

# 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:

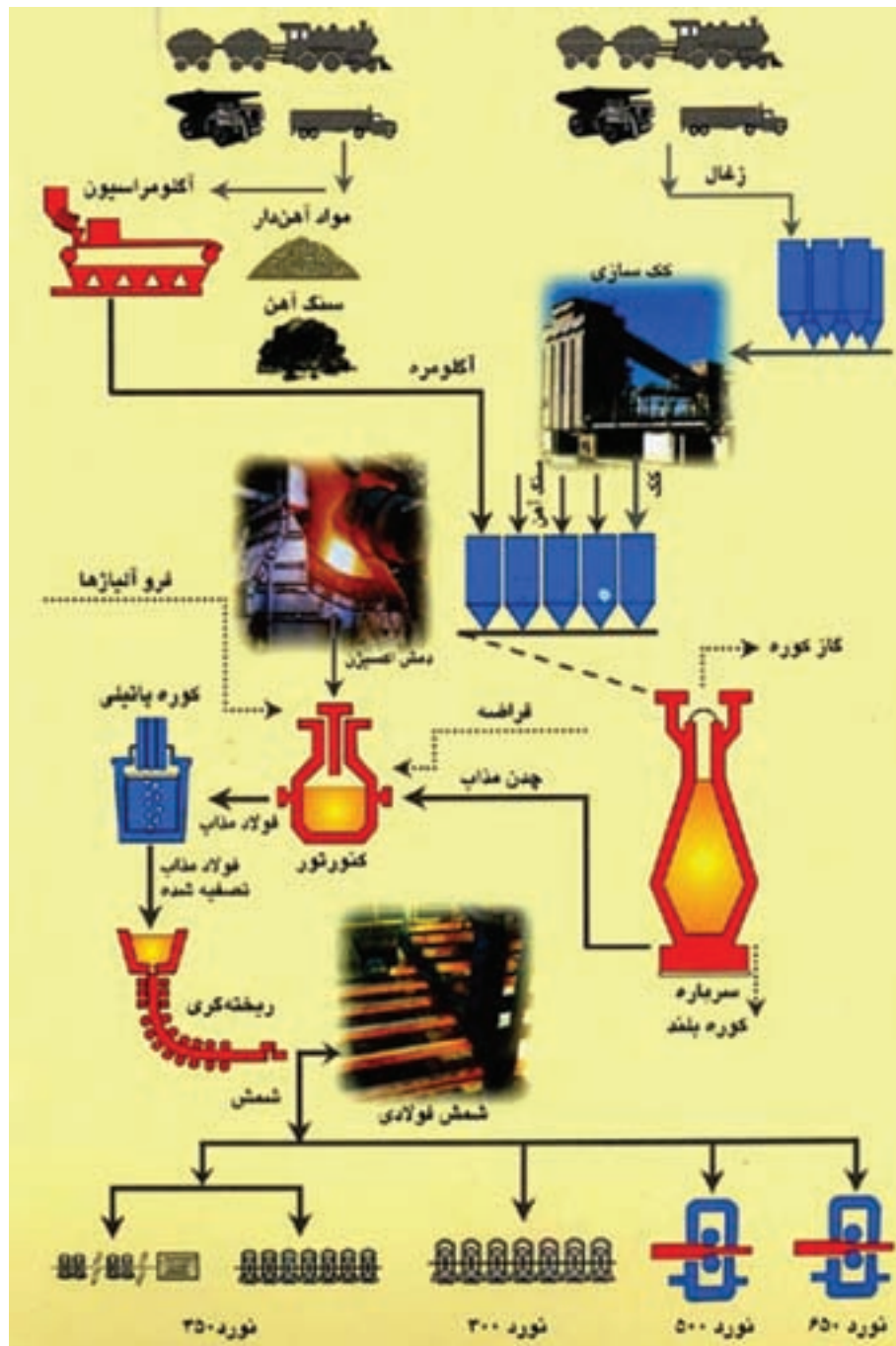


سالن ریخته گری مداوم فولاد

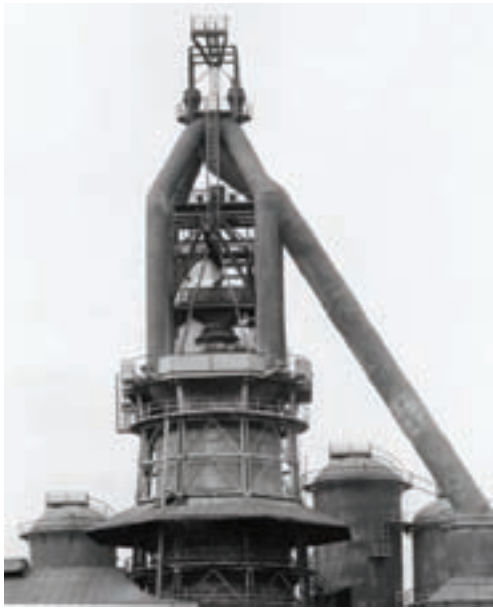
فولادها آلیاژهایی هستند از آهن و کربن که عناصر دیگری نیز به همراه دارند. در این میان کربن نقش مهمی داشته و مقدار آن تعیین کننده قسمت اعظم خصوصیات فولاد (قابلیت کوره کاری، آبکاری، ریخته گری، نقطه ذوب و غیره) است. اگر مقدار کربن از ۲/۰۶ درصد کمتر باشد محصول را فولاد نامیده و چنانچه مقدار آن از ۲/۰۶ تا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

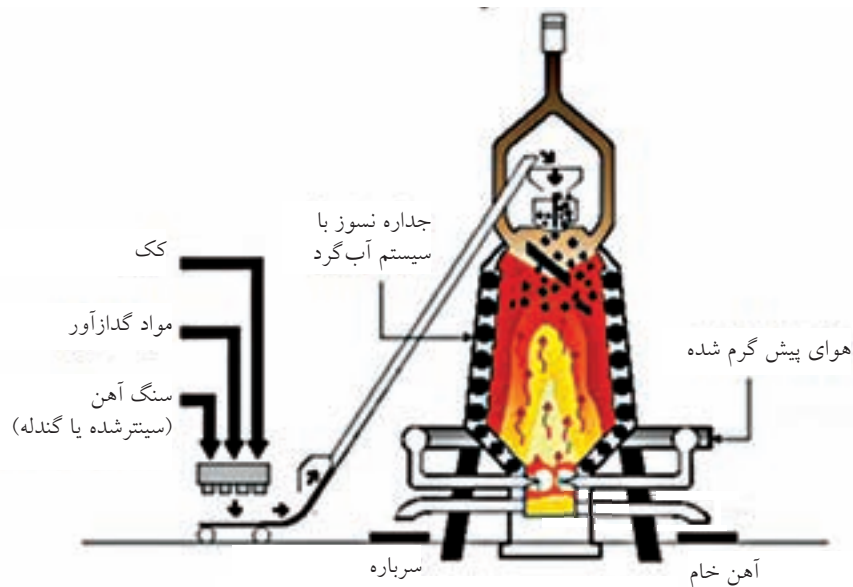
برای این منظور از آهک استفاده می‌شود. آهک با ناخالصی‌های موجود در سنگ آهن (سیلسیم، منگنز و گوگرد) ترکیب شده و آن‌ها را به صورت سرباره به سطح مذاب می‌راند.

### 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

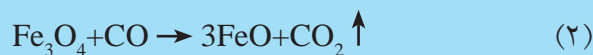
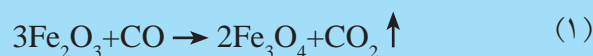
قسمت تحتانی کوره، استوانه‌ای شکل و به بوته معروف است؛ در این محل مواد مذاب و سرباره جمع می‌شوند. بوته معمولاً دارای دو محل خروجی است که یکی در بالا، برای خروج سرباره و دیگری در قسمت پایین، برای خروج آهن خام مذاب در نظر گرفته شده است. در پیرامون قسمت بالای بوته، شیپورک‌هایی وجود دارند که از آن هوای گرم (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 گدازآور 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 مؤسسه 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- ریفته 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 فروآلیاژی 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 خنثی 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 (ریفورمر) 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 فوژستان

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)

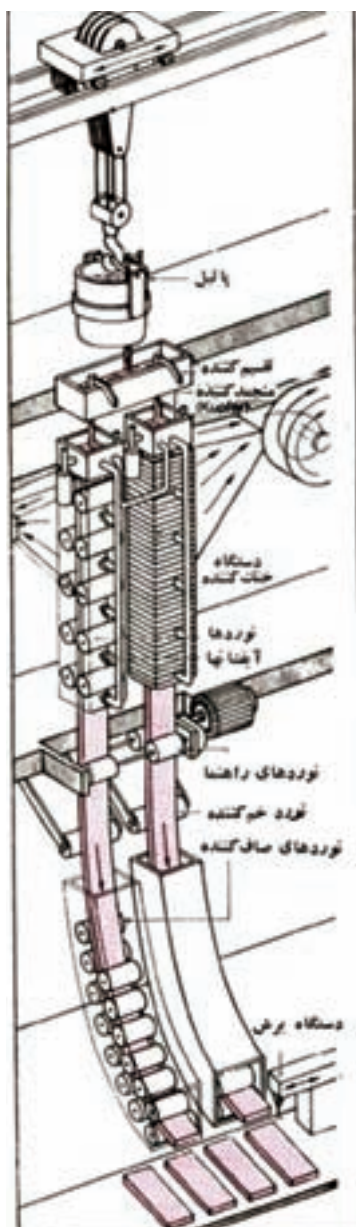
نوع فولاد	کاهش می‌دهد	افزایش می‌دهد	عناصر
فولادهای غیر آلیاژی	نقطه ذوب، طاقت، انبساط، قابلیت جوشکاری و کوره‌کاری	استحکام، سختی، قابلیت آبکاری	کربن
	قابلیت جوشکاری	الاستیسیت، استحکام، قابلیت آبکاری عمقی، سختی در حالت گرم، مقاومت در مقابل خوردگی، جدا شدن گرافیت در چدن خاکستری	سیلیسیم
	انبساط، استحکام در 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)

## ۱-۵-۵- 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.

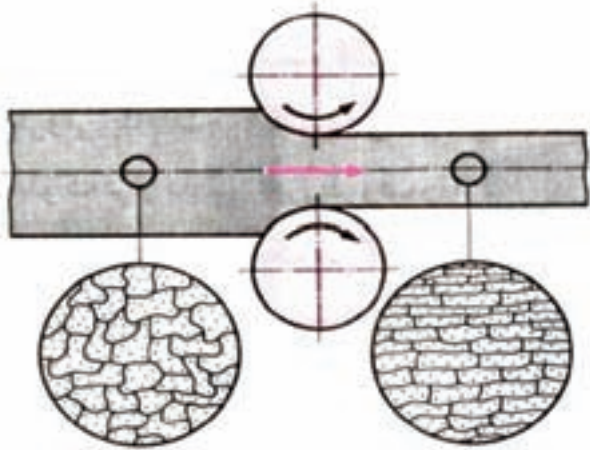
حال می‌توان بلوک‌های بریده شده را که هنوز از درجه حرارت مطلوبی برخوردارند برای عملیات بعدی هدایت کرد. شکل ۱-۶ و ۱-۷ تهیه شمش و تختال را با روش ریخته‌گری مداوم نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶- واحد تولید تختال فولاد مبارکه اصفهان

### ۱-۵-۲- نورد کاری

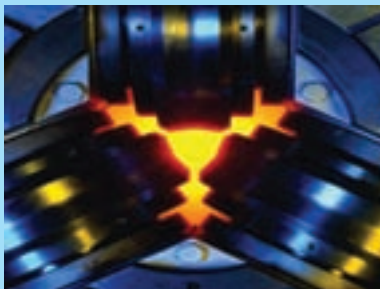
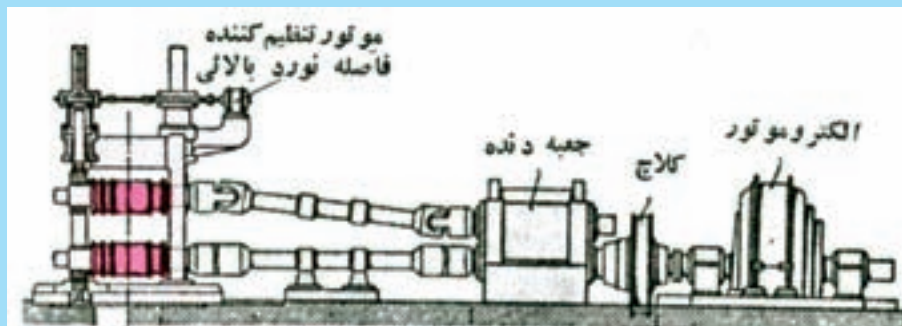
تغییر شکل دادن در اثر عبور از بین دو استوانه (نورد) گردان را نوردکاری گویند. در اثر نیرویی که از طرف نوردها برای تغییر فرم فولاد اعمال می‌شود، دانه‌بندی فلز شکسته و ریزتر شده و این عمل باعث افزایش استحکام فلز می‌گردد. (شکل ۱-۸).



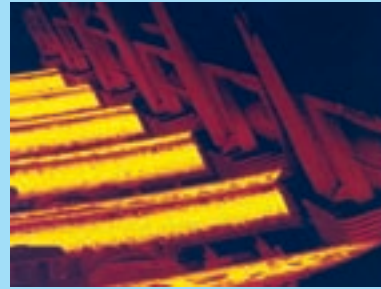
شکل ۱-۸- پیگه‌نگی ریزدانه شدن فلز در عمل نوردکاری

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

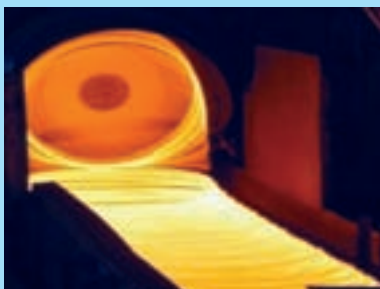
شکل ۱-۹- تاسیسات دستگاه نورد را نشان می‌دهد.



نورد فولاد



نورد فولاد



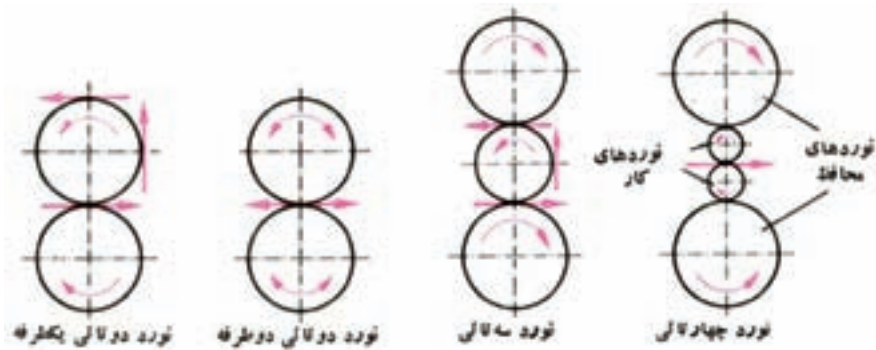
تولید میلگرد



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.

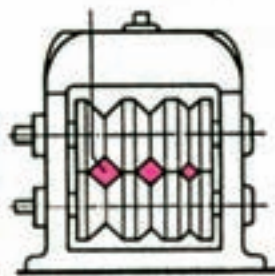


شکل ۱-۱۰- روش‌های نورد بر حسب تعداد استوانه‌های نورد

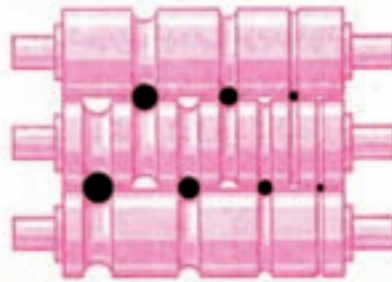
### الف- نوردکاری میله‌ها، تسمه‌ها و شمش‌های فرم دار:

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

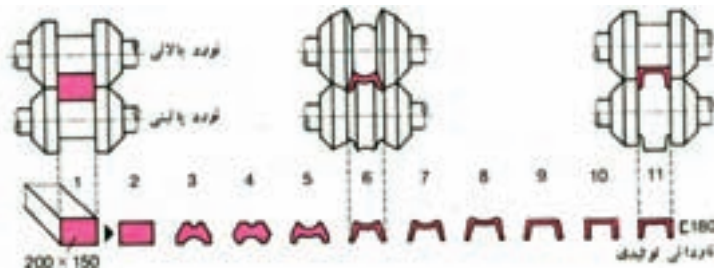
شکل ۱-۱۱ نوردکاری میله‌های گرد و شکل ۱-۱۲ نوردکاری میله‌های چهار گوش را نشان می‌دهد. شکل ۱-۱۳ مراحل مختلف تهیه ناودانی از یک بلوک را، با روش نوردکاری نشان می‌دهد.



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.



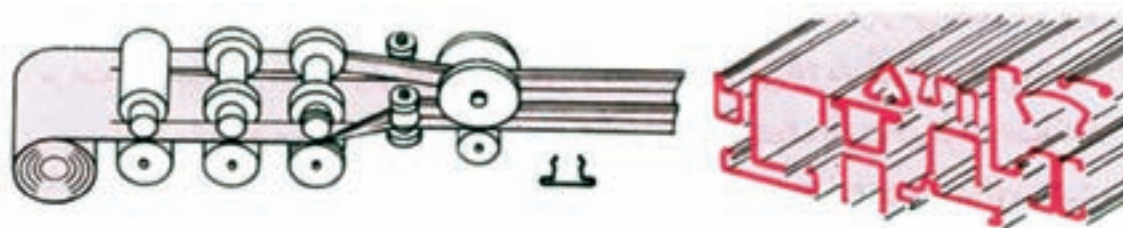
تصاویری از مراحل نوردکاری در یک کارخانه

تولید فولاد در کشور اکراین

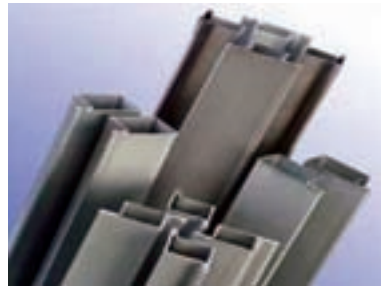
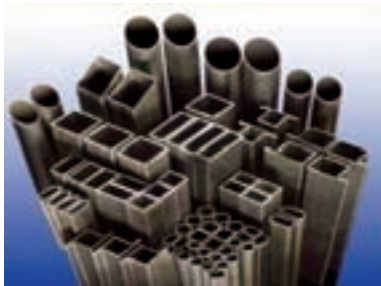


شکل ۱-۱۴- خط تولید نورد ورق

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

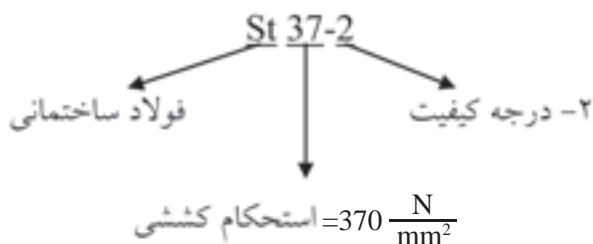
عناصر تشکیل دهنده، استحکام و درجه مرغوبیت فولاد به کمک حروف و اعداد در قالب نام فولاد معرفی می‌شود.

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.



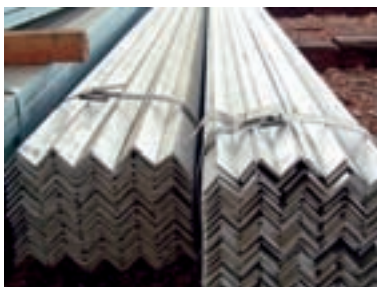
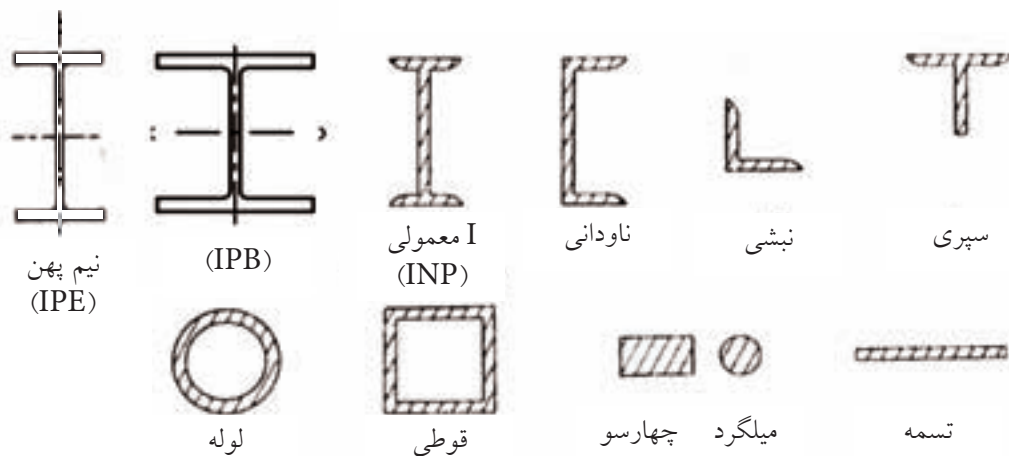
مثال:

### 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؟