی محافظت می کند. گازهای اسیدی موجود در هوا، بویژه دی اکسید گوگرد و دی اکسید کربن با بتن که حالت بازی دارد ترکیب می شوند. در نتیجه باید فولاد در فاصله ای از جدار بتن قرار گیرد که از نفوذ گازهای اسیدی تا حد امکان مصون باشد و محافظت در برابر خوردگی در دراز مدت تامین گردد.

مرز مشترک بتن یا فولادی که قسمتی از آن در معرض عوامل جوی خورنده قرار گرفته است اغلب ممکن است منشا ایجاد خوردگی و زنگ زدگی باشد؛ بعضی از انواع زنگ زدگی، به علت ناخالصی های فلزی موجود در مصالح شنی است و به خوردگی فولاد مربوط نمی شود.



استفاده از پوشش بتنی در یک سازه صنعتی که بطور مناسبی اجرا نشده است.

## ۱۱-۱۳- عملیات حمل

عملیات حمل از موارد قابل تامل در تولید اجزای اسکلت فولادی است. در هنگام تولید اعضا در کارخانه، طول، عرض، ارتفاع و وزن قطعه تولید شده باید طوری انتخاب گردد که در هنگام حمل، شرایط بار ترافیکی ایجاد نگردد. بار می‌تواند در یکی از حالات زیر، در رده بارهای ترافیکی قرار گیرد:

الف) داشتن عرض بیشتر از عرض تریلی (حدود ۲/۸۰ متر)

ب) داشتن طول بیشتر از طول تریلی (حدود ۱۲ متر)

پ) داشتن ارتفاع بیش از حد (ارتفاع بالای بار از سطح جاده بیش از ۴ متر)

ت) داشتن وزن غیرعادی

بارهای ترافیکی دارای هزینه حمل بسیار گران قیمت می‌باشند و باید تا حد امکان از آن اجتناب نمود. در شکل مقابل حمل یک قطعه سنگین توسط تریلی نشان داده شده است.



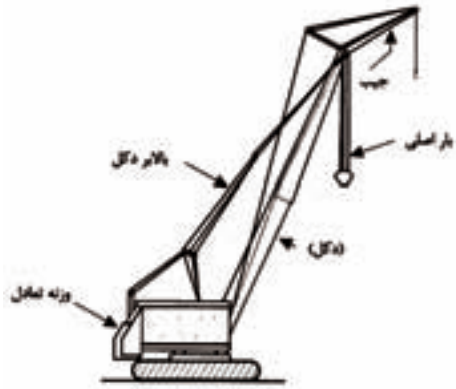
محمل قطعات از  
محمل سافت به  
کارگاه نصب



## ۱۱-۱۴- عملیات پیش‌مونتاژ و مونتاژ در پای کار

همانطور که در قسمت قبل عنوان شد، در اکثر موارد امکان ساخت عضو با طول کامل در کارخانه وجود ندارد و لازم است عضو در قطعات کوتاه‌تر ساخته شده و به کارگاه حمل گردد. بنابراین قبل از نصب لازم است قطعات در پای کار به صورت یکسره درآمده و سپس نصب شوند. به این عملیات، مونتاژ و یا پیش‌مونتاژ گفته می‌شود. برای انجام این کار ابتدا در پای کار شاسی‌های مخصوص عملیات پیش‌مونتاژ آماده می‌گردد. سپس قطعات در مجاورت یکدیگر قرار گرفته و پس از رسیمان‌کشی و هم‌محور کردن آن‌ها، قطعات به یکدیگر پیچ می‌شوند. گاهی مواقع امکان نصب یک مرتبه عضو کامل وجود ندارد. لذا در چنین مواردی مجدداً بعضی از وصله‌های عضو باز می‌شوند و عملیات نصب به صورت قطعه‌قطعه انجام می‌شوند. در این حالت از آنجا که قبلاً قطعات در پای کار به یکدیگر به صورت آزمایشی متصل شده‌اند، اتصال مجدد آن‌ها در جبهه کار بسیار ساده خواهد بود. در صورتی که اتصال قطعات به یکدیگر دائمی باشد، عملیات را مونتاژ و در صورتی که به صورت آزمایشی و موقت باشد، پیش‌مونتاژ می‌نامند. بسیاری از پیمانکاران ترجیح می‌دهند انجام بعضی سوراخ‌کاری‌ها را در مرحله مونتاژ و یا پیش‌مونتاژ انجام دهند. بدین معنی که در کارخانه عمداً از چند صفحه سوراخ‌کاری که در مجاورت یکدیگر قرار می‌گیرند، یکی را انجام نمی‌دهند. بعد از عملیات پیش‌مونتاژ، صفحه سوراخ‌کاری نشده از طرف صفحه سوراخ‌کاری شده علامت زده می‌شود (سنبه‌نشان) و سپس ورق اتصال باز شده و توسط مته مورد سوراخ‌کاری قرار می‌گیرد.





اعضای اصلی جرثقیل نصب

### ۱۱-۱۵- عملیات واداشتن، نصب و خال جوش اتصالات

عملیات نصب توسط جرثقیل‌های متحرک و یا جرثقیل‌های برجی (تاورکرین) انجام می‌شود. در شکل مقابل یک نمونه از جرثقیل متحرک نشان داده شده است. جرثقیل‌های متحرک می‌توانند از نوع بوم خشک و یا بوم هیدرولیکی باشند. جرثقیل‌ها علاوه بر بوم اصلی، دارای یک اضافه بوم می‌باشند که به آن جیب می‌گویند و از آن می‌توان برای نصب قطعات سبک در ارتفاع بالا استفاده نمود.

### ۱۱-۱۶- شاقولی کردن ستون‌ها، هم محور کردن تیرها و تکمیل اطلاعات

در آخرین مرحله، به کمک مهارهای ضربداری موقت و تجهیزات ایجاد کشش مثل تیفور، ستون‌ها در وضعیت شاقول قرار گرفته و با خال زدن اتصالات و یا سفت کردن پیچ‌های مونتاژ، تیرها و ستون‌ها در وضعیت نهایی قرار می‌گیرند.



### ۱۱-۱۷- نکات ایمنی در کارگاه‌های ساخت و نصب اسکلت فولادی ساختمان

وقتی شما بخواهید از وسیله‌ای استفاده کنید یا در محیطی صنعتی یا کارگاهی کار کنید برای محافظت از خود و اطرافیان مجموعه‌ای از نکات ایمنی وجود دارد که در صورت عدم رعایت آن خطراتی برای شما و دیگران به وجود می‌آید. مثلاً در صورت عدم آشنایی در استفاده از وسایل برقی ممکن است شما دچار برق گرفتگی شوید؛ بنابراین شخصی که در کارگاه اسکلت فلزی مشغول به کار است باید نکات ایمنی را به خوبی رعایت کند تا علاوه بر تامین سلامت خود و دیگران، کار با کیفیت بهتر انجام گیرد. نکات ایمنی به دو بخش نکات ایمنی در جوشکاری با برق، و نکات ایمنی لازم الاجرا در کارگاه‌های ساختمانی (بویژه در کارگاه‌های اسکلت فلزی) تقسیم می‌شود.

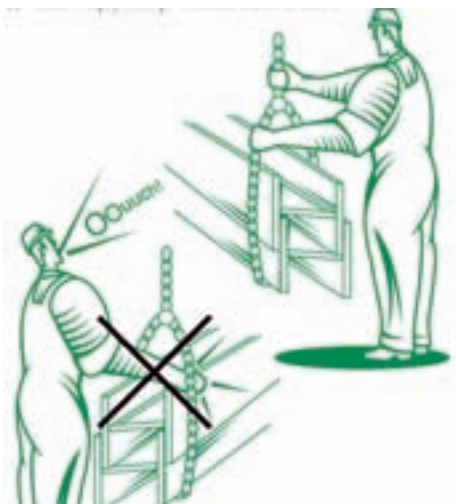
### ۱۱-۱۷-۱- حفاظت‌های شخصی جوشکاری

#### - لباس جوشکاری

دستکش ساق بلند و پیش‌بند مقاوم در برابر آتش باید برای عملیات جوش و برش استفاده شود. لباس‌های پشمی نسبت به لباس پنبه‌ای و نایلونی برای محافظت بدن در حین جوشکاری ترجیح داده می‌شوند زیرا در برابر آتش‌سوزی از انواع دیگر مقاوم‌تر می‌باشد.



افراشتن ستون‌های ساختمان



رعایت کلیه نکات ایمنی در کارگاه

از پوشیدن لباس‌هایی که دارای لبه‌های برگردان در سر آستین یا پاچه شلوار و جیب هستند، خودداری شود چون احتمال حبس ذرات گداخته جرقه در آن‌ها وجود دارد که منجر به سوختن لباس و پوست بدن خواهد شد. بهتر است از کفش‌های مناسب استفاده کرد تا اولاً، قسمتی از ضربه ناشی از سقوط احتمالی بر روی پا را بگیرد، ثانیاً پا را در مقابل جرقه و ذرات گداخته شده که بر روی زمین می‌ریزند محافظت کند.



آماده شدن برای جوشکاری بالاسر

شکل ۱۱-۱۹- انواع لباس‌های محافظ جوشکاری

### - ابزار محافظت چشم

در تمام موارد جوشکاری و برشکاری لازم است از عینک با شیشه مناسب (شیشه تار با درجه تاریکی مناسب) استفاده شود. درجه تاریکی شیشه عینک به روش جوشکاری و شدت جریان بکار گرفته شده بستگی دارد. در جوشکاری با قوس الکتریکی علاوه بر محافظت از چشم باید از ماسک‌هایی که صورت را نیز می‌پوشاند استفاده شود. در بیش‌تر موارد عینک و ماسک با هم همراه می‌باشند. باید توجه داشت که اشعه‌های ماوراءبنفش و مادون قرمز در قوس الکتریکی، علاوه بر اثر بسیار خطرناک بر روی چشم، بر روی پوست نیز اثر سوء دارد. برای جلوگیری از خطر تشعشع قوس الکتریکی و نیز جلوگیری از رسیدن جرقه‌های حاصل از قوس الکتریکی، صورت و چشم‌ها را باید با ماسک جوشکاری محافظت نمود. ماسک جوشکاری در دو نوع «دستی» و «کلاه‌دار» ساخته می‌شود. با استفاده از ماسک کلاه‌دار می‌توان با یک دست انبر الکتروود را گرفت و از دست دیگر برای کارهای متفرقه وابسته استفاده کرد. ماسک جوشکاری باید سبک، مقاوم و احتراق ناپذیر باشد. به منظور محافظت از چشم‌ها، شیشه ماسک را رنگی در نظر می‌گیرند. این شیشه‌ها با درصد تیرگی مختلف ساخته می‌شود که میزان آن بستگی به قدرت قوس الکتریکی دارد.



لباس ایمنی مناسب جوشکاری



شکل ۱۱-۲۰- چند نمونه از ماسک جوشکاری



لنز روشن



لنز فیلتر



لنز تنظیم فودکار

البته اخیراً ماسک‌های جدیدی ابداع شده که برای تیره و روشن کردن آن احتیاج به تعویض شیشه آن نمی‌باشد بلکه با فشار دادن کلیدهایی، درجه مورد نظر به دست می‌آید. حتی شیشه‌های مخصوصی وجود دارد که نسبت به شدت نور عکس‌العمل نشان می‌دهد و تیره می‌شود. به این ترتیب جوشکار می‌تواند وضعیت جوش را به هنگام شروع قوس کاملاً کنترل کند.

برای این که شیشه‌های رنگی در اثر جرقه‌های پرتاب شده از حوضچه مذاب صدمه نبینند، بر روی آن‌ها یک شیشه معمولی قرار می‌دهند و هرچند وقت یک بار باید آن‌ها را تعویض کرد. در شکل ۱۱-۲۰ نمونه‌هایی از ماسک جوشکاری نشان داده شده است.

با کمک جدول ۱-۱۱ می‌توان درجه محافظت (شماره شیشه) ماسک را برای جوشکاری قوس الکتریکی انتخاب نمود:



کلاه ایمنی



انواع وسایل ایمنی



گوشی



ماسک تنفسی



شیشه‌های رنگ مناسب برای جوشکاری		
شماره رنگ شیشه	ضخامت فلز پایه (میلیمتر)	کاربرد
۱۰	۳ تا ۶	جوشکاری قوس الکتریکی با الکترودهای ۱/۵، ۲/۵، ۳/۲۵، ۴ میلیمتری
۱۲	۶ تا ۲۵	الکترودهای ۵، ۵/۵، ۶ میلیمتری
۱۴	بیشتر از ۲۵	الکترودهای ۸، ۹/۵ میلیمتری
۳ یا ۴	تا ۲۵	برشکاری سبک
۴ یا ۵	۲۵ تا ۱۵۰	برشکاری متوسط
۵ یا ۶	بیشتر از ۱۵۰	برشکاری سنگین

\* برای جوشکاری تحت گاز محافظ (میگ)، شماره رنگ شیشه را یکی کم کنید.

جدول ۱۱-۱- تعیین شماره عینک و ماسک جوشکاری

### - دستکش

استفاده از دستکش چرمی مانع سوختن دست و مچ جوشکار می‌شود. اگر چه چرم به آسانی نمی‌سوزد، در صورت تماس یافتن با شعله یا گدازه، نیم‌سوز می‌شود و انقباض می‌یابد. بنابراین انعطاف‌پذیرترین دستکش انتخاب شود. در هنگام جوشکاری سنگین فولاد ساختمانی به روش قوس الکتریکی لازم است از دستکش ضخیم ساخته شده از چرم گاو یا اسب استفاده شود.

### - عینک ایمنی

اگر نمی‌توانید از عینک ایمنی استفاده کنید، از عهده جوشکاری هم برنمی‌آید. فکر نکنید عینک جوشکاری بیش از اندازه مزاحم است. قدرت بینایی ناقص مزاحم‌تر است. چشمان شما تحمل پذیرش گرما و نور فلز گداخته را ندارند.



شکل ۱۱-۲۱- عینک‌های ایمنی



## - کفش

اگر به کار جوشکاری پل‌ها اشتغال دارید بایستی از کفش‌های ایمنی رویه چرمی بلند بنددار استفاده کنید. جرقه و فلز مذاب به این نوع کفش‌ها وارد نمی‌شوند. هرگز کفشی با تخت پلاستیکی نپوشید، اگر چنین کفشی در معرض گرمای شدید قرار گیرد تخت آن ذوب می‌شود و به پای شما می‌چسبد.

## ایمنی دیگران

در هنگام جوشکاری قوس الکتریکی، وظیفه محافظت از چشمان اشخاصی که در اطراف هستند به عهده شماست. قبل از هر چیز باید در پیرامون محوطه جوشکاری حفاظ مناسبی تعبیه کنید تا نور مستقیم قوس به چشم کسانی که از وسیله مناسب برای محافظت چشم خود استفاده نمی‌کنند آسیب نرساند. به عنوان حفاظ موقت می‌توانید یک ورق تخته سه‌لا یا حلبی موجدار را طوری در جلو محوطه جوشکاری نصب کنید که مانع رسیدن نور مستقیم قوس به چشم اطرافیان شود.

## ۱۱-۱۷-۲- حفاظت‌های کارگاهی

- ۱- افرادی که با مصالح فلزی سنگین سروکار دارند باید به دستکش حفاظتی مجهز باشند.
- ۲- تیرآهن باید به ارتفاع کم طوری روی هم انباشته شود که امکان غلتیدن آن نباشد.
- ۳- ورق فلزی باید به طور افقی روی هم انباشته شده و ارتفاع آن از یک متر بیشتر نباشد.
- ۴- دوطرف لوله‌های فلزی که انبار می‌شوند باید به وسیله میله آهنی یا وسایل مشابه دیگر مهار شوند که از باز شدن و غلتیدن آن‌ها جلوگیری گردد.
- ۵- برای بالا بردن تیرهای آهن باید از کابل یا طناب‌های محکم استفاده شود. برای جلوگیری از خم شدن بیش از حد باید چوب یا وسیله مشابه دیگری در بین تیرآهن و کابل قرار داده شود و از زنجیر برای بالا بردن تیرآهن استفاده نشود.
- ۶- در موقع نصب ستون‌ها یا تیرهای حمال و غیره قبل از جداکردن نگهدارنده تیرآهن باید حداقل نصب تعداد پیچ و مهره‌ها یا جوشکاری‌های لازم انجام شده باشد.
- ۷- خرپاها باید به وسیله نگهدارنده بر روی پایه قرار گیرد و پس از نصب مهارهای لازم و اطمینان کامل از پایدار بودن آن از نگهدارنده جدا شود.
- ۸- قبل از نصب هر تیرآهن بر روی تیرآهن دیگر، تیرآهن زیرین باید صددرصد پیچ و مهره و یا جوشکاری شده باشد.
- ۹- در مواردی که تیرآهن در کف طبقه به طور موقت قرارداد می‌شود کلیه اتصالات طبقه پایین باید انجام شده باشد.
- ۱۰- تیرها و ستون‌ها باید بلافاصله پس از نصب، توسط سرکارگر جهت اطمینان از انجام صحیح و کامل کار بازدید شود.
- ۱۱- در مواقع بارندگی شدید و وزش بادهای سخت و یخبندان باید از نصب و برپاداشتن تیرهای فلزی خودداری شود.
- ۱۲- افرادی که در ارتفاع بیش از ۳ متر کار می‌کنند و احتمال سقوط آن‌ها می‌رود باید مجهز به کمربند حفاظتی و طناب نجات باشند و کلیه اقدامات احتیاطی برای جلوگیری از سقوط آنان به کار برده شود.

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید:

- ۱ - مراحل آماده سازی لبه در ساخت تیرورق را توضیح دهید؟
- ۲ - اگر بخواهیم یک ستون به ارتفاع ۱۳ متر از تیرورق بسازیم با فرض اینکه عرض و ضخامت ورق در طول ستون ثابت باشد تسمه‌سازی ورق بال و جان ستون را بصورت ترسیمی نمایش دهید و دلایل انتخاب خود را شرح دهید؟
- ۳ - جهت اتصال لب به لب یک ورق ۲۵ میلیمتر به یک ورق ۱۵ میلیمتر در تسمه بال ستون، نحوه پخ‌زنی، تسمه‌سازی و نوع اتصال را رسم کنید؟
- ۴ - افتادگی بال در قطعات تیوروقی به چه علتی به وجود می‌آید و روش جلوگیری از آن چیست؟ شرح دهید.
- ۵ - روش اتصال ورق وجه چهارم در ستون‌های با مقطع جعبه‌ای را شرح دهید؟
- ۶ - ترتیب جوشکاری طولی ستون تیوروقی I شکل را رسم کنید؟
- ۷ - عملیات پیش مونتاژ قطعات به چه منظوری انجام می‌شود؟
- ۸ - خوردگی چیست؟ دو مشکل اساسی ناشی از خوردگی را توضیح دهید.
- ۹ - روش‌های حفاظت فولاد را نام ببرید. یک روش از آن را توضیح دهید.
- ۱۰ - منشأ ایجاد خوردگی و زنگ زدگی را شرح دهید.
- ۱۱ - پلاستیک‌هایی که بیش‌ترین کاربرد را در پوشش دادن فولاد دارند، نام ببرید و محدودیت کاربرد آن‌ها را بنویسید.