

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

# متالورژی عمومی و شناخت مواد صنعتی

رشته صنایع فلزی

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۱۷۱۲

۶۶۹  
متالورژی عمومی و شناخت مواد صنعتی / مؤلفان: امیدگل محله، محمود پارسا.  
۲۲۷  
م - [ ویرایش دوم ] / بازسازی و تجدید نظر: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشته صنایع فلزی.  
۱۳۹۴  
- تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.  
۱۹۶ ص. : مصور. - (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره درس ۱۷۱۲)  
متون درسی رشته صنایع فلزی، زمینه صنعت.  
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های  
درسی رشته صنایع فلزی دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش وزارت  
آموزش و پرورش.  
۱. متالورژی. ۲. مواد صنعتی. الف. گل محله، امید. پارسا، محمود. ب. ایران. وزارت آموزش و  
پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته صنایع فلزی. ج. عنوان. د. فروست.

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی  
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب های درسی فنی  
و حرفه ای و کاردانش، ارسال فرمایند.

tvoccd@roshd.ir

پیام نگار (ایمیل)

www.tvoccd.medu.ir

وب گاه (وب سایت)

این کتاب با توجه به نظرها و پیشنهادهای هنرآموزان محترم رشته صنایع فلزی در اسفندماه ۱۳۸۹ مورد بازبینی و اصلاح قرار گرفت.

## وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی

برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کاردانش

نام کتاب : متالورژی عمومی و شناخت مواد صنعتی - ۴۸۷

مؤلفان : محمود پارسا، امید گل محله

اعضای کمیسیون تخصصی : نصرالله بنی مصطفی عرب، علی شاهدهی، آرش حبیبی، حسن ضیغمی، مهدی فردی،  
محمدرضا کرمانشاه و بهرام زارعی

ویراستار فنی : علی شاهدهی، عماد عمرانی

ویراستار ادبی : علیرضا حبیبی

آماده سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایران شهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب سایت : [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

مدیر امور فنی و چاپ : لیدا نیک روش

طراح جلد : نسرین اصغری

صفحه آرا : خدیجه محمدی

حروفچین : زهرا ایمانی نصر

مصصح : حسین چراغی، علیرضا ملککان

امورآماده سازی خبر : زینت بهشتی شیرازی

امور فنی رایانه ای : حمید ثابت کلاچاهی، فاطمه رئیسیان فیروزآباد

ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران - تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن : ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۳۷۵۱۵-۱۳۹

چاپخانه : شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ پنجم ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.

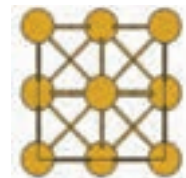
شابک ۴-۱۸۷۹-۰۵-۹۶۴-۹۶۴-۰۵-۱۸۷۹-۴ ISBN 964-05-1879-4



از شماست که مردان و زنان بزرگ تربیت می‌شود. شما را در تحصیل کوشش کنید که برای فضایل اخلاقی،  
فضایل انسانی مجز شوید. شما برای آتیه مملکت ما جوانان نیرومند تربیت کنید. دامان شما یکت مدرسه‌ای است که  
در آن جوانان بزرگ تربیت شود. شما فضایل تحصیل کنید تا کودکان شما در دامان شما به فضیلت برسند.  
امام خمینی (ره)

# فهرست مطالب

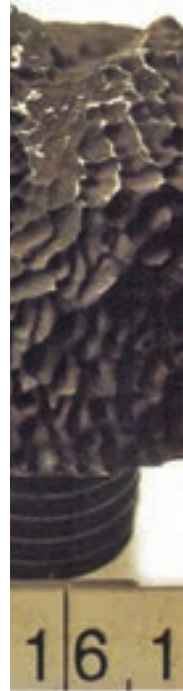
صفحه	عنوان
۱	فصل اول : آشنایی با مواد صنعتی
۲	۱-۱- ضرورت شناخت مواد صنعتی
۶	۱-۲- دسته‌بندی مواد جامد صنعتی
۶	۱-۲-۱- فلزات
۷	- فلزات آهنی
۱۰	- فلزات غیر آهنی
۱۱	۱-۲-۲- غیر فلزات
۱۱	- پلیمرها
۱۶	- سرامیک‌ها
۱۹	- کامپوزیت‌ها
۲۱	۱-۳- نانو مواد
۲۴	فصل دوم : روش‌های استخراج فلزات
۲۵	۲-۱- آشنایی با فرآیندهای استخراج فلزات
۲۵	۲-۲- استخراج آهن
۲۶	۲-۲-۱- آماده‌سازی سنگ آهن
۲۸	۲-۲-۲- فرآیند احیاء سنگ آهن از طریق کوره بلند
۳۰	۲-۲-۳- تولید آهن خام به روش احیاء مستقیم
۳۱	۲-۳- تولید فولاد از آهن خام
۳۴	۲-۴- تولید محصولات فولادی
۳۶	۲-۵- استخراج فلزات به روش تر یا هیدرومتالورژی
۳۶	۲-۵-۱- مراحل استخراج فلز به روش هیدرومتالورژی
۳۸	آزمون پایانی
۳۹	فصل سوم : ساختار و خواص فلزات
۴۰	۳-۱- مقدمه
۴۰	۳-۲- ساختار مواد
۴۲	۳-۳- ریزساختار مواد



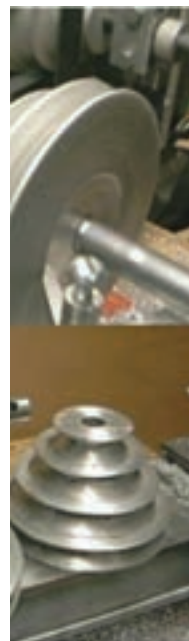
- ۴۳ ۳-۴- ساختار بلوری فلزات
- ۴۸ ۳-۴-۱- ساختار بلوری آهن
- ۴۹ ۳-۵- خواص فلزات
- ۴۹ ۳-۵-۱- خواص فیزیکی
- ۵۳ ۳-۵-۲- خواص مکانیکی
- ۵۶ ۳-۵-۳- خواص تکنولوژیکی
- ۶۴ آزمون پایانی
- ۶۵ فصل چهارم : روش های بهبود خواص فلزات
- ۶۶ ۴-۱- مقدمه
- ۶۶ ۴-۲- عملیات حرارتی
- ۶۷ ۴-۲-۱- اهداف عملیات حرارتی
- ۷۰ ۴-۳- کار مکانیکی
- ۷۲ ۴-۴- آلیاژسازی
- ۷۳ ۴-۴-۱- مکانیزم استحکام بخشی توسط عناصر آلیاژی
- ۷۵ آزمون پایانی
- ۷۶ فصل پنجم : فلزات آهنی
- ۷۷ ۵-۱- مقدمه
- ۷۸ ۵-۲- دسته بندی فلزات پایه آهنی
- ۷۸ ۵-۳- فولاد
- ۷۸ ۵-۳-۱- فولادهای ساده کربنی
- ۸۳ ۵-۳-۲- ارتباط ساختار میکروسکوپی با خواص مکانیکی
- ۸۵ ۵-۳-۳- فولادهای آلیاژی
- ۹۳ ۵-۳-۴- نام گذاری فولادها
- ۹۶ ۵-۴- چدن
- ۹۷ ۵-۴-۱- دسته بندی چدن ها
- ۱۰۱ آزمون پایانی
- ۱۰۲ فصل ششم : فلزات غیر آهنی
- ۱۰۳ ۶-۱- آلومینیوم
- ۱۰۵ ۶-۱-۱- تولید آلومینیوم



۱۰۷	۲-۱-۶- آلیاژهای آلومینیوم
۱۱۱	۲-۶- مس
۱۱۳	۱-۲-۶- کاربردهای مس
۱۱۳	۲-۲-۶- تولید مس
۱۱۵	۳-۲-۶- دسته‌بندی مس و آلیاژهای آن
۱۱۷	۳-۶- روی و قلع
۱۱۷	۱-۳-۶- روی
۱۱۸	- آلیاژهای روی
۱۱۹	۲-۳-۶- قلع
۱۲۰	- آلیاژهای قلع
۱۲۰	۴-۶- سایر فلزات غیر آهنی
۱۲۴	آزمون پایانی
۱۲۵	فصل هفتم : خوردگی و حفاظت از مواد
۱۲۶	۱-۷- مقدمه
۱۲۹	۲-۷- خوردگی فلزات
۱۲۹	۳-۷- مکانیزم ایجاد خوردگی
۱۳۰	۱-۳-۷- خوردگی شیمیایی
۱۳۰	۲-۳-۷- خوردگی الکتروشیمیایی
۱۴۱	۳-۳-۷- خوردگی مکانیکی
۱۴۳	۴-۷- روش‌های کنترل خوردگی و حفاظت مواد
۱۴۴	۱-۴-۷- طراحی و انتخاب مواد مناسب
۱۴۵	۲-۴-۷- تغییر شرایط محیط خوردنده
۱۴۶	۳-۴-۷- تغییر پتانسیل سازه فلزی
۱۴۸	۴-۴-۷- استفاده از پوشش‌های محافظ
۱۵۰	آزمون پایانی
۱۵۲	فصل هشتم : فرآیندهای تولید
۱۵۳	۱-۸- مقدمه
۱۵۳	۲-۸- ریخته‌گری



۱۵۴	۸-۳- روش های مهم ریخته گری
۱۵۴	۸-۳-۱- ریخته گری ماسه ای
۱۵۶	۸-۳-۲- ریخته گری در قالب فلزی
۱۵۷	۸-۳-۳- ریخته گری تحت فشار (دایکاست)
۱۵۸	۸-۱-۴- ریخته گری پیوسته
۱۵۸	۸-۴- ریخته گری چدن
۱۵۹	۸-۵- ریخته گری فولاد
۱۶۰	۸-۶- شکل دهی فلزات در حالت جامد
۱۶۰	۸-۶-۱- آهنگری
۱۶۴	۸-۶-۲- نورد
۱۶۵	۸-۶-۳- اکستروژن
۱۶۶	۸-۷- متالورژی پودر
۱۷۰	آزمون پایانی
۱۷۱	فصل نهم : انتخاب مواد
۱۷۲	۹-۱- مقدمه
۱۷۲	۹-۲- انتخاب مواد مهندسی
۱۷۳	۹-۲-۱- خودرو
۱۷۴	۹-۲-۲- هواپیما
۱۷۴	۹-۳- مراحل طراحی، ساخت و تولید سازه های صنعتی
۱۷۶	۹-۴- روند انتخاب مواد صنعتی
۱۷۶	۹-۴-۱- وظایف سازه
۱۷۶	۹-۴-۲- شناسایی مواد قابل استفاده
۱۷۶	۹-۴-۳- ارزیابی گزینه ها
۱۷۷	۹-۴-۴- تصمیم گیری
۱۸۱	آزمون پایانی
۱۸۲	پیوست ها
۱۸۸	واژه نامه
۱۹۵	منابع و مآخذ



## هدف کلی کتاب

آشنایی با مواد صنعتی، خواص و کاربرد آنها در صنعت



## پیش‌گفتار

«وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ»

«و فرود فرستادیم آهن را که در آن استحکام بسیار و منافع فراوان برای بشر دارد».

(سوره‌حدید، آیه ۲۵)

در طول تاریخ، بشر با تکیه بر دانش خود از طبیعت و مواد موجود در آن به عنوان ابزاری در مسیر تکامل استفاده نموده است. کاربرد فلزات آن چنان با زندگی روزمره ما عجین شده است که لحظه‌ای نمی‌توان زندگی بدون استفاده از فلزات را تصور نمود. در کتاب آسمانی قرآن مجید دو فلز بسیار پرکاربرد، آهن (حدید) شش بار، مس (نحاس) یک بار و مس گداخته (قطر) دوبار آمده است و اهمیت آنها به کرات برای بشر گوشزد شده است.

با توجه به ارتباط نزدیک علم متالورژی و شناخت مواد صنعتی با رشته صنایع فلزی، این کتاب به زبان ساده و به دور از پیچیدگی، با تأکید زیاد بر درک مفاهیم و افزایش اطلاعات علمی و فنی هنرجویان به رشته تحریر درآمده است و در ساختار کتاب سعی شده است یک روال منطقی و قابل فهم از علم متالورژی ارائه گردد.

این کتاب شامل ۹ فصل می‌باشد که در فصل اول هنرجویان با مواد صنعتی و دسته‌بندی آنها آشنا می‌شوند؛ در فصل دوم با نحوه استخراج فلزات آشنا شده و در فصل سوم و چهارم با خواص فلزات و روش‌های بهبود خواص آنها آشنا می‌شوند. در این مرحله هنرجو آمادگی شناخت فلزات پایه آهنی (فولاد و چدن) و فلزات غیر آهنی (آلومینیوم، مس و ...) را پیدا می‌کند که در فصل پنجم و ششم به این موضوع پرداخته می‌شود. در فصل هفتم خوردگی فلزات و روش‌های محافظت از آنها بیان شده است و در نهایت با علم به موضوعات فوق، آشنایی با روش‌های ساخت و تولید سازه‌های صنعتی و فرآیند شناسایی و انتخاب مواد صنعتی در فصول هشتم و نهم پایان بخش کتاب می‌باشد.

## سخنی با هنرجویان

در ابتدای هر فصل هدف‌های رفتاری آن فصل نوشته شده و به منظور دستیابی به هدف‌های رفتاری در انتهای هر فصل سؤالاتی مطرح شده است. حفظ کردن و به خاطر سپردن جداول، اعداد و ارقام اطلاعاتی مثل جرم مخصوص، نقطه ذوب، درصد عناصر و... ضروری نمی‌باشد و کلیه جداول، نمودارها و شکل‌ها جهت کمک در طبقه بندی و توضیح مفاهیم و تعاریف می‌باشد.

خاطر نشان می‌سازد این کتاب مقدمه‌ای بر علم متالورژی است که از رشته‌های فنی و مهندسی در دانشگاه‌های ایران و جهان به شمار می‌رود. این رشته در ایران تا مقطع دکتری و فوق دکتری تدریس می‌شود و گرایش‌های این رشته که در بازار کار نیز طرفدار می‌باشد (صنعت ایران به آن نیازمند است) عبارتند از: متالورژی استخراجی، متالورژی صنعتی، شکل دادن فلزات، خوردگی و حفاظت از مواد، شناسایی و انتخاب مواد، جوشکاری، ریخته‌گری و سرامیک.

در کتاب پیش روی شما، تلاش شده است از طریق بیان مثال‌های کاربردی به صورت ساده، زمینه برای درک عمیق مفاهیم ارائه شده در هر فصل فراهم گردد. اگرچه مفاهیم موجود در این کتاب کم‌شمار است ولی مشارکت فعال شما در فعالیت‌های فردی یا گروهی درون یا برون کلاسی و آرایه دستاورد آن در کلاس می‌تواند محتوای کتاب را هر چه بیشتر پربار نماید. در حقیقت انتظار می‌رود طی سال تحصیلی، شما از طریق همکاری با هم کلاسی‌ها و معلم گرانقدرتان افزون بر محتوای موجود در کتاب، محتوایی فراگیرتر و کامل‌تر تولید نمایید. به این ترتیب با مشارکت فعال در فرآیند یاددهی-یادگیری تلاش کنید به جای یادگیری تعداد کمی مفاهیم علمی از پیش تعریف شده، یادگیری روش یادگیری را سر لوحه کار خود قرار دهید.

## سخنی با معلمان

معلمان گرامی، این کتاب با تکیه بر مفاهیم علمی و ارائه مثال‌ها و تصاویر صنعتی به صورت ساده و مختصر جهت افزایش اطلاعات علمی و فنی، هنرجویان به تحریر در آمده است. بنابراین در تدریس انتظار می‌رود تا حد امکان از ارائه مطالب و ارزشیابی آنها به طوری که فقط جنبه‌های محفوظاتی مدنظر قرار گیرد، پرهیز شود. قرار دادن برنامه تحقیق در مورد موضوع‌های مشخص مرتبط با دروس به صورت کار گروهی یا انفرادی برای هنرجویان به منظور افزایش دانش صنعتی و آرایه مثال‌های کاربردی پیرامون مباحث هر فصل و آگاهی دادن به هنرجویان جهت ضرورت فراگیری مطالب به لحاظ علمی (به قصد ادامه تحصیل) و عملی (به منظور ورود به صنعت) در تدریس کتاب بسیار حائز اهمیت می‌باشد. هم‌چنین متناسب با امکانات برنامه‌ریزی و انجام بازدید از کارگاه‌ها، کارخانه‌ها و صنایع مرتبط می‌تواند در افزایش آگاهی هنرجویان عزیز و دست‌یابی به اهداف آموزشی بسیار مفید و مؤثر باشد.

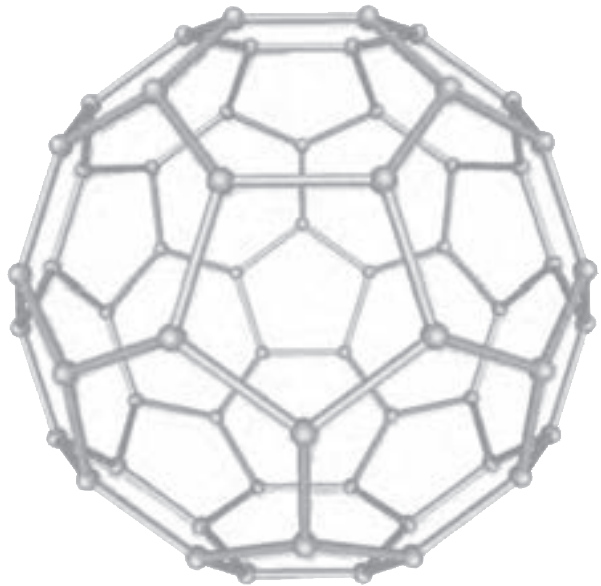
## سخن آخر

هدف نهایی کتاب ترسیم جنبه‌های عملی و استفاده از علم مواد و متالورژی در صنایع مختلف است، به گونه‌ای که برای هنرجویان و هنرآموزان قابل لمس باشد. مزید امتنان خواهد بود اگر هنرجویان، هنرآموزان، معلمان، اساتید، صاحب‌نظران و مدرسین محترم، ما را از نظرها و پیشنهادهای خود جهت بهبود مطالب و افزایش اثربخشی منابع آموزشی مطلع فرمایند.

با سپاس

# فصل اول

## آشنایی با مواد صنعتی



**هدف‌های رفتاری :** با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

- ۱- مواد صنعتی را دسته‌بندی نماید.
- ۲- ضرورت شناخت مواد صنعتی را بیان نماید.
- ۳- فلزات را دسته‌بندی نماید و ویژگی‌های مهم آنها را بیان کند.
- ۴- غیر فلزات را دسته‌بندی نماید و ویژگی‌های مهم آنها را بیان کند.
- ۵- مواردی از کاربرد دسته‌های مختلف فلزات را در صنعت بیان کند.
- ۶- مواردی از کاربرد پلیمرها، سرامیک‌ها و کامپوزیت‌ها را در صنعت بیان کند.
- ۷- نانو مواد را معرفی کند و دلایل تغییر در خواص مواد نانو را بیان نماید.

## ۱-۱- ضرورت شناخت مواد صنعتی

به طور کلی موادی را که در ساخت و تولید قطعات، تجهیزات و سازه‌های صنعتی بکار می‌روند، مواد صنعتی می‌گویند. با این تعریف مواد صنعتی دربرگیرنده مواد جامد، مایع و گازی مورد استفاده در صنایع مختلف می‌شود ولی از آنجایی که بحث طراحی، ساخت و تولید سازه‌های صنعتی در خصوص مواد جامد معنی و مفهوم پیدا می‌کند، بنابراین در این کتاب مباحث در محدوده مواد جامد صنعتی خلاصه می‌گردد. اما قبل از معرفی مواد جامد صنعتی، دسته‌بندی و پرداختن به خصوصیات آنها ضروری است بدانیم:

شناخت مواد صنعتی چه اهمیتی دارد؟ و این شناخت برای چه کسانی ضروری است؟ تکنولوژی مواد، علم و فناوری است که درباره فرآیندهای تولید، استخراج، تصفیه، آلیاژ کردن، شکل دادن و نیز خواص فیزیکی، مکانیکی، تکنولوژیکی، شیمیایی و عملیات حرارتی بحث می‌کند و به بررسی ساختمان داخلی مواد از نظر ترکیب، ساختار و ریز ساختار آنها می‌پردازد. از زمانی که بشر به روش‌هایی برای تغییر مواد طبیعی و تولید مواد جدید دست یافت، تنوع مواد جدید به سرعت گسترش پیدا کرد و بحث انتخاب ماده مناسب از میان چند ماده مختلف براساس ویژگی‌های مورد انتظار مطرح بوده است. نمودار (۱-۱) دوره‌های مهم ایجاد تحول اساسی در مواد صنعتی را در طول تاریخ بشر نشان می‌دهد.



نمودار ۱-۱- دوره‌های ایجاد تحول بزرگ صنعتی در طول تاریخ بشر

امروزه بازتاب تأثیر مواد صنعتی در زندگی بشر بسیار محسوس است. هنگامی که با نام اتومبیل، هواپیما، کشتی، ساختمان، پالایشگاه و ... برخورد می‌کنیم ناخودآگاه طیف وسیعی از مواد صنعتی مختلف را به خاطر می‌آوریم. با نگاه دقیق به پیرامون خود می‌توان به تنوع و اهمیت مواد مختلف در ساخت و تولید محصولات و سازه‌های صنعتی پی برد. در شکل (۱-۱) نمونه‌هایی از کاربرد مواد صنعتی در صنایع مختلف نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- استفاده از مواد مختلف صنعتی برای تولید محصولات متفاوت

امروزه شناخت مواد و درک رفتار آنها در مقابل تأثیر عوامل خارجی برای توسعه مواد جدید و به کارگیری آنها در فناوری‌های نو ضروری می‌باشد. متخصصینی که در صنعت به طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری ماشین‌آلات و تجهیزات اشتغال دارند، لازم است خصوصیات موادی را که با آن سروکار دارند بشناسند و راه‌های جلوگیری از ایجاد تغییر آنها در مقابل عوامل فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی را بدانند.

به عبارت دیگر متخصصین مذکور باید بدانند :

❖ چه ماده‌ای برای هدف آنها مناسب‌تر است؟

❖ از چه فرآیند ساخت و تولیدی می‌توانند برای تولید محصول صنعتی استفاده کنند؟

❖ چگونه می‌توانند خواص و ویژگی‌های مورد نظر برای محصول صنعتی را مثل: تolerانس‌های

ابعادی، شرایط سطحی و ظاهری، طول عمر و کارائی آن را تأمین نمایند؟

❖ چگونه می‌توان بهره‌برداری مطلوبی از قطعه یا سازه صنعتی داشت؟

❖ چگونه می‌توان از محصول صنعتی به درستی نگهداری کرد؟

❖ در صورت صدمه دیدن چگونه می‌توان آن را تعمیر و بازسازی کرد؟

❖ سازگاری مواد مورد استفاده در ساخت قطعات صنعتی با اجزاء دیگر سازه چگونه است؟

❖ بازیابی مواد و بازگشت آنها به طبیعت و محیط زیست چگونه است؟

❖ چگونه می‌توان هزینه‌های تولید را کاهش داد؟

بنابراین با پیشرفت علوم و تکنولوژی هر روز بر شمار و تنوع مواد صنعتی افزوده می‌شود و دانشمندان بیشتر به ارتباط بین خواص مواد و کاربردهای صنعتی آنها پی می‌برند. این موضوع باعث می‌شود علم انتخاب مواد پیچیدگی‌های بیشتری پیدا کند، به طوری که امروزه موضوع انتخاب ماده مناسب برای طراحی و ساخت یک سازه صنعتی به یک رشته تخصصی تبدیل شده است.

### بیشتر بدانیم

#### جدول تناوبی عناصر

لاووازیه نخستین کسی بود که به شناسایی عناصر پرداخت. او عناصر را به دو دسته کلی: فلز و غیرفلز تقسیم کرد. در سال ۱۸۶۵ میلادی شیمیدان انگلیسی به نام ج.ا.ر. نیولندز اعلام کرد، عناصرها را می‌توان به ترتیب افزایش جرم اتمی مرتب نمود و هنگامی که این کار انجام گرفت، نظم خاصی بین آنها ایجاد شد.





در نهایت مندلیف<sup>۱</sup> در سال ۱۸۷۱ میلادی راهی تازه برای مرتب کردن عناصرها کشف کرد و به خصلت تناوبی در میان عناصرها پی برد که در جدول (۱-۱) به صورت تفکیک شده از نظر عناصر دارای خواص نزدیک به هم، نمایش داده شده است.

مندلیف

### جدول ۱-۱- طبقه بندی عناصر بر اساس نظریه مندلیف

گروه	۱	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII
۱	H																		He
II	Li	Be												B	C	N	O	F	Ne
III	Na	Mg												Al	Si	P	S	Cl	Ar
IV	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
V	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
VI	Cs	Ba	* La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
VII	Fr	Ra	** Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Uub	Uub	Uut	Uuq	Uuq	Uuh	Uus	Uuo	
				La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb		
				Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No		

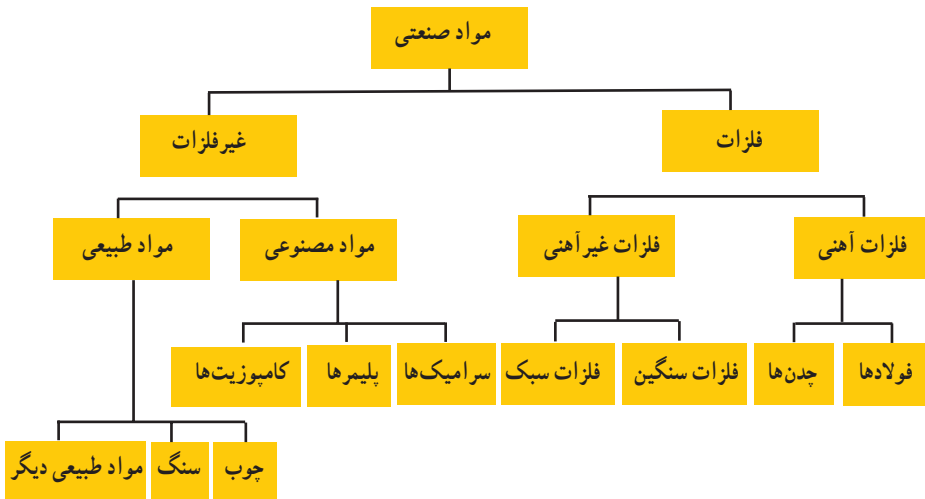
**گروههای شیمیایی جدول تناوبی**  
 فلزات قلیا، فلزات قلیا-خاکها، لانتانیدها، اکسیدها، فلزات واسطه  
 فلزات مسطحه، شبه فلزات، غیر فلزات هالوژنها، گازهای کامل

کد رنگ برای اعداد اتمی :

- عناصر شماره گذاری شده با رنگ آبی، در دمای اتاق مایع هستند؛
- عناصر شماره گذاری شده با رنگ سبز، در دمای اتاق به صورت گاز می باشند؛
- عناصر شماره گذاری شده با رنگ سیاه، در دمای اتاق جامد هستند؛
- عناصر شماره گذاری شده با رنگ قرمز ترکیبی بوده و به طور طبیعی یافت نمی شوند (همه در دمای اتاق جامد هستند)؛
- عناصر شماره گذاری شده با رنگ خاکستری، هنوز کشف نشده اند (و به صورت کم رنگ نشان داده شده اند تا گروه شیمیایی را که در آن قرار می گیرند، مشخص نمایند).

## ۱-۲- دسته‌بندی مواد جامد صنعتی

مواد جامد صنعتی را به صورت‌های مختلفی می‌توان تقسیم‌بندی کرد. در حالت کلی می‌توان آنها را به دو دسته اصلی شامل: فلزات و غیرفلزات تقسیم کرد و سپس مطابق نمودار (۱-۲) به اجزاء کوچک‌تری تقسیم‌بندی نمود.



نمودار ۱-۲- دسته‌بندی مواد جامد صنعتی

۱-۲-۱- فلزات: از زمانی که بشر فلز را شناخت، متالورژی<sup>۱</sup> را به‌عنوان یک علم و تکنولوژی فرا گرفت. به‌طور کلی علم شناخت، استخراج و کار روی فلزات را متالورژی یا فلزشناسی می‌گویند و فلزات دسته‌ای از مواد صنعتی هستند که دارای خواص ویژه‌ای می‌باشند؛ از نظر خواص فیزیکی به‌جز جیوه که مایع می‌باشد بقیه آنها در دمای محیط جامداند و ساختار بلوری دارند. فلزات هم‌چنین قابلیت هدایت الکتریکی و حرارتی زیاد و دمای ذوب و جوش، گرمای نهان تبخیر، جرم حجمی و سختی به نسبت بالایی دارند.

از نظر خواص مکانیکی عناصر فلزی به‌طور کلی انعطاف‌پذیرند، قابلیت شکل‌پذیری، خاصیت چکش‌خواری، صیقل‌پذیری، توڑق و مفتول‌شدن آنها زیاد است و نیز در مقابل ضربه، فشار و کشش مقاوم‌اند. فلزات و آلیاژهای<sup>۲</sup> آنها را می‌توان به دو گروه تقسیم نمود. گروه اول فلزات پایه آهنی<sup>۳</sup> و گروه

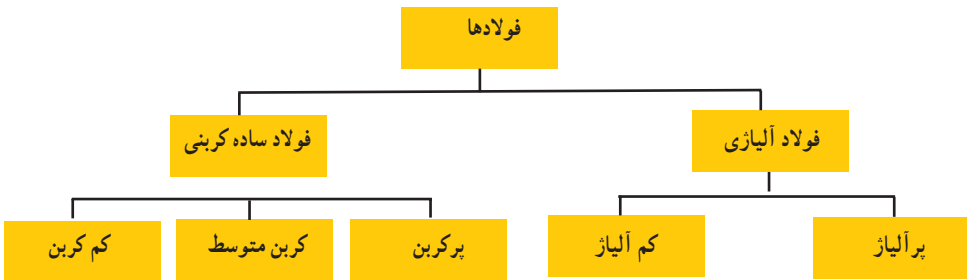
۱- Metallurgy

۲- هم بسته

۳- Ferrous Base Metal

دوم فلزات پایه غیر آهنی<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند.

**الف) فلزات آهنی:** فلزات آهنی فلزاتی هستند که عنصر اصلی تشکیل دهنده آنها آهن (Fe) می‌باشد. این فلزات جزء مهم‌ترین مواد جامد صنعتی به‌شمار می‌آیند که دارای موارد کاربرد فراوانی در صنایع گوناگون می‌باشند و می‌توان آنها را به دو دسته کوچکتر تقسیم کرد. فلزات آهنی به‌نسبت خیلی از مواد صنعتی دیگر ارزان‌تر و دارای تنوع بیشتری از نظر خواص هستند، به طوری که اکثر ماشین آلات، تجهیزات و قطعات صنعتی از فلزات آهنی و آلیاژهای آنها ساخته می‌شوند و یا در ساخت آنها از این دسته از فلزات استفاده شده است. فلزات آهنی شامل دو گروه فولادها و چدن‌ها می‌شوند که در نمودار (۱-۳) تقسیم‌بندی فولادها در حالت کلی نشان داده شده است.



نمودار ۱-۳- تقسیم‌بندی فولادها

اصطلاح فولاد برای آلیاژهای آهن با کربن که ممکن است محتوی درصد‌های مختلفی از عناصر دیگر باشند به کار می‌رود. مقدار کربن در فولادها به طور معمول بین ۰.۲۵٪ تا حدود کمتر از ۲ درصد است در حالی که درصد عناصر دیگر ممکن است بسیار متغیر باشد. بنابراین خواص فولاد به درصد کربن و عناصر دیگر موجود در آن و عملیات حرارتی انجام شده بر روی آن بستگی دارد. در شکل (۱-۲) مواردی از کاربردهای صنعتی فولادها نشان داده شده است.

چدن نیز به آلیاژهای سه‌تایی از آهن، کربن و سیلیسیم اطلاق می‌شود که ممکن است دارای عناصر آلیاژی دیگری نیز باشند. به طور معمول بیش از ۹۵ درصد وزنی چدن را آهن تشکیل می‌دهد و عناصر آلیاژی اصلی آن کربن و سیلیسیم هستند. چدن‌ها به طور معمول بین ۱/۲ تا ۴ درصد کربن و ۱ تا ۳ درصد سیلیسیم دارند. رنگ مقطع شکست چدن‌ها به‌عنوان یکی از راه‌های نام‌گذاری انواع مختلف آن به کار می‌رود. چدن‌ها به دلیل نقطه ذوب پایین، سیالیت زیاد و قابلیت ریخته‌گری خوب، به مواد مهندسی پرکاربرد تبدیل شده‌اند. در نمودار (۱-۴) و شکل (۱-۳) تقسیم‌بندی و مواردی از

۱- Non-ferrous Base Metal



صنایع حمل و نقل



صنایع ساختمانی

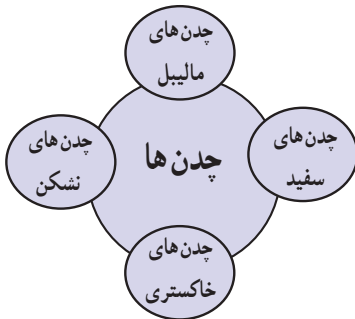


لوازم خانگی



صنایع کشاورزی

شکل ۱-۲- محصولات و قطعات ساخته شده از فولاد



نمودار ۱-۴ - تقسیم بندی چدن‌ها

کاربردهای صنعتی چدن‌ها نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که مطالب بیشتر در خصوص معرفی انواع و ویژگی‌های فولادها و چدن‌ها را در فصل پنجم کتاب می‌آموزیم.



میل لنگ



غلتک‌های نورد



دستگاه ورق کاری



شیر فلکه



دستگاه خم کاری



شکل ۱-۳ - قطعات و تجهیزات ساخته شده از چدن

ب) فلزات غیر آهنی : فلزات غیر آهنی عبارتند از : تمام فلزات و آلیاژهایی که بخش اصلی تشکیل دهنده ترکیب آنها عنصری غیر از آهن باشد. فلزات غیر آهنی به دلایل مختلف از جمله اینکه : مقدار آنها در طبیعت کمتر یافت می شود و یا مراحل استخراج آنها پیچیده تر و پرهزینه تر است و یا از نظر خواص مورد نظر ضعیف تر می باشند نسبت به فلزات آهنی موارد کاربرد کمتری در صنعت دارند و یا در موارد و کاربردهای مخصوصی به کار می روند که خواص ویژه ای مورد نظر باشد مثل : آلیاژهای مس، آلومینیوم، منیزیم، روی، نیکل و غیره.

فلزات غیر آهنی بر اساس جرم حجمی به دو دسته فلزات سنگین (جرم حجمی آنها بیشتر از ۵ گرم بر میلیمتر مکعب است) مانند : مس، قلع، سرب، برنج و فلزات سبک (جرم حجمی آنها کمتر از ۵ گرم بر میلیمتر مکعب است) نظیر : آلومینیوم، منیزیم و تیتانیوم تقسیم بندی می شوند که در شکل (۴-۱) مواردی از کاربردهای صنعتی فلزات غیر آهنی نشان داده شده است (در فصل ششم کتاب به صورت مفصل تری در خصوص خواص و کاربردهای صنعتی فلزات غیر آهنی بحث و بررسی می شود).



مس در صنایع برق



آلومینیوم در صنایع ساختمان

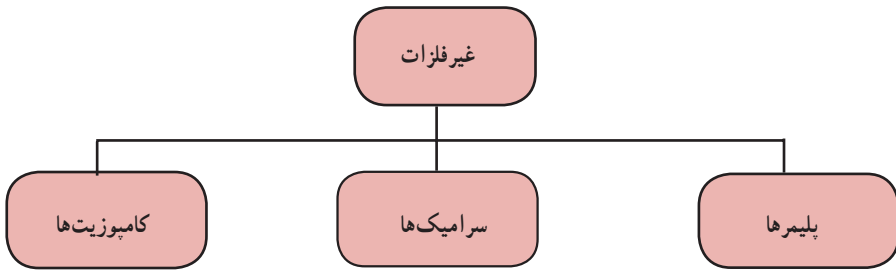


تیتانیوم در صنایع هوا و فضا

قلع در لحیم کاری

شکل ۴-۱ کاربرد فلزات غیر آهنی در ساخت سازه های صنعتی

۲-۲-۱- غیرفلزات: غیر فلزات دسته دوم مواد جامد صنعتی را تشکیل می‌دهند که می‌توان آنها را به دو دسته غیرفلزات طبیعی و مصنوعی دسته‌بندی نمود. غیرفلزات طبیعی شامل موادی مانند: چوب، سنگ، پروتئین، پشم، ابریشم، پنبه، کتان، لاستیک طبیعی یا کائوچو و امثال آنها هستند که در صنایع مختلف نظیر: نساجی، ساختمان و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند و غیرفلزات مصنوعی به تمام مواد غیر فلزی ساخته شده دست بشر اطلاق می‌شود که مطابق نمودار (۱-۵) می‌توان آنها را در سه دسته پلیمرها، سرامیک‌ها و کامپوزیت‌ها جای داد.



نمودار ۱-۵- تقسیم بندی مواد غیر فلزی

### الف) پلیمرها



شکل ۱-۵- بخشی از یک مولکول پلیمری (تفلون)

پلیمرها (درشت مولکول‌ها) مولکول‌های بزرگی هستند که از به هم چسبیدن تعداد زیادی مولکول‌های کوچک‌تر تشکیل می‌شوند. مولکول‌های کوچک را مونومر و عمل اتصال و پیوند آنها را پلیمر شدن می‌گویند. در شکل (۱-۵) بخشی از یک مولکول پلیمری (تفلون) نشان داده شده است. چنانچه واحدهای سازنده یک پلیمر (مونومر) از یک نوع باشند آن را همونومر و اگر مونومرهای تشکیل دهنده یک پلیمر متفاوت باشند به آن کوپلیمر گفته می‌شود. بنابراین وزن مولکولی پلیمرها بستگی به نوع و تعداد مونومرهای تشکیل دهنده آن دارد.

پلیمرها را می‌توان به صورت‌های مختلف تقسیم‌بندی کرد. در حالت کلی می‌توان آنها را به دو دسته پلیمرهای طبیعی و پلیمرهای مصنوعی تقسیم کرد. پلیمرهای طبیعی به‌طور مستقیم از گیاهان و حیوانات به‌دست می‌آیند نظیر: چوب، چرم، پشم، پنبه، ابریشم، پروتئین‌ها و آنتیم‌ها، ولی پلیمرهای مصنوعی از مولکول‌های کوچک (مونومر) در واحدهای پتروشیمی ساخته می‌شوند.

مواد پلیمری به‌دلیل خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب، کاربرد وسیعی در صنایع مختلف از جمله در ساخت وسایل خانگی، اسباب بازی‌ها، بسته‌بندی‌ها، کیف و چمدان، کفش، میز و صندلی، شلنگ‌ها و لوله‌های انتقال آب، رنگ‌های محافظ و تزئینی، لاستیک اتومبیل و غیره دارند. هم‌چنین پلیمرها پایداری خوبی در مقابل مواد شیمیایی دارند. بعضی از آنها شفاف بوده و می‌توانند جایگزین شیشه شوند. اغلب پلیمرها عایق الکتریکی هستند. اما پلیمرهای خاصی نیز وجود دارند که تا حدی قابلیت هدایت الکتریکی دارند. تفلون از جمله مواد پلیمری است که به‌دلیل ضریب اصطکاک پایینی که دارد به‌عنوان پوشش برای جلوگیری از چسبیدن مواد غذایی در وسایل پخت و پز استفاده می‌شود.

پلیمرهای صنعتی طی سال‌های اخیر توانسته‌اند با توجه به تنوع و گستردگی در خواص و ویژگی‌های خود باعث تحول بزرگی در عرصه مواد صنعتی شوند. به‌طوری‌که امروزه در بسیاری موارد به‌دلیل خواص بهتر و هزینه کمتر تولید، جایگزین مناسبی برای مواد صنعتی دیگر به‌حساب می‌آیند.

در شکل (۱-۶) دو نمونه از جایگزینی پلیمرها مشاهده می‌شود. قسمت الف نشان می‌دهد که لوله‌های پلیمری جایگزین لوله‌های فولادی شده‌اند و قسمت ب نشان می‌دهد که امروزه قایق‌ها به‌دلیل مزایای ویژه مواد پلیمری (از جمله سبک بودن) از پلیمر ساخته می‌شوند.





لوله‌های پلیمری



لوله‌های فولادی یا چدنی

الف



قایق‌های پلیمری

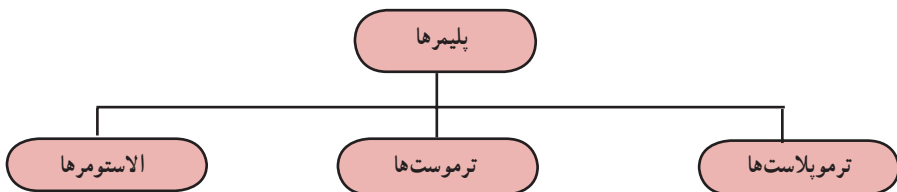


قایق چوبی

ب

شکل ۱-۶- مواد پلیمری جایگزین شده: الف) لوله‌های آب، ب) قایق

تقسیم بندی پلیمرهای صنعتی: پلیمرهای صنعتی را می‌توان برحسب خواص و رفتار آنها در برابر حرارت و خواص مکانیکی مطابق نمودار (۱-۶) به سه دسته عمده تقسیم بندی کرد.



نمودار ۱-۶- تقسیم بندی پلیمرهای صنعتی

در جدول (۱-۲) سه دسته اصلی مواد پلیمری معرفی شده‌اند، هم چنین خواص آنها آورده شده و مواردی از کاربردهای صنعتی آنها نشان داده شده است.

جدول ۱-۲- معرفی خواص و مواردی از کاربرد پلیمرهای صنعتی

<p>مواد پلاستیکی هستند که در اثر حرارت به مایع تبدیل می‌شوند و اگر آنها را در قالب بریزیم شکل قالب را به خود می‌گیرند و هر چند بار که بخواهیم می‌توانیم آن را ذوب کرده و تغییر فرم داد. این علت کاربرد بسیار زیاد این مواد است. نایلون، پلی اتیلن، پلی پروپیلن، پلی ونیل کلراید (P.V.C) از جمله مواد ترموپلاستیک هستند.</p>	<p>ویژگی‌ها و خواص</p>	<p>ترموپلاست‌ها (پلاستیک‌های گرما نرم)</p>
<p>وسایل اسباب بازی کودکان، لوله‌ها و تجهیزات انتقال مایعات، تجهیزات الکتریکی، پوشش‌ها، اتصالات، لوازم آشپزخانه، کیسه پلاستیکی و نظایر آن</p>	<p>موارد کاربرد</p>	
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  <p>پلی اتیلن</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>پلی پروپیلن</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>پلی اتیلن</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>نایلون</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>پلی اتیلن</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>پلی ونیل کلراید (P.V.C)</p> </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div>		<p>نمونه‌های صنعتی از کاربرد ترموپلاست‌ها در صنعت</p>

<p>ترموست یا گرماسخت به پلیمرهایی گفته می‌شود که در اثر اعمال حرارت دچار واکنش شیمیایی و سخت می‌شوند و پس از پخت و شکل پذیری، دیگر با استفاده از حرارت نمی‌توان شکل آنها را تغییر داد. آنها جزو پلیمرهای سه بعدی یا مشبک می‌باشند که دارای سختی بالا، مقاوم در برابر حرارت و حلال‌های شیمیایی هستند و مقاومت الکتریکی بالایی نیز دارند. مثل: ملامین‌ها، پلی استرها و اپوکسی‌ها</p>	<p>ویژگی‌ها و خواص</p>	<p>ترموست‌ها (پلاستیک‌های گرماسخت)</p>
<p>از آنها در ساخت لوله‌ها، شیرها، پمپ‌ها، ظروف، پوشش محافظ وسایل الکتریکی، بدنه گوشی تلفن، بدنه و اجزاء وسایل نقلیه، دوچرخه، موتور و اتومبیل، وسایل خانگی، اسباب بازی، مبلمان و نظیر آن استفاده می‌شود.</p>	<p>موارد کاربرد</p>	
<p>نمونه‌های صنعتی از کاربرد مواد پلیمری ترموست در صنایع</p> <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  <p>پلی استر</p> </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  <p>اپوکسی</p> </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div>		

<p>پلیمرهایی هستند که قابلیت ارتجاعی زیادی دارند. الاستومرها در اثر نیروی خارجی تغییر شکل پیدا می‌کنند و بعد از حذف نیرو، شکل آنها از بین می‌رود و دوباره به حالت اولیه باز می‌گردند هم‌چنین بدون پاره شدن و گسستن در برابر تغییر شکل مقاومت می‌کنند. این پلیمرها در اثر گرما نرم می‌شوند، ولی برخلاف ترموپلاستیک‌ها به حالت ویسکوز یا مایع در نمی‌آیند. بلکه می‌توان آنها را مثل ترموپلاست‌ها در حلال‌های مرسوم شیمیایی که بسته به نوع و ساختمان پلیمر تعیین می‌شود، حل کرد. الاستومرها از نظر شیمیایی در مقابل اسیدهای معدنی رقیق، قلیاها و نمک‌ها مقاوم هستند.</p>	<p>ویژگی‌ها و خواص</p>	<p>الاستومرها نام الاستومر از دو قسمت «لاستو» برگرفته از «لاستیک» و به معنای ارتجاعی و «مر» برگرفته از «پلیمر» تشکیل شده است</p>
<p>در ساخت محصولات زیادی مانند: لاستیک اتومبیل، مواد آب بندی، برف پاک‌کن، شیلنگ‌ها و مواد پوشش مخازن، تانک‌ها، لوله‌ها و امثال آن کاربرد دارند.</p>	<p>موارد کاربرد</p>	
 <p>تایر اتومبیل</p>	 <p>واشر لاستیکی</p>	<p>نمونه‌های صنعتی کاربرد الاستومرها در صنعت</p>
	 <p>شیلنگ</p>	

### ب) سرامیک‌ها

سرامیک‌ها دسته دیگری از مواد صنعتی غیر فلزی معدنی هستند که از جمله خواص شاخص آنها نسبت به مواد صنعتی دیگر عبارت است از:

- دیرگدازی بالا
- سختی زیاد
- مقاومت در برابر خوردگی بالا

**طبقه بندی و معرفی مواد سرامیکی:** مواد سرامیکی متناسب با خواصی که دارند در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند و توسعه آنها از نظر کمی و کیفی به سرعت در حال گسترش می‌باشد. در جدول (۳-۱) مواد سرامیکی متداول و پرکاربرد در صنعت معرفی شده‌اند.

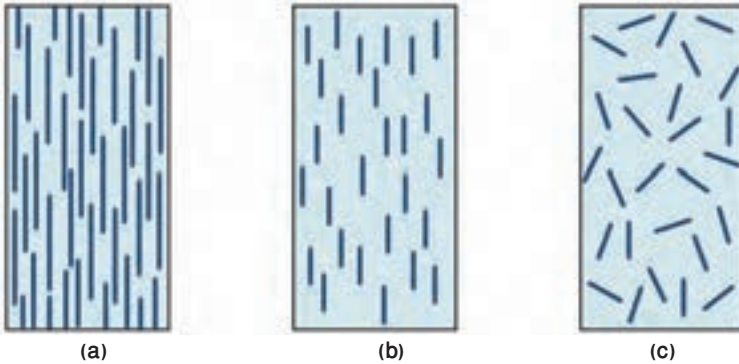
جدول ۳-۱- معرفی مواد سرامیکی متداول و پرکاربرد در صنعت

تصویر	توضیح خصوصیات و ویژگی ها	ماده سرامیکی
	<p>از قدیمی ترین دست ساخته های بشر است. خاک رس ماده اصلی آن است که از اختلاط آب + خاک رس و ورزدادن به منظور افزایش قابلیت شکل پذیری و در نهایت خشک شدن و بختن جسم حاصل در کوره به دست می آید. مواد سفالی متخلخل هستند، لذا هر مایعی را به سرعت جذب کرده و از خود عبور می دهند. بنابراین به منظور: افزایش زیبایی، افزایش استحکام، کاهش نفوذپذیری و بهداشتی نمودن بر روی ظروف سفالی لعاب کاری صورت می گیرد.</p>	سفال
	<p>از مهم ترین مصالح ساختمانی است که در قدیم به روش دستی تولید می شد، اما امروزه آجر با استفاده از دستگاه ها و تجهیزات مخصوص به صورت مکانیزه ساخته می شود.</p>	آجر
	<p>قطعاتی مسطح از جنس سفال می باشند که تنها یک روی آنها لعاب داده می شود (ضد آب کردن کاشی) و با کمک دوغاب سیمان به دیوار می چسبانند؛ کاشی در دو نوع دیواری و زمینی (موسوم به سرامیک) تولید می گردد.</p>	کاشی
	<p>نوعی ماده سفید و محکم و شبیه سفال است که نسبت به نفوذ آب مقاوم اند. فلدسپات، کوارتز و رس سه جزء اصلی تشکیل دهنده چینی هستند که در کوره های مخصوص پخته می شوند.</p>	چینی
	<p>فراورده هایی می باشند که دارای استحکام کافی بوده و می توانند در دمای بالا کار کنند؛ دیرگذاها به طور عموم یا به صورت آجر و بلوک تولید می شوند (آجرهای نسوز شومینه) یا به صورت ملات های نسوز ساخته می شوند (سیمان نسوز) دیرگذاهای سنتی به طور معمول می توانند تا دمای ۱۹۰۰° درجه سانتی گراد را تحمل کنند در صورتی که دیرگذاهای نوین می توانند تا بیشتر از ۳۰۰۰° درجه سانتی گراد را تحمل کنند.</p>	دیرگذاها

 <p>کاغذ سنباده</p> <p>صفحه سنگ و ساب</p>	<p>مواد سرامیکی هستند که دارای سختی فوق العاده می‌باشند و جهت تهیه مواد ساینده و سنباده کاربرد دارند. برای ساخت ساینده‌ها این ذرات را ابتدا توسط قالب شکل می‌دهند سپس با اعمال حرارت آن را می‌پزند تا به قطعه‌ای فوق العاده سخت و محکم تبدیل می‌گردد. جهت تولید سنباده‌ها ابتدا ذرات را دانه‌بندی نموده و توسط چسب‌هایی مقاوم بر روی مقوا یا پارچه می‌چسبانند.</p>	<p>ساینده‌ها و سنباده‌ها</p>
	<p>پوششی سرامیکی است که با ضخامت کم به صورت پودر یا محلول بر روی قطعه قرار گرفته و توسط حرارت پخته و تثبیت می‌گردد، باید توجه نمود که لعاب علاوه بر ظروف سرامیکی بر روی قطعات فلزی نیز کاربرد دارد. (مثل کتری لعابی، سینک لعابی و بخاری)</p>	<p>لعاب</p>
 <p>فیبر نوری</p> 	<p>مواد سرامیکی هستند که از مواد با درجه خلوص بالا و به وسیله روش‌های ویژه تولید می‌شوند و امروزه در صنایع مختلف مثل: پزشکی، برق و الکترونیک، هوا فضا، هسته‌ای، کامپیوتر و غیره کاربرد زیادی دارند.</p>	<p>سرامیک‌های مدرن</p>

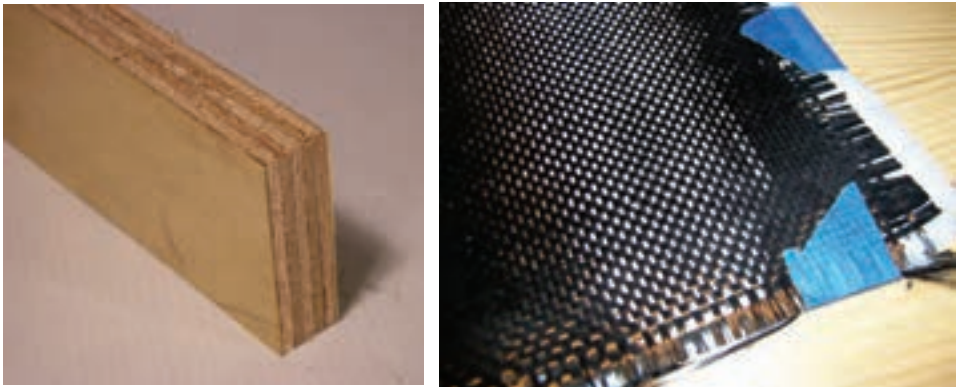
### ج) کامپوزیت‌ها

مواد کامپوزیتی یا مرکب از دو فاز زمینه و تقویت کننده تشکیل شده‌اند. فاز زمینه با احاطه کردن فاز تقویت کننده آن را در محل خود نگه می‌دارد و فاز تقویت کننده موجب بهبود خواص مکانیکی ماده کامپوزیتی می‌گردد. به طور کلی فاز تقویت کننده می‌تواند به صورت رشته‌های کوتاه، بلند و یا ذرات ریز با شکل‌های گوناگون باشند که در (شکل ۷-۱) سه حالت از این مواد به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۷-۱- سه حالت قرار گرفتن فاز تقویت کننده در داخل فاز زمینه

مواد کامپوزیت به منظور دستیابی به موادی با خواص متفاوت و برتر از مواد صنعتی دیگر تولید می‌شوند. به کمک مواد مرکب مهندسیین علم مواد قادراند مواد جدیدی متناسب با نیازهای واقعی صنایع در عرصه‌های مختلف بسازند. اجزای تشکیل دهنده کامپوزیت‌ها از لحاظ شکل، ترکیب شیمیایی و خواص با یکدیگر متفاوتند. شکل (۸-۱) دو نوع از مواد کامپوزیتی چوبی و پلیمری را نشان می‌دهد.

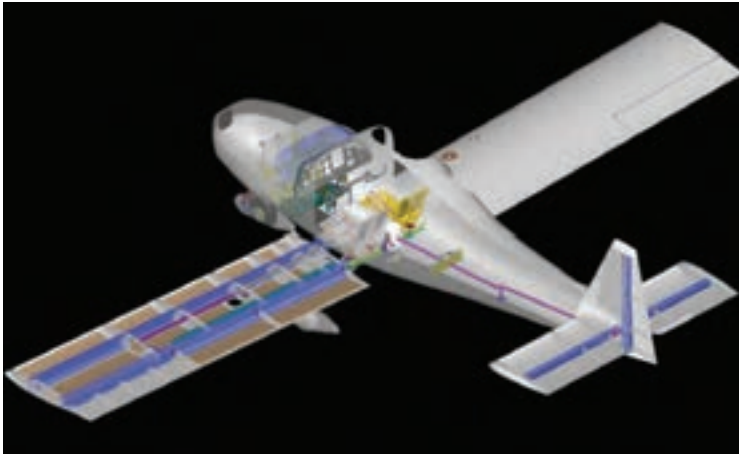


ماده مرکب چوبی

ماده مرکب پلیمری

شکل ۸-۱- مواد کامپوزیت با زمینه چوب و پلیمر

فایبرگلاس یکی از پرکاربردترین کامپوزیت‌های با زمینه پلیمری است که توسط فیبر شیشه تقویت شده است و امروزه در ساخت قطعات هواپیما، بدنه جنگنده‌های رادارگریز، پره نیروگاه‌های بادی و بالگردها از کامپوزیت‌ها استفاده می‌شود. به‌طور کلی مواد کامپوزیتی به دلیل داشتن جرم کم و استحکام مکانیکی بالا نسبت به فلزات، در صنعت هوا و فضا کاربرد وسیعی دارند (شکل ۹-۱).



شکل ۹-۱- استفاده از مواد کامپوزیتی مستحکم در ساخت قطعات هواپیما موجب کاهش وزن، افزایش سرعت و کاهش مصرف سوخت می‌شود.

**مزایای مواد کامپوزیتی:** مهم‌ترین مزیت مواد کامپوزیتی آن است که با توجه به نیاز می‌توان خواص آنها را کنترل کرد. به‌طور کلی مواد کامپوزیتی دارای مزایای زیر هستند:

- استحکام عالی در برابر وزن کم (نسبت استحکام به وزن بالا)
- مقاومت در برابر خوردگی بالا
- عایق حرارتی خوب

از دیگر مواد کامپوزیتی متداول می‌توان به آسفالت، کاهگل، بتن آرمه، و لاستیک خودرو اشاره کرد. همان‌طور که گفته شد خواص کامپوزیت‌ها به خواص هر یک از فازهای تشکیل دهنده آن، مقدار، شکل، اندازه، نحوه توزیع و نیز جهت قرار گرفتن فاز تقویت کننده در داخل فاز زمینه بستگی دارد.

**دسته‌بندی مواد کامپوزیتی:** مواد کامپوزیتی براساس فاز زمینه به سه دسته: زمینه فلزی، زمینه سرامیکی و زمینه پلیمری تقسیم‌بندی می‌شود که در جدول (۴-۱) انواع کامپوزیت‌ها و ویژگی آنها آورده شده است.



### جدول ۴-۱- آشنایی با مواد کامپوزیتی پر کاربرد صنعتی

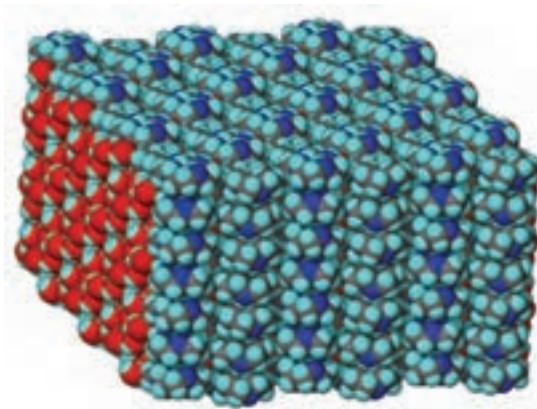
زمینه / تقویت کننده	فلزی	سرامیکی	پلیمری
فلزی	<ul style="list-style-type: none"> <li>● نقره - پودر تنگستن</li> <li>✓ اتصالات الکتریکی مقاوم به سایش</li> <li>● آلومینیوم - رشته‌های نازک تنگستن</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● آلومینیوم - پودر یا رشته‌های آلومینا، کاربید سیلیسیم و کربن</li> <li>✓ صنایع هوا و فضا، قطعات نظامی، قطعات خودرو مثل: پیستون، شفت و میله‌های اتصال</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● آلومینیوم - رشته‌های کربن و بر</li> <li>● آلیاژ نقره - مس با رشته‌های کربن</li> <li>✓ قطعات موتور هواپیما و فضاییما</li> </ul>
سرامیکی	<ul style="list-style-type: none"> <li>● بتن - میلگرد فولادی</li> <li>✓ سازه‌های ساختمان، سدسازی، پایه پل و ساختمان‌سازی</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● آلومینا - کاربید سیلیسیم</li> <li>✓ ابزار برش و ماشین‌کاری فلزات سخت</li> <li>● کربن - رشته‌های کربن</li> <li>✓ صنایع هوا فضا، قطعات هواپیما و توربین</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● کربن - آرامید</li> <li>✓ زره پوش‌های نظامی، پوشاک ضد گلوله، طناب ماهی‌گیری، چوب اسکی، راکت تنیس و دسته گلف</li> </ul>
پلیمری	<ul style="list-style-type: none"> <li>● پلیمر - رشته‌های سیم فولادی</li> <li>✓ تیر خودرو</li> <li>● پلی اتیلن - پودر سرب</li> <li>✓ جذب اشعه</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● پلیمر - رشته‌های شیشه</li> <li>✓ فایبر گلاس</li> <li>● پلیمر - رشته‌های کربن</li> <li>● پلیمر - کاربید سیلیسیم یا آلومینا</li> <li>✓ قطعات هواپیما، قطعات نظامی و صنایع هوا فضا</li> <li>● قیر - بتن</li> <li>✓ آسفالت</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● پلیمر - آرامید</li> <li>✓ جلیقه نجات، راکت تنیس، وسایل ورزشی، کاسه نمد لنت ترمز و کلاچ</li> </ul>

### ۳-۱- نانو مواد

یک نانومتر برابر یک میلیاردم متر ( $10^{-9}$  m) است. این اندازه حدود  $18000$  بار کوچکتر از قطر یک تار موی انسان است. به طور میانگین  $3$  تا  $6$  اتم در کنار یکدیگر طولی معادل یک نانومتر را می‌سازند. موادی که حداقل یکی از ابعاد آنها در مقیاس  $1$  الی  $100$  نانومتر باشد، مواد نانویی یا نانو مواد خوانده می‌شوند. به این ترتیب فناوری نانو عبارت از توانایی بدست گرفتن کنترل ماده در ابعاد

$$1 \text{ Nano} = 10^{-9}$$

نانومتری برای تولید و استفاده از ابزار و مواد است. از همین تعریف ساده برمی آید که اولاً همه مواد از جمله فلزات، نیمه‌هادی‌ها، شیشه‌ها، سرامیک‌ها و پلیمرها در ابعاد نانو می‌توانند وجود داشته باشند. ثانیاً نانوتکنولوژی یک رشته نیست، بلکه رویکردی جدید در تمام رشته‌ها است که در ۳ حوزه: مواد، ابزار و سیستم‌ها قابل تقسیم است. هم‌چنین مبالغه نیست اگر بگوییم W انسان در معرض یک انقلاب اجتماعی تسریع شده و قدرتمند است که ناشی از علم نانوتکنولوژی است. نانو مواد در مقایسه با مواد معمولی دارای خواص بسیار بهتری هستند؛ زیرا ساختار آنها تحت کنترل بوده و با دقت بالایی شکل می‌گیرند. شکل (۱۰-۱) قسمتی از ساختمان منظم و بی‌عیب و نقص یک ماده نانو را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۱- ساختار منظم و بدون نقص یک ماده تولید شده با استفاده از فناوری نانو

**کاربردهای نانو تکنولوژی:** تأثیر فناوری نانو بیش از هر چیز در زمینه ساخت مواد جدید می‌باشد. از طریق نانوفناوری می‌توان موادی با استحکام و مقاومت بالا در مقابل حرارت، سایش، فشار، کشش و وزن کم تولید کرد که از نظر خواص فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی، مکانیکی، حرارتی با مواد معمولی تفاوت دارند. ساختارهایی در مقیاس نانو مانند نانو ذرات و نانولایه‌ها دارای نسبت سطح به حجم بالایی هستند که آنها را برای استفاده در تولید مواد کامپوزیت، کاتالیزور و اکش‌های شیمیایی، تهیه دارو و منابع ذخیره انرژی ایده‌ال می‌سازد.

سرامیک‌های نانوساختاری غالباً سخت‌تر و غیرشکننده‌تر از مواد مشابه در مقیاس بزرگ‌تر خود هستند. کاتالیزورهای مقیاس نانو راندمان واکنش‌های شیمیایی و احتراق را افزایش داده و به میزان چشمگیری از مواد زائد و آلودگی آن کم می‌کنند. وسایل الکترونیکی جدید با مدارهای کوچک‌تر، سرعت بیشتر و مصرف انرژی بسیار کمتر می‌توانند به کمک نانوساختارها به دست آیند. اینها تنها

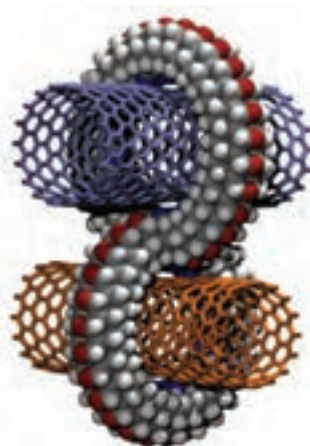
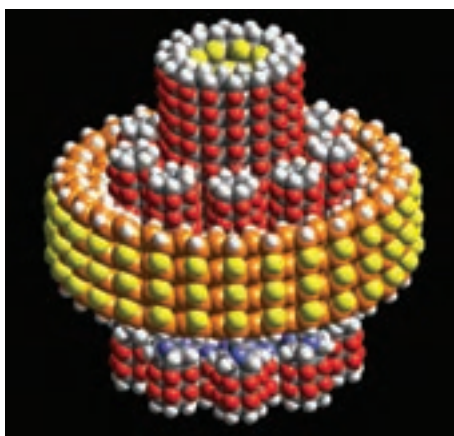
اندکی از فواید و مزایای تولید مواد نانو می‌باشد. واقعیت آن است که علم بشری اینک در آستانه چنگ اندازی به عرصه‌ای است تا ساختارهای بی‌نظیری را با کارایی بسیار بالا بسازد که تاکنون بشر تصور آنها را هم نکرده است. به‌عنوان مثال:

- ۱- ساخت مواد بسیار سبک و محکم برای مصارف متداول
- ۲- ورشکستگی صنایع قدیمی مثل فولاد با ورود تجاری مواد جدید
- ۳- کاهش شدید تقاضا برای سوخت‌های فسیلی
- ۴- همه‌گیر شدن ابرکامپیوترهای بسیار قوی، کوچک و کم مصرف
- ۵- سلاح‌های سبک‌تر، کوچک‌تر، هوشمندتر، دوربردتر، ارزان‌تر و نامرئی در مقابل رادار
- ۶- شناسائی فوری کلیه خصوصیات ژنتیکی و اخلاقی افراد و استعداد ابتلا به بیماری در

انسان

- ۷- ارسال دقیق دارو به اندام مورد نظر در بدن و افزایش طول عمر
  - ۸- از بین بردن عوامل خطرناک جنگ‌های شیمیایی و میکروبی
  - ۹- از بین بردن آلاینده‌های شهری و صنعتی
  - ۱۰- تولید لباس‌های همیشه تمیز و هوشمند
  - ۱۱- تولید انبوه مواد و ابزارهایی که تا قبل از این عملی و اقتصادی نبوده‌اند
  - ۱۲- و بسیاری از موارد غیر قابل پیش‌بینی دیگر
- شکل (۱۱-۱) دو مدل از مواد کامپوزیتی را با استفاده از تکنولوژی نانو به صورت شماتیک

نشان می‌دهد.



شکل ۱۱-۱- ساختار منظم و بدون نقص مواد مرکب (کامپوزیت) تولید شده با استفاده از فناوری نانو

# فصل دوم

## روش‌های استخراج فلزات



**هدف‌های رفتاری :** با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

- ۱- فرآیندهای استخراج فلزات متداول صنعتی را نام ببرد.
- ۲- مراحل فرآیند استخراج فلزات را نام ببرد.
- ۳- مراحل آماده سازی سنگ آهن را شرح دهد.
- ۴- فرآیند احیاء سنگ آهن از طریق کوره بلند را توضیح دهد.
- ۵- محصولات کوره بلند را نام ببرد.
- ۶- فرآیند تولید آهن به روش احیاء مستقیم را توضیح دهد.
- ۷- محصولات نیم‌ساخته کارخانه‌های فولادسازی را نام ببرد.
- ۸- استخراج فلزات به روش تر (هیدرومتالورژی) را شرح دهد.

## ۲-۱- آشنایی با فرآیندهای استخراج فلزات

به طور معمول عناصر فلزی در طبیعت به صورت خالص یافت نمی شوند، بلکه به صورت ترکیبات با عناصر دیگر در پوسته زمین وجود دارند و نوع ترکیبات بستگی به مواد در تماس با عناصر فلزی و دمای محیط واکنش دارد.

به طور کلی در معادن موجود در سطح زمین بیشتر کانی های فلزی به صورت ترکیبات اکسیدی وجود دارند و در سطوح پایین تر سطح زمین ترکیبات سولفیدی بخش عمده این کانی ها را به خود اختصاص می دهند. شکل (۲-۱) نمای یک معدن آهن را در سطح زمین نشان می دهد.



شکل ۲-۱- نمایی از معدن سنگ آهن در سطح زمین

در این فصل مراحل استخراج عناصر فلزی بر اساس دو روش پیرومتالورژی (متالورژی حرارتی) و هیدرومتالورژی (متالورژی تر) به صورت مختصر مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

## ۲-۲- استخراج آهن

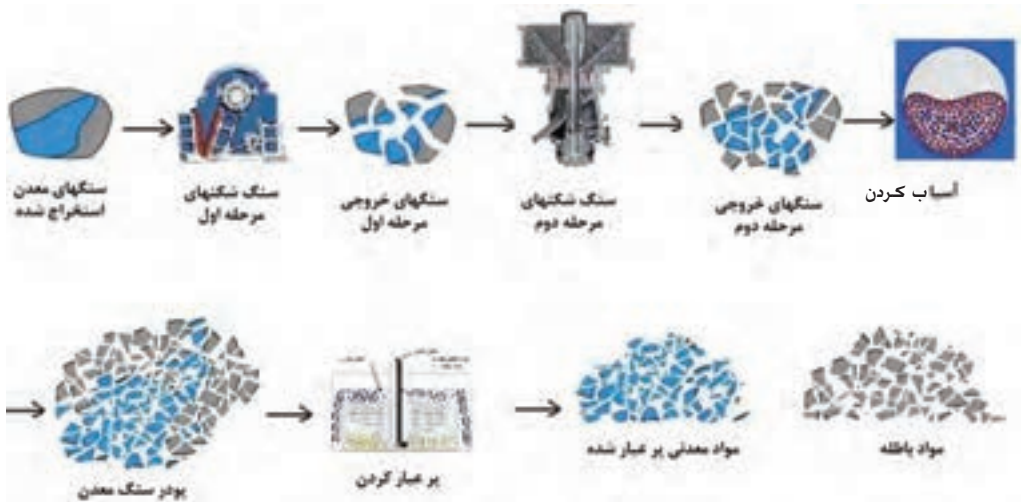
سنگ معدن آهن متشکل از کانی های متفاوت محتوی آهن می باشد که در جدول (۲-۱) مهم ترین آنها ذکر گردیده است این کانی ها همراه با ناخالصی های مختلف مثل : اکسید سیلیسیم، کربنات کلسیم، گوگرد، منگنز، ترکیبات فسفردار و غیره وجود دارند. سنگ های محتوی کانی آهن پس از استخراج از معدن تا مرحله انتقال به کوره احیاء باید از نظر شرایط فیزیکی، دانه بندی و نیز زدودن بخش عمده ای از ناخالصی ها آماده شوند. لازم به ذکر است که ارزش سنگ معدن آهن بر اساس درصد کانی آهن موجود در آن و ترکیب مواد باطله همراه تعیین می شود.

جدول ۱-۲- کانی‌های اصلی محتوی آهن در معادن سنگ آهن

نام کانی آهن	فرمول شیمیایی	حدود درصد آهن در کانی
ماگنتیت	$Fe_3O_4$	۷۲
هماتیت	$Fe_2O_3$	۷۰
لیمونیت	$FeO(OH)$	۶۲
سیدریت	$FeCO_3$	۴۸

**توجه:** سنگ معدن آهن مصرفی در کارخانه‌های فولادسازی ذوب آهن و فولاد مبارکه اصفهان به‌طور عمده مخلوطی از کانی‌های ماگنتیت و هماتیت است که از مرغوب‌ترین نوع سنگ معدن آهن به حساب می‌آید و از معادن چغارت واقع در ۱۴ کیلومتری شمال شرقی شهر بافق استان یزد استخراج می‌شود.

۱-۲-۲- آماده‌سازی سنگ آهن: آماده‌سازی سنگ آهن اولین مرحله از فرآیند استخراج آهن می‌باشد که در چند مرحله صورت می‌گیرد. شکل (۲-۲) مراحل جداسازی مواد باطله و برعیار کردن سنگ آهن را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲- روند عمومی استخراج و برعیارسازی سنگ‌های معدنی



**الف) غربال کردن:** با توجه به اینکه در مرحله استخراج، سنگ‌های معدنی با ابعاد و اندازه‌های متفاوتی به دست می‌آیند بنابراین در اولین مرحله لازم است سنگ‌های درشت جهت خرد شدن جدا شوند که به این جداسازی فیزیکی برحسب ابعاد سنگ، غربال کردن می‌گویند. (شکل ۳-۲) تجهیزات مربوط به غربال کردن مواد معدنی را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۲- غربال سنگ معدن

**ب) خرد کردن:** سنگ‌های معدنی باید جهت اجرای عملیات تغلیظ و افزایش عیار، خرد شده و به صورت پودر درآیند. این کار برحسب جنس سنگ و درجه سختی آنها طی چندین مرحله توسط سنگ شکن‌ها و سپس آسیاب کردن صورت می‌گیرد. سنگ شکن‌ها دارای انواع مختلفی می‌باشند که در شکل (۴-۲) دو نمونه از این دستگاه‌ها نمایش داده شده‌اند.



شکل ۴-۲- دستگاه‌های سنگ‌شکن

**ج) پرعیار کردن مواد معدنی:** در این مرحله هدف افزایش درصد کانی‌های محتوی آن در ماده معدنی خرد شده از طریق جدا کردن مواد باطله و ناخالصی است که به روش‌های مختلفی صورت

می‌گیرد. در خصوص سنگ آهن یکی از روش‌های بسیار متداول استفاده از میدان مغناطیسی است. در این روش کانی‌های مغناطیس‌شونده آهن جذب میدان الکترومغناطیس شده و از مواد غیرمغناطیس جدا می‌شوند. این موضوع در شکل (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل ۲-۵- جداسازی کانی‌های فرومغناطیس آهن از مواد باطله

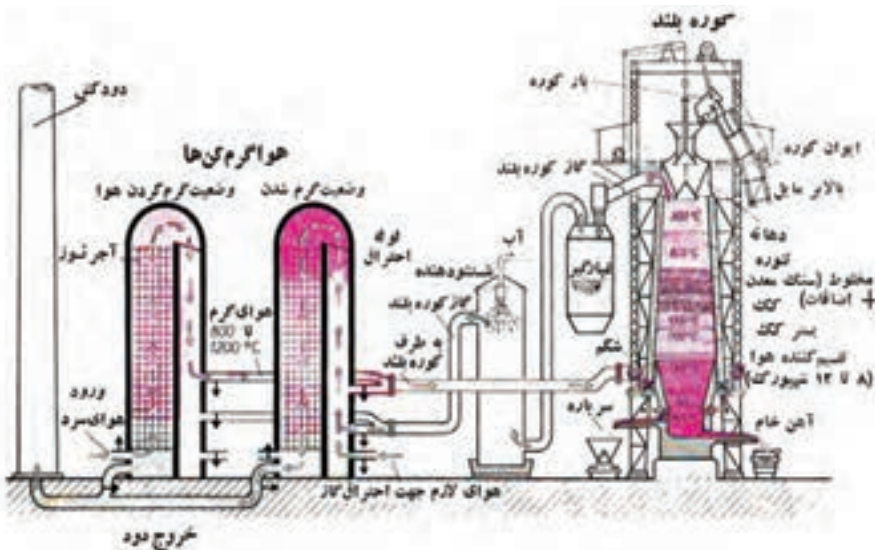
د/ احیاء: مواد معدنی پرعیار شده نسبت به کانی‌های محتوی آهن پس از انتقال به کارخانه‌های فولادسازی به‌طور معمول به یکی از دو روش زیر احیاء می‌شود.

۱- احیاء از طریق کوره بلند (احیاء غیرمستقیم)

۲- احیاء به روش مستقیم

۲-۲-۲- فرآیند احیاء سنگ آهن از طریق کوره بلند: شکل (۲-۶) نمایی از کوره

بلند و تجهیزات جانبی آن را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود سنگ آهن پرعیار شده با



شکل ۲-۶- مراحل انجام احیاء سنگ آهن از طریق کوره بلند





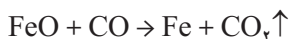
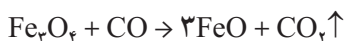
شکل ۷-۲- کوره بلند احیاء آهن در شرکت ذوب آهن اصفهان

نسبت‌های معینی کک و آهک ( $\text{CaCO}_3$ ) مخلوط می‌شود و از قسمت فوقانی کوره بلند به صورت بکنواخت وارد آن می‌شوند. مراحل احیاء سنگ آهن در کوره بلند را می‌توان مطابق شکل (۷-۲) به چهار منطقه به شرح زیر تقسیم کرد. در کارخانه ذوب آهن اصفهان فرآیند احیاء سنگ آهن به این روش صورت می‌گیرد.

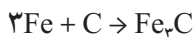
#### الف) منطقه خشک کردن ( منطقه

گرم‌کننده): این قسمت که در ناحیه فوقانی قرار دارد در اثر عبور گازهای داغ از لابلای مواد ورودی به کوره رطوبت آنها تبخیر می‌شود.

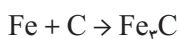
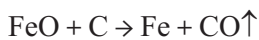
ب) منطقه احیاء: در این منطقه با افزایش دما، واکنش بین کانی‌های اکسید آهن و ماده احیاء‌کننده که بیشتر مونوکسید کربن ( $\text{CO}$ ) است شروع می‌شود. واکنش‌های این منطقه را می‌توان بصورت ذیل نوشت.



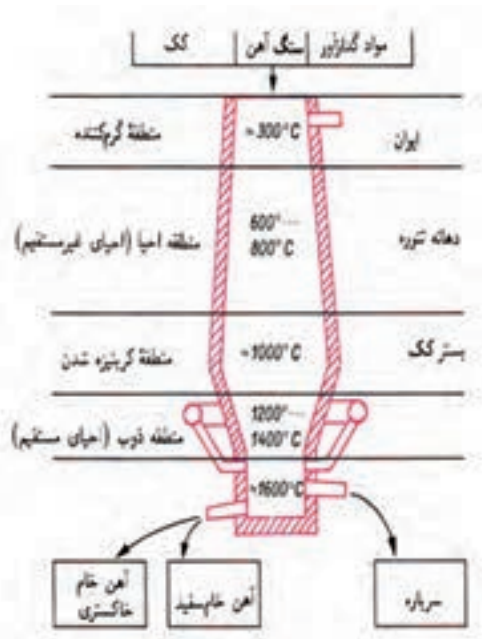
ج) منطقه کربنیزه شدن: در این منطقه که دما به حدود  $1000^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد می‌رسد قسمتی از آهن احیاء شده ضمن حرکت به سمت پایین کوره با کک گداخته واکنش داده و ترکیب کاربید آهن حاصل می‌شود.



د) منطقه ذوب: در ناحیه نزدیک به انتهای کوره که دما به حدود  $1400^\circ\text{C}$  -  $1200^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد می‌رسد، باقی‌مانده اکسید آهن احیاء می‌شود؛ ضمن اینکه واکنش آهن با کربن نیز صورت می‌گیرد.



۱- آهک به‌عنوان ماده کمک ذوب و سرباره‌ساز به کوره اضافه می‌شود که به حذف ناخالصی‌ها از مذاب کمک می‌کند.



شکل ۸-۲- نمایش شماتیک کوره احیاء و قسمت‌های اصلی آن

**محصولات کوره بلند:** محصول اصلی خارج شده از کوره بلند آهن خام نام دارد که دارای ۳ تا ۴ درصد کربن به اضافه عناصر ناخالصی مثل: سیلیسیم، منگنز، فسفر و گوگرد است که برحسب مقدار عناصر همراه دو نوع آهن خام از کوره خارج می‌شود.

— آهن خام سفید: محتوی ۳/۵ تا ۴ درصد کربن، ۱٪ تا ۲٪ درصد سیلیسیم، ۱ تا ۴ درصد منگنز، حدود ۳٪ درصد فسفر و ۰/۴٪ درصد گوگرد است.

— آهن خام خاکستری: محتوی ۳/۵ تا ۴ درصد کربن، ۱/۵ تا ۳ درصد سیلیسیم، حدود ۱ درصد منگنز، ۳٪ تا ۲ درصد فسفر و ۰/۶٪ درصد گوگرد است.

**۳-۲-۲- تولید آهن خام به روش احیاء مستقیم:** در این فرآیند ابتدا مواد زرمه محتوی اکسید آهن پس از اضافه کردن مقدار کمی آب، آهک و مواد افزودنی دیگر به وسیله سینی‌های بزرگ دوار به صورت گلوله‌های کوچکی تبدیل می‌شوند که گندوله نامیده می‌شوند (شکل ۹-۲). در واحد احیاء گندوله‌ها از قسمت فوقانی وارد کوره‌های احیاء می‌شوند. در این فرآیند به جای زغال سنگ (کک) از گاز طبیعی برای احیاء کانی‌های اکسید آهن استفاده می‌شود. عملیات احیاء بدون ذوب شدن سنگ آهن (گندوله‌ها) صورت می‌گیرد و از انتهای کوره، آهن

اسفنجی با ۹۲ تا ۹۶ درصد آهن خارج می‌شود. در این روش علاوه بر افزایش سرعت تولید، هزینه‌ها و تأسیسات جانبی کاهش می‌یابد. ضمن اینکه آلودگی‌های زیست محیطی و مصرف انرژی نیز کاهش می‌یابد. از این فرآیند در شرکت فولاد مبارکه اصفهان استفاده می‌شود که تجهیزات مربوط به واحد احیاء مستقیم این واحد فولادسازی در شکل (۲-۱۰) مشاهده می‌شود.



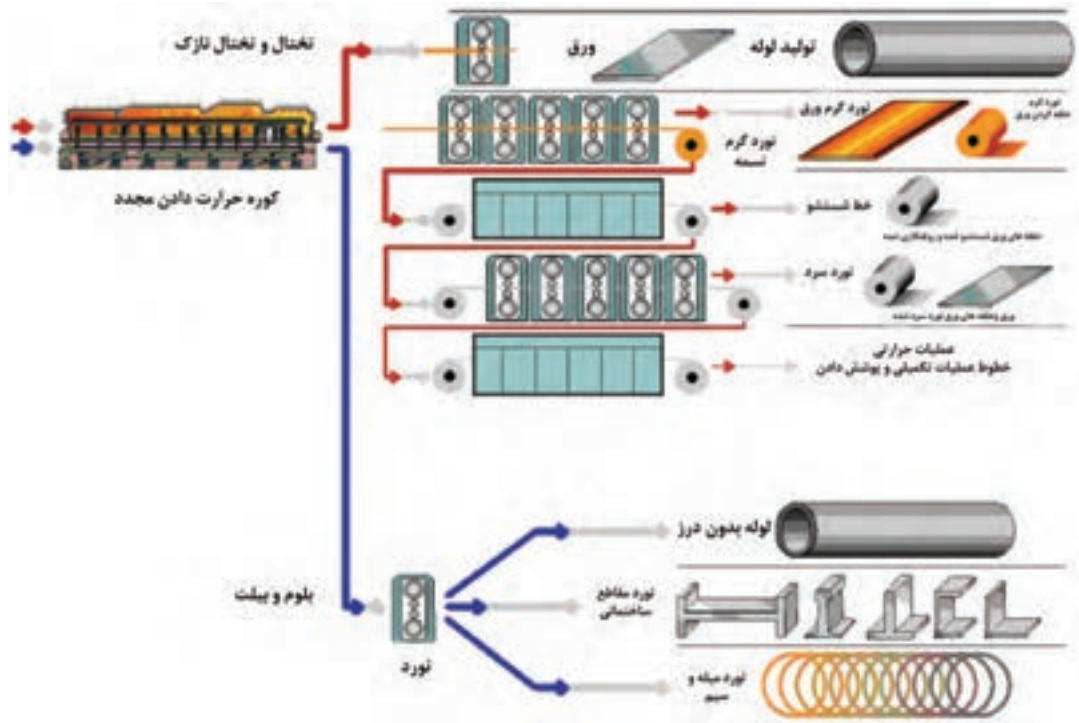
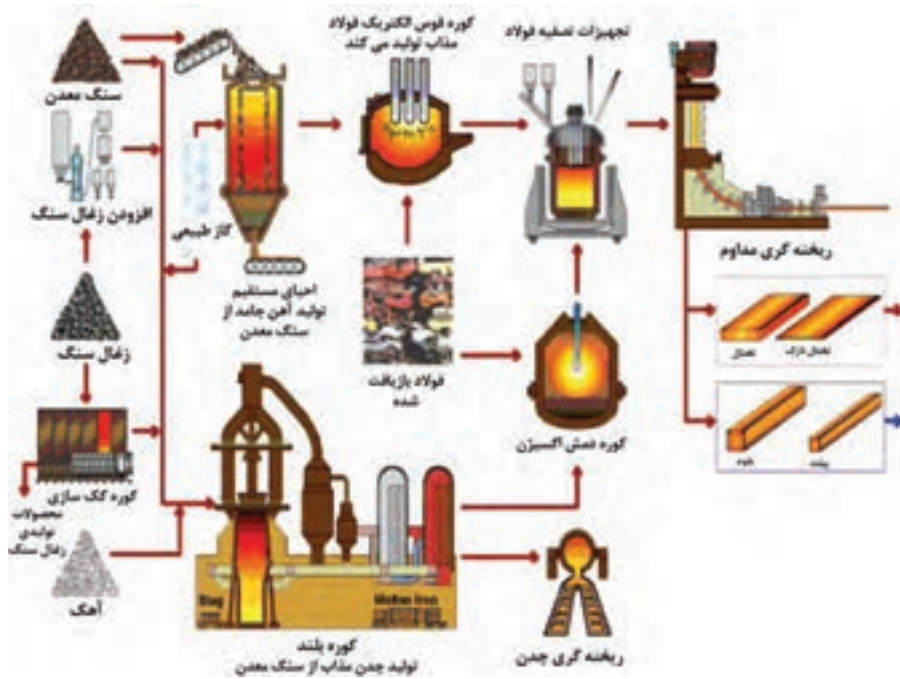
شکل ۲-۱۰- نمایی از کوره‌های احیاء مستقیم مجتمع فولاد مبارکه اصفهان

### ۲-۳- تولید فولاد از آهن خام

محصول خارج شده از کوره‌های احیاء سنگ آهن (به‌صورت مستقیم یا کوره بلند) دارای مقدار زیادی کربن و عناصر ناخواسته و مضر دیگر نظیر گوگرد و فسفر می‌باشد. چنین آلیاژی قابلیت شکل پذیری، چکش خواری و جوشکاری ندارد. بنابراین لازم است عناصر اضافی و مزاحم به حد مناسبی کاهش یابند.

اساس روش‌های کاهش عناصر اضافه و مزاحم، دمیدن اکسیژن به مذاب آهن خام و سوختن عناصر مزاحم موجود در مذاب تا حد قابل قبول است. هر چند این فرآیند در طول زمان از نظر سرعت، کارایی و کم کردن هزینه پیشرفت نموده ولی اساس آن تغییر نکرده است.

در شکل (۲-۱۱) مراحل احیاء سنگ آهن به‌روش مستقیم، تصفیه و فولادسازی، ریخته‌گری و نورد محصولات نیم ساخته جهت تولید ورق و انواع پروفیل‌های فولادی به‌طور شماتیک نشان داده شده است.

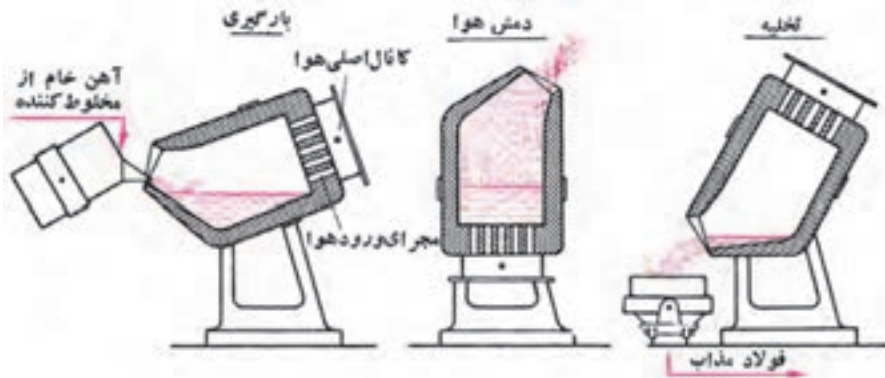


شکل ۱۱-۲- مراحل استخراج آهن از سنگ معدن، فولادسازی و تولید محصولات از نیم ساخته‌های فولادی

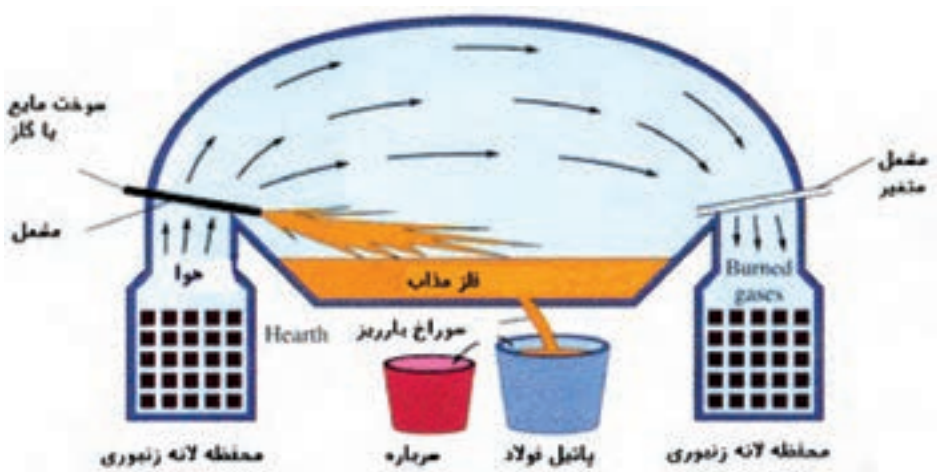
عملیات تصفیه مذاب آهن خام و فولادسازی به طور عمده توسط یکی از روش‌های زیر صورت

می‌گیرد :

- ۱- روش توماس - بسمر
- ۲- روش زیمنس - مارتین
- ۳- روش کوره قوس الکتریکی



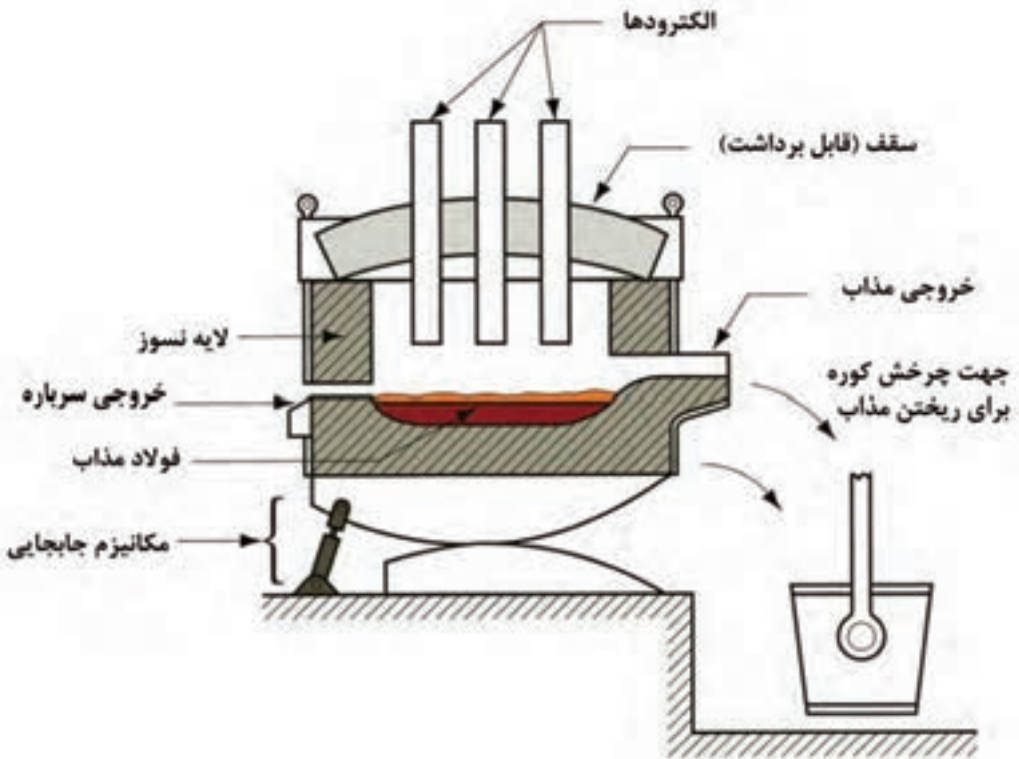
شکل ۱۲-۲ تولید فولاد به روش توماس - بسمر که در واحدهای قدیمی صورت می‌گیرد



شکل ۱۳-۲ کوره زیمنس - مارتین که نسبت به روش توماس جدیدتر است.

فولادسازی در کوره‌های قوس الکتریکی یکی از روش‌های جدید متداول و مدرن فولادسازی

به‌شمار می‌رود (شکل ۱۴-۲).



شکل ۱۴-۲- کوره قوس الکتریکی

در هر یک از فرآیندهای فولادسازی پس از تصفیه مذاب آهن خام و رساندن مقدار عناصر مضر یا اضافی به حد مطلوب، عناصر آلیاژی موردنظر را به مذاب اضافه می‌کنند و اقدام به کار تولید فولاد آلیاژی می‌نمایند.

#### ۲-۴- تولید محصولات فولادی

همان‌طور که در شکل (۲-۱۱) ملاحظه گردید، مذاب آهن پس از تصفیه و رسیدن به ترکیب آلیاژی از پیش تعیین شده به کمک روش‌های ریخته‌گری و شکل دهی به صورت نیم ساخته فلزی یا محصول نهایی به بازار عرضه می‌شوند. در نمودار (۲-۱) و شکل (۲-۱۵) محصولات متداول شرکت‌های فولادسازی نشان داده شده است.



نمودار ۱-۲- محصولات متداول شرکت های فولادسازی



شکل ۱۵-۲- انواع متداول محصولات کارخانه های فولادسازی

## ۵-۲- استخراج فلزات به روش تریا هیدرومتالورژی

فرآیندی که در آن از کوره‌های مختلف برای احیاء کانی‌های محتوی ترکیبات اکسیدی فلزات استفاده می‌گردد نظیر آنچه در فرآیند استخراج آهن ملاحظه شد در اصطلاح روش پیرومتالورژی یا متالورژی حرارتی نامیده می‌شود. روش هیدرومتالورژی نسبت به روش پیرومتالورژی مقرون به صرفه تر بوده و میزان مصرف انرژی و نیز آلودگی محیط زیست در آن کمتر می‌باشد. این روش بر مبنای انحلال شیمیایی عناصر از کانی‌های معدنی و سپس رسوب کاتیون‌های فلز مورد نظر از محلول با استفاده از جریان الکتریکی انجام می‌شود. به طور معمول استخراج به روش تر بیشتر برای استخراج فلزات غیر آهنی به کار می‌رود. در حال حاضر در مجتمع مس سرچشمه برای استخراج مس و کارخانه سرب و روی زنجان برای استخراج روی از این روش استفاده می‌شود.

۱-۵-۲- مراحل استخراج فلز به روش هیدرومتالورژی: در شکل (۱۶-۲) مراحل مختلف فرآیند استخراج فلز مس به روش هیدرومتالورژی نشان داده شده است. این مراحل را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

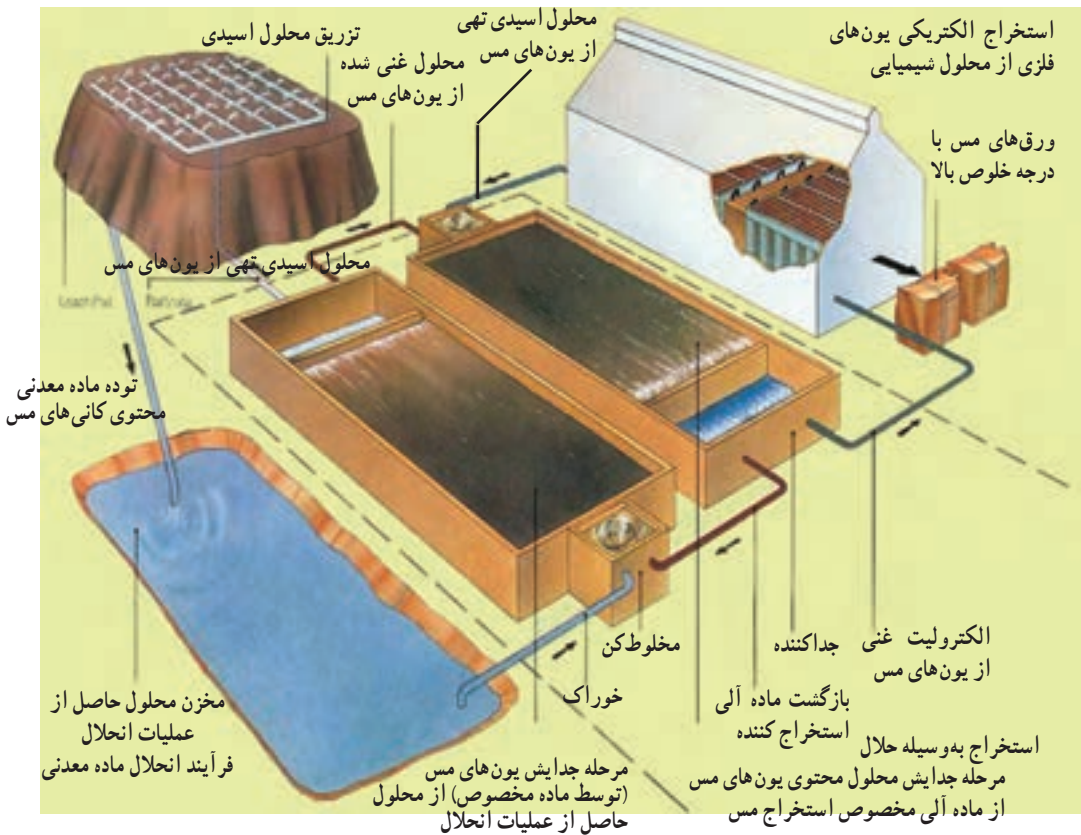
- ۱- استخراج سنگ از معدن و انتقال آنها به محل مناسب
- ۲- تزریق حلال مناسب جهت حل کردن عنصر فلزی مورد نظر از ترکیب سنگ معدن
- ۳- جمع‌آوری محلول محتوی کاتیون‌های عنصر مورد نظر
- ۴- انتقال محلول جمع‌آوری شده به حوضچه‌هایی جهت رسوب ذرات جامد موجود در محلول و مواد مزاحم دیگر
- ۵- افزایش عیار محلول نسبت به یون فلز مورد نظر با استفاده از مواد شیمیایی مناسب
- ۶- انتقال محلول پرعیار شده به سل‌های الکترووینینگ<sup>۲</sup> و رسوب کاتیون‌های فلز مورد نظر با استفاده از جریان الکتریکی روی سطح الکترودهای کاتد
- ۷- جمع‌آوری ورق‌های کاتدی پس از تشکیل رسوب فلزی (شکل ۱۷-۲) و تکرار سیکل

فوق

۱- به یون‌های با بار مثبت کاتیون می‌گویند.

۲- الکترووینینگ یا بازیابی الکتریکی به معنای استخراج فلز از محلول آبی محتوی یون فلز با استفاده از جریان الکتریکی می‌باشد.





شکل ۱۶-۲. مراحل استخراج فلز مس به روش هیدرومتالورژی



شکل ۱۷-۲. ورق های مسی تولید شده در کارخانه الکترووینینگ مجتمع مس سرچشمه

۱- مراحل آماده‌سازی سنگ آهن را نام برده و به صورت مختصر توضیح دهید.

۲- روش‌های احیای سنگ آهن را نام برده و تفاوت آنها را ذکر نمایید.

۳- یک کوره بلند ترسیم نمایید و مناطق مختلف آن را نام ببرید.

۴- مزایای روش احیای مستقیم نسبت به روش احیا از طریق کوره بلند

چیست؟

۵- انواع نیم‌ساخته‌های فولادی را نام ببرید. (۴ مورد)

۶- تفاوت روش پیرو متالورژی و هیدرومتالورژی چیست؟

۷- برحسب مقدار عناصر همراه ناخالصی چند نوع آهن خام را که از کوره بلند

خارج می‌شود؟ نام ببرید.

۸- کدام یک سنگ معدن آهن نیست؟

الف) کالکوسیت    ب) هماتیت    ج) ماگنتیت    د) سیدریت

۹- برای احیای سنگ آهن در کارخانه‌های فولادسازی شرکت‌های فولاد

مبارکه و ذوب آهن اصفهان به ترتیب از کدام روش استفاده می‌شود؟

الف) فولاد مبارکه به روش کوره بلند و ذوب آهن به روش احیای مستقیم

ب) هر دو به روش کوره بلند

ج) فولاد مبارکه به روش احیای مستقیم و ذوب آهن به روش کوره بلند

د) هر دو به روش احیای مستقیم

۱۰- اساس کاهش عناصر ناخالصی در مذاب آهن خام چیست؟

الف) دمش هیدروژن    ب) دمش اکسیژن

ج) دمش آرگون    د) دمش نیتروژن

# فصل سوم

## ساختار و خواص فلزات



**هدف‌های رفتاری :** با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

- ۱- ساختارهای بلوری فلزات صنعتی پرکاربرد را بیان کند.
- ۲- سه خاصیت مرتبط با ماهیت پیوند فلزی را بیان کند.
- ۳- تفاوت بین ساختارهای بلوری در فلزات را توضیح دهد.
- ۴- خواص فیزیکی فلزات را توضیح دهد.
- ۵- خواص مکانیکی فلزات را توضیح دهد.
- ۶- خواص تکنولوژیکی فلزات را بیان نماید.
- ۷- عوامل مؤثر روی خواص فلزات را بیان کند.

## ۱-۳- مقدمه

شاید تا به حال از خود پرسیده باشید که چرا مواد مختلف با هم متفاوتند؟ چرا برخی از آنها محکم‌تر از سایرین هستند؟ چرا برخی از مواد رسانا و برخی نارسانا می‌باشند؟ چرا نور می‌تواند از بعضی از مواد عبور کند و از بعضی دیگر نه؟

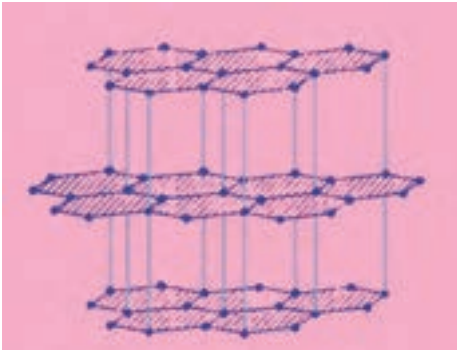
سؤال‌هایی از این دست ذهن را متوجه تفاوت‌های مواد از نظر خواص می‌کند و ما را در رابطه با علت این تفاوت‌ها، به تفکر بیشتر وادار می‌کند. با اطلاعاتی که ما از ساختمان عناصر و تفاوت‌های موجود در آنها داریم شاید گمان کنیم که تفاوت‌های موجود در مواد مختلف حاصل تفاوت‌های عناصر تشکیل دهنده آنها است. با این تفکر خواص مواد تنها متأثر از تنوع عناصر تشکیل دهنده آنها خواهد بود و تمامی ویژگی‌های رفتاری مواد باید با شناخت عناصر تشکیل دهنده آنها روشن شده و همه اسرار مربوط به خصوصیات مواد آشکار گردد. به‌راستی با دانستن ترکیب شیمیایی، خواص مواد معلوم می‌شود؟

با کمی دقت و توجه به ترکیبات شیمیایی مواد پیرامون خود درمی‌یابیم که بسیاری از آنها با وجود این که در رفتار و خواص با یکدیگر تفاوت دارند ولی دارای عناصر تشکیل دهنده و ترکیب شیمیایی یکسان می‌باشند و برخی دیگر از مواد با داشتن عناصر تشکیل دهنده متفاوت، دارای خواص و رفتار مشابهی هستند. پس چه چیزی به جز ترکیب شیمیایی موجب تفاوت در رفتار و خواص مواد می‌شود؟ برای جواب این سؤال لازم است کمی بیشتر با ساختار مواد آشنا شویم.

## ۲-۳- ساختار مواد

ساختار ماده چگونگی ارتباط بین اتم‌ها، یون‌ها و مولکول‌های تشکیل دهنده آن ماده را مشخص می‌کند. با پیوندهای شیمیایی که نحوه اتصال میان اتم‌ها و یون‌ها را مشخص می‌کنند، در درس‌های گذشته آشنا شده‌اید. در اینجا برای روشن شدن تأثیر ساختار روی خواص مواد مثال معروفی را ارائه می‌کنیم. همان‌طور که می‌دانید گرافیت و الماس هر دو از اتم‌های کربن تشکیل شده‌اند. اما چرا خواص گرافیت و الماس خیلی با یکدیگر متفاوت است؟ الماس به عنوان سخت‌ترین ماده طبیعی معرفی می‌گردد و گرافیت به دلیل نرمی بسیار، به عنوان ماده «روان‌ساز» به کار گرفته می‌شود! تفاوت خواص گرافیت و الماس مربوط به نحوه اتصال و آرایش فضایی اتم‌های کربن در ساختار آنها بستگی دارد. مطابق شکل (۱-۳) ملاحظه می‌کنید در گرافیت اتم‌های کربن شش ضلعی‌های پیوسته‌ای تشکیل می‌دهند که در یک سطح گسترده است. لایه‌های شش ضلعی متشکل از اتم‌های کربن با

قرار گرفتن روی هم، حجمی را تشکیل می‌دهند که به آن گرافیت می‌گوییم. در ساختار گرافیت دو نوع اتصال وجود دارد: یک نوع اتصال، اتصالی است که بین اتم‌های کربن هر لایه وجود دارد و از نوع پیوند کوالانسی است. نوع دوم اتصالی است که لایه‌ها را به یکدیگر وصل می‌کند و ضعیف‌تر از پیوند کوالانسی است. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با اعمال نیرو لایه‌های کربنی بر روی یکدیگر بلغزند. در مقابل الماس دارای یک ساختار شبکه‌ای است. یعنی برخلاف گرافیت که پیوندهای اتمی تنها در یک سطح قرار دارند و ساختار لایه‌ای دارد، در ساختار الماس پیوندها به صورت شبکه‌ای سه بعدی فضا را پر می‌کنند. در ساختار گرافیت هر اتم کربن با سه اتم کربن دیگر اتصالی از جنس کوالانسی ایجاد می‌کند، در حالی که در ساختار الماس هر اتم کربن با چهار اتم کربن دیگر پیوندی از جنس کوالانسی برقرار می‌نماید (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۱- ساختار گرافیت



شکل ۳-۲- ساختار الماس

با این توضیحات مشخص شد دلیل نرمی گرافیت و سختی الماس در چیست. همان‌طور که دیدید ساختار (نوع، تعداد و چگونگی ایجاد پیوند) تأثیر زیادی روی خواص مواد دارد. بنابراین از طریق مطالعه و آشنایی با ساختار مواد، بسیاری از رفتارها و خواص آنها را می‌توان پیش‌بینی کرد. همچنین برای دستیابی به خواص مورد نظر می‌توان ساختاری متناسب با اهداف دلخواه طراحی و ایجاد نمود.

### ۳-۳- ریزساختار مواد

با شناختی که نسبت به ساختار مواد پیدا کرده‌اید، ممکن است گمان کنید توده موادی که ما در اطراف خود می‌بینیم از نظم گسترده در ساختار اولیه خود به وجود آمده‌اند. به عبارت دیگر شکل گسترش یافته ساختار اولیه خود هستند و بنابراین تمامی خواص و رفتار ساختار اولیه خود را دارا خواهند بود. این تصور با مشاهدات رفتار مواد متفاوت است. به عنوان مثال در ساختار گرافیت ما انتظار داریم که استحکام در راستاهای مختلف لایه‌ها متفاوت باشد زیرا ساختار اولیه در جهت صفحات لانه زنبوری دارای استحکام بالا و در جهت عمود بر این صفحات دارای استحکام کمی است. بنابراین گرافیت فقط در برخی جهات خاص می‌بایست قابلیت حرکت لایه‌ها بر روی یکدیگر را داشته باشد. می‌دانید از گرافیت به عنوان ماده اصلی مغز مداد استفاده می‌شود و اثری که از

مداد بر روی کاغذ باقی می‌ماند در حقیقت لایه‌های نازک

گرافیت است که با مالش نوک مداد بر روی کاغذ، از

سطح آن کنده شده و بر روی کاغذ می‌چسبد و همان‌طور

که پیش‌تر اشاره شد لایه‌های گرافیت به دلیل پیوند ضعیف

ثانویه امکان لغزش و حتی جدا شدن از یکدیگر را دارند.



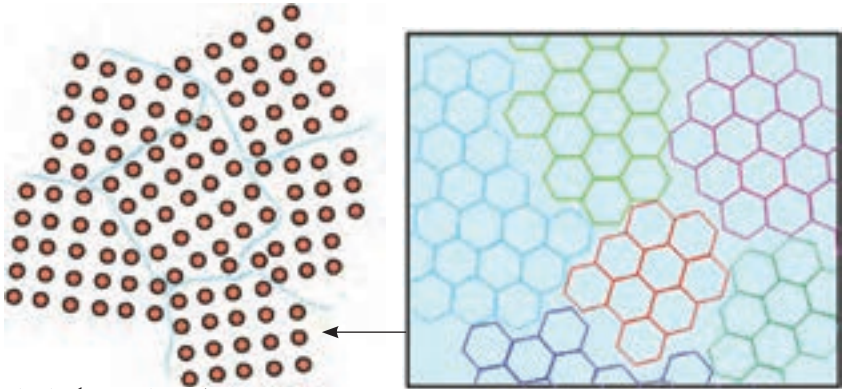
شکل ۳-۳- مداد تحریر که با آن می‌نویسیم

حال سؤال اینجاست که اگر توده گرافیت گسترش همان ساختار اولیه گرافیت باشد، باید مداد تنها در یک جهت خاص قابلیت نوشتن داشته باشد زیرا ساختار گرافیت تنها لغزیدن و کنده شدن لایه‌ها از توده و چسبیدن‌شان به سطح کاغذ را در جهت خاصی میسر می‌سازد و در غیر از آن جهات خاص به دلیل وجود پیوندهای قوی درون هر لایه، امکان کنده شدن وجود نخواهد داشت.

این تعبیر به آن معنی است که مداد تنها در برخی جهات خاص می‌نویسد و در دیگر جهات مداد نخواهد نوشت؛ ولی این تصور با تجربه هر روزه ما از به کارگیری مداد متفاوت و متناقض است زیرا به تجربه دریافته‌ایم که مداد در تمامی جهات می‌نویسد. ما مداد را در هر زاویه و هر جهتی نسبت به کاغذ حرکت دهیم مداد خواهد نوشت. پس دلیل این تناقض چیست؟ آیا ساختار گرافیت آنگونه که گمان می‌کنیم نیست؟ و یا اینکه توده گرافیت چیزی غیر از گسترش یکنواخت و یکپارچه ساختار گرافیت است؟

برای درک درست از رفتار توده مواد لازم است که با ریزساختار آنها آشنا شویم. با بررسی میکروسکوپی گرافیت درمی‌یابیم که توده گرافیت یکپارچه نیست بلکه این توده متشکل از دانه‌های بسیار ریزی است که هر یک به صورت مستقل و جدا از یکدیگر در درون خود دارای نظم ساختار گرافیت هستند. به عبارت دیگر مطابق شکل (۳-۴) توده گرافیت را می‌توان اجتماع بی‌نظمی از

بخش‌هایی که هر یک دارای نظم ساختار گرافیت هستند، دانست.



(علی‌رغم وجود نظم در داخل هر یک از دانه‌ها ولی جهت‌گیری دانه‌های ماده با یکدیگر متفاوت است).

شکل ۴-۳- طرحی ساده از ریزساختار واقعی گرافیت

در تصور اول ما توده گرافیت را یک ساختار یکپارچه و منظم از ساختار گرافیت که در تمام توده گسترش یافته می‌دانستیم در این حالت نظم حاکم بر ساختار، یک نظم با دامنه بلند که تمام توده را می‌پوشاند در نظر گرفته می‌شود اما در عمل نظم ساختار گرافیت به صورت موضعی و با دامنه کوتاه مشاهده می‌شود. این بی‌نظمی در ساختار گرافیت باعث ایجاد تنوع و گوناگونی در جهت قرار گرفتن دانه‌ها در توده گرافیت می‌شود. بنابراین در موقع نوشتن همیشه بخش‌هایی که زاویه و جهت مناسب برای حرکت و کنده شدن داشته باشند، وجود خواهد داشت و ما بدون نگرانی از جهت و زاویه قرار گرفتن مداد می‌توانیم از نوشتن آن مطمئن شویم.

بدین ترتیب مشخص گردید که عوامل تأثیرگذار در خواص توده مواد عبارت بودند از:

۱- عناصر یا اتم‌های تشکیل دهنده

۲- ساختار

۳- ریزساختار

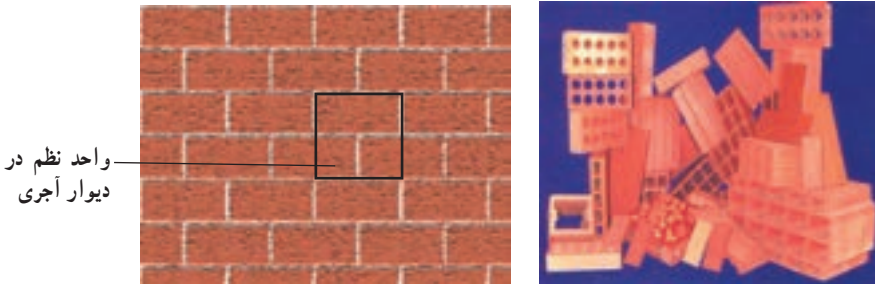
#### ۴-۳- ساختار بلوری فلزات

در حالت کلی مواد جامد دو نوع ساختار اتمی دارند. یک دسته ساختار کریستالی دارند؛ یعنی آرایش اتم‌ها در ساختمان داخلی آنها براساس یک نظم و الگوی تکرار شونده از واحدهایی به نام سلول

واحد می‌باشد. به عبارت دیگر ساختار مواد دارای شبکه کریستالی با کنار هم قرار گرفتن تعداد بسیار زیادی از سلولهای واحد تشکیل شده است. فلزات و آلیاژهای آنها جزء مواد با ساختار کریستالی هستند. برای درک بهتر موضوع به مثال زیر توجه کنید.

فرض کنید یک کامیون آجر توسط یک کمپرسی تخلیه شود و هریک از آجرها نماد یک اتم باشند، در این حالت شما بی نظمی را مشاهده می‌کنید.

اما اگر مطابق شکل (۵-۳) آجرها توسط یک بنا به صورت مرتب و منظم روی هم چیده شود شما یک ساختار منظم از آجرها را مشاهده می‌کنید که دارای نظم تکرار شونده از واحد نظم خود می‌باشند. این موضوع را به ساختار اتمی جامدات نیز می‌توان تعمیم داد.



شکل ۵-۳- واحد نظم در دیوار آجری

دسته دیگر مواد جامد آنهایی هستند که دارای نظم مشخصی در ساختار خود نیستند که در اصطلاح آمورف گفته می‌شوند. در این مواد قرار گرفتن اتم‌ها در کنار یکدیگر تقریباً بدون نظم و ترتیب خاصی است، مثل: شیشه، و بسیاری از مواد سرامیکی، پلاستیک و لاستیک به‌طور معمول دارای ساختار اتمی آمورف هستند.

فلزات و آلیاژهای آنها در حالت جامد همان‌طور که پیشتر گفته شد به‌طور معمول دارای ساختار کریستالی هستند و در چهارده شکل مختلف متبلور می‌شوند ولی اکثر فلزات صنعتی متداول دارای سه نوع نظم اتمی یا شبکه کریستالی هستند که در این فصل به معرفی مختصر این سه نوع شبکه کریستالی اکتفا می‌شود.

**الف) سلول واحد مکعبی مرکزدار (BCC) <sup>۱</sup>:** در این نوع شبکه بلوری، سلول واحد به‌صورت یک مکعب فرض می‌شود که در هر گوشه به اضافه مرکز مکعب یک اتم مستقر می‌باشد.

<sup>۱</sup> Body Centered Cubic



همان‌طور که در شکل (۳-۴) بصورت شماتیک نمایش داده شده است در اینجا اتم‌های مستقر در هر گوشه مکعب با هشت سلول واحد مجاور خود مشترک هستند (اتم‌های آبی رنگ). سهم سلول

واحد از هر اتم گوشه معادل  $\frac{1}{8}$  می‌باشد لذا با توجه به اینکه ۸ اتم در گوشه‌ها قرار دارند بنابراین سهم

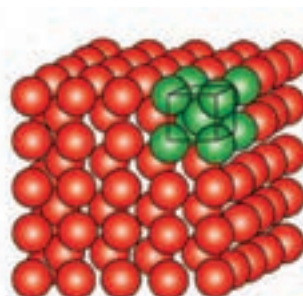
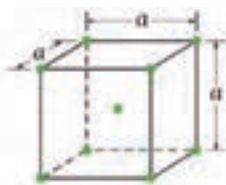
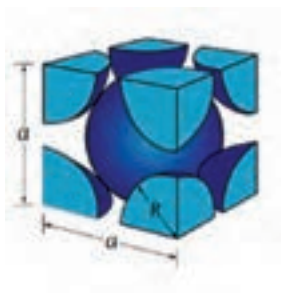
شبکه BCC از اتم‌های گوشه برابر یک اتم می‌باشد ( $8 \times \frac{1}{8} = 1$ ).

اتم واقع در مرکز مکعب تنها به این سلول واحد تعلق دارد (اتم قهوه‌ای رنگ). بدین ترتیب در فضای سلول واحد BCC معادل دو اتم قرار دارند و بقیه، فضای خالی بین اتم‌ها است. به عبارت دیگر حجم اشغال شده در شبکه کریستال BCC معادل ۶۸ درصد فضای سلول واحد می‌باشد.

$$\left(8 \times \frac{1}{8}\right) + 1 = 2$$

محاسبه تعداد اتم‌ها در شبکه کریستالی BCC

لازم به ذکر است بسیاری از فلزات نظیر: آهن، کرم، تنگستن، وانادیم و مولیبدن در دمای محیط دارای شبکه بلوری BCC می‌باشند.

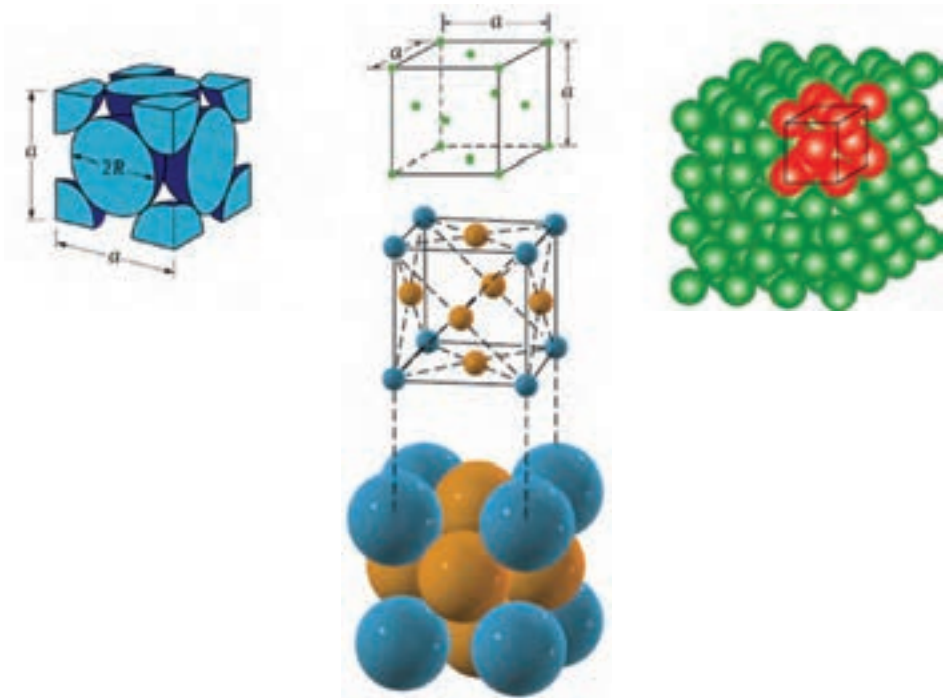


شکل ۳-۶- شبکه کریستالی مکعبی مرکز بر

ب) سلول واحد مکعبی با وجود مرکز پر (FCC)<sup>۱</sup>: در این نوع شبکه بلوری سلول واحد به صورت یک مکعب در نظر گرفته می شود که در هر گوشه و مرکز وجوه آن یک اتم قرار دارد. مطابق شکل (۳-۷) هر اتم گوشه با هشت سلول واحد مجاور خود مانند شبکه کریستالی BCC مشترک است (اتم های آبی رنگ) و هر اتم واقع در مراکز وجوه شش گانه مکعب تنها بین دو سلول واحد مجاور هم مشترک می باشند (اتم های قهوه ای رنگ). به عبارت دیگر حجم اشغال شده در شبکه کریستالی FCC معادل ۷۴ درصد فضای سلول واحد است:

$$\left(8 \times \frac{1}{8}\right) + \left(6 \times \frac{1}{2}\right) = 4$$

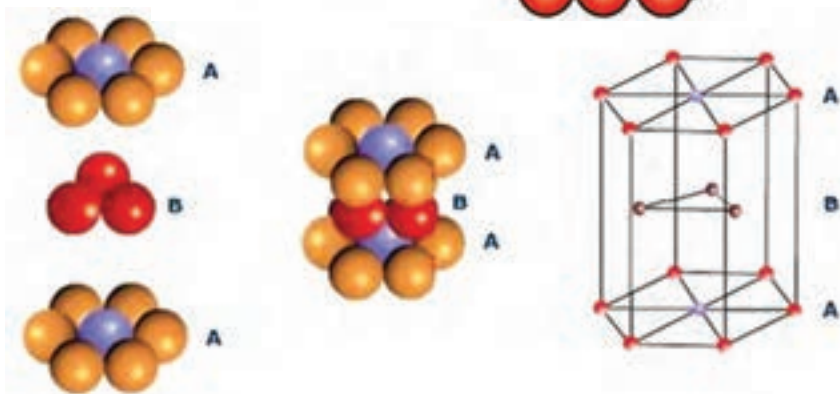
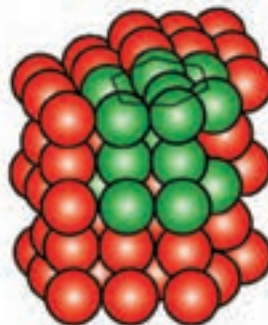
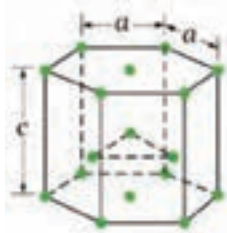
محاسبه تعداد اتم ها در شبکه کریستالی FCC: بنابراین در ساختار FCC حجم اشغال شده هر سلول واحد در مجموع معادل چهار اتم کامل است و بقیه فضای موجود، فضای خالی بین اتم ها است. فلزاتی مثل: مس، آلومینیوم، نقره، طلا، پلاتین، نیکل و سرب در دمای معمولی دارای شبکه کریستالی FCC می باشند.



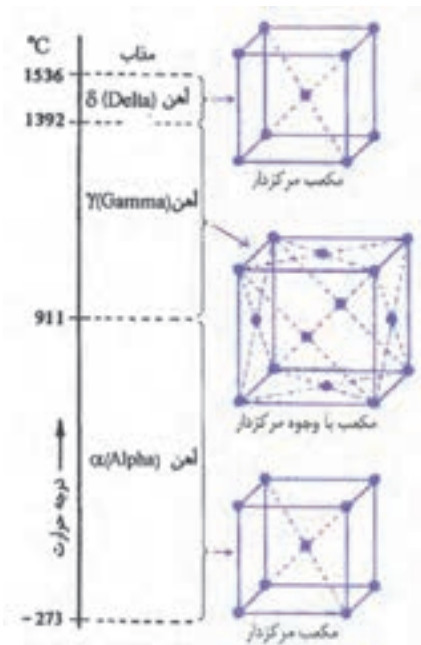
شکل ۳-۷- شبکه کریستالی مکعبی با وجوه مرکز پر

ج) سلول واحد منشور با قاعده شش ضلعی فشرده (HCP) <sup>۱</sup>: نمایش شماتیک این سلول واحد در شکل (۳-۸) آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود سلول واحد به صورت یک منشور شش وجهی است که دوازده اتم در گوشه‌ها و دو اتم در وسط وجوه بالا و پایین آن قرار گرفته‌اند. اضافه بر این سه اتم در وسط صفحات میانی مستقر می‌باشند. بدین ترتیب تعداد اتم‌های متعلق به یک سلول واحد HCP در مجموع معادل شش است (یک ششم به ازاء هر یک از اتم‌های گوشه، یک دوم به ازاء اتم‌های وجوه بالا و پایین و سه اتم متعلق به صفحات میانی که مختص هر سلول واحد می‌باشد) و حجم اشغال شده در شبکه کریستالی HCP معادل ۷۴ درصد فضای سلول واحد است. فلزاتی مثل: روی، منگنز، کادمیم، تیتانیوم، کبالت و منیزیم در دمای محیط ساختار بلوری HCP دارند.

$$\text{محاسبه تعداد اتم‌ها در شبکه کریستالی HCP} \quad 6 = 3 + (2 \times \frac{1}{6}) + (12 \times \frac{1}{6})$$



شکل ۳-۸- شبکه کریستالی منشور شش ضلعی فشرده



شکل ۹-۳- تغییرات ساختار بلوری آهن برحسب دما

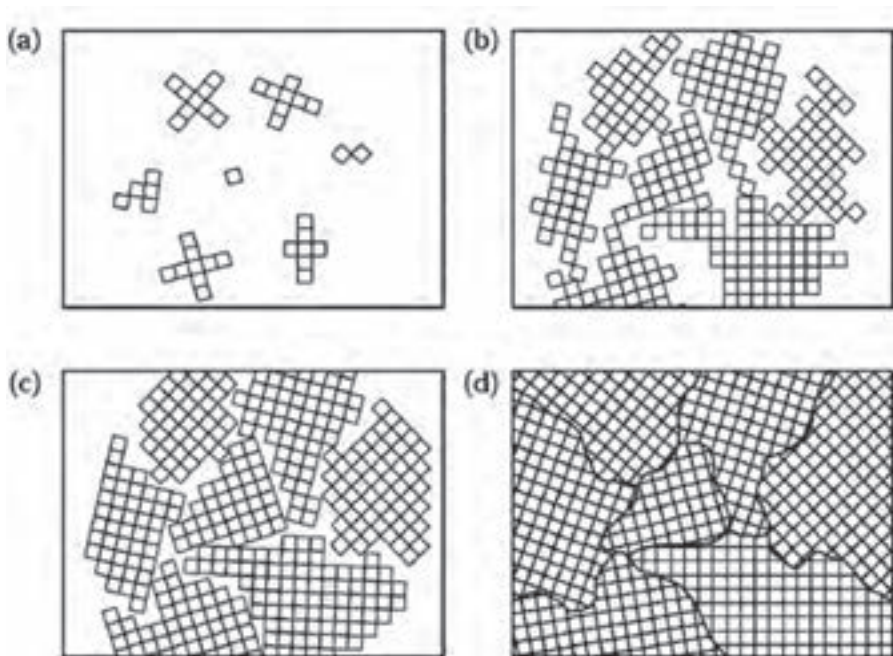
### ۱-۴-۳- ساختار بلوری آهن : ساختار

بلوری آهن در دمای پایین به صورت شبکه کریستالی مکعبی مرکز پر (BCC) است که به آن آهن آلفا می‌گویند. ولی همان‌طور که شکل (۹-۳) نشان می‌دهد با افزایش دمای آهن ساختار بلوری آن دچار تغییر می‌شود. در دمای ۷۲۱ درجه سانتیگراد ساختار آهن دچار تغییر می‌شود و به شکل مکعبی با وجوه مرکز پر (FCC) در می‌آید که به آن آهن گاما می‌گویند. با افزایش بیشتر دمای آهن مجدداً ساختار کریستالی آن متحول می‌شود و به حالت BCC تغییر شکل می‌دهد این تحول بلوری در دمای ۱۲۳۰ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد و در نهایت با افزایش دمای آهن و رسیدن به حد نقطه ذوب (۱۵۳۲ درجه سانتیگراد) شبکه بلوری آهن درهم می‌ریزد و به حالت مذاب در می‌آید.

لازم به ذکر است با تغییر شبکه بلوری آهن نحوه آرایش اتم‌های آهن در ساختار آن تغییر می‌کنند. بنابراین خواص آن دچار تغییر می‌شود. به‌طور مثال با تبدیل ساختار آهن از حالت BCC به حالت FCC، حجم آن افزایش پیدا می‌کند، قابلیت هدایت حرارتی و رسانایی الکتریکی آن کم می‌شود و خاصیت مغناطیسی آهن از بین می‌رود. هم‌چنین به‌طور معمول اکثر فلزات در محدوده دمای محیط تا نقطه ذوب خود دچار یک یا چند تغییر ساختاری می‌شوند.

**ریز ساختار فلز آهن:** همان‌طور که در ابتدای فصل در مورد گرافیت بحث شده شبکه کریستالی توده مواد در حالت معمولی دارای نظم با دامنه بلند که تمام توده ماده را در بر می‌گیرد نمی‌باشند بلکه در همه ساختارها تعداد زیادی از نقص‌های مختلف با شکل و اندازه‌های متفاوت وجود دارند که خواص فیزیکی و مکانیکی فلزات و از جمله آهن و آلیاژهای آن را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. به‌طور مثال مطابق شکل (۱۰-۳) از زمانی که آهن و آلیاژهای آن از حالت مذاب شروع به انجماد می‌نمایند کریستال‌های آهن در نقاط مختلف مذاب تشکیل و رشد می‌نمایند و در نهایت ریزساختاری مشابه قسمت (d) شکل (۱۰-۳) ایجاد می‌شود که باعث تنوع و گوناگونی زیادی در

اندازه و جهت قرار گرفتن دانه‌ها در توده فلز می‌گردد.



شکل ۱-۳- نمایش شماتیک از تشکیل و رشد شبکه بلوری آهن و آلیاژهای آن  
 (a) شروع انجماد و تشکیل بلورها، (b) و (c) رشد بلورها در جهات مختلف، (d) تشکیل دانه‌های فلز با اندازه‌ها و جهت‌گیری‌های مختلف

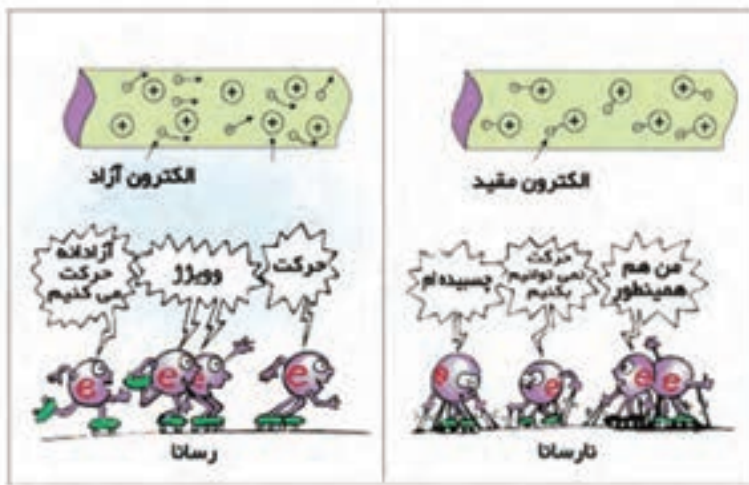
## ۳-۵- خواص فلزات

به ندرت ماده‌ای پیدا می‌شود که مجموعه ایده‌آلی از خواص مورد نظر را توأم با هم داشته باشد. به طور مثال کمتر ماده‌ای را می‌توان یافت که هم استحکام بالا و هم انعطاف‌پذیری خوبی داشته باشد. به طور معمول مواد مستحکم، انعطاف‌پذیری کمی دارند و برعکس. بنابراین شناخت خواص مواد و تغییر آنها در شرایط مختلف کاری، نکته مهمی است که می‌بایست به آن توجه شود. از این رو آشنایی با خواص فیزیکی، مکانیکی و تکنولوژیکی مواد نقش مهمی در شناسایی و انتخاب مواد به خصوص فلزات و آلیاژها که بیشترین کاربرد را در ساخت قطعات و انواع سازه‌های صنعتی دارند ایفا می‌کند.

### ۱- ۳-۵- خواص فیزیکی: منظور از خواص فیزیکی خواصی هستند که باعث تغییر در

ساختمان شیمیایی ماده یا فلز نمی‌شوند مثل: قابلیت هدایت جریان الکتریسیته و حرارت، جرم مخصوص، نقطه ذوب و امثال آنها که در این بخش به معرفی مختصر آنها می‌پردازیم.

**هدایت الکتروسیسته:** این خاصیت عبارت است از قدرت هدایت واحد طول جسم بر واحد سطح مقطع آن که نشان دهنده توانمندی ماده در انتقال بار الکتریکی از یک محل به محل دیگر می باشد. مواد رسانا مثل فلزات در آخرین مدار الکترونی خود به طور معمول یک یا دو الکترون دارند که قادراند آزادانه از مدار خود خارج شده و در سرتاسر جسم رسانا حرکت کنند (شکل ۱۱-۳). فلزاتی مثل نقره، مس و آلومینیوم بیشترین هدایت الکتروسیسته را دارند. اما در مواد نارسانا مثل پلاستیک و نایلون به دلیل عدم وجود الکترونهایی که بتوانند آزادانه در سراسر جسم حرکت داشته باشند، قادر به هدایت جریان الکتروسیسته نیستند (شکل ۱۱-۴).

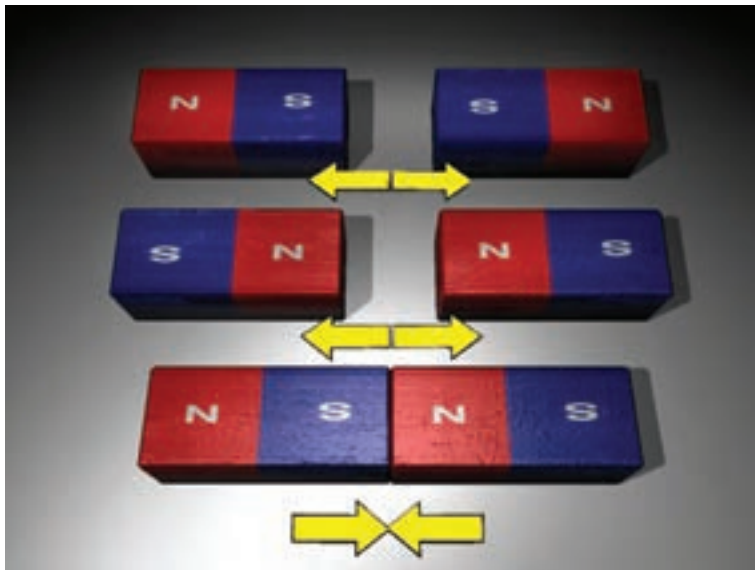


شکل ۱۱-۳- الکترون های آزاد مسئولیت هدایت جریان الکتروسیسته را برعهده دارند.

**مغناطیسی:** همه شما با آهن را آشنا هستید. فلزاتی را که جذب آهن را می شوند فرومغناطیسی می نامند. این خاصیت مربوط به چگونگی حرکت الکترون ها و جهت گیری آنها در میدان مغناطیسی ناشی می شود و فقط در بعضی فلزات دیده می شود. در حالیکه اغلب آلیاژهای آهن (به جز بعضی فولادهای زنگ نزن) و آلیاژهای نیکل و کبالت دارای خاصیت مغناطیسی هستند. ولی غیرفلزات و بسیاری از فلزات و آلیاژهای آنها دارای چنین خاصیتی نیستند. لذا جذب میدان مغناطیسی نمی شوند.

این خاصیت در توسعه بسیاری از صنایع از جمله صنعت سخت افزارهای رایانه ای نقش بسیار مهمی دارد زیرا یکی از روش های ساخت حافظه های رایانه ای برای ذخیره اطلاعات، استفاده

از خاصیت مغناطیسی مواد است که در دیسکت و حافظه‌های قابل حمل از این خاصیت استفاده می‌شود.



شکل ۱۲-۳- چگونگی تأثیر دو آهن‌ربا بر یکدیگر

**هدایت حرارتی:** این خاصیت مشابه هدایت الکتریسیته به صورت قدرت هدایت حرارت واحد طول جسم بر واحد مساحت سطح مقطع آن تعریف می‌شود و به طور معمول فلزاتی که بیشترین قابلیت هدایت الکتریسیته را دارند از نظر هدایت حرارتی نیز بهترین هستند.

**انبساط حرارتی:** اتم‌های یک ماده به خصوص فلزات و آلیاژها با دریافت انرژی حرارتی شروع به ارتعاش و لرزش می‌کنند و فاصله بین اتم‌ها و در نتیجه ابعاد شبکه کریستالی ماده افزایش می‌یابد. هرچه پیوند بین اتم‌ها در شبکه فلز قوی‌تر باشد (فلزات با دمای ذوب بالا)، میزان انبساط حرارتی شبکه فلز کمتر است چون اتم‌ها در مقابل حرکت از خود مقاومت نشان می‌دهند. ضریب انبساط حرارتی که برحسب واحد طول یا واحد حجم ماده تعریف می‌شود معیاری برای نشان دادن تغییرات ناشی از انبساط حرارتی در مواد می‌باشد. در جدول (۱-۳) برای تعدادی از مواد صنعتی شامل فلزات و غیرفلزات ضریب انبساط حرارتی خطی و حجمی جهت مقایسه آورده شده است.

جدول ۱-۳- ضریب انبساط حرارتی مواد مختلف

ضریب انبساط حرارتی حجمی	ضریب انبساط حرارتی خطی	ماده
$\beta(\approx 3\alpha)$	$\alpha$	ماده
۸۷	۲۹	سرب
۶۹	۲۳	آلومینیوم
۵۷	۱۹	برنج
۵۴	۱۸	نقره
۵۱/۹	۱۷/۳	فولاد زنگ نزن
۲۷	۹	پلاتین
۲۵/۵	۸/۵	شیشه
۱۳/۵	۴/۵	تنگستن

**جرم مخصوص:** جرم واحد حجم از هر ماده را جرم مخصوص آن ماده می‌نامند. جرم مخصوص به نوع اتم‌های تشکیل دهنده ماده، اندازه و تراکم شبکه کریستالی بستگی دارد.

**نقطه ذوب:** درجه حرارتی که ماده از حالت جامد به حالت مایع تبدیل می‌شود نقطه ذوب ماده می‌گویند فلزات در حالت خالص نقطه ذوب معینی دارند ولی در صورت اضافه کردن عناصر آلیاژی یا آلیاژ شدن نقطه ذوب آنها تغییر می‌کند.

### بیشتر بدانیم

#### شوک حرارتی

ایجاد ترک در ماده به دلیل تنش حرارتی ناشی از تغییرات دمایی شدید را شوک حرارتی می‌گویند. تغییر دما سبب ایجاد انبساط و انقباض در ساختار اتمی مواد می‌شود. چنانچه تغییر دمایی جسم شدید باشد و یا مقدار انبساط یا انقباض زیاد باشد سبب ایجاد ترک در ماده می‌گردد.

مواد مختلف دارای ضریب انبساط حرارتی و قابلیت هدایت حرارتی متفاوت می‌باشند. از طرفی استحکام یا تنش لازم برای شکست مواد نیز با هم فرق می‌کند. بنابراین انبساط و انقباض داخلی ماده در اثر تغییر ناگهانی دما سبب ایجاد ترک‌های



ریز شده و رشد ترک‌ها موجب شکست می‌گردد. قطعات سرامیکی و شیشه‌ای به دلیل رسانایی حرارتی پایین، چقرمگی کم و ضریب انبساط حرارتی بالا مستعد این نوع شکست هستند. در اصطلاح گفته می‌شود این مواد در برابر شوک حرارتی حساس می‌باشند.

**۲-۵-۳- خواص مکانیکی:** رفتار مواد در برابر نیروهای مکانیکی وارد شده را خواص مکانیکی مواد می‌گویند. برخی از این خواص عبارتند از: سختی، استحکام، چقرمگی، خستگی، خزش و... که نشان‌دهنده رفتار مواد در برابر نیروهای خارجی وارده هستند. بنابراین در انتخاب مواد برای طراحی و ساخت سازه‌های صنعتی بیش از هر چیز خواص مکانیکی آنها مورد ارزیابی و توجه قرار می‌گیرد. به مثال‌های زیر توجه کنید.

از آنجا که چکش برای ضربه زدن به اجسام ساخته می‌شود، در نتیجه ماده انتخاب شده باید در مقابل نیروهای ضربه‌ای دارای مقاومت زیاد باشد. جک اتومبیل که برای بلند کردن اتومبیل استفاده می‌شود باید دارای مقاومت فشاری زیادی باشد و پیچ گوهی باید در مقابل نیروهای پیچشی مقاومت کافی داشته باشد. حال چنانچه نیروی اعمالی از حد معین تجاوز کند، باعث تغییر شکل و شکست جسم می‌شود. بنابراین شناخت رفتار مواد در مقابل نیروهای مکانیکی در حقیقت همان شناخت خواص مکانیکی ماده می‌باشد که از طریق آزمایش‌های مخصوص در آزمایشگاه‌ها بدست می‌آیند. جدول (۲-۳) انواع مختلف نیروهای مکانیکی، خواص مکانیکی متناظر با هر نیرو و تأثیر نهایی آن را روی سازه صنعتی نشان می‌دهد.

اجزای یک سازه به‌طور معمول تحت تأثیر ترکیبی از چند نیرو یا تنش قرار می‌گیرند.

جدول ۲-۳- معرفی خواص مکانیکی

ردیف	نمایش نیرو	شکل سازه صنعتی واردکننده نیرو	خاصیت مکانیکی	نمونه قطعات تحت بار	عکس‌العمل ماده زمانی که نیرو قابل تحمل نباشد
۱			استحکام کششی: مقاومت ماده در برابر نیروی کششی	سیم بکسل	پاره شدن

ادامه جدول ۲-۳

ردیف	نمایش نیرو	شکل سازه صنعتی واردکننده نیرو	خاصیت مکانیکی	نمونه قطعات تحت بار	عکس العمل ماده زمانی که نیرو قابل تحمل نباشد
۲			استحکام فشاری: مقاومت ماده در برابر نیروی فشاری	ماده زیردستگاه پرس	شکستن یا له شدن
۳			استحکام برشی: مقاومت ماده در برابر نیروی برشی	ورق در زیر تیغه قیچی یا گیوتین	بریدن
۴			مقاومت پیچشی: مقاومت ماده در برابر نیروی پیچشی	پیچ هنگام بسته یا باز شدن	شکستن
۵			مقاومت خمشی: مقاومت ماده در برابر نیروی خمشی	تیرآهن سقف ساختمان	خم شدن
۶	ضربه‌ای		چقرمگی: مقاومت ماده در برابر ضربه	چکش، سندان	شکستن

ادامه جدول ۲-۳

ردیف	نمایش نیرو	شکل سازه صنعتی واردکننده نیرو	خاصیت مکانیکی	نمونه قطعات تحت بار	عکس العمل ماده زمانی که نیرو قابل تحمل نباشد
۷	سیکلی - متناوب		استحکام خستگی: مقاومت ماده در برابر نیروی متناوب	بدنه پل ها و بال هوایما	شکستن
۸	سایشی		مقاومت سایشی: مقدار جرم کاهش یافته در یک زمان معین در اثر سایش	تیغه ادوات کشاورزی	سایش
۹	کششی در دمای بالا		مقاومت خزشی: مقاومت ماده در برابر نیروهای وارده در دمای بالا و زمان طولانی	مخازن و رآکتورهای تحت فشار که در دمای بالا کار می کند	خزش
۱۰	سختی		سختی: مقاومت جسم در مقابل نفوذ جسم خارجی است	سوزن، خط کش، یا دستگاه سختی سنج	سوراخ شدن یا خرایش برداشتن

### ۳-۵-۳- خواص تکنولوژیکی :

● **قابلیت چکش خواری :** قابلیت تغییر شکل مواد را به کمک نیروی فشاری و ضربه قابلیت چکش خواری می نامند. چکش خواری که شکل دیگری از قابلیت تغییر شکل پلاستیک است به قابلیت تغییر شکل دائم یک فلز تحت نیروی ضربه و فشاری بدون آنکه گسیخته شود، گفته می شود. به خاطر همین خاصیت است که می توان فلزات را به صورت ورق های نازک چکش کاری و نورد کرد. طلا، نقره، قلع و سرب از جمله فلزاتی هستند که قابلیت چکش خواری بالایی از خود نشان می دهند. طلا قابلیت چکش خواری استثنایی دارد و می تواند به صورت ورق های نازکی که برای عبور نور کافی است نورد شود. ولی برخلاف مواد ذکر شده، چدن قابلیت چکش خواری خوبی ندارد. شکل (۱۳-۳) ظروف مسی ساخته شده از فلز مس را به روش چکش کاری نشان می دهد.



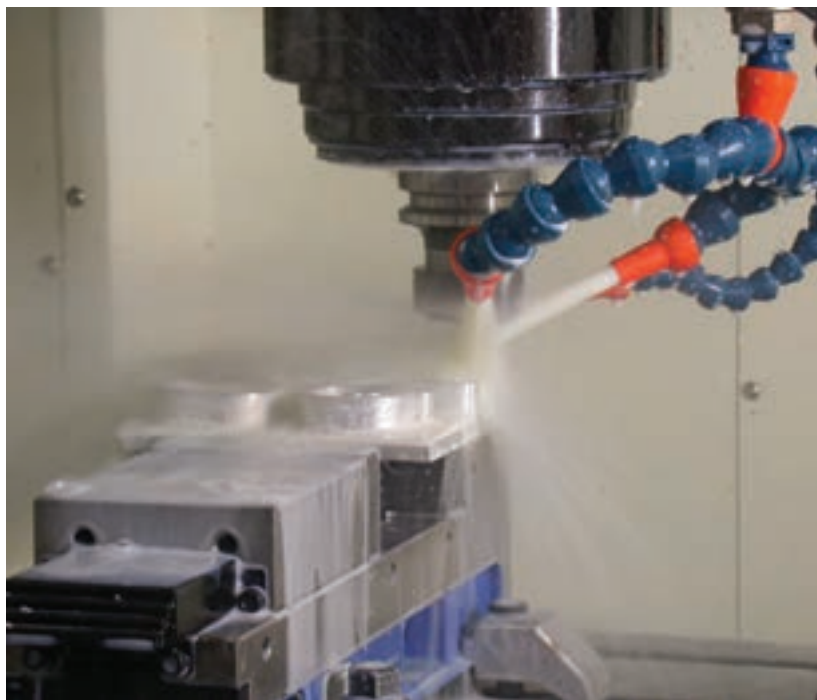
شکل ۱۳-۳- ظروف مسی ساخته شده به وسیله چکش کاری

- **قابلیت ریخته گری :** سهولت تولید قطعات صنعتی از مذاب ماده مورد نظر قابلیت ریخته گری نامیده می شود. چدن، آلومینیوم و مس به راحتی ریخته گری می شوند (شکل ۱۴-۳).
- **قابلیت جوشکاری :** موادی قابلیت جوشکاری دارند که بتوان آنها را به کمک حرارت و یا حرارت توأم با فشار در حالت مذاب یا جامد به یکدیگر متصل کرد. اکثر فولادها دارای قابلیت جوشکاری خوبی هستند.
- **قابلیت براده برداری یا ماشین کاری :** جسمی دارای قابلیت براده برداری خوبی است که

بتوان آن را با سرعت زیاد و نیروی کم براده برداری کرد و سطح آن نیز پس از براده برداری کاملاً صاف و پرداخت باشد. شکل (۳-۱۵) فرایند ماشین کاری یک قطعه صنعتی را نشان می دهد.



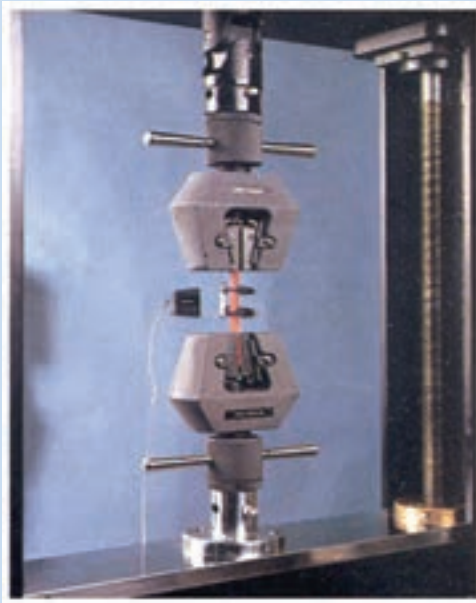
شکل ۳-۱۴ ذوب ریزی درون قالب ریخته گری



شکل ۳-۱۵ عملیات ماشین کاری قطعه فولادی

## اندازه‌گیری خواص مکانیکی

استحکام کششی : چنانچه مطابق شکل (۱۶-۳) یک نمونه با ابعاد و اندازه استاندارد مطابق تصویر تهیه و به فک دستگاه آزمایش کشش ببندیم (شکل ۱۷-۳) و به آن نیروی کششی محوری با سرعت ثابت و آرام اعمال کنیم، می‌توان اطلاعات مفیدی در خصوص رفتار الاستیک و پلاستیک ماده و بعضی از خواص مکانیکی مهم مواد نظیر استحکام کششی، شکست و تسلیم، انعطاف‌پذیری و مدول الاستیک که از نظر کاربردهای صنعتی بسیار حائز اهمیت می‌باشند به دست آورد.



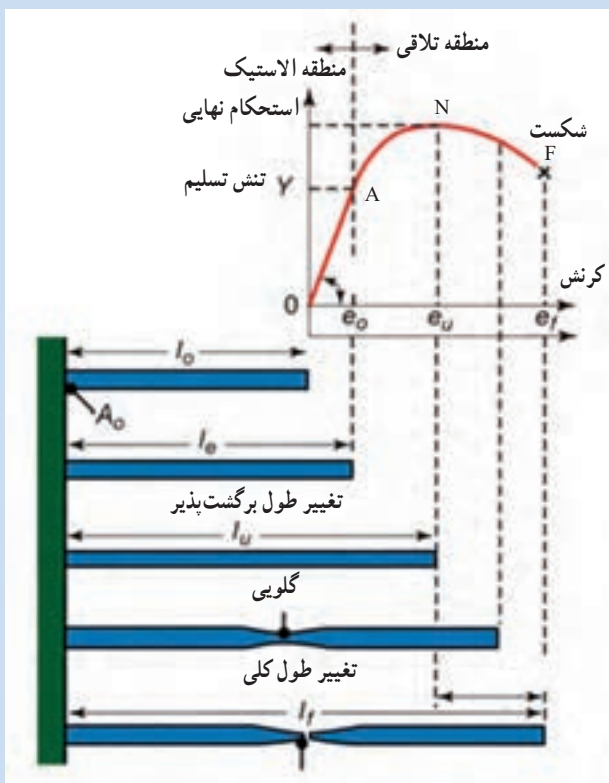
شکل ۱۷-۳- دستگاه کشش



شکل ۱۶-۳- نمونه تست کشش طبق استاندارد ASTM A۳۷۰

لازم به یادآوری است نمونه آزمایشی علاوه بر ابعاد و اندازه استاندارد بایستی از نظر شرایط سطحی، صاف و بدون زدگی یا شیار باشد. به عبارت دیگر لازم است نیرو در یک راستا اعمال شده و به صورت یکنواخت در سطح مقطع نمونه توزیع شود یعنی محل‌های مساعد برای تمرکز تنش مانند گوشه‌های تیز نداشته باشیم.

چنانچه در طول آزمایش مقدار نیروی اعمال شده را برحسب تغییرات طول نمونه اندازه‌گیری و رسم نماییم نموداری مشابه شکل (۳-۱۸) به دست می‌آید که دارای چند منطقه ویژه می‌باشد. به این نمودارها، نمودارهای تنش - کرنش (تغییر طول نسبی) می‌گویند.



شکل ۳-۱۸- تغییر شکل ماده در نقاط مختلف نمودار تنش - کرنش

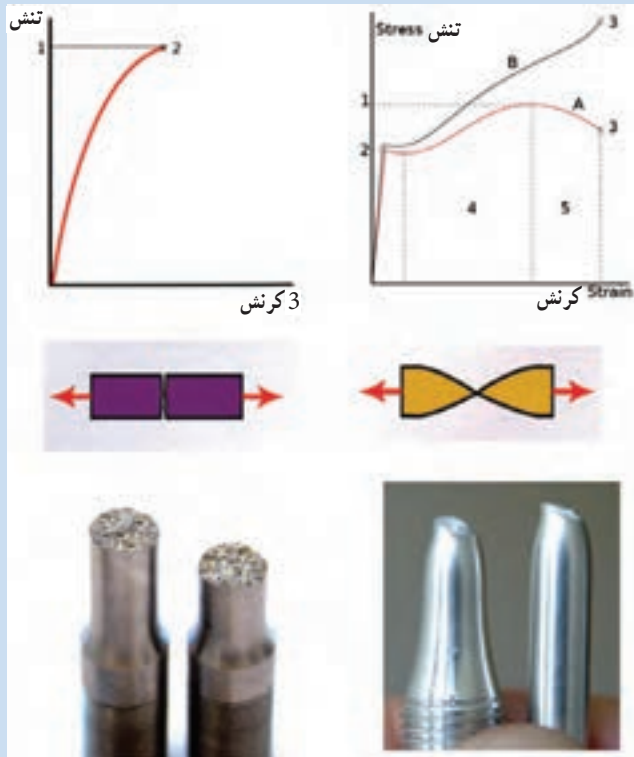
در محدوده OA با افزایش تنش تغییر طول نسبی نمونه یا کرنش آن به صورت خطی زیاد می‌شود و چنانچه تنش حذف شود نمونه به حالت اول برمی‌گردد که این منطقه الاستیک نامیده می‌شود. به علاوه شیب ناحیه خطی نمودار تنش - کرنش (OA) را مدول الاستیک می‌نامند.

در نقطه A تغییر شکل دائمی یا پلاستیک شروع می‌شود و رابطه بین تنش و تغییر طول نسبی از حالت خطی خارج می‌شود. بدین ترتیب نقطه A که شروع تغییر شکل

دائمی است نشان دهنده تنش تسلیم ماده می باشد.

در ناحیه AN تغییر شکل دائمی نمونه تحت کشش اتفاق می افتد نقطه N نشان دهنده بیشترین مقدار تنش یا نیروی است که نمونه می تواند تحمل کند و استحکام نهایی نامیده می شود.

از نقطه N به بعد در قسمتی از نمونه سطح مقطع شروع به باریک شدن می کند. تا اینکه در نقطه F نمونه می شکند. تنش معادل نقطه F را تنش شکست می گویند. لازم به ذکر است شکست در مواد به دو صورت ترد و نرم رخ می دهد. در شکست ترد، نمونه قبل از شکست تغییر شکل دائمی ندارد و نمودار تنش - کرنش و نمونه شکسته شده آن مانند تصویر سمت چپ شکل (۱۹-۳) می باشد در حالیکه در شکست نرم تغییر شکل پلاستیک قبل از شکست وجود دارد و نمودار تنش - کرنش و نمونه شکسته شده آن مانند سمت راست شکل (۱۹-۳) است.



شکل ۱۹-۳- تفاوت شکست ترد و نرم



لازم به ذکر است مقادیر مدول الاستیک، استحکام تسلیم و استحکام کششی با افزایش دما کاهش می‌یابد در صورتیکه انعطاف‌پذیری معمولاً با افزایش دما زیاد می‌شود.

### سختی

سختی، میزان مقاومت جسم در مقابل فرو رفتن جسم خارجی می‌باشد. سختی فلزات را توسط دستگاه سختی‌سنج که اساس آن فرو بردن جسمی سخت در جسم موردنظر است، اندازه‌گیری می‌کنند. شکل (۲۰-۳) نمونه‌هایی از دستگاه‌های اندازه‌گیری سختی رومیزی و قابل حمل را نشان می‌دهد.



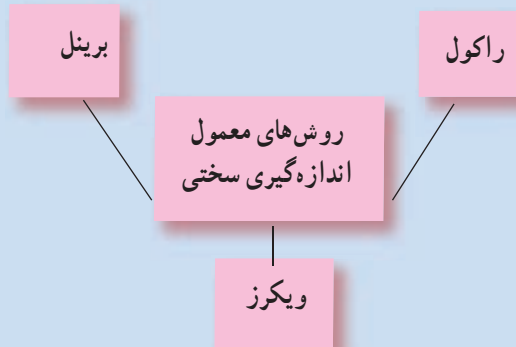
دستگاه سختی‌سنج قابل حمل

دستگاه سختی‌سنج رومیزی

شکل ۲۰-۳- دو نوع دستگاه سختی‌سنج

آزمایش سختی روشی ارزان، ساده و سریع می‌باشد و حتی در بعضی موارد دستگاه سختی‌سنج قابل حمل است، یکی از مزایای مهم تست سختی، غیر مخرب بودن آن می‌باشد به این معنی که نیاز به نمونه‌برداری و صدمه به جسم نیست. نمودار (۱-۳)

سه روش متداول اندازه‌گیری سختی را نشان می‌دهد.



نمودار ۱-۳- روش‌های متداول سختی سنج

تفاوت بین انواع سختی‌سنج، در نوع جسم اثرگذار<sup>۱</sup> (فرو رونده) و نیروی اعمالی می‌باشد. به عنوان مثال در روش راکول از یک گوی کرومی از جنس فولاد

سخت کاری شده و یا الماس مخروطی شکل

به عنوان فرورونده استفاده می‌کنند در حالی که در

روش ویکرز از یک الماس هرمی شکل به عنوان

فرورونده استفاده می‌شود و در روش برینل نیز

یک گوی فولادی مخصوص کرومی شکل که با

ذرات کاربید تنگستن سخت شده است بکار گرفته

می‌شود. شکل (۲۱-۳) تصویر جسم فرو رفته در

اندازه‌گیری سختی فلزات را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱-۳- نمونه‌ای ابزار فرورونده جهت اندازه‌گیری سختی

## خستگی

به شکست مواد در اثر وارد شدن نیروهای سیکلی خستگی می‌گویند. در اینجا

مقدار نیروهای اعمالی کمتر از استحکام نهایی ماده می‌باشد. سازه‌هایی مثل: محور توربین،

میل‌گردان‌ها، سوپاپ‌های ماشین و نظایر آنها در شرایط کاری تحت تنش‌های متناوب قرار

می‌گیرند. شکل (۲۲-۳) سطح مقطع قطعه شکسته شده در اثر خستگی و شکل (۲۳-۳)

نمایش ارزیابی مقاومت نمونه فلزی در مقابل شکست خستگی را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> indenter



شکل ۲۲-۳- شکست یک دسته میل لنگ آلومینیومی در اثر خستگی



شکل ۲۳-۳- آزمایش اندازه‌گیری مقاومت نمونه در برابر شکست خستگی

در حالت کلی تنش تسلیم و تنش شکست معیار طراحی قرار می‌گیرد ولی در شرایط اعمال نیروهای سیکلی باید استحکام خستگی یا حد خستگی ملاک عمل قرار گیرد. (طبق تعریف حداکثر تنشی که قطعه بتواند تعداد بسیار زیاد سیکل (حدوداً ۱۰<sup>۶</sup> دور) اعمال تنش را بدون شکست تحمل کند، استحکام خستگی یا حد خستگی می‌گویند.)

### خزش

چنانچه نمونه‌ای در دمای بالا (یعنی  $T < 0.5T_m$ )، که  $T_m$  نقطه ذوب برحسب درجه کلون می‌باشد) تحت تأثیر تنش کششی قرار گیرد (هرچند که تنش کمتر از حد تسلیم باشد) با گذشت زمان ماده دچار تغییر شکل دائمی می‌شود و پس از مدتی شکست

اتفاق می افتد که این پدیده را خزش می گویند. پدیده خزش در قطعاتی که در دماهای بالا کاربرد دارند مثل : اجزاء موتورهای احتراق، دیگ های بخار، لوله های انتقال بخار، بره های توربین بخار و گازی، مخازن تحت فشار، راکتورهای شیمیایی و هسته ای و امثال آن اتفاق می افتد.

بنابراین در طراحی موادی که قرار است در دماهای بالا بکار گرفته شوند لازم است فاکتور مقاومت در برابر خزش نیز در نظر گرفته شود و مهم است که سرعت تغییر شکل قطعه صنعتی تحت شرایط کاری (دما و تنش اعمالی) از حد معینی تجاوز نکند.

## آزمون پایانی

- ۱- عوامل مؤثر در خواص فلزات را توضیح دهید.
- ۲- سلول واحد را تعریف نمایید.
- ۳- شبکه کریستالی فلزات متداول را نام برده و برای هریک مثال بزنید.
- ۴- خواص فیزیکی مواد را نام ببرید.
- ۵- نیروهای مکانیکی را با مثال نام ببرید.
- ۶- چهار مورد از خواص تکنولوژیکی فلزات را نام ببرید.
- ۷- هر چه انرژی پیوند بین اتم های ماده ..... باشد نقطه ذوب ماده ..... می یابد.

۸- عامل رسانایی الکتریکی در فلزات چیست؟

۹- تعداد اتم متعلق به سلول واحد BCC چند است؟

۱-۱      ۲-۲      ۳-۳      ۴-۴

۱۰- تعداد اتم متعلق به هر سلول واحد FCC چند است؟

۱-۱      ۲-۲      ۳-۳      ۴-۴

۱۱- تعداد اتم متعلق به هر سلول واحد HCP چند است؟

۱-۱      ۲-۲      ۳-۳      ۴-۴

۱۲- فشردگی کدام یک از شبکه های بلوری بیشتر است؟

الف) BCC      ب) FCC      ج) HCP      د) FCC و HCP

# فصل چهارم

## روش‌های بهبود خواص فلزات



**هدف های رفتاری :** بایدگیری این فصل هنرجو می تواند :

- ۱- دلایل بهبود بخشیدن خواص فلزات را بیان کند.
- ۲- مهم ترین روش های بهبود بخشیدن خواص فلزات را نام ببرد.
- ۳- روش بهبود بخشیدن خواص فلزات به وسیله عملیات حرارتی را توضیح

دهد.

۴- روش بهبود بخشی خواص فلزات به وسیله کارمکانیکی را توضیح دهد.

۵- روش بهبود بخشی خواص فلزات به وسیله آلیاژسازی را شرح دهد.

## ۱-۴- مقدمه

در فصل سوم دیدیم که خواص مواد، از جمله فلزات علاوه بر ترکیب شیمیایی (نوع اتم‌های تشکیل دهنده) به نوع پیوند بین اتم‌ها، نحوه آرایش یا قرار گرفتن اتم‌ها در کنار یکدیگر (ساختار شبکه کریستالی) و ریزساختار آن بستگی دارد به طوری که ممکن است با تغییر هر کدام از عوامل مذکور خواص فیزیکی، مکانیکی و تکنولوژیکی فلز مثل: سختی، استحکام، شکل پذیری، هدایت الکتریسیته، ماشین کاری و جوشکاری تغییر نماید. بنابراین مهم و ضروری است برای رسیدن به فلزاتی با خواص برتر و کارایی بهتر با روش‌های مختلف ایجاد تغییر در خواص فلزات آشنا شویم. در این فصل به صورت مختصر و فشرده سه روش متداول و پرکاربرد جهت تغییر و بهبود در خواص قطعات فلزی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

## ۲-۴- عملیات حرارتی

در حالت کلی گرم کردن و سرد کردن زمان‌بندی شده فلزات و آلیاژهای آن‌ها (در حالت جامد) را به منظور به دست آوردن خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب عملیات حرارتی می‌گویند. لازم به ذکر است عملیات حرارتی برای مواد غیرفلزی مثل سرامیک‌ها نیز به کار می‌رود.

بر اساس تعریف فوق پارامترها یا فاکتورهای مهم در اجرای عملیات حرارتی عبارتند از:

۱- سرعت گرم کردن قطعه

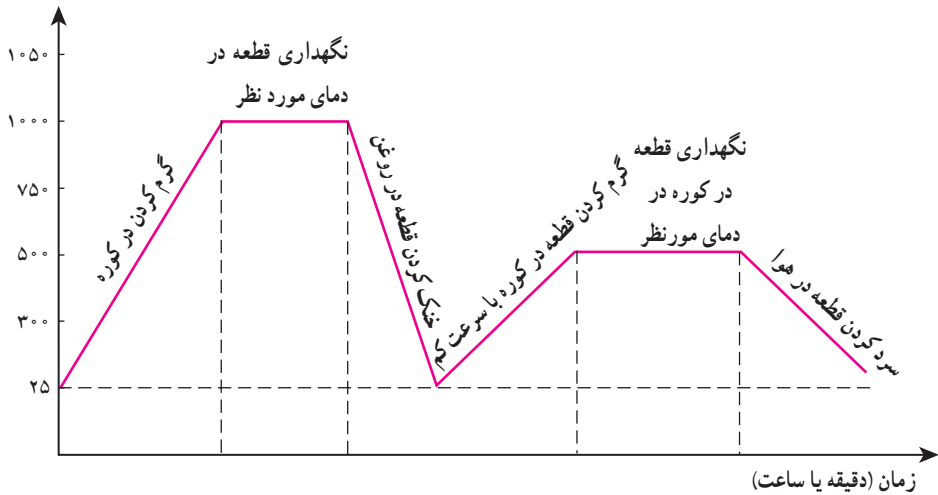
۲- دمای عملیات حرارتی

۳- زمان توقف یا نگهداری قطعه در دمای فوق

۴- سرعت سرد کردن

نمودار (۱-۴) نمودار عملیات حرارتی یک قطعه فلزی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید برای رسیدن به خواص مورد نظر در قطعه ممکن است لازم باشد اجرای عملیات حرارتی در چند سیکل مختلف صورت پذیرد یعنی قطعه در چند مرحله با شرایط و برنامه زمان‌بندی متفاوتی گرم و سرد شود.

دما (سانتی‌گراد)



نمودار ۱-۴- نمودار عملیات حرارتی یک قطعه فلزی که از دو سیکل تشکیل شده است.

#### ۱-۲-۴ اهداف عملیات حرارتی: به طور معمول عملیات حرارتی به منظور افزایش

سختی و استحکام قطعات فلزی و آلیاژهای آنها صورت می‌گیرد ولی گاهی به دلایل دیگر مثل: کاهش سختی، افزایش قابلیت شکل پذیری، بهبود خواص هدایت الکتریکی و حرارتی یا بهبود خواص مغناطیسی از عملیات حرارتی استفاده می‌شود.

به طور کلی هدف‌های مورد نظر از انجام عملیات حرارتی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

۱- افزایش سختی و استحکام

۲- نرم شدن و افزایش قابلیت شکل پذیری

۳- برگشت و یکنواخت کردن ساختار قطعه (حذف تغییرات ایجاد شده در ساختار قطعه فلزی

حین عملیات ساخت یا شرایط کاری مثل جوشکاری، نورد، ماشین کاری و غیره)

برای درک بهتر اثرات عملیات حرارتی به مثال‌های زیر توجه نمایید:

مثال ۱- تنش زدایی (حذف تنش‌های ایجاد شده و باقیمانده در ساختار سازه فلزی):

همان‌طور که در شکل (۲-۴) می‌بینید در طی فرآیند ساخت سازه‌های فلزی در اثر عملیاتی نظیر: نورد، خم کاری، جوشکاری، ماشین کاری و غیره بخشی از تنش‌ها با نیروهای اعمال شده به قطعه در ساختار داخلی آن باقی می‌مانند که به طور کلی تنش‌های باقیمانده نامیده می‌شوند.



شکل ۱-۴- فرآیند جوشکاری و شکل دادن

این تنش‌ها در صورتی که حذف یا کاهش پیدا نکنند باعث کاهش استحکام و طول عمر سازه فلزی می‌شوند. مقدار و نوع این تنش‌ها علاوه بر جهش قطعه به نوع و مقدار عملیاتی بستگی دارد که روی آن صورت می‌گیرد بنابراین همان‌طور که در شکل (۲-۴) ملاحظه می‌شود در انتهای فرآیند ساخت قطعات و سازه‌های فلزی جهت حذف یا کاهش مقدار تنش‌های باقیمانده و ایجاد ساختار یکنواخت، سازه فلزی را برای مدت معینی در درمائی از پیش تعیین شده قرار می‌دهند و سپس آن را به آرامی سرد می‌کنند.



شکل ۲-۴- کوره عملیاتی حرارتی



**مثال ۲-** افزایش سختی و استحکام : چنانچه آلیاژی از فولاد با ترکیب ۴٪ درصد کربن، ۸٪ درصد منگنز، ۱ درصد کروم، ۲٪ درصد مولیبدن را اگر به مدت کافی تا ۸۴۰ درجه سانتیگراد حرارت دهیم و سپس آن را به سرعت در روغن سرد کنیم، سختی آن حدود ۵ برابر افزایش می‌یابد. چرخ‌دنده‌ها قطعاتی هستند که در شرایط کاری به شدت تحت سایش، ضربه و خوردگی قرار می‌گیرند بنابراین مطلوب است سطح آنها به شدت سخت باشد تا کمتر دچار سایش و خوردگی شوند از طرف دیگر دوست داریم قسمت‌های داخلی آن (مغز قطعه) به منظور تحمل ضربات مکانیکی نرم‌تر باشد. همچنین در حین فرآیند ساخت و ماشین‌کاری هرچه قطعه نرم‌تر باشد سرعت و هزینه‌های ماشین‌کاری کاهش می‌یابد. بنابراین به‌طور معمول جنس چنین قطعاتی طوری انتخاب می‌شود که قابلیت سختی‌پذیری در اثر عملیات حرارتی را داشته باشند لذا قطعه را در شرایطی که از ساختار به نسبت نرمی برخوردار است ماشین‌کاری نموده و می‌سازند سپس با انجام عملیات حرارتی تحت شرایط معین و از پیش برنامه‌ریزی شده مطابق شکل (۳-۴) اقدام به سخت‌کاری سطح آن می‌نمایند لازم به ذکر است در این نوع عملیات حرارتی سرعت سرد کردن نهایی قطعه سریع صورت می‌گیرد و برای این منظور به‌طور معمول از آب، آب نمک یا روغن استفاده می‌شود.

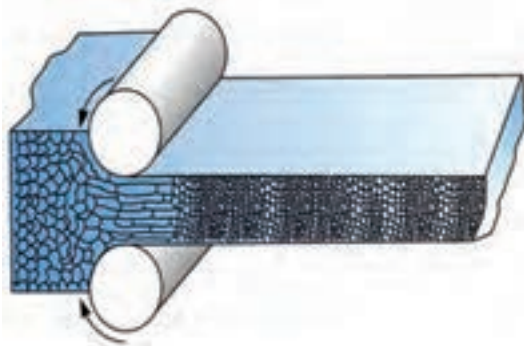


شکل ۳-۴- عملیات حرارتی سخت‌کاری سطح چرخ‌دنده بزرگ فولادی

**مثال ۳-** افزایش سختی و استحکام از طریق اعمال عملیات حرارتی خاص فولادها نیست بلکه سختی و استحکام بعضی از آلیاژهای غیرآهنی را نیز با انجام عملیات حرارتی می‌توان بهبود بخشید؛ به عنوان مثال، آلیاژ آلومینیم - مس با ترکیب ۹۶ درصد آلومینیم و ۴ درصد مس چنانچه به مدت کافی در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد نگه داریم و سپس به سرعت آن را در آب سرد فرو کنیم،

سختی آن حدود ۶۴ برینل می‌شود. اکنون، اگر دوباره آلیاژ را به مدت کافی در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد حرارت دهیم، سختی آن به ۱۲۰ برینل می‌رسد.

### ۳-۴- کار مکانیکی



شکل ۴-۴- ساختار قطعه فلزی در اثر نورد فشرده می‌شود.

همان‌گونه که پیش از این گفته شد، یکی از ویژگی‌های فلزات قابلیت کار مکانیکی بر روی آنهاست؛ یعنی، فلزات را می‌توان بر اثر اعمال نیرو تغییر شکل داد و آنها را به ورق، مفتول یا شکل‌های دیگر تبدیل کرد. هنگامی که در دمای محیط بر روی یک فلز کار مکانیکی انجام شود مطابق آنچه که در شکل (۴-۴) به صورت

شمارتیک نشان داده شده است، به دلیل تغییر شکل و فشرده شدن دانه‌های فلز و باقی ماندن بخشی از تنش اعمال شده در ساختار داخلی ماده استحکام و سختی فلز افزایش می‌یابد و از قابلیت شکل پذیری آن کاسته می‌شود؛ انجام این کار در مورد فلزات غیر آهنی هم صدق می‌کند.

در شکل (۴-۵) بخشی از خط نورد شرکت فولاد مبارکه اصفهان مشاهده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید قبل از شروع نورد قطعات فولادی که تختال نامیده می‌شوند به منظور نرم شدن و افزایش قابلیت شکل پذیری و سرعت نورد در کوره‌های مخصوصی گرم می‌شوند و به صورت گداخته وارد خط نورد می‌شوند و محصول نهایی که ورقه‌هایی با ضخامت‌های متفاوت می‌باشد تولید می‌شوند. به این فرآیند در اصطلاح نورد گرم گفته می‌شود، چنانچه عملیات نورد در دمای محیط صورت پذیرد مطابق آنچه شکل (۴-۶) دیده می‌شود در اصطلاح نورد سرد می‌گویند. در هر صورت عملیات نورد چه به صورت گرم انجام شود و چه به صورت سرد صورت پذیرد به دلیل اعمال نیرو و فشرده شدن ساختار کریستالی فلز یا آلیاژ و نیز باقی ماندن بخشی از تنش اعمال شده محصول از درجه سختی بیشتری برخوردار می‌شود.

همان‌طور که پیشتر نیز گفته شده میزان افزایش سختی یا استحکام در اثر کار مکانیکی علاوه بر جنس فلز یا آلیاژ به مقدار کار مکانیکی صورت گرفته و دمای انجام آن بستگی دارد. همچنین لازم



شکل ۴-۵



شکل ۴-۶

به ذکر است منظور از کار مکانیکی شیوه‌های مختلف اعمال نیرو و ایجاد تنش در ساختار داخلی فلز با آلیاژ می‌باشد.

به‌عنوان مثال در دستگاه‌هایی که برای خرد کردن سنگ‌ها (سنگ شکن‌ها) ساخته می‌شوند و یا در بیل‌های مکانیکی که برای عملیات حفاری و خاک‌برداری استفاده می‌شوند، چون در شرایط کاری به‌شدت تحت سایش و ضربه قرار دارند لذا، جنس چنین وسایلی را از ترکیب فولادی مخصوصی می‌سازند که در حین کار و وارد شدن ضربه یا نیرو قابلیت سخت شدن سطحی دارد و از این طریق کارایی و طول عمر آنها افزایش می‌یابد.

#### ۴-۴- آلیاژسازی

به‌طور کلی فلزات در حالت خالص از درجه سختی و استحکام کمتری برخوردار می‌باشند لذا یکی از راهکارهای متداول و معمول برای افزایش خواص مکانیکی فلزات با آلیاژها اضافه کردن عناصر آلیاژی دیگر به ساختار آنها می‌باشد (شکل ۴-۷). به‌عنوان مثال، از طریق اضافه کردن عناصر آلیاژی مختلف به ساختار آهن امروزه هزاران ترکیب مختلف فولادی با خواص فیزیکی، مکانیکی و تکنولوژیکی متفاوت در بازار وجود دارد.

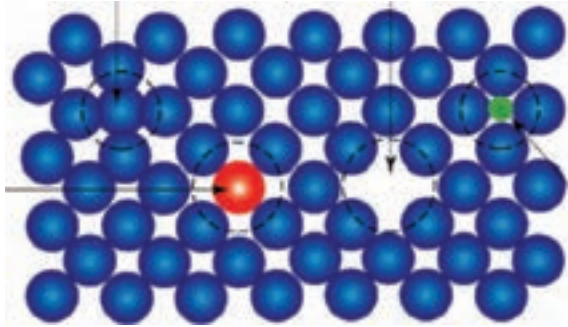


شکل ۴-۷- اضافه کردن عناصر آلیاژ به کوره فولادسازی

### ۱-۴-۴- مکانیزم استحکام بخشی توسط عناصر آلیاژی: همان‌طور که در فصل

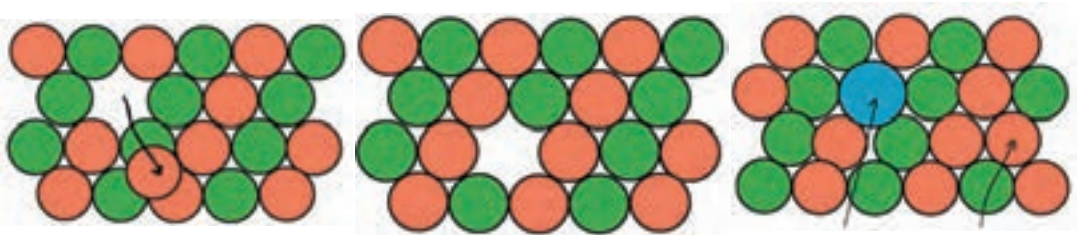
گذشته گفته شد فلزات در حالت جامد دارای ساختارهای بلوری می‌باشند و اکثر فلزات صنعتی پرکاربرد دارای سه نوع شبکه کریستالی (BCC یا مکعبی مرکز پر، FCC یا مکعبی با وجوه مرکز پر و HCP یا منشور شش وجهی فشرده) می‌باشند. بنابراین طی فرآیند استحکام بخشی از طریق اضافه کردن یک یا چند عنصر به شبکه اتمی فلز مورد نظر در حالت کلی، سه حالت اتفاق می‌افتد؛

۱- در صورتی که مقدار عنصر آلیاژی کم باشد (بستگی به حلالیت فلز پایه دارد) و اندازه اتم‌های عنصر آلیاژی کوچک باشد. (مثل اتم‌های کربن در داخل شبکه آهن) در این صورت مطابق شکل (۸-۴) اتم‌های اضافه شده در فضاهای خالی بین اتم‌های فلز پایه قرار می‌گیرند (حالت بین‌نش).



شکل ۸-۴

۲- چنانچه مقدار عنصر آلیاژی کم باشد ولی اندازه اتم‌های عنصر آلیاژی بزرگ باشند و سایر شرایط را نیز دارا باشند. مطابق شکل (۹-۴) به جای بعضی از اتم‌های فلز پایه در شبکه کریستالی قرار می‌گیرند. نظیر اتم‌های روی در شبکه کریستالی فلز مس (حالت جانشین).



شکل ۹-۴

۳- درحالتی که مقدار عنصر آلیاژی بیش از حد حلالیت در فلز پایه باشد منجر به تشکیل ترکیبات فلزی جدید می‌شود که نوع این ترکیبات، مقدار آنها و چگونگی توزیع آنها در داخل فلز پایه بستگی به نوع عناصر آلیاژی و واکنش‌پذیری آنها با اتم‌های فلز پایه دارد (ایجاد ترکیبات فلزی جدید).

بدین ترتیب در هر سه حالت به دلیل حضور و قرار گرفتن عناصر دیگر و یا ترکیبات جدید در داخل شبکه اتمی فلز پایه آرایش اتمی فلز پایه و ساختار آن دچار تغییر می‌شود و در نتیجه حرکت اتم‌های فلز پایه در اثر اعمال نیروی خارجی مشکل‌تر می‌گردد. به عبارت دیگر اتم‌های اضافه شده و یا ترکیبات فلزی جدید به صورت مانعی در سر راه حرکت اتم‌های فلز پایه عمل می‌نمایند و بدین ترتیب مقدار نیروی لازم برای جابه‌جایی اتم‌ها در شبکه فلز پایه و یا تغییر شکل آن بالا می‌رود و به اصطلاح گفته می‌شود؛ استحکام یا سختی آلیاژ افزایش یافته است.

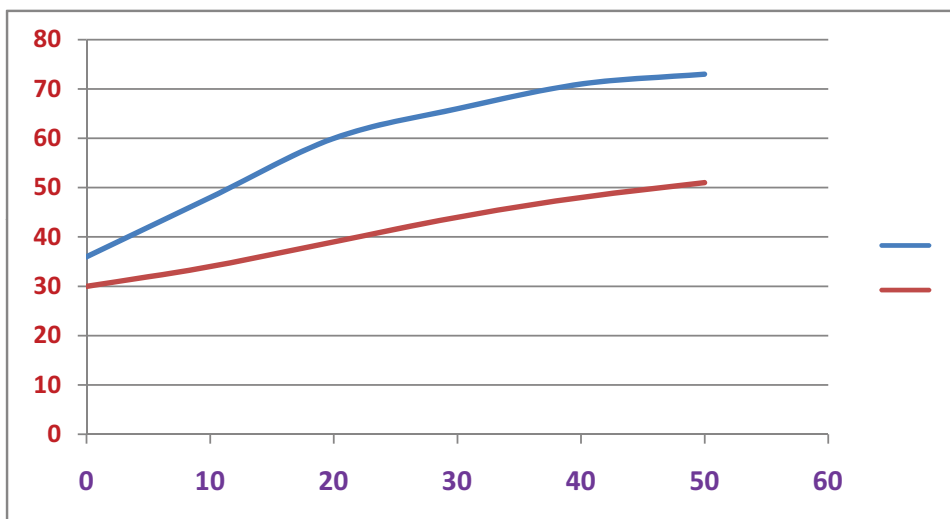
بنابراین در حالت کلی نتیجه این مکانیزم استحکام بخشی را روی خواص فلزات به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد:

- ۱- استحکام و سختی آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص بیشتر است.
- ۲- انعطاف‌پذیری یا شکل‌پذیری آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.
- ۳- جوش‌پذیری آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.
- ۴- هدایت الکتریکی و حرارتی آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص بسیار کمتر است.
- ۵- نقطه ذوب آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.

به مثال زیر توجه کنید:

مثال ۴- همان‌گونه که در نمودار (۲-۴) مشاهده می‌شود، هر قدر مقدار نیکل در آلیاژ مس -

نیکل افزایش یابد، سختی و استحکام آلیاژ به دست آمده افزایش پیدا می‌کند. ملاحظه می‌شود، با افزایش حدود ۴۰ درصد نیکل به مس سختی آن از ۳۶ به ۷۳ برینل می‌رسد؛ یعنی سختی آن دو برابر و استحکام آن نیز بیش از ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. همان‌گونه که گفته شد، آلیاژسازی تنها برای افزایش یا بهبود استحکام فلز صورت نمی‌گیرد بلکه برای بهبود دیگر ویژگی‌های آن نیز ممکن است، انجام شود.



نمودار ۲-۴- تغییرات خواص آلیاژ مس- نیکل بر حسب مقادیر مختلف نیکل

## آزمون پایانی

- ۱- هدف از بهبود بخشیدن خواص فلزات چیست؟
- ۲- سه روش بهبود بخشیدن خواص فلزات را نام ببرید.
- ۳- منظور از عملیات حرارتی چیست؟
- ۴- موارد استفاده عملیات حرارتی در صنعت چیست؟
- ۵- کار مکانیکی و موارد استفاده آن را در بهبود بخشیدن به خواص فلزات توضیح دهید.
- ۶- آلیاژسازی به چه منظور انجام می‌گیرد و موارد استفاده آن چیست؟

# فصل پنجم

## فلزات آهنی



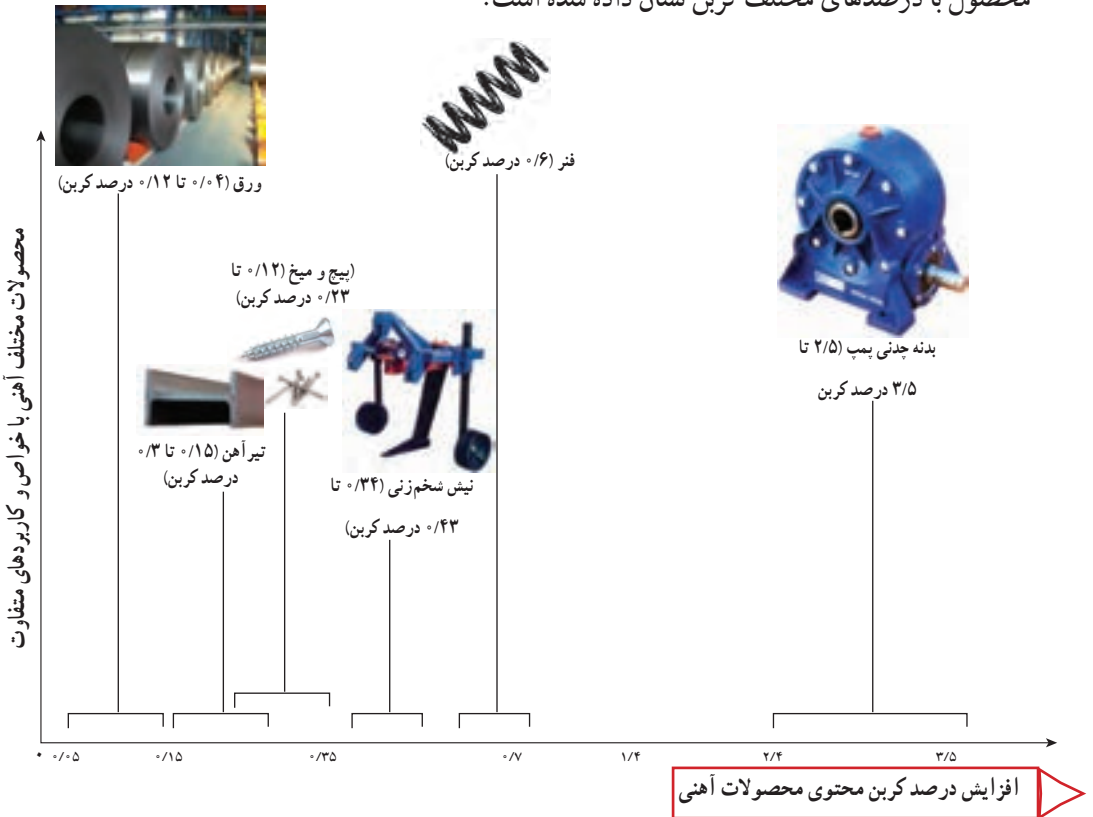
**هدف رفتاری :** با یادگیری این فصل هنرجو می تواند :

- ۱- آلیاژهای آهنی را دسته بندی نماید.
- ۲- طبقه بندی فولادها را توضیح دهد.
- ۳- کاربردهای فولادها را شرح دهد.
- ۴- انواع چدن و موارد کاربرد آنها را بیان کند.



پرمکاربردترین ماده مورد استفاده در صنعت کدام است؟

پرمکاربردترین مواد صنعتی، آلیاژهای آهن می‌باشند که به دلیل پایین بودن خواص مکانیکی مثل: سختی و استحکام، آهن خالص کاربرد چندانی ندارد. بنابراین آنچه ما در اطراف خود از وسایل آهنی می‌بینیم مثل: میز، صندلی، در و پنجره، دوچرخه، موتورسیکلت، ماشین و غیره در حقیقت از فولاد (آلیاژهای آهن) ساخته شده‌اند. آلیاژهای آهن در صنعت به دو صورت فولادها و چدن‌ها (آلیاژ آهن، کربن و سیلیسیم همراه با عناصر دیگر هستند)، مورد استفاده قرار می‌گیرند که در شکل (۱-۵) چند محصول با درصدهای مختلف کربن نشان داده شده است.



شکل ۱-۵- نیم ساخته‌ها و محصولات آهنی با کاربردهای مختلف

۱- آلیاژ فلزی: محلول جامدی است که حداقل یکی از اجزاء آن فلز باشد و ترکیب نهایی خواص فلزی داشته باشد.

## ۵-۲- دسته بندی فلزات پایه آهنی

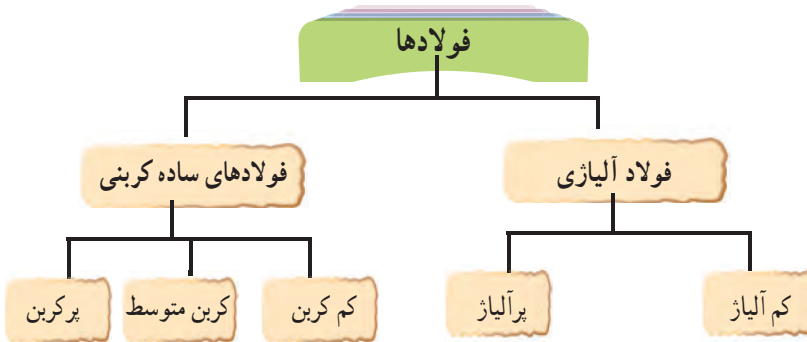
کربن و دیگر عناصر آلیاژی در ترکیب با آهن طیف گسترده‌ای از خواص را در فلزات آهنی ایجاد می‌کنند که می‌توان با شناخت این خواص از آنها در صنایع مختلف استفاده نمود. فلزات پایه آهنی بر اساس میزان کربن به دو دسته کلی تقسیم بندی می‌شوند (نمودار ۵-۱).

فولادها	به طور معمول کمتر از ۲ درصد کربن دارند
چدن‌ها	بیش از ۲ درصد تا حدود ۶ درصد کربن دارند

نمودار ۵-۱- دسته بندی فلزات پایه آهنی بر حسب مقدار کربن

## ۵-۳- فولاد

به طور کلی می‌توان فولادها را مطابق نمودار (۵-۲) تقسیم بندی کرد.



نمودار ۵-۲- تقسیم بندی فولادها

### ۵-۳-۱- فولادهای ساده کربنی<sup>۱</sup>: فولادهای ساده کربنی به آن دسته از فولادها اطلاق

می‌شود که کربن اصلی ترین و مؤثرترین عنصر آلیاژی آن می‌باشد و با افزایش میزان کربن استحکام فولاد افزایش پیدا می‌کند. فولادهای ساده کربنی مطابق نمودار (۵-۳) به سه گروه تقسیم می‌شوند.

کم کربن

میزان کربن در حد کمتر از ۰/۲۵٪ است

کربن متوسط

میزان کربن حدود ۰/۲۵٪ تا ۰/۶۵٪ می باشد.

پرکربن

میزان کربن به طور معمول بیشتر از ۰/۶۵٪ می باشد.

نمودار ۳-۵- تقسیم بندی انواع فولادهای ساده کربنی

الف) فولاد ساده کم کربن : این نوع فولاد که برای عموم قطعات مهندسی، سازه ها و پل ها، صنایع کشتی سازی و بدنه واگن ها و ... بکار می روند، از خواص شکل پذیری، ماشین کاری، جوشکاری و مغناطیسی خوبی برخوردار می باشند (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- کاربرد فولادهای ساده کم کربن

ب) فولادهای ساده کربن متوسط : در صنایع حمل و نقل به خصوص راه آهن (چرخ و محور واگن‌ها)، قطعات خودرو و ماشین آلات صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فولادها علاوه بر داشتن خواص ماشین کاری و جوشکاری مناسب از قابلیت سختی پذیری بالایی برخوردار هستند (شکل ۳-۵).



ب) سازه‌های مربوط به فرآوری مواد معدنی



الف) اکسل عقب و دیفرانسیل اتومبیل

شکل ۳-۵- کاربرد فولادهای ساده کربن متوسط

ج) فولادهای ساده پرکربن : در مواردی که به سختی بالایی نیاز باشد از فولادهای ساده پرکربن استفاده می‌شود مانند تیغ‌های برش، غلتک نورد و ... که در شکل (۴-۵) دو نمونه از این قطعات صنعتی نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- کاربرد فولادهای ساده پرکربن

تقسیم‌بندی فولادهای ساده کربنی: قدیمی‌ترین تقسیم‌بندی برای فولادهای ساده کربنی  
 پرکاربرد در صنعت بر اساس استاندارد ۱۷۱۰۰-DIN کشور آلمان انجام شده است و در صنایع  
 کشور ما نیز متداول می‌باشد که در جدول (۱-۵) مشاهده می‌کنید<sup>۱</sup>.


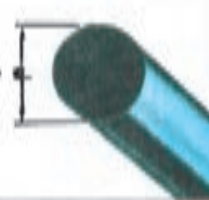
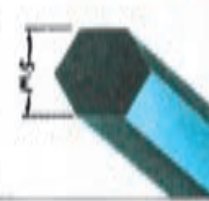
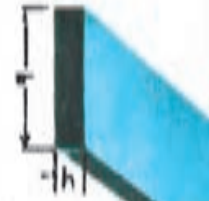


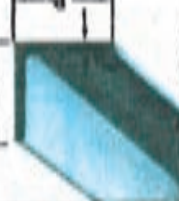
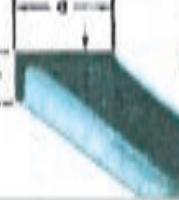


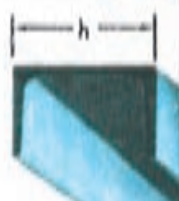

جدول ۱-۵- نمونه‌ای از فولادهای ساده کربنی بر اساس استاندارد DIN

مقدار کربن بر حسب %	استحکام (کیلوگرم بر میلی متر مربع)	علامات مشخصه کارخانه				فولاد با درجه کیفیت متفاوت		
		ورق متوسط	ورق ضخیم	آهن فرم‌دار و پرفیل	نیمه ساخت	۳ برای خواص مخصوص	۲ برای خواص عالی	۱ برای خواص عادی
تعیین نشده است	۵۰ تا ۳۳	St ۰۰-۲۲	St ۰۰-۲۱	St ۰۰-۱۲	St ۰۰-۱۱	-	-	St ۳۳
۰/۱۷	۴۲ تا ۳۴	-	-	St ۳۴-۱۲	St ۳۴-۱۱	St ۳۴-۳	St ۳۴-۲	St ۳۴
۰/۲۰	۴۵ تا ۳۷	St ۳۷-۲۲	St ۳۷-۲۱	St ۳۷-۱۲	St ۳۷-۱۱	St ۳۷-۳	St ۳۷-۲	St ۳۷
۰/۲۵	۵۰ تا ۴۲	St ۴۲ تا ۲۲	St ۴۲-۲۱	St ۴۲-۱۲	St ۴۲-۱۱	St ۴۲-۳	St ۴۲-۲	St ۴۲
۰/۳۰	۶۰ تا ۵۰	St ۵۰ تا ۲۲	-	-	-	-	St ۵۰-۲	St ۵۰
۰/۲۰	۶۲ تا ۵۲	-	-	-	-	St ۵۲-۳	-	-
۰/۴۰	۷۲ تا ۶۰	St ۶۰ تا ۲۲	-	-	-	-	St ۶۰-۲	St ۶۰
۰/۵۰	۸۵ تا ۷۰	St ۷۰ تا ۲۲	-	-	-	-	St ۷۰-۲	-

همانطور که در جدول (۱-۵) مشاهده می‌شود با افزایش درصد کربن، استحکام و سختی  
 فولادها افزایش می‌یابد ولی قابلیت جوشکاری و انعطاف پذیری آنها کاهش می‌یابد.  
 جدول (۲-۵) انواع نیم ساخته‌های مهم فلزی به همراه علائم اختصاری آنها را بر اساس  
 استاندارد ۱۳۵۳-DIN نشان می‌دهد.

۱- ویژگی برخی از فولادهای پر کاربرد در قسمت ضمیمه کتاب آمده است.

جدول ۲-۵- نیم ساخته فلزی و علامت اختصاری آنها بر اساس استاندارد ۱۳۵۳- DIN

 <p>فولاد چهار پهلو  <math>s</math>                      ۱۵                      یا Ke ۱۱۶ (فولاد)                      چهار پهلو به ضخامت                      ۱۶ سانتی (متر)</p>	 <p>فولاد گرد  <math>d</math>                      یا Rd ۸ (فولاد گرد)                      قطر ۸ میلی متر</p>	 <p>فولاد شش پهلو  <math>s</math>                      یا Ke ۱۷ (فولاد)                      شش پهلو به عرض چهار                      گیر ۱۷ سانتی (متر)</p>	 <p>فولاد تخت (تسمه)  <math>b</math>  <math>h</math>                      یا Fl ۴۰ X ۸ (فولاد تخت به عرض ۴۰ و ضخامت ۸ میلی متر)</p>	 <p>ورق  <math>t</math>                      یا Bt ۲                      ورق به ضخامت                      ۲ میلی متر</p>	 <p>لیوله  <math>D</math>  <math>d</math>                      یا ۱۶ لیوله ۲                      لیوله بدون درز با قطر                      خارجی ۱۶ میلی متر و                      ضخامت دیواره ۲ میلی متر</p>
 <p>فولاد گونای قرینه  <math>L</math>  <math>t</math>                      یا L ۴۰ x ۴                      فولاد گونای لبه گرد                      با عرض ساق ۴۰ میلی متر و ضخامت ۴ میلی متر</p>	 <p>فولاد گونای غیر قرینه  <math>L</math>  <math>t</math>                      یا L ۴۰ x ۲۰ x ۴                      فولاد گونای غیر قرینه                      عرض ساقها ۴۰ و ۲۰ میلی متر و ضخامت ۴ میلی متر</p>	 <p>فولاد تزه بلند  <math>b</math>  <math>h</math>                      یا T ۳۰                      فولاد تزه بلند                      شکل T با لبه گرد                      بارشعاع ۳۰ میلی متر</p>	 <p>فولاد شکل I  <math>b</math>  <math>h</math>                      یا I ۱۲۰                      فولاد دو لبه T                      بارشعاع ۱۲۰ میلی متر</p>	 <p>فولاد شکل C  <math>b</math>  <math>h</math>                      یا C ۱۰۰                      فولاد شکل U                      با لبه گرد ۱۰۰ میلی متر</p>	 <p>فولاد شکل Z  <math>b</math>  <math>h</math>                      یا Z ۴۰                      فولاد شکل Z                      به گرد بارشعاع ۴۰ میلی متر</p>

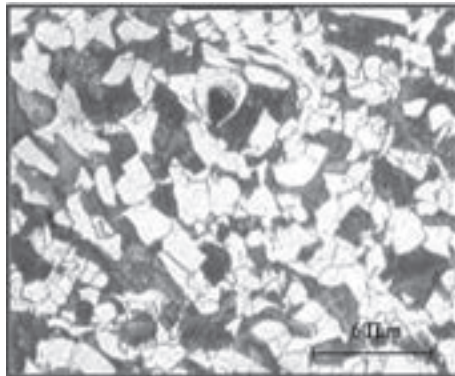
## ۲-۳-۵- ارتباط ساختار میکروسکوپی با خواص مکانیکی : وقتی که مذاب فولاد

داخل قالب ریخته‌گری سرد می‌شود، بسته به میزان کربن موجود در فولاد ساختار نهایی فولاد متفاوت است. در شکل (۵-۵) تفاوت ساختار میکروسکوپی بین سه فولاد ساده کربنی (کم کربن، کربن متوسط و پرکربن) که به آهستگی در دمای محیط سرد شده‌اند از نظر شکل ساختار مشاهده می‌شود.

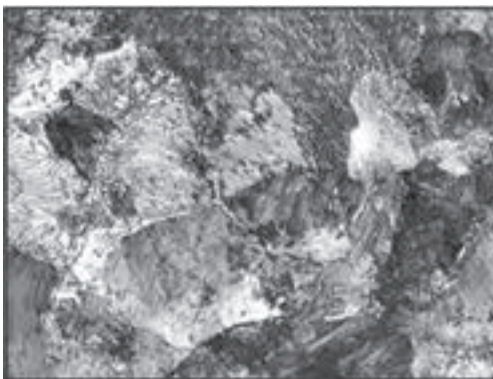
فولاد ساده کم کربن



فولاد ساده کربن متوسط



فولاد ساده پر کربن



شکل ۵-۵- ساختارهای متفاوت فولاد ساده کربنی بر اساس میزان کربن

### متالوگرافی<sup>۱</sup>

به علم و هنر آماده‌سازی نمونه‌های فلزی و بررسی ریز ساختار میکروسکوپی آنها متالوگرافی گفته می‌شود. با این کار اطلاعات ارزشمندی در زمینه ریز ساختار کریستالی، کار مکانیکی و عملیات حرارتی احتمالی صورت گرفته بر روی فلز و تا حدودی ترکیب شیمیایی آن را می‌توان به دست آورد.

فرآیند متالوگرافی به سه مرحله تقسیم بندی می‌شود؛

۱- آماده‌سازی نمونه (شامل برش، بافت و سنباده‌زنی)

۲- پولیش و اچ کردن

۳- مطالعه نمونه زیر میکروسکوپ

این اختلاف ساختار فولاد خواص مکانیکی متفاوتی را ایجاد می‌کند که در جدول (۳-۵) این اختلاف در خواص مکانیکی برای سه نوع فولاد ساده کربنی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش درصد کربن استحکام تنش تسلیم فولاد کربنی افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۳-۵- اختلاف در خواص مکانیکی فولاد ساده کربنی (بر حسب مقدار متفاوت کربن)


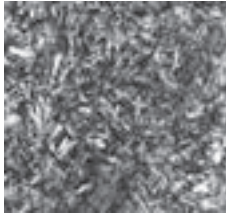
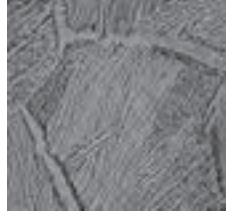
فولاد ساده پرکربن (CK۶۰)	فولاد ساده کربن متوسط (CK۴۵)	فولاد ساده کم کربن (CK۱۵)	نوع فولاد خاصیت مکانیکی
۷۸۰-۹۳۰	۶۵۰-۸۰۰	۵۹۰-۷۸۰	استحکام کششی (MPa)
۴۹۰	۳۶۵	۳۵۵	تنش تسلیم (MPa)

اختلاف در خواص فولاد ساده کربنی، علاوه بر مقدار کربن موجود در فولاد به دلیل دیگری نیز می‌تواند ایجاد شود و آن انجام عملیات حرارتی روی فولاد می‌باشد که در فصل چهارم توضیح داده شده است. همان‌طور که در جدول (۴-۵) مشاهده می‌کنید، چنانچه یک فولاد ساده کربنی (کربن متوسط) با سرعت متفاوت سرد شود منجر به تشکیل سه نوع ساختار با خواص مکانیکی مختلف می‌شود.

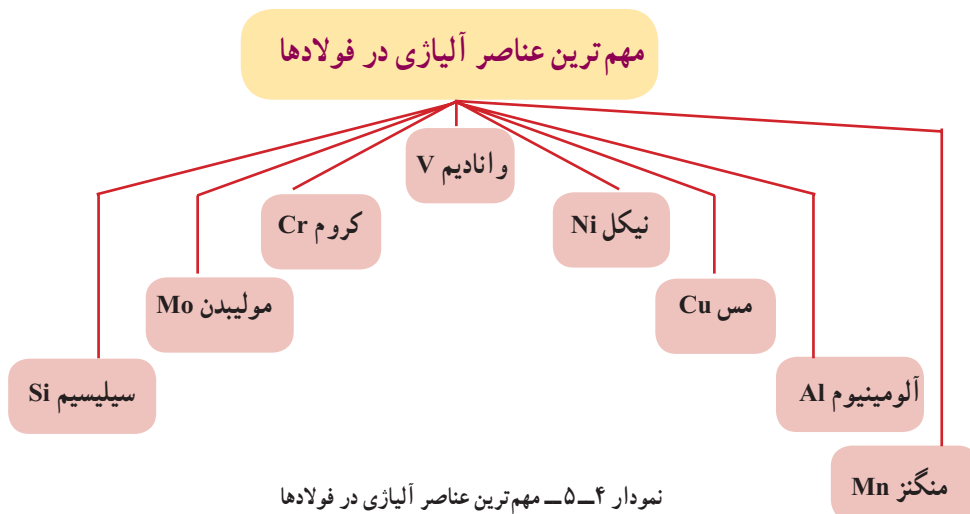
۱- Metallography



جدول ۴-۵- تأثیر سرعت سرد کردن فولاد ساده کربنی روی ساختار و خواص مکانیکی آن

			ریز ساختار فولاد
سرعت سرد کردن بالا (سرد کردن در آب)	سرعت سرد کردن متوسط (سرد کردن در هوا)	سرعت سرد کردن پایین (سرد کردن در کوره)	خواص مکانیکی
۷۴۰	۶۹۰	۶۶۰	استحکام کششی (MPa)
۴۰۳	۳۸۴	۳۶۷	تنش تسلیم (MPa)

۳-۳-۵- فولادهای آلیاژی: برای بهبود خواص فولادها که در نمودار (۵-۵) به دلایل اصلی آن اشاره شده است، عناصری آلیاژی به آن افزوده می‌شود که مهم‌ترین عناصر آلیاژی در نمودار (۴-۵) مشاهده می‌شوند.





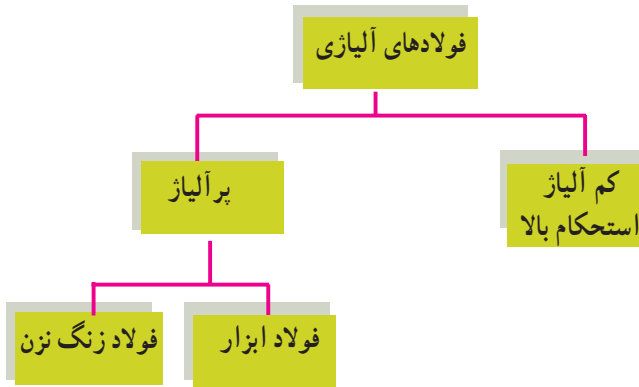
شکل ۵-۶- افزودن عناصر آلیاژی به مذاب فولاد در کارخانه فولادسازی



نمودار ۵-۵- دلایل افزودن عناصر آلیاژی به فولاد

۱- چقرمگی یا تافنس (Toughness): در علم متالورژی و مواد به مقاومت ماده در برابر شکست در اثر اعمال تنش گفته می‌شود و به صورت میزان انرژی جذب شده قبل از شکست در واحد حجم تعریف می‌شود. این کمیت را می‌توان از طریق محاسبه سطح زیر منحنی تنش - کرنش محاسبه کرد. بنابراین هرچه چقرمگی ماده‌ای بیشتر باشد انرژی لازم برای شکست آن بیشتر است.

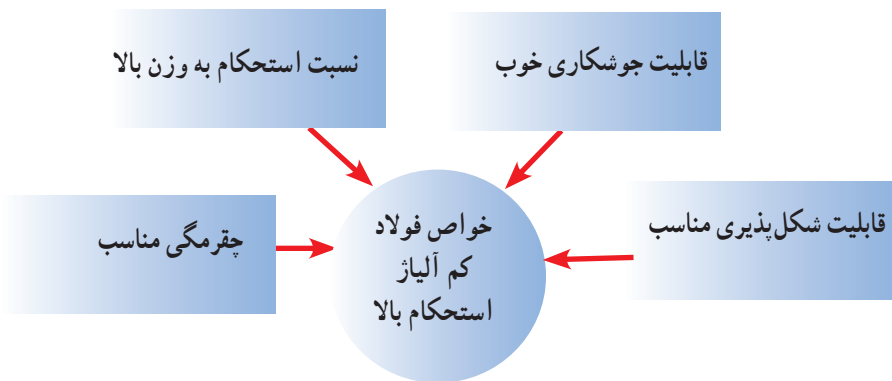
فولادهای آلیاژی را می‌توان مطابق نمودار (۵-۶) تقسیم بندی کرد.



نمودار ۵-۶- دسته‌بندی فولادهای آلیاژی

**الف) فولاد کم آلیاژ استحکام بالا (HSLA):** این نوع فولاد که فولاد میکرو آلیاژی نیز نامیده می‌شود، نوعی فولاد آلیاژی است که با افزودن مقدار اندکی از عناصر آلیاژی نظیر مولیبدن، وانادیوم و تیتانیوم تهیه می‌شود (مجموع عناصر آلیاژی در این دسته از فولادها کمتر از ۵ درصد است).

فولادهای میکروآلیاژی نسبت به دیگر فولادها دارای خواص منحصر بفردی می‌باشند، که در نمودار (۵-۷) نمایش داده می‌شود.



نمودار ۵-۷- خواص منحصر به فرد فولاد کم آلیاژ استحکام بالا

مهم‌ترین ویژگی این فولادها بالا بودن نسبت استحکام به وزن و چقرمگی مناسب می‌باشد. بنابراین در صنایعی که کاهش وزن مورد توجه است، استفاده از میکرو آلیاژها مرسوم می‌باشد. به عنوان مثال در صنایع خودروسازی برای انتخاب ورق بدنه خودرو معیار اصلی دارا بودن استحکام بالا به همراه وزن کم می‌باشد که از ورق‌های HSLA با ضخامت کم استفاده می‌شود.

فولادهای میکرو آلیاژی بدون شک یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های متالورژیکی نیم قرن اخیر بوده است. این فولادها یک ترکیب عالی از خواص مختلف از جمله استحکام، انعطاف‌پذیری، چقرمگی، شکل‌پذیری و جوش‌پذیری را دارا می‌باشد.

ب) فولادهای ابزار<sup>۱</sup>: فولادهای ابزار گروهی از فولادها هستند که در ساخت ابزار مانند تیغه اره، تیغه قیچی، سوهان، شکل (۷-۵) قلم تراش، سوزن خط‌کشی و قالب‌های نورد و پرس مورد استفاده قرار می‌گیرند. سختی‌پذیری بالا، مقاومت سایشی مناسب، پایداری ابعادی خوب (انقباض و انبساط کم) و قابلیت عملیات حرارتی از جمله خواص مهم فولاد ابزار می‌باشد.

میزان کربن این نوع فولادها از حدود ۰/۳۵ درصد تا حدود ۱/۲۵ درصد متغیر است و بسته به نوع فولاد ابزار ممکن است دارای عناصر آلیاژی خاص مثل: تنگستن، کروم، وانادیوم و مولیبدن نیز باشند.



شکل ۷-۵- کاربردهای فولاد ابزار

در جدول (۵-۵) نمونه‌ای از دسته‌بندی فولادهای ابزار بر اساس استاندارد AISI<sup>۲</sup> آمده است.

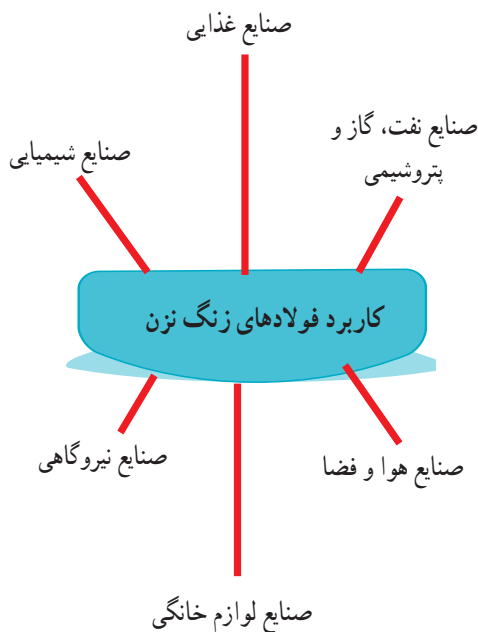
۱- Tools Steel

۲- American Iron and Steel Institute

جدول ۵-۵ - دسته‌بندی فولادهای ابزار بر اساس استاندارد AISI

ردیف	نوع فولاد ابزار	علامت اختصاری	ویژگی‌ها و کاربردهای صنعتی
۱	فولاد ابزار آب سخت شونده	W	سختی این فولادها در سطح HRC ۶۰ و در مغز HRC ۴۵ می‌باشد (دارای ۱/۴٪ کربن و مقدار کمی کروم و وانادیوم) و در صنایع چوب، نساجی و بندهزنی کاربرد دارد
۲	فولاد ابزار مقاوم به شوک	S	حاوی ۰/۵٪ کربن است و در مواقعی که تنش‌های ضربه‌ای تکراری وجود دارد به کار می‌رود مثل تیغه برش، قالب اکستروژن و قالب برش
۳	فولاد ابزار سرد کار <ul style="list-style-type: none"> <li>● روغن سخت شونده</li> <li>● هوا سخت شونده</li> <li>● پر کربن - پر کروم</li> </ul>	O A D	دارای مقاومت به سایش و چقرمگی مناسب می‌باشد و در انواع قالب‌های پلاستیک، لوازم کشاورزی، فلانرز و مته کاربرد دارد. (درصد کربن این فولادها بین ۱/۲۵٪ - ۰/۹٪ متغیر است.)
۴	فولاد ابزار گرم کار <ul style="list-style-type: none"> <li>● پایه کروم</li> <li>● پایه تنگستن</li> <li>● پایه موبیلدن</li> </ul>	H	این فولادها دارای ۰/۴ تا ۰/۳۵٪ کربن می‌باشند مقاوم به تغییر شکل کربن در دمای بالا و مقاومت نسبی به شوک گرمایی و مکانیکی دارند. همچنین در ساخت قالب اکستروژن، ریخته‌گری تحت فشار، فورج و نورد گرم کاربرد دارند.
۵	فولاد ابزار تند بر <ul style="list-style-type: none"> <li>● پایه تنگستن</li> <li>● پایه موبیلدن</li> </ul>	T M	این فولادها حدود ۱/۲۵ تا ۰/۷۵٪ کربن دارند و دارای عناصر کاربیدزا مانند وانادیوم، تنگستن و موبیلدن می‌باشند که در ساخت انواع ابزار تراش و فرز به کار می‌روند.
۶	فولاد ابزار کم آلیاژی خاص	L	عناصر اصلی این فولادها کروم و منگنز می‌باشند. این فولادها در روغن سخت کاری می‌شوند و در ساخت ابزارآلات مقاوم به سایش کاربرد دارند.

ج) فولاد زنگ نزن<sup>۱</sup>: فولادهای زنگ نزن از جمله فولادهای آلیاژی می‌باشند که مقاومت بالایی در برابر خوردگی دارند. فولادهای زنگ نزن حاوی حداقل ۱۰ درصد کروم هستند که عامل اصلی مقاومت در برابر خوردگی است. همچنین عناصر دیگری مانند نیکل و مولیبدن نیز به آن افزوده می‌شود. نمونه‌هایی از کاربرد فولادهای زنگ نزن در نمودار (۸-۵) آورده شده است.



نمودار ۸-۵- کاربرد فولادهای زنگ نزن

از معروف‌ترین و پرکاربردترین، فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ می‌باشد که ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی آن‌ها در جدول (۵-۶) مشاهده می‌شود.

جدول ۵-۶- ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶

نام (AISI)	Cr (درصد)	Ni (درصد)	C (درصد)	Mn (درصد)	Si (درصد)	P (درصد)	N (درصد)	استحکام نهایی MPa	سختی (HRB)
۳۰۴	۱۸ تا ۲۰	۸ تا ۱۰/۵	۰/۰۸	۲	۰/۷۵	۰/۰۴۵	۰/۱	۶۲۱	۸۲
۳۱۶	۱۶ تا ۱۸	۱۰ تا ۱۴	۰/۰۸	۲	۰/۷۵	۰/۰۴۵	۰/۱	۵۷۹	۷۹

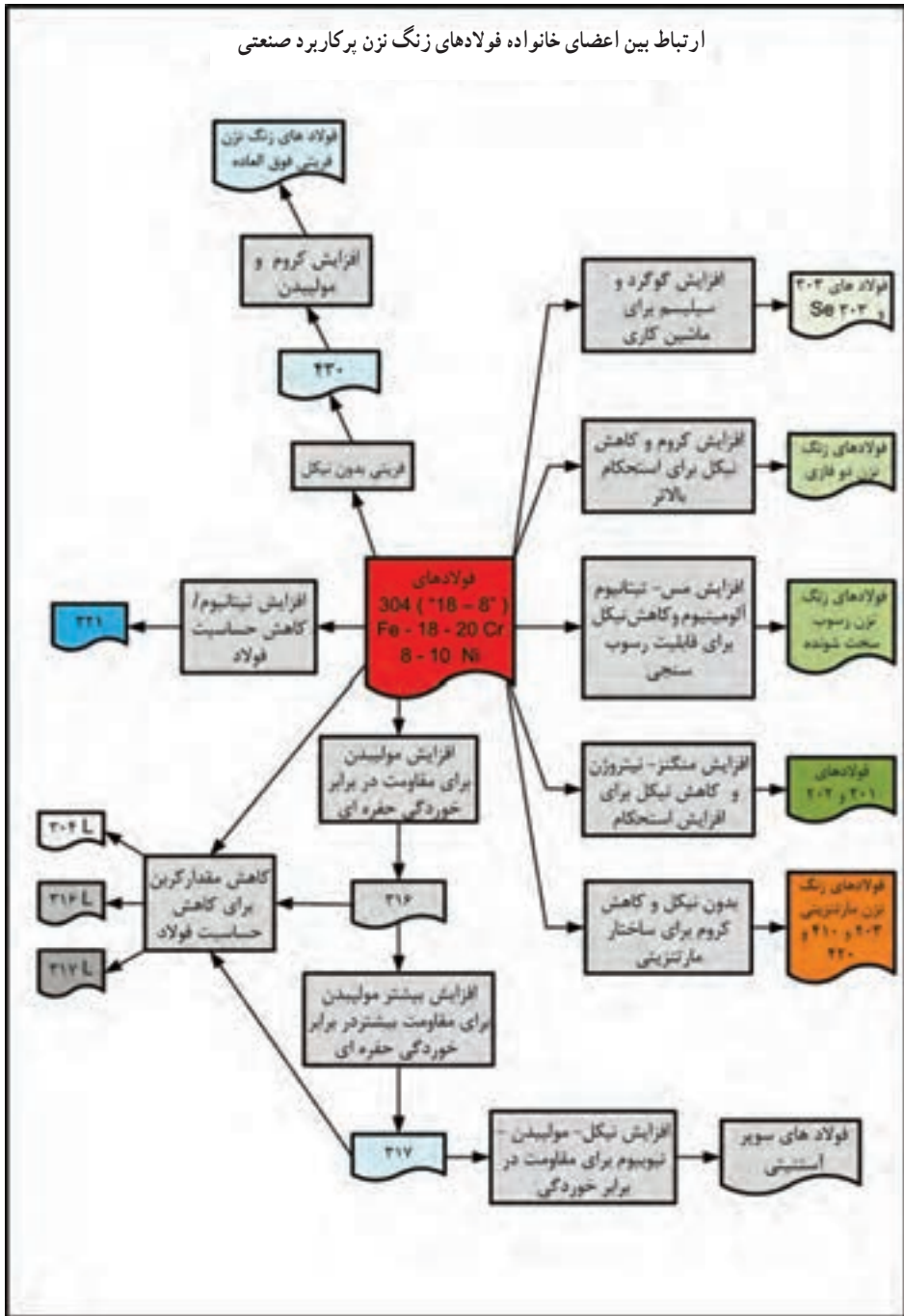
### بیشتر بدانیم

#### ساختار و فولاد زنگ نزن

فولادهای زنگ نزن از نظر ساختاری به فریتی، آستنیتی، مارتنزیتی و دوفازی تقسیم می‌شوند، که فولادهای با ساختار مارتنزیتی و فریتی خاصیت مغناطیسی دارند و به فولادهای بگیر معروف هستند، مانند: فولاد ۴۳۰.  
فولادهای کروم-نیکل دار که نیکل آنها بیش از ۶ درصد باشد، ساختار آستنیتی دارند و جذب آهن ربا نمی‌شوند که به فولادهای نگیر معروفند مانند: فولاد زنگ نزن (۳۰۴ و ۳۱۶).

در نمودار (۵-۹) اعضاء مهم و پرکاربرد خانواده فولادهای زنگ نزن معرفی شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌کنید فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در مرکز قرار دارد و با افزایش یا کاهش عناصر آلیاژی انواع دیگر فولادهای زنگ نزن به دست می‌آیند.

ارتباط بین اعضای خانواده فولادهای زنگ نزن بر کاربرد صنعتی



نمودار ۹-۵- اعضای مهم و برکاربرد خانواده فولادهای زنگ نزن



۴-۳-۵- نام‌گذاری فولادها: با توجه به تنوع و گستردگی فولادها نیاز به یک زبان مشترک برای نام‌گذاری آنها ضروری است تا تمامی خریداران، فروشندگان، سازندگان و طراحان در اقصی نقاط دنیا بتوانند فولاد مورد نظر خود را انتخاب کنند. بدین منظور استانداردهای مختلفی تدوین شده است که سیستم نام‌گذاری توسط انستیتو آهن و فولاد آمریکا (AISI) و استاندارد ملی آلمان (DIN) در ایران متداول‌تر می‌باشد، لذا به توضیح مختصر این دو استاندارد نام‌گذاری می‌پردازیم.

الف) نام‌گذاری فولادها براساس استاندارد AISI: مطابق جدول (۷-۵) در سیستم نام‌گذاری AISI برای نام‌گذاری فولادها، از یک عدد چهار رقمی استفاده می‌شود که اولین رقم از سمت چپ نشان دهنده نوع فولاد است، مثلاً عدد ۱ نشان‌دهنده فولاد ساده کربنی و اعداد بالاتر از ۲ نشان‌دهنده فولاد آلیاژی است، دومین رقم نشان دهنده مقدار تقریبی عنصر آلیاژی اصلی است و رقم‌های سوم و چهارم نشان دهنده میزان کربن به صورت صدم درصد است.

جدول ۷-۵- دسته‌بندی فولادها بر اساس استاندارد AISI

شماره فولاد	نوع فولاد	شماره فولاد	نوع فولاد
۱۰xx	کربنی ساده	۴۳xx	نیکل - کروم - مولیبدن دار
۱۱xx	سولفیدی	۴۶xx	نیکل - مولیبدن دار
۱۳xx	منگنزدار	۵xxx	کروم دار
۲xxx	نیکل دار	۶xxx	کروم - وانادیوم دار
۳xxx	نیکل - کروم دار	۸xxx	کروم - مولیبدن - کم نیکل
۴۰xx	مولیبدن دار	۹xxx	نیکل - کروم - کم مولیبدن
۴۱xx	کروم - مولیبدن دار		

برای درک بهتر به مثال‌های زیر توجه کنید :

شماره فولاد

1040

میزان کربن ۰/۴۰ درصد

عنصر آلیاژی ندارد

فولاد ساده کربنی

شماره فولاد

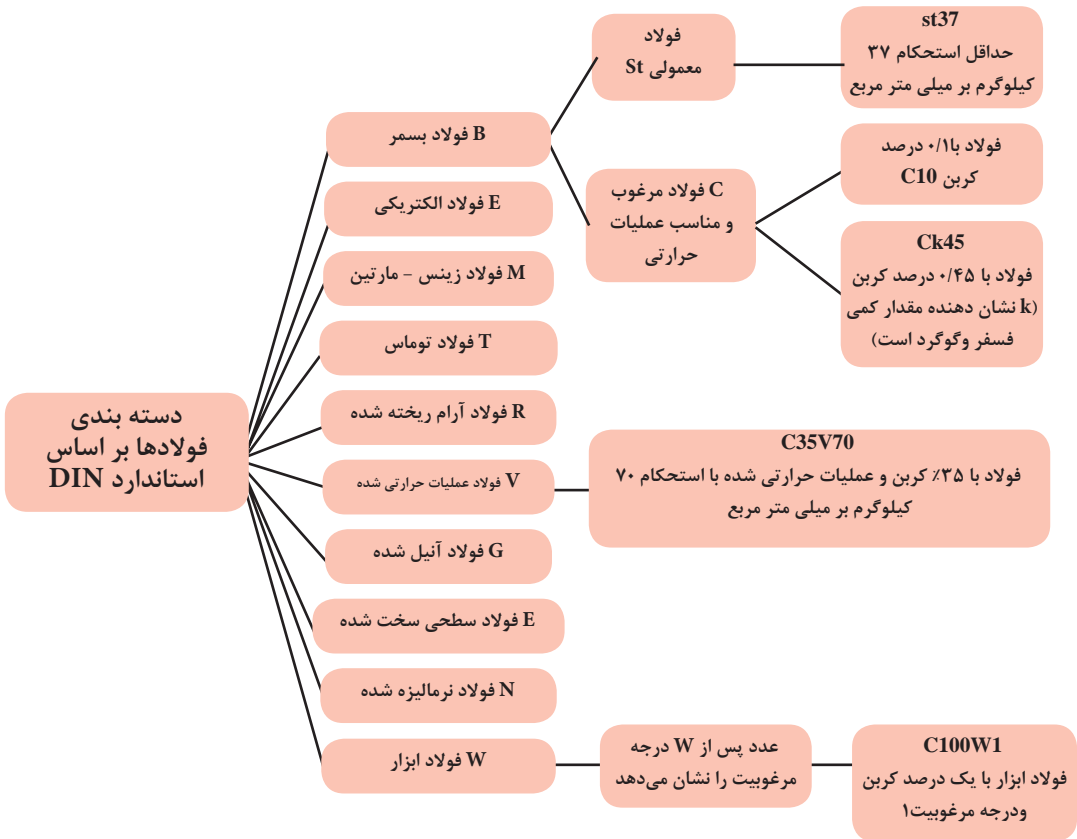
4140

میزان کربن ۰/۴۰ درصد

حدود یک درصد کروم دارد

فولاد کروم - مولیبدن دار

(ب) نام‌گذاری بر اساس استاندارد DIN : در استاندارد DIN ابتدا فولادها بر حسب روش تولید و عملیات صورت گرفته روی آنها تقسیم‌بندی می‌شوند که به هر دسته یک حرف لاتین اختصاص داده می‌شود (نمودار ۱-۵). در مرحله بعد فولادهای ساده کربنی را با حروف اختصاری C و St مشخص می‌کنند که در نمودار (۱-۵) برای هر کدام مثال ذکر شده است.



نمودار ۱-۵- نام‌گذاری فولادها بر اساس استاندارد DIN

ولی در مورد نام‌گذاری فولادهای آلیاژی بر اساس استاندارد DIN دو حالت در نظر گرفته

می‌شود؛

۱- اگر مجموع عناصر آلیاژی کمتر از ۵ درصد باشد.

مثال:  $۳۵ \text{ Ni Mn Cr } ۷۳۱$ : مثال بالا را در نظر بگیرید. اولین عدد از سمت چپ نشان

دهنده میزان کربن می‌باشد، یعنی عدد ۳۵ که در ضریب  $۱/۱۰^{\circ}$  ضرب می‌شود. بنابراین مقدار کربن برابر با  $۳۵/۱۰^{\circ}$  درصد می‌باشد. سپس هر یک از عناصر آلیاژی به ترتیب میزان آن از بیشتر به کمتر نوشته می‌شود و در انتها اعدادی که به ترتیب مربوط به عناصر آلیاژی مذکور می‌باشد، آورده می‌شود. برای پیدا کردن درصد این عنصر آلیاژی باید عدد مربوطه را بر ضریب هر عنصر که در جدول (۸-۵) آمده

است تقسیم کرد.

جدول ۸-۵ - ضرایب عناصر آلیاژی برای نام‌گذاری فولادهای کم آلیاژ (بر اساس استاندارد DIN)

عنصر آلیاژی	ضریب
Cr,Co,Mn,Ni,Si,W	۴
Al,Be,Cu,Mo,Nb,Pb,Ta,Ti,V,Zr	۱۰
Ce,N,P,S	۱۰۰
B	۱۰۰۰

بنابراین در مثال بالا مقدار هریک از عناصر آلیاژی به قرار زیر است :

Ni: ۱/۷۵ % (۷/۴)

Mn: ۰/۷۵ % (۳/۴)

Cr: ۰/۲۵ % (۱/۴)

ب) اگر مجموع عناصر آلیاژی بیشتر از ۵ درصد باشد : در فولادهای پرآلیاژ (بیش از ۵ درصد عنصر آلیاژی دارند) همانند روش (الف) عمل می‌شود با این تفاوت که حرف X به اول آن افزوده می‌شود، سپس عناصر آلیاژی به ترتیب از مقدار بیشتر به کمتر می‌آید و بعد از آن مقدار عناصر آلیاژی بدون ضریب (به جز کربن که بر ۱۰۰ تقسیم می‌شود) قرار می‌گیرد.

مثال: ۱۸ ۱۰۳ X۵ Cr Ni Mo

C: ۰/۰۵ % (۵/۱۰۰)

Cr: ۱۸ %

Ni: ۱۰ %

Mo: ۳ %

#### ۴-۵- چدن

چدن‌ها دسته‌ای از آلیاژهای آهنی محتوی کربن و سیلیسیم هستند که مقدار کربن در آن‌ها بیشتر از ۲/۱۴ درصد است (به‌طور معمول بین ۳ تا ۴/۵ درصد کربن دارند). هم‌چنین ممکن است برحسب کاربرد دارای عناصر دیگری مثل کرم، منگنز و غیره به ترکیب چدن‌ها اضافه شود.

نقطه ذوب چدن‌ها نسبت به فولادها به مراتب کمتر است (حدود  $1150^{\circ}$  الی  $1300^{\circ}$  درجه سانتیگراد). بنابراین به راحتی ذوب و ریخته‌گری می‌شوند، اما چدن‌ها ترد و شکننده‌اند. از این رو ساده‌ترین روش ساخت و تولید قطعات چدنی ریخته‌گری است.

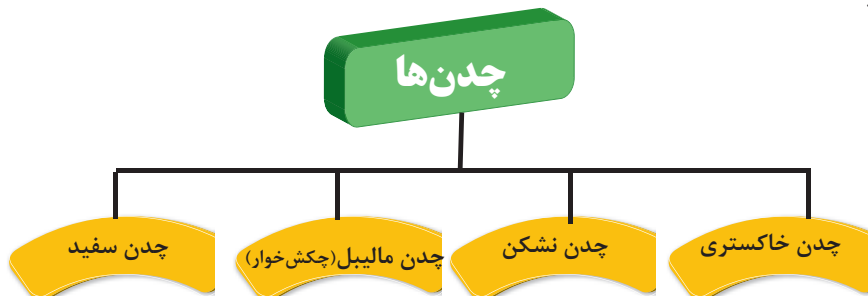
۱-۴-۵- دسته‌بندی چدن‌ها: یک روش ساده و متداول برای دسته‌بندی چدن‌ها، شکل ذرات گرافیت در ساختار چدن و رنگ ظاهر سطح مقطع شکست آنها می‌باشد، در شکل (۸-۵) فرم‌های مختلف ذرات گرافیت در ساختار چدن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۸-۵- ساختار چدن‌ها و شکل ذرات گرافیت آزاد

بر اساس توضیحات ذکر شده چدن‌ها را مطابق نمودار (۱۱-۵) می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود.

نمود.



نمودار ۱۱-۵- تقسیم بندی چدن‌ها

**الف) چدن سفید:** سطح مقطع شکست آلیاژ سفید رنگ است و تمام کربن موجود در آلیاژ به صورت ترکیب با آهن ( $Fe_3C$ ) می باشد. چدن سفید بسیار ترد و شکننده است و در مواردی که هدف مقاومت در برابر سایش و سختی مد نظر می باشد مثل غلطک های دستگاه نورد کاربرد دارد.

**ب) چدن خاکستری:** سطح مقطع شکست آلیاژ خاکستری رنگ است چون بخشی از کربن موجود در آلیاژ به صورت گرافیت ورقه ای یا رشته ای شکل درآمده است. چدن خاکستری قابلیت بالایی در جذب ارتعاشات دارد و از استحکام و سختی مناسبی نیز برخوردار است. لذا در مواردی مثل بدنه دستگاه های تراش و فرز کاربرد دارد.

**ج) چدن نشکن یا گرافیت کروی:** چنانچه به ترکیب مذاب چدن خاکستری قبل از ریخته گری مقدار اندکی منیزیم یا سدیم اضافه شود باعث می شود شکل ذرات گرافیت تغییر کند. در این نوع چدن ذرات گرافیت به صورت کروی شکل یا شبیه کره می باشند. استحکام و انعطاف پذیری چدن نشکن نسبت به چدن خاکستری بیشتر است لذا کاربرد گسترده این چدن ها در مواردی مثل شیرآلات، پمپ، میل لنگ، چرخ دنده و ماشین آلات صنعتی مشابه است.

**د) چدن مالمیل یا چکش خوار:** چنانچه چدن سفید برای مدت نسبتاً طولانی در دمای حدود  $700$  یا  $800$  درجه سانتیگراد قرار گیرد کاربید آهن ( $Fe_3C$ ) موجود در ساختار چدن تجزیه شده و ذرات گرافیت خوشه ای شکل تشکیل می شود. این چدن ها از استحکام و انعطاف پذیری یا چکش خواری مناسبی برخوردار می باشند و در مواردی مثل شاتون، چرخ دنده های انتقال نیرو، تجهیزات راه آهن و به طور کلی در قطعات مهندسی تحت شرایط سخت کاری کاربرد دارند.

در جدول (۹-۵) اطلاعات بیشتری در خصوص ترکیب، خواص مکانیکی و موارد متداول کاربرد چدن ها در صنعت آورده شده است.

جدول ۹-۵ - نام‌گذاری، ترکیب تقریبی، حداقل خواص فیزیکی و نمونه کاربرد چدن‌های خاکستری، نشکن و مایلیل

خواص مکانیکی

استحکام کششی [MPa (kat)]	استحکام تسلیم [MPa (kat)]	انعطاف‌پذیری [EL in 50 mm (2 in.)]	ترکیب (wt%) <sup>a</sup>	نمونه کاربرد
چدن خاکستری				
124 (18)	-	-	3.40-3.7 C, 2.55 Si, 0.7 Mn	قطعات ریختگی که در آنها استحکام زیاد مورد توجه نیست
173 (25)	-	-	3.2-3.5 C, 2.20 Si, 0.8 Mn	بلوک‌های استوانه‌ای کوچک، کنگی‌های استوانه‌ای، پیستون‌ها، صفحه‌ترمز، قطعات انتقال نیرو
276 (40)	-	-	3.0-3.3 C, 2.0 Si, 0.8 Mn	قطعات ریختگی موتور دیزل، سیلندر و پیستون
چدن نشکن (کروی)				
414 (60)	276 (40)	18	3.5-3.8 C, 2.0 - 2.8 Si,	قطعات مخازن تحت فشار مانند شیرآلات و بدنه پمپ
689 (100)	483 (70)	3	0.05 Mg,	دنده‌های استحکام بالا و اجزاء ماشین‌آلات
827 (120)	621 (90)	2	<0.20 Ni, <0.10 Mo	پیستون‌ها، دنده‌ها، غلتک
چدن مایلیل				
345 (50)	224 (32)	10	2.3-2.7 C, 1.0 - 1.75 Si, <0.55Mn	کاربرد مهندسی عمومی در دماهای معمولی و بالا
448 (65)	310 (45)	6	2.4-2.7C, 1.25-1.55 Si, < 0.55 Mn	

جدول ۱۰-۵- کاربرد انواع چدن در صنایع گوناگون

نوع چدن	تصویر نمونه کاربردی
چدن چکش خوار (مالیبل)	
چدن خاکستری	
چدن سفید	
چدن نشکن (گرافیت کروی)	



## آزمون پایانی

- ۱- عنصر اصلی آلیاژی در فولادهای ساده کربنی کدام است؟  
(الف) کروم (ب) کربن (ج) وانادیوم (د) تنگستن
- ۲- چه قطعاتی از فولاد پرکربن ساخته می‌شوند؟ (سه مورد)
- ۳- با افزایش کربن در فولاد ساده کربنی ..... کاهش یافته و ..... افزایش می‌یابد.

- (الف) قابلیت جوشکاری - سختی (ب) انعطاف پذیری - قابلیت جوشکاری  
(ج) قابلیت سوهان کاری - انعطاف پذیری (د) سختی - قابلیت جوشکاری
- ۴- برای مقاوم کردن فولاد در مقابل خوردگی آن را با کدام عنصر آلیاژ می‌کنند؟  
(الف) وانادیوم (ب) کروم (ج) آرومی (د) منگنز
- ۵- فولادهای میکرو آلیاژ چه نوع فولادهایی هستند؟  
(الف) فولادهای ساده کربنی  
(ب) فولادهایی که مقدار کمی عناصر آلیاژی مثل مولیبدن و وانادیوم و تیتانیوم دارند.

- (ج) فولاد آلیاژی کروم دار  
(د) فولاد زنگ نزن
- ۶- فولاد ابزار علاوه بر کربن چه عناصر آلیاژی دیگری دارد؟
- ۷- با توجه به استاندارد AISI فولاد ۴۱۴۰ دارای چه مقدار کربن است؟  
(الف) ۰.۴٪ (ب) ۰.۰۴٪ (ج) ۰.۰۴٪ (د) ۰.۴٪
- ۸- علاوه بر آهن و کربن کدام عنصر از اجزاء اصلی تشکیل دهنده چدن‌ها می‌باشد؟

- (الف) سیلیس (ب) گوگرد (ج) فسفر (د) منگنز
- ۹- بارزترین خاصیت چدن‌ها چیست؟  
(الف) جوش پذیری (ب) انعطاف پذیری  
(ج) ریخته‌گری (د) هدایت الکتریکی و حرارتی

## فصل ششم

### فلزات غیر آهنی



**هدف‌های رفتاری :** با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

- ۱- ویژگی آلیاژهای آلومینیوم را بیان کند.
- ۲- موارد مهم کاربرد آلیاژهای آلومینیوم را نام ببرد.
- ۳- ویژگی مس و آلیاژهای آن را بیان کند.
- ۴- موارد مهم کاربرد مس و آلیاژهای آن را نام ببرد.
- ۵- موارد مهم کاربرد فلز روی را در صنعت بیان کند.
- ۶- موارد مهم کاربرد فلز قلع را در صنعت بیان کند.
- ۷- خواص مهم فلزات روی و قلع را نام ببرد.

## ۱-۶- آلومینیوم

در صنعت، آلومینیوم پس از فولاد در ردیف دوم از نظر پیرکاربردترین فلز قرار دارد. توسعه سریع آلومینیوم مربوط به خواص ویژه آن است. جرم حجمی آلومینیوم در حدود یک سوم فولاد یا مس می‌باشد ولی نسبت استحکام به وزن بعضی از آلیاژهای آلومینیوم از فولاد بیشتر است. آلومینیوم و آلیاژهای آن دارای هدایت الکتریکی و گرمایی مناسب و منعکس کننده خوبی برای نور و گرما می‌باشند. آلومینیوم و آلیاژهای آن دارای مقاومت به خوردگی و قابلیت ریخته‌گری مناسب و شکل‌پذیری خوبی برای تولید مقاطع مختلف نظیر: لوله، پروفیل، نبشی و ... دارند. جدول (۱-۶) خصوصیات آلومینیوم را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۶- خواص فیزیکی مهم آلومینیوم

Aluminum, Al	نام، علامت اختصاری
$2.7 \text{ gr/cm}^3$	جرم حجمی
نقره‌ای	رنگ
جامد	حالت ماده
$660^\circ \text{C}$	نقطه ذوب
$37.7 \times 10^6$ زیمنس <sup>۱</sup>	رسانایی الکتریکی
$237 \text{ W/m} \times ^\circ \text{K}$	رسانایی گرمایی
Fcc	ساختار کریستالی
$900 \text{ J/Kg} \times ^\circ \text{K}$	ظرفیت گرمایی ویژه

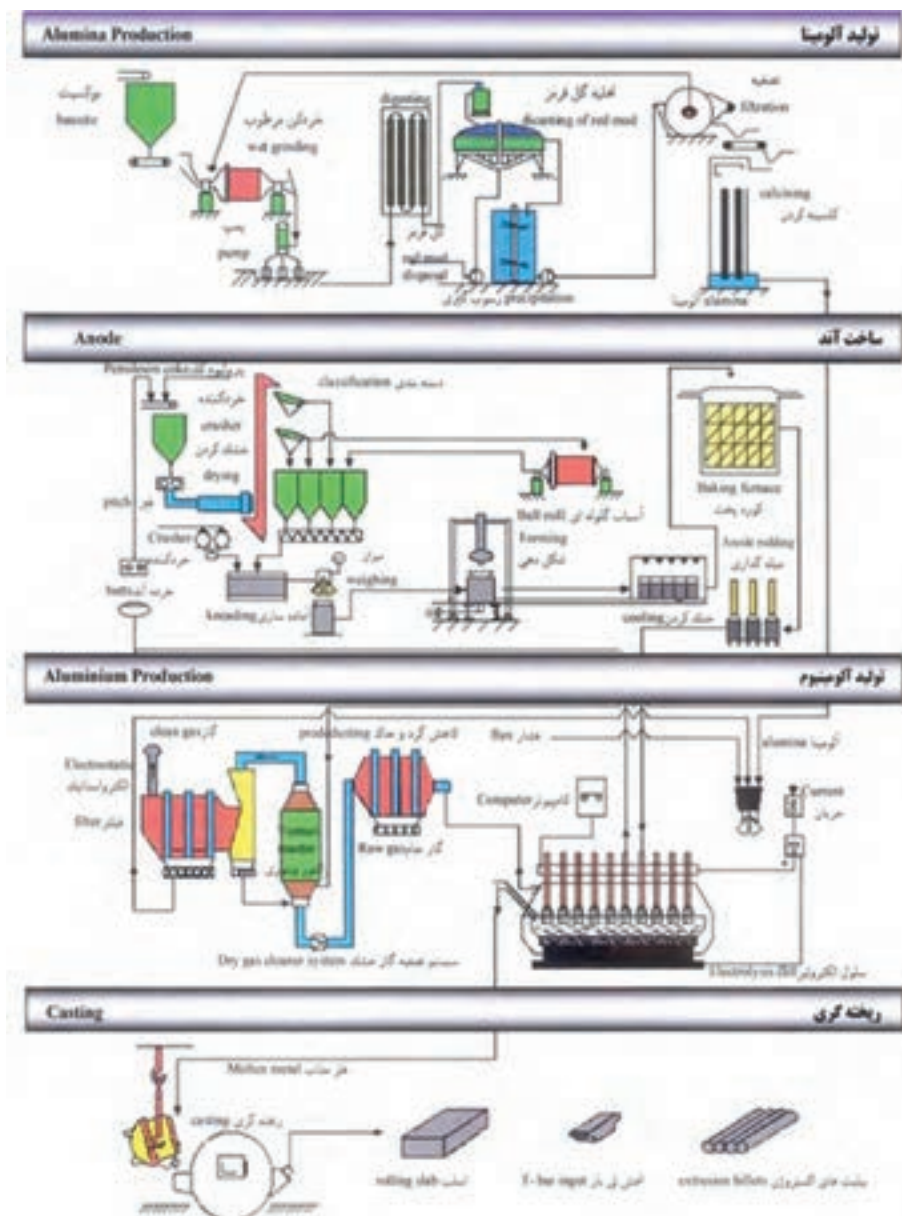
در جدول (۲-۶) دلایل و موارد کاربرد آلیاژهای آلومینیومی در صنایع مختلف نشان داده شده است.

۱- زیمنس واحد رسانایی جریان الکتریسیته و معادل  $\frac{1}{\text{اهم}}$  می‌باشد.

جدول ۲-۶- کاربرد آلومینیوم در صنایع مختلف

دلیل استفاده و نمونه کاربرد صنعتی	کاربرد	کاربرد
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● سبک بودن</li> <li>● بالا بودن نسبت استحکام به وزن</li> </ul>	<p>صنایع هوا و فضا (هواپیماها و راکت‌ها)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● بالا بودن نسبت استحکام به وزن</li> <li>● مقاومت به خوردگی بالا</li> </ul>	<p>صنایع حمل و نقل (ریلی و خودرو)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● مقاومت به خوردگی بالا</li> <li>● بالا بودن نسبت استحکام به وزن</li> </ul>	<p>صنایع کشتی‌سازی</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● مقاوم در برابر خوردگی</li> <li>● سبکی</li> <li>(موجب کاهش هزینه‌های حمل و نقل می‌شود)</li> <li>● به راحتی استریلیزه می‌شود</li> </ul>	<p>صنایع بسته بندی</p>

۱-۱-۶- تولید آلومینیوم: آلومینیوم یکی از فراوان‌ترین فلزات پوسته زمین است که به صورت ترکیب با عناصر دیگر مثل آهن، سیلیسیم و اکسیژن وجود دارد. مهم‌ترین سنگ معدن آن بوکسیت است که برای تولید آلومینیوم به کار می‌رود. در شکل (۱-۶) مراحل تولید آلومینیوم به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱-۶- مراحل تولید آلومینیوم

همان‌طور که در شکل (۶-۱) دیده می‌شود در انتهای مراحل تولید، آلومینیوم به شکل‌های گوناگون تولید می‌شود که مهم‌ترین آنها اسلب، شمش تی بار و بیلت می‌باشد. شکل (۶-۲) تصویر این تولیدات را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲- محصولات متداول کارخانه تولید آلومینیوم



آلومینیوم هرمزگان (هرمزگان)



آلومینیوم اراک

شکل ۶-۳- کارخانه‌های بزرگ تولید آلومینیوم در ایران

محصولات تولید شده در کارخانه‌های بزرگ آلومینیوم‌سازی (مثل اراک و هرمزگان) به کمک عملیات شکل‌دهی نظیر: اکستروژن<sup>۱</sup>، آهنگری<sup>۲</sup> و ... به صورت محصولات نیم ساخته به بازار عرضه می‌شوند، شکل (۶-۴) انواع متداول نیم ساخته‌های آلومینیومی را نشان می‌دهد.

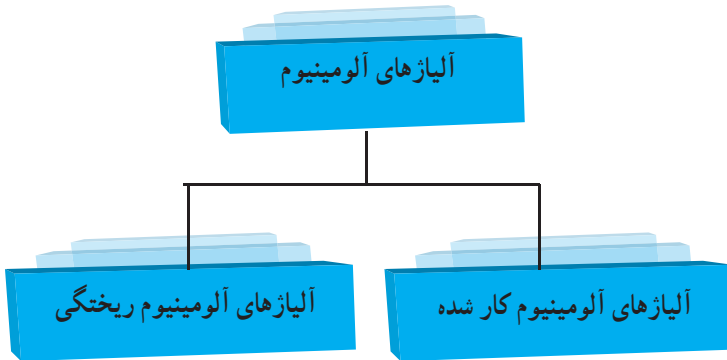
۱- Extrusion

۲- فورج (Forg)



شکل ۴-۶- انواع متداول نیم ساخته‌های آلومینیومی

۲-۱-۶- آلیاژهای آلومینیوم : آلومینیوم و آلیاژهای آن را به دو دسته کلی مطابق نمودار (۱-۶) تقسیم بندی می کنند.



نمودار ۱-۶- تقسیم بندی آلومینیوم و آلیاژهای آن








برای شناسایی هر یک از دو گروه آلیاژهای آلومینیوم از یک عدد چهار رقمی استفاده می شود که در جدول (۳-۶) گروه های مختلف آلیاژهای آلومینیوم همراه با کاربرد صنعتی آنها آورده شده است.

جدول ۳-۶- گروه‌های مختلف آلیاژهای آلومینیوم و موارد کاربرد آن در صنعت

نام گروه	عنصر آلیاژی اصلی	ویژگی‌های مهم	موارد کاربرد صنعتی	نمونه کاربرد
۱XXX	با درجه خلوص ۹۹ درصد	- مقاوم در برابر خوردگی - هدایت حرارتی و الکتریکی بالا - خواص مکانیکی پایین	- هادی‌های الکتریکی - تجهیزات و واحدهای شیمیایی - زورق	  
۲XXX	مس	- خواص مکانیکی بالا - چقرمگی شکست و استحکام خوب در سرما	- پیستون - رینگ	 



ادامه جدول ۳-۶- گروه‌های مختلف آلیاژهای آلومینیوم و موارد کاربرد آن در صنعت

نام گروه	عنصر آلیاژی اصلی	ویژگی‌های مهم	موارد کاربرد صنعتی	نمونه کاربرد
۳XXX	منگنز	<ul style="list-style-type: none"> <li>- استحکام متوسط</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- دکل برق</li> <li>- سازه ساختمانی</li> </ul>	 
۴XXX	سیلیسیم	<ul style="list-style-type: none"> <li>- مقاوم در برابر سایش</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- فیلتر هوا</li> <li>- سرسبیلندر</li> <li>- سیلندر</li> <li>- پیستون</li> </ul>	 
۵XXX	منیزیم	<ul style="list-style-type: none"> <li>- استحکام متوسط</li> <li>- جوشکاری خوب</li> <li>- مقاوم به خوردگی</li> <li>- شکل پذیری خوب</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- نمای ساختمان</li> <li>- بدنه کشتی</li> <li>- لوازم خانگی</li> </ul>	  

ادامه جدول ۳-۶- گروه‌های مختلف آلیاژهای آلومینیوم و موارد کاربرد آن در صنعت

نمونه کاربرد	موارد کاربرد صنعتی	ویژگی‌های مهم	عنصر آلیاژی اصلی	نام گروه
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- لوازم خانگی</li> <li>- قطعات خودرو</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- قابلیت فرم‌پذیری خوب</li> <li>- مقاوم در برابر خوردگی</li> <li>- استحکام متوسط</li> <li>- سختی‌پذیری مناسب</li> </ul>	<p>منیزیم - سیلیسیم</p>	<p>۶XXX</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- اتصالات</li> <li>- صنایع ریلی</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- عملیات حرارتی‌پذیر</li> <li>- استحکام مناسب</li> <li>- مقاوم به سایش</li> </ul>	<p>روی</p>	<p>۷XXX</p>

## ۲-۶- مس

مس یکی از فلزات مهم صنعتی است که در حالت غیرآلیاژی و هم‌چنین به صورت آلیاژی کاربرد وسیعی دارد. فلز مس قرمز رنگ است و از خاصیت هدایت الکتریکی و حرارتی بسیار بالایی برخوردار است، به طوری که در بین فلزات، تنها خاصیت هدایت الکتریکی و حرارتی تفره از مس بیشتر است. شکل (۵-۶) چند نمونه قدیمی از سازه‌های مسی را نشان می‌دهد. و جدول (۴-۶) خصوصیات مس را نشان می‌دهد.



سرویس قاشق و چنگال مسی

ظرف مسی

سرنیزه‌های ساخته شده از مفرغ

شکل ۵-۶- چند سازه مسی مربوط به دوران قدیم

جدول ۴-۶- خصوصیات مس

Copper, Cu	نام و علامت اختصاری
$8.92 \text{ gr/cm}^3$	جرم حجمی
قرمز	رنگ
جامد	حالت ماده
$1084^\circ \text{C}$	نقطه ذوب
$1.6 \times 10^6 / 59 \text{ اهم}$	رسانایی الکتریکی
$401 \text{ W/m} \times ^\circ \text{K}$	رسانایی گرمایی

با نگاه به خواص مس که در نمودار (۲-۶) آمده است، می‌توان به نقش مس و آلیاژهای آن به عنوان یک فلز غیرآهنی مهم صنعتی پی برد.

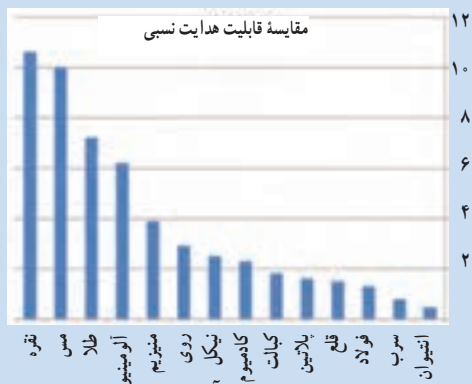


نمودار ۲-۶- ویژگی‌های خوب فلز مس

### بیشتر بدانیم

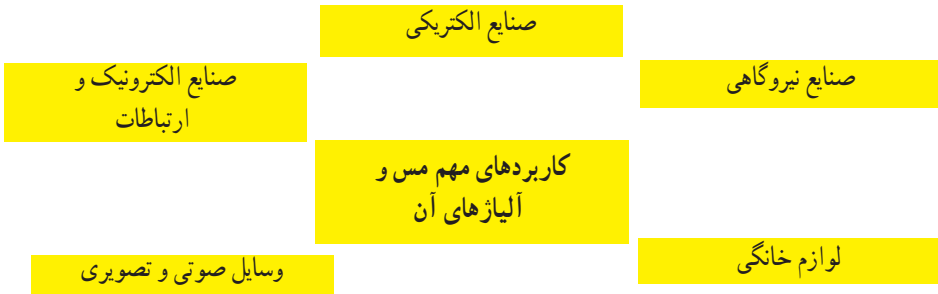
#### مقایسه هدایت حرارتی و الکتریکی

قابلیت هدایت الکتریسیته عبارت است از قدرت هدایت الکتریسیته واحد طول جسم بر واحد سطح مقطع. در بین فلزات به ترتیب نقره، مس و آلومینیوم بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی را دارند که در لوازم خانگی، صنعتی، تجهیزات آزمایشگاهی و پزشکی، قطعات رایانه‌ای، تجهیزات ارتباطی، نیروگاهی، نظامی و ... کاربرد دارند. در نمودار زیر هدایت الکتریکی فلزات خالص تجاری را در دمای محیط به طور نسبی مشاهده می‌کنید.

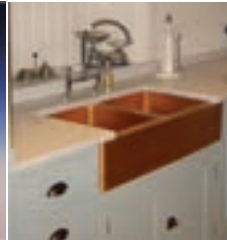
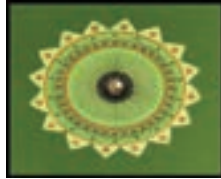
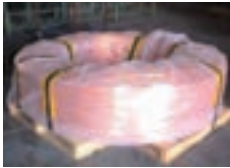


بهرتر است بدانید که با افزایش عناصر آلیاژی به مس هدایت الکتریکی آن به طور محسوسی کاهش پیدا می‌کند.

۱-۲-۶- کاربردهای مس : با توجه به خواص مطلوب مس از آن در صنایع مختلف استفاده می شود که در نمودار (۳-۶) و شکل (۶-۶) موارد مهم و پرکاربرد مس و آلیاژهای آن را نشان می دهد.

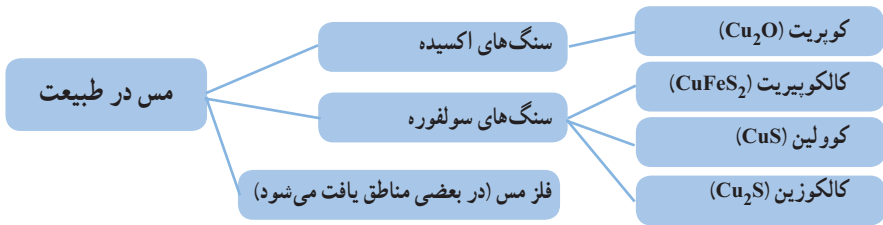


نمودار ۳-۶- صنایعی که از مس و آلیاژهای آن به صورت گسترده استفاده می کنند.



شکل ۶-۶- چند نمونه از کاربردهای صنعتی مس و آلیاژهای آن

۲-۲-۶- تولید مس : منبع مس در طبیعت سنگ های معدنی حاوی مس می باشند که حدود پنج هزارم درصد پوسته زمین را تشکیل می دهند. نمودار (۴-۶) ترکیب های موجود مس را در طبیعت نشان می دهد.



نمودار ۶-۴- ترکیب‌های مس (موجود در طبیعت)

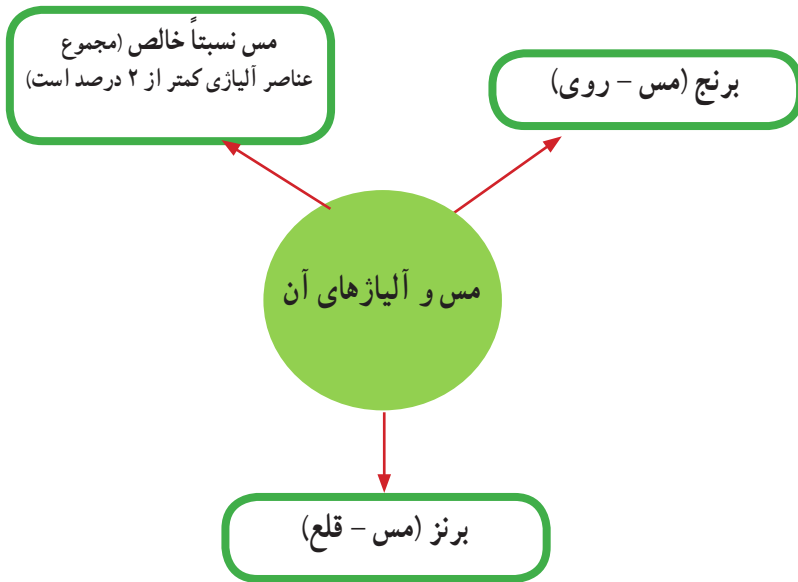
در کارخانه‌های تولید مس مثل (مجتمع مس سرچشمه) از هر دو فرآیند متالورژی استخراجی (پیرومتالورژی و هیدرومتالورژی) برای استخراج و تولید مس استفاده می‌شود. شکل (۶-۷) فرآیند استخراج مس را به روش پیرومتالورژی نشان می‌دهد. (در فصل دوم فرآیند استخراج مس به روش هیدرومتالورژی یا متالورژی تر بررسی شد).



شکل ۶-۷- شکل شماتیک فرآیند تولید مس به روش پیرومتالورژی

۱- لجن آندی: منظور رسوبات قوانین ته نشین شده در کف ظرف می‌باشد که به‌طور معمول محتوی عناصر فلزی همراه کانی‌های مس می‌باشند که تا این مرحله از فرآیند استخراج حذف نشده‌اند.

۳-۲-۶- دسته‌بندی مس و آلیاژهای آن : مس و آلیاژهای مسی را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد که نمودار (۵-۶) این دسته‌بندی را نشان می‌دهد.



نمودار ۵-۶- دسته‌بندی مس و آلیاژهای آن در حالت کلی

هم‌چنین از طرف انجمن توسعه مس (CDA) <sup>۱</sup> آلیاژهای مس را به دو دسته آلیاژهای کار شده و آلیاژهای ریختگی تقسیم نموده است که در جدول (۵-۶) این تقسیم‌بندی مشاهده می‌شود.

جدول ۵-۶- دسته‌بندی آلیاژهای مس بر اساس استاندارد CDA

نوع آلیاژ	ترکیب آلیاژی	نمونه آلیاژی	نمونه کاربرد در صنعت
آلیاژهای کار شده	xx۱C	مس با درجه خلوص بالا	لوله‌های مسی، کابل‌ها و لوله‌های دوجداره، تجهیزات تقطیر
	xx۲C	آلیاژهای مس - روی (برنج)	لوله‌ها، مدال‌ها، فیوز، پلاک
	xx۳C	آلیاژهای مس - روی - سرب (برنج‌های سرب‌دار)	مبدل‌های حرارتی
	xx۴C	آلیاژهای مس - روی - قلع (برنج‌های دارای قلع)	سوئیچ و بست‌های الکتریکی
	xx۵C	آلیاژهای مس - قلع (برنزهای فسفردار)	اتصالات الکتریکی، سخت‌افزار خطوط الکتریکی
	xx۶C	آلیاژهای مس - آلومینیوم (برنزهای آلومینیوم)، آلیاژهای مس - سیلیسیم (برنزهای سیلیسیم‌دار)	مبردها، لوله‌های مبدل گرما و بخار، لوله‌های تقطیر
آلیاژهای ریختگی	xx۷C	مس - نیکل و مس - نیکل - روی	تقویت‌کننده‌های ارتباطی، فنرهای الکتریکی، لوله‌های مبدل گرما و بخار، بست فلزی، مقاومت‌ها
	xx۸C	آلیاژهای ریختگی با درصد زیاد مس، انواع برنج‌های ریختگی، آلیاژهای ریختگی برنز - منگنز	اتصالات رادیاتور، لامپ
	xx۹C	آلیاژهای ریختگی مس - قلع، مس - قلع - سرب، مس - قلع - نیکل، مس - آلومینیوم - آهن، و مس - نیکل - آهن و مس - نیکل - روی	یاتاقان، بوش، رینگ، پیستون



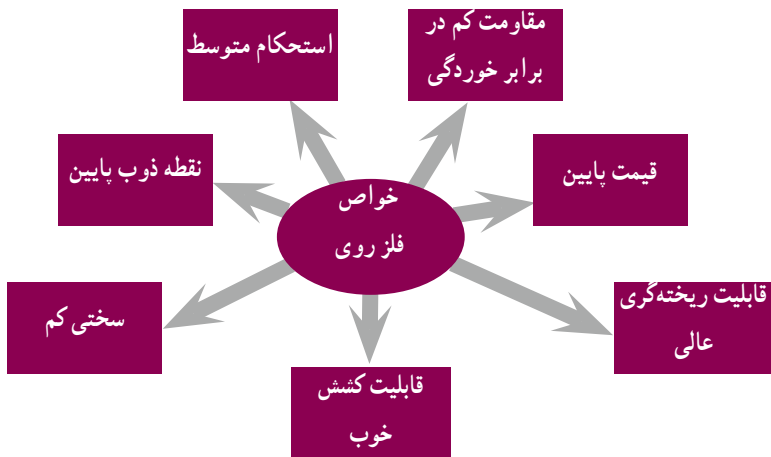
### ۶-۳-۳- روی و قلع

در میان فلزات غیر آهنی روی و قلع پس از آلومینیوم و مس بیشترین کاربرد را دارند.

۶-۳-۳-۱- روی: جدول (۶-۶) ویژگی‌های فیزیکی مهم فلز روی و نمودار (۶-۶) خواص صنعتی آن را نشان می‌دهد.

جدول ۶-۶- ویژگی‌های مهم روی

نام، علامت اختصاری	Zinc, Zn
جرم حجمی	۷/۱۴ gr/cm <sup>۳</sup>
رنگ	خاکستری کم‌رنگ مایل به آبی
حالت ماده	جامد دیامغناطیس
نقطه ذوب	۶۹۲/۶۸ °K
رسانایی الکتریکی	۱۰۶×۶×۱۰ <sup>۶</sup> زمینس
رسانایی گرمایی	۱۱۶ W/m ×°K



نمودار ۶-۶- خواص فلز روی

با توجه به خواص فلز روی از این فلز بیشتر برای پوشش قطعات فولادی به منظور حفاظت در برابر خوردگی استفاده می‌شود.

**گالوانیزه کردن:** پوشش دادن سازه‌های فولادی را در حمام روی مذاب، فرآیند گالوانیزه (غوطه‌وری گرم) می‌گویند، در نتیجه این عمل لایه‌ای چسبنده، روی سطح فولاد تشکیل می‌شود. لوله‌ها و ورقه‌های گالوانیزه در صنایع مختلف کاربرد وسیعی دارند. علاوه بر روش غوطه‌وری گرم، از روش آبکاری و پاشش حرارتی نیز برای پوشش روی، در سطح فولاد استفاده می‌شود. پوشش گالوانیزه می‌تواند از خوردگی سازه فولادی در شرایط اتمسفری و یا در زیر خاک ممانعت کند. برای مثال دکل‌های انتقال نیرو در شرایط اتمسفری مقاوم است و دچار زنگ‌زدگی نمی‌شوند. شکل (۸-۶) خط تولید ورق و قوطی‌های گالوانیزه را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۶. خط گالوانیزه کردن ورق و قوطی‌های فولادی

**آلیاژهای روی:** فلز روی به صورت خالص غیر از کاربرد پوشش‌دهی سطح سازه‌های فولادی که در بخش قبلی توضیح داده شد، کاربرد بسیار محدودی دارد و بیشتر به عنوان عنصر آلیاژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از معروف‌ترین آلیاژهای روی می‌توان به زاماک<sup>۱</sup> اشاره کرد که علاوه بر روی دارای عناصری مانند آلومینیوم، مس و منیزیم نیز می‌باشد.

۱- در ایران به سرب خشک معروف هستند.

۲-۳-۶- قلع : قلع فلز دیگری است که در پوشش‌های مقاوم به خوردگی (قلع اندود کردن)، آلیاژسازی، لحیم کاری و غیره کاربرد دارد. جدول (۶-۷) خصوصیات فیزیکی مهم فلز قلع را نشان می‌دهد.

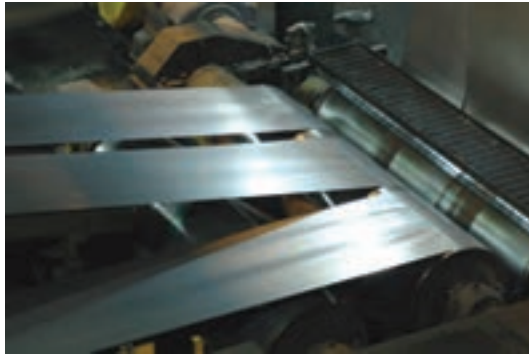
جدول ۶-۷- خصوصیات فیزیکی مهم قلع

نام، علامت اختصاری	Tin, Sn
جرم حجمی	۷۳/۸ gr/cm <sup>۳</sup>
رنگ	خاکستری درخشان (نقره‌ای)
حالت ماده	جامد
نقطه ذوب	۱۳۲ °c
رسانایی الکتریکی	۹/۱۷ × ۱۰ <sup>۶</sup> زمینس
رسانایی گرمایی	۶۶/۶ (W/m) × °K

قلع استحکام کمی دارد اما در ترکیب با فلزات دیگر مثل، مس، سرب، تیتانیوم و روی باعث افزایش سختی و استحکام آنها می‌شود.

از عمده‌ترین کاربردهای قلع پوشش دهی ورق‌های فولادی به‌خاطر افزایش مقاومت در برابر خوردگی است. نکته قابل توجه این است که ورق‌های فولادی قلع اندود به‌راحتی قابلیت فرم‌دهی، جوشکاری و لحیم کاری دارند. بیشتر صفحات قلع اندود شده برای ظروف بسته‌بندی غذا استفاده می‌شوند.

کاربرد دیگر قلع در آلیاژهای یاتاقان می‌باشد (یاتاقان‌ها سطوح کم اصطکاک مناسبی برای نگهداری قطعات در حال چرخش یا لغزش ایجاد می‌کنند). همچنین قلع در لحیم کاری نرم نیز به‌عنوان یکی از عناصر تشکیل دهنده لحیم مورد استفاده فراوان است. شکل (۶-۹) کاربرد ورق‌های قلع اندود را در صنایع بسته‌بندی نشان می‌دهد.



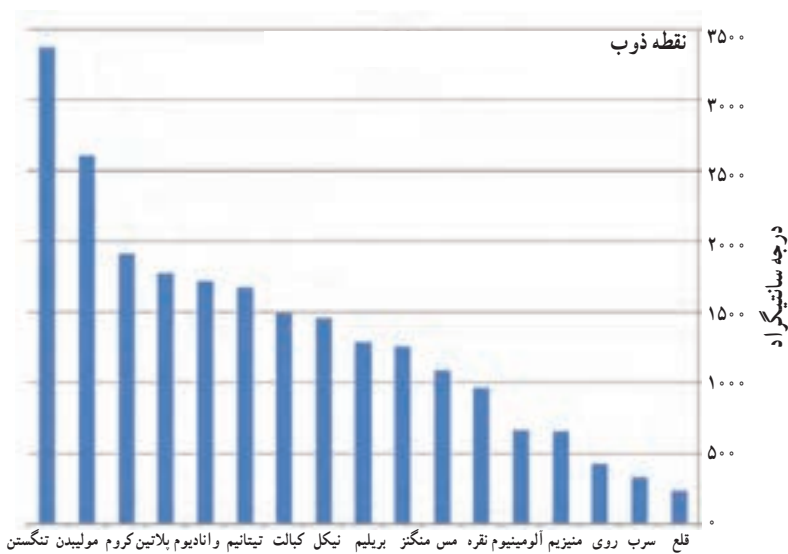
شکل ۹-۶- کاربرد ورق قلع اندود در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی

**آلیاژهای قلع:** از فلز قلع مثل فلز روی در حالت خالص برای پوشش دادن سطوح قطعات فولادی استفاده می‌شود ولی به عنوان عنصر آلیاژی هم موارد استفاده زیادی دارد از مهم‌ترین کاربردهای آلیاژهای قلع ساخت یاتاقان می‌باشد.

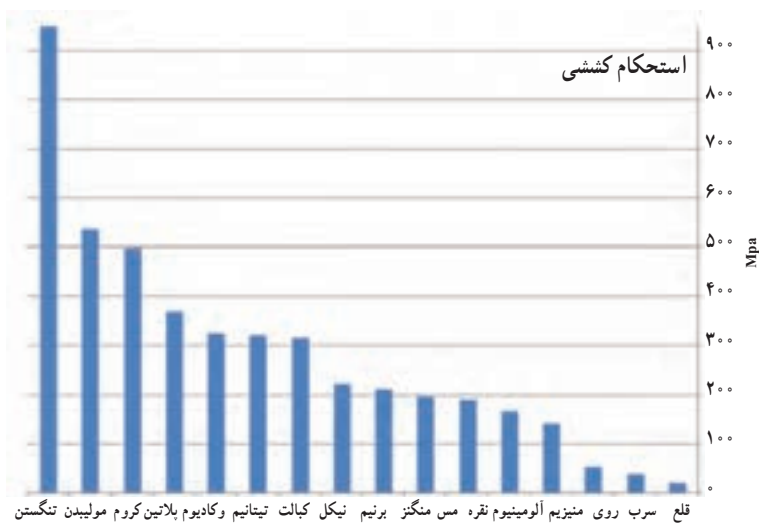
#### ۴-۶- سایر فلزات غیر آهنی

سایر فلزات غیر آهنی متناسب با خواص و ویژگی‌های مربوط به خود به صورت خالص یا آلیاژ در ساخت و تولید سازه‌های مختلف صنعتی نقش مهمی را ایفا می‌نمایند.

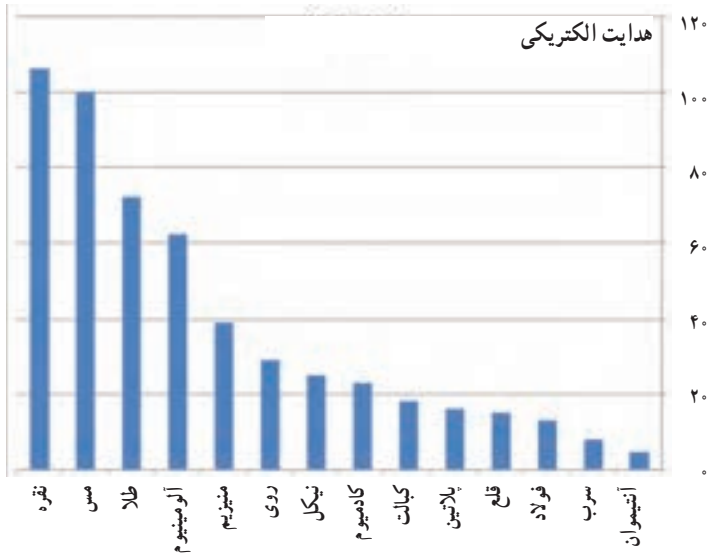
با توجه به این که فرصت بررسی تک‌تک عناصر فلزی در این بخش مقدور نمی‌باشد، لذا در نمودارهای مقایسه‌ای (نمودارهای ۷-۶ تا ۱۰-۶) در مورد خواص مهم فیزیکی و مکانیکی عناصر فلزی متداول مورد استفاده در صنایع آمده است. هم‌چنین در جدول (۸-۶) برخی از خواص سایر فلزات غیر آهنی همراه با مهم‌ترین موارد کاربرد آنها در صنایع آورده شده است.



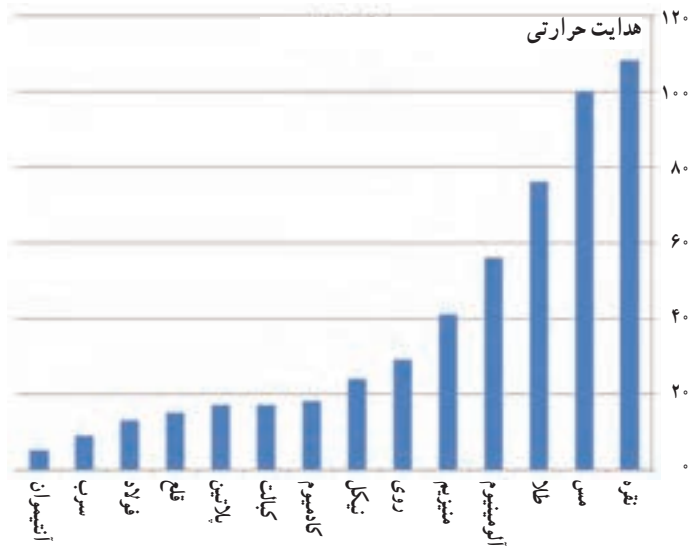
نمودار ۶-۷- مقایسه نقطه ذوب فلزات پر کاربرد در صنایع



نمودار ۶-۸- مقایسه استحکام کششی فلزات پر کاربرد در صنایع



نمودار ۹-۶- مقایسه هدایت الکتریکی فلزات پرکاربرد در صنعت



نمودار ۱۰-۶- مقایسه هدایت حرارتی فلزات پرکاربرد در صنعت

جدول ۸-۶- خواص و موارد کاربرد صنعتی برخی از فلزات غیر آهنی

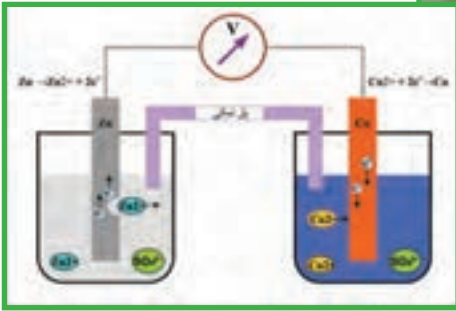
فلز	خواص	موارد کاربرد صنعتی
نیکل	<ul style="list-style-type: none"> <li>- هادی جریان الکتریسیته</li> <li>- مقاوم در برابر اکسیداسیون</li> <li>- براق</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- تولید فولاد زنگ‌نزن</li> <li>- باتری قابل شارژ</li> <li>- کاتالیزور</li> <li>- آپکاری الکتریکی</li> <li>- سکه</li> <li>- ابزار ریخته‌گری و فلزکاری</li> <li>- ظروف آزمایشگاه‌های شیمی</li> </ul>
کبالت	<ul style="list-style-type: none"> <li>- فرومغناطیس</li> <li>- مقاوم در مقابل فرسایش</li> <li>- براق</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- قطعات توربین</li> <li>- هواپیما (آلیاژهای دیرگداز)</li> <li>- آهن ربا</li> <li>- کاتالیزور در صنایع شیمیایی</li> <li>- رنگ سازی</li> <li>- باتری سازی</li> </ul>
کروم	<ul style="list-style-type: none"> <li>- سخت</li> <li>- براق</li> <li>- غیر قابل جوشکاری</li> <li>- مقاوم در برابر زنگ زدگی</li> <li>- مقاوم در برابر اکسیداسیون</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- قالب پخت آجر</li> <li>- سبز کردن رنگ شیشه</li> <li>- نوارهای مغناطیسی</li> </ul>
تیتانیوم	<ul style="list-style-type: none"> <li>- استحکام بالا</li> <li>- مقاوم در مقابل خوردگی</li> <li>- قابل جوشکاری</li> <li>- قابل عملیات حرارتی پذیر</li> <li>- شکل پذیری</li> <li>- مقاوم در برابر سایش</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- موتور و هواپیما</li> <li>- ماشین های نساجی</li> <li>- تجهیزات شیمیایی</li> <li>- وسایل جراحی</li> <li>- وسایل ارتوپدی</li> <li>- نیروگاه اتمی و حرارتی</li> </ul>
منیزیم	<ul style="list-style-type: none"> <li>- سبک</li> <li>- استحکام پایین</li> <li>- قابل اشتعال</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- مواد دیرگداز</li> <li>- آلیاژسازی</li> <li>- فلاش دوربین عکاسی</li> <li>- منور بمب‌های آتش‌زا</li> </ul>
منگنز	<ul style="list-style-type: none"> <li>- سخت</li> <li>- شکننده</li> <li>- فرومغناطیس</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- آلیاژ سازی</li> <li>- پیل های خشک</li> </ul>
تنگستن	<ul style="list-style-type: none"> <li>- سخت</li> <li>- مقاوم در برابر فرسایش</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- پوشش مقاوم به سایش</li> <li>- آلیاژسازی</li> </ul>

- ۱- خواص ویژه آلومینیوم که باعث گستردگی کاربرد آن شده است را بنویسید؟
- ۲- گالوانیزه کردن چیست؟
- ۳- محصولات با روکش روی در صنعت چه کاربردی دارد؟
- ۴- ورق‌های فولاد با پوشش قلع چه کاربردی دارند؟
- ۵- چرا از آلیاژ قلع برای ساخت یاتاقان‌ها استفاده می‌شود؟
- ۶- از کدام فلز جهت انتقال جریان برق بیشتر استفاده می‌شود؟  
الف) مس      ب) روی      ج) آلومینیوم      د) گزینه الف و ج
- ۷- برای گالوانیزه کردن سازه‌های فولادی از کدام روش استفاده می‌شود؟  
الف) غوطه‌وری      ب) پاشش حرارتی  
ج) آب‌کاری      د) تمام موارد
- ۸- ویژگی‌های مهم مس و آلیاژهای آن چیست؟
- ۹- کاربردهای مهم فلز آلومینیوم و آلیاژهای آن چیست؟



# فصل هفتم

## خوردگی و حفاظت از مواد



- هدف‌های رفتاری:** با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند:
- ۱- مفهوم خوردگی مواد صنعتی به خصوص فلزات را توضیح دهد.
  - ۲- ضرورت مطالعه در مورد خوردگی مواد صنعتی را بیان کند.
  - ۳- انواع متداول خوردگی فلزات را بیان نماید.
  - ۴- مکانیزم انواع متداول خوردگی فلزات را توضیح دهد.
  - ۵- راهکارهای اصلی مبارزه با خوردگی فلزات را بیان کند.
  - ۶- نقش پوشش‌های محافظ را در حفاظت از مواد صنعتی توضیح دهد.

## ۷-۱- مقدمه

تعریف خوردگی: خوردگی به مفهوم تخریب تدریجی یا از بین رفتن تدریجی مواد در اثر فعل و انفعال با محیط اطراف خود است.

مواد صنعتی از طرف عوامل فیزیکی، شیمیایی و یا مکانیکی پیرامون خود مثل: گرما، سرما، اشعه خورشید، رطوبت، اکسیژن موجود در هوا، باکتری‌های موجود در خاک، نیروهای مکانیکی و غیره مورد حمله قرار می‌گیرند. این عوامل باعث می‌شوند که ماده صنعتی به تدریج تخریب شده و از بین برود.

### توجه



آیا می‌دانید بر اساس برآوردها در سطح بین‌المللی هزینه‌های ناشی از خوردگی در هر سال معادل ۴ الی ۵ درصد تولید ناخالص ملی کشورها می‌باشد. آیا می‌توانید حدس بزنید از نظر ریالی این مقدار برای کشور ما چقدر می‌شود؟

به مثال‌های زیر توجه کنید.

همان‌طور که در شکل‌های (۷-۱ و ۷-۲) مشاهده می‌شود، نردبان فلزی و منبع آب به دلیل قرار گرفتن در معرض برف و باران و نیز مواد دیگر موجود در هوا به شدت دچار زنگ زدگی شده‌اند.



شکل ۷-۲- نردبان فلزی در شرایط حیاط خانه دچار خوردگی شده است.



شکل ۷-۱- منبع آب در شرایط محیط دچار خوردگی شده است.

مثال دیگر لاشه کشتی رها شده در ساحل دریا می‌باشد که مطابق شکل (۷-۳) به شدت دچار پوسیدگی شده و تخریب گردیده است.



شکل ۷-۳- لاشه کشتی در ساحل دریا به شدت دچار خوردگی شده است.

غیرفلزات هم دچار خوردگی می‌شوند؛ مثل : خرد شدن مجسمه‌های سنگی در اثر برف و باران (شکل ۷-۴)، تخریب سازه بتنی (شکل ۷-۵) و یا پوسیدن چوب و کاغذ به دلیل قرار گرفتن در محیط مرطوب نمونه‌هایی از خورده شدن مواد غیرفلزی هستند.



شکل ۷-۵- سازه بتنی در اثر عوامل محیطی دچار تخریب گردیده است.



شکل ۷-۴- مجسمه سنگی تخت جمشید در اثر برف و باران و عوامل محیطی دیگر دچار آسیب دیدگی شده است.

مواد پلاستیکی نیز دچار خوردگی می‌شوند. به طور مثال چنانچه ماده پلاستیکی برای مدت زیادی در معرض نور خورشید قرار گیرد، در اثر اشعه خورشید ساختمان اتمی آن تخریب شده و خواص خود را از دست می‌دهد و یا اگر برای مدتی در معرض مواد شیمیایی قرار گیرند در اثر واکنش با مواد شیمیایی دچار صدمه می‌شوند (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷- قطعه پلاستیکی در معرض محلول شیمیایی دچار تورم و تخریب شده است.

بدین ترتیب ملاحظه می‌شود همه مواد دچار پدیده خوردگی و تخریب ناشی از واکنش با عوامل محیط پیرامون خود می‌شوند، ولی با توجه به این که فلزات نسبت به مواد پلیمری و سرامیکی سریعتر دچار پدیده خوردگی می‌شوند، لذا اصطلاح خوردگی را بیشتر برای تخریب فلزات به کار می‌برند و در ادامه این فصل نیز خوردگی فلزات مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

در جدول (۱-۷) حدود زمان لازم برای خورده شدن و تجزیه سه دسته مهم مواد صنعتی به صورت تقریبی و نسبی جهت مقایسه آورده شده است.

جدول ۱-۷- زمان تقریبی لازم برای خورده شدن و تجزیه مواد در طبیعت

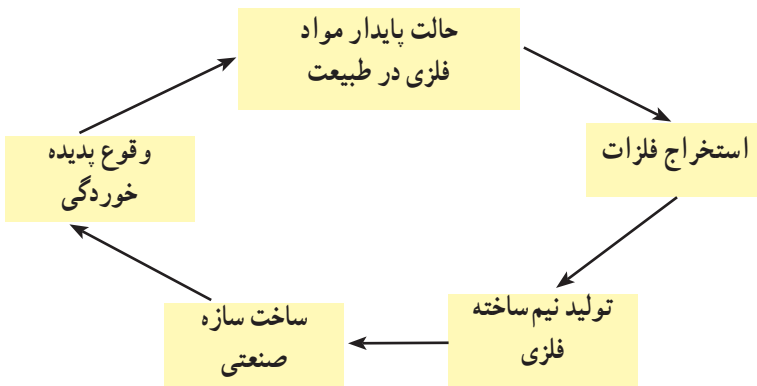
ردیف	نوع ماده	زمان تقریبی جهت تجزیه شدن (سال)
۱	چوب و کاغذ	۱ تا ۲
۲	فلزات	۵ تا ۱۰
۳	پلیمرها	۳۰۰ تا ۴۰۰

## بحث کنید

به نظر شما چرا تأکید می‌شود که مواد صنعتی به خصوص مواد پلیمری مثل نایلون و ظروف پلاستیکی را در طبیعت رها نکنیم؟

## ۷-۲- خوردگی فلزات

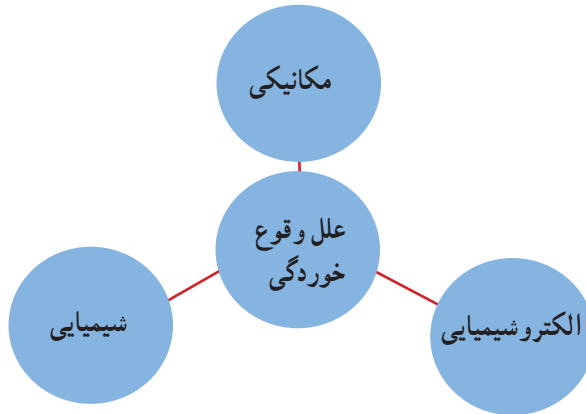
فرآیند خوردگی فلزات را می‌توان به‌عنوان بخشی از چرخه این مواد در طبیعت در نظر بگیریم که در نمودار (۷-۱) نشان داده شده است.



نمودار ۷-۱- چرخه گردش مواد فلزی در طبیعت

## ۷-۳- مکانیزم ایجاد خوردگی

عوامل اصلی ایجاد پدیده خوردگی را می‌توان مطابق نمودار (۷-۲) به سه دسته تقسیم کرد که ممکن است هر یک به تنهایی و یا به صورت توأم سبب خوردگی و تخریب فلزات شوند. بنابراین مکانیزم خوردگی مواد فلزی بستگی به عوامل خورنده موجود در محیط دارد.

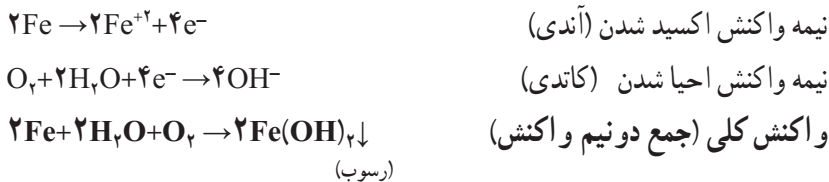


نمودار ۷-۲. مکانیزم ایجاد خوردگی در فلزات

۷-۳-۱ خوردگی شیمیایی: در مورد خوردگی شیمیایی فلزات می‌توان به انحلال مقادیر کم مواد فلزی توسط حلال‌های آلی مثل انحلال آلومینیوم در تتراکلریدکربن ( $CCl_4$ ) و استون اشاره کرد و یا انحلال فلزات در جیوه مثال دیگری از خوردگی فلزات با مکانیزم شیمیایی می‌باشد که به دلیل این‌که این مکانیزم سهم بسیار کمی از خوردگی فلزات را به خود اختصاص می‌دهد بیش از این به بررسی آن نمی‌پردازیم.

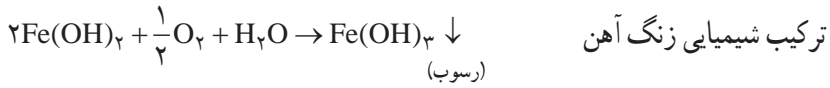
۷-۳-۲ خوردگی الکتروشیمیایی: فلزات به دلیل ماهیت ساختمان اتمی که دارند عمدتاً دچار خوردگی الکتروشیمیایی می‌شوند؛ یعنی مکانیزم خوردگی، واکنش الکتروشیمیایی است که ضمن آن نقل و انتقال الکترون بین عوامل واکنش دهنده صورت می‌گیرد و در مورد فلزات آهنی به اصطلاح زنگ‌زدن نامیده می‌شود.

چنانچه یک قطعه آهنی در شرایط اتمسفر مرطوب قرار گیرد، واکنش‌های زیر روی سطح آن اتفاق می‌افتد.



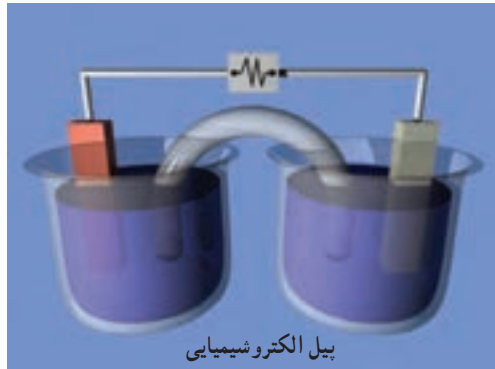
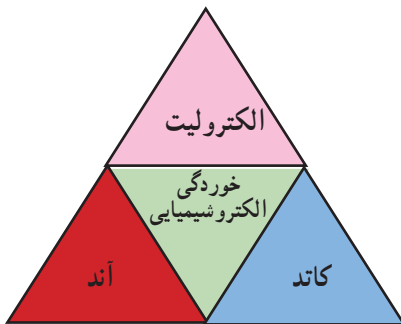
$Fe(OH)_2$  رسوب تیره رنگی است که ابتدا روی سطح قطعه آهنی تشکیل می‌شود و در اثر مرور زمان به دلیل واکنش بیشتر با اکسیژن مطابق واکنش صفحه بعد به صورت رسوب  $Fe(OH)_3$  در می‌آید

که رنگ آن قرمز قهوه‌ای یا آجری رنگ است و ما آن را به‌عنوان زنگ آهن روی سطح قطعه زنگ زده می‌بینیم (شکل ۷-۷).



شکل ۷-۷. سطح زنگ‌زده ورق‌های آهنی در اثر قرار گرفتن در شرایط اتمسفر مرطوب

بنابراین خوردگی الکتروشیمیایی زمانی اتفاق می‌افتد که در اثر تماس فلز با محیط پیرامون خود یک پیل الکتروشیمیایی تشکیل شود.  
شکل (۷-۸) اجزای اصلی تشکیل دهنده پیل الکتروشیمیایی را نشان می‌دهد.



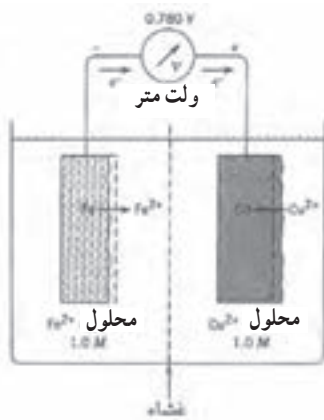
شکل ۷-۸. اجزای اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی

## تعریف

آند: سطحی است که روی آن واکنش آندی یا اکسیداسیون رخ می دهد. در نتیجه به طور معمول دچار انحلال یا خوردگی می گردد.

کاتد: سطحی است که روی آن واکنش کاتدی رخ می دهد و دچار خوردگی یا انحلال نمی شود.

الکترولیت: محلولی است که نقش آن هدایت جریان الکتریکی از طریق حرکت یون های مثبت و منفی در داخل آن می باشد.



در شکل (۷-۹) نمایش تشکیل پیل الکتروشیمیایی بین تیغه های مس و آهن به صورت شماتیک نشان می دهد.

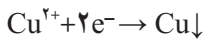
شکل ۷-۹- تشکیل پیل الکتروشیمیایی بین

تیغه های مسی و آهنی در محلول اسیدی

واکنش های پیل الکتروشیمیایی نشان داده شده در شکل (۷-۹) عبارت است از:

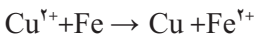


نیم واکنش آندی



نیم واکنش کاتدی

(رسوب)



**واکنش کلی:** در اینجا تیغه آهنی ضمن از دست دادن الکترون حل می شود و در مقابل یون های

مثبت مس با جذب الکترون های آزاد به صورت خنثی در آمده و روی سطح تیغه مسی رسوب می کنند.

همان طور که مشاهده می شود جهت جریان الکترون ها از طرف تیغه آهنی به طرف تیغه مسی می باشد.

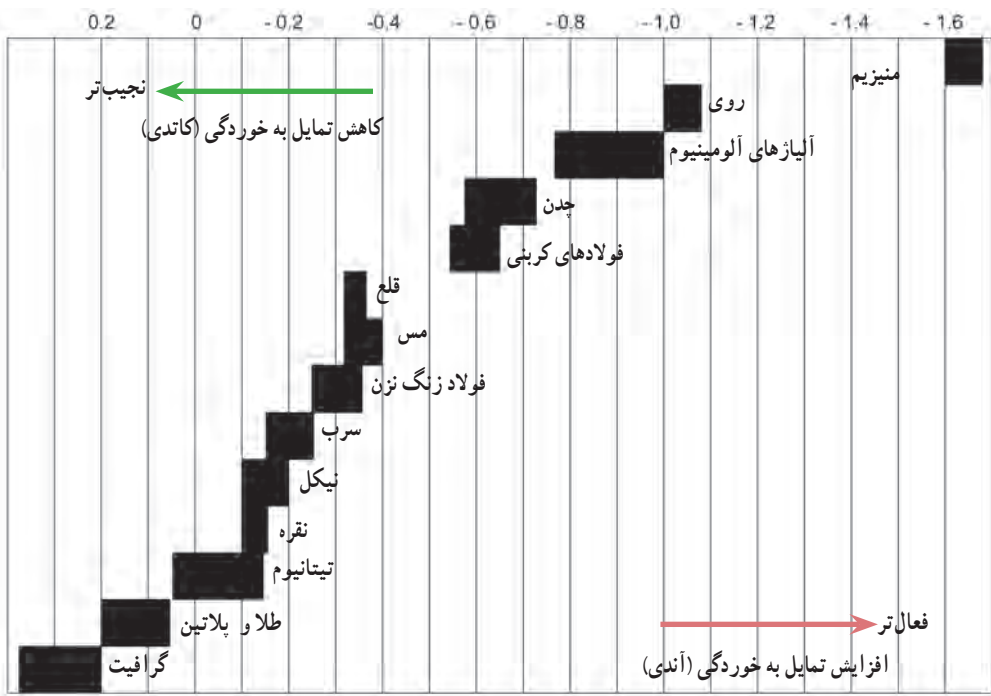
لازم به یادآوری است در شرایط مشابه شکل (۷-۷) که تنها یک نوع ورقه فلزی در معرض



محیط خورنده قرار می‌گیرد، ابتدا پیل‌های الکتروشیمیایی کوچکی روی سطح تشکیل می‌شوند و با گذشت زمان سطوح آن‌دی و کاتدی جابه‌جا می‌شوند. در نتیجه پس از مدتی تمام سطح دچار زنگ‌زدگی می‌شود.

تمایل فلزات مختلف نسبت به از دست دادن الکترون و اکسید شدن متفاوت است. شاخص این تمایل متفاوت، پتانسیل الکتروشیمیایی است که در خصوص تعدادی از عناصر فلزی و آلیاژهای آنها در نمودار (۷-۳) نشان داده شده است.

پتانسیل (ولت) نسبت به الکتروود مرجع نقره — نقره کلرید



نمودار ۷-۳ پتانسیل الکتروشیمیایی چند فلز متداول جهت مقایسه میزان تمایل به اکسیداسیون

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، فلزات و آلیاژهای با پتانسیل الکتروشیمیایی مثبت‌تر تمایل کمتری نسبت به اکسید شدن و خوردگی دارند (نجیب‌ترند). برعکس فلزات و آلیاژهایی که در بالا و سمت راست شکل قرار دارند، دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی‌تر می‌باشند؛ یعنی تمایل بیشتری به خوردگی دارند (فعال‌ترند).

بنابراین چنانچه دو فلز با جنس متفاوت در محیط مرطوب در تماس با یکدیگر قرار گیرند، فلز فعال تر که دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی تر می باشد با سرعت بیشتری دچار خوردگی می گردد. به این نوع از خوردگی در اصطلاح خوردگی گالوانیک می گویند که در ادامه برای درک بهتر موضوع چند مثال آورده شده است.

در شکل (۷-۱۰) پلاک و قفل از جنس آلیاژ مس روی ستون فولاد کربنی نصب شده اند. همان طور که در شکل (۷-۱۰) نشان داده شد، چون فلز مس نسبت به فولاد کربنی در موقعیت مثبت تری قرار دارد، لذا تمایل کمتری به اکسید شدن یا خوردگی دارد (به عنوان سطح کاتدی عمل می کند). در عوض سطح ستون فولادی با شدت بیشتری دچار خوردگی می شود (به عنوان سطح آندی عمل می کند).



شکل ۷-۱۰- تشکیل پیل گالوانیک به دلیل نصب پلاک و قفل از جنس آلیاژ مس روی ستون فولاد کربنی

اتفاق مذکور مطابق شکل (۷-۱۱) در مورد اتصال شیر برنجی با لوله فولادی افتاده و منجر به خوردگی لوله فولادی در نزدیکی محل تماس با شیر برنجی گردیده است.



شکل ۷-۱۱- خوردگی لوله فولادی در نزدیکی محل تماس با شیر برنجی

مثال دیگری از خوردگی گالوانیک در شکل (۷-۱۲) نشان داده شده است؛ در اینجا دو قطعه لوله مسی توسط زانوی فولادی دارای پوشش روی (گالوانیزه) به هم متصل شده اند و براساس آنچه که در مثال قبلی توضیح داده شد، زانوی فولادی به شدت دچار خوردگی شده و رسوبات سفید رنگ ناشی از خوردگی فلز روی (zn) روی سطح آن تجمع یافته است.



شکل ۷-۱۲- خوردگی زانوی فولادی گالوانیزه در اتصال با لوله مسی

حال به شکل (۷-۱۳) نگاه کنید.



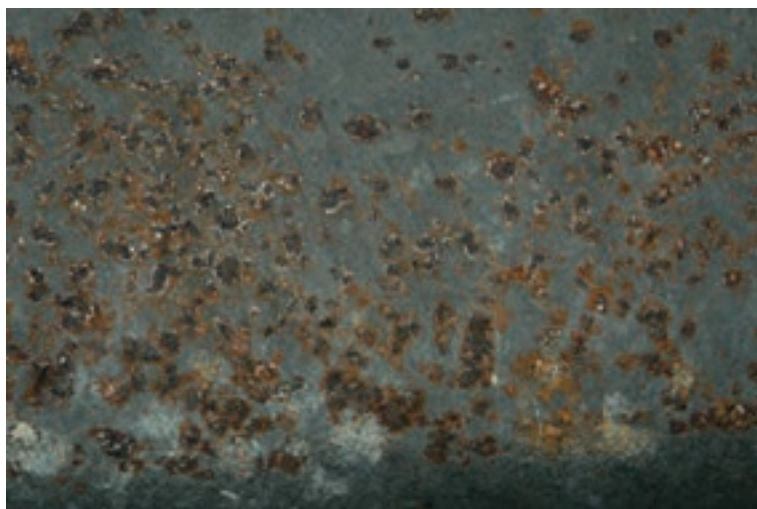
شکل ۷-۱۳- منبع آب از جنس فولاد کربنی در محل خط جوشها دچار زنگ زدگی شده است.

## بحث کنید

به نظر شما چرا محل خط جوش‌های روی  
مخزن آب دچار زنگ‌زدگی شده است؟

یکی از دلایل وقوع چنین اتفاقی می‌تواند ناشی از جوشکاری مخزن با الکترودی از جنس متفاوت با جنس صفحات فلزی مخزن آب باشد، به طوری که باعث شده است فلز جوش با جنس متفاوت (فعال‌تر)، تمایل بیشتری نسبت به خوردگی و زنگ‌زدن پیدا نماید؛ این مثال به ما می‌آموزد در موقع جوشکاری سازه‌های فلزی تا جای ممکن از الکترودی استفاده کنیم که جنس فلز جوش حاصل مشابه و یا نزدیک به جنس فلز اصلی باشد.

گاهی اوقات به دلایل مختلف خوردگی روی سطح قطعات و سازه‌های فلزی به صورت یکنواخت صورت نمی‌گیرد. بلکه مطابق شکل (۱۴-۷) در بعضی نقاط متمرکز می‌شود، نتیجه آن ایجاد یکسری حفره روی سطح می‌باشد که به آن در اصطلاح خوردگی حفره‌دار شدن می‌گویند.



شکل ۱۴-۷- سطح فولاد دچار خوردگی موضعی (حفره‌دار شدن) شده است.

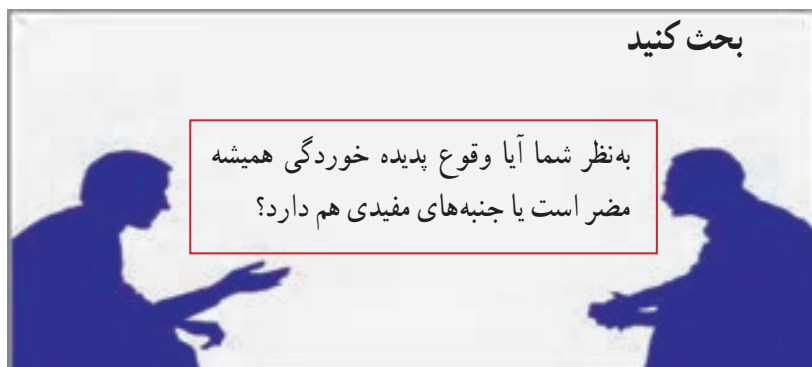
خوردگی موضعی به طور معمول در مناطقی از سازه که سیال حالت ساکن پیدا کند، یا در زیر موادی که به عنوان عایق به کار می‌روند (شکل ۱۵-۷) و یا روی سطح فولادهای زنگ‌زن در محیط‌های دارای یون کلرید ( $Cl^-$ ) شایع است.

لازم به یادآوری است در این نوع خوردگی مقدار کل انحلال فلز نسبت به خوردگی یکنواخت کمتر است ولی به دلیل تمرکز خوردگی در سطح کوچک به سرعت سبب تخریب سازه صنعتی می‌گردد و چون از قبل نمی‌توان سرعت خوردگی را پیش‌بینی کرد خطرناک است.

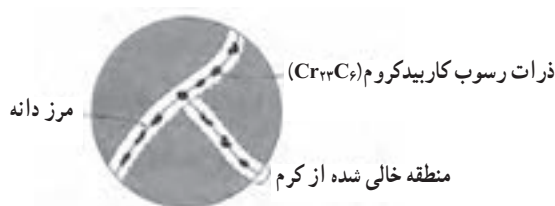


شکل ۱۵-۷ خوردگی موضعی لوله فولادی در زیر عایق حرارتی (پشم شیشه)

همان‌طور که ملاحظه شد بیشتر تخریب‌هایی که ما به صورت روزمره در خصوص اضمحلال سازه‌های فلزی پیرامون خود شاهد هستیم ماهیت الکترو شیمیایی دارند و سرعت خوردگی متناسب با مقدار و نوع عوامل واکنش‌کننده مثل: رطوبت، دما، اکسیژن،  $CO_2$ ،  $SO_2$  و... افزایش می‌یابد.

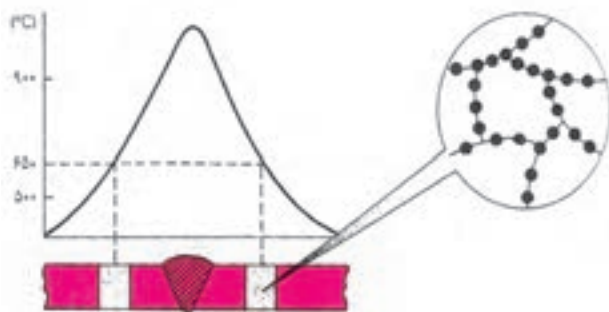


فولادهای زنگ نزن ممکن است به دلیل آنچه در زیر توضیح داده می‌شود، دچار نوعی دیگری از خوردگی موضعی با مکانیزم الکتروشیمیایی شوند. همان‌طور که می‌دانید دلیل زنگ نزدن این نوع از فولادها وجود درصد بالای کروم در ترکیب آلیاژی است که با ایجاد اکسید کروم روی سطح فولاد آن را حفاظت می‌نماید ولی چنانچه ناحیه‌ای از فولاد زنگ نزن برای مدتی در محدوده دمایی حدود ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد، اتم‌های کروم و کربن موجود در فولاد زنگ نزن با هم ترکیب شده و به‌صورت ذرات کاربید کروم در مرز دانه‌های فولاد رسوب می‌نمایند (شکل ۷-۱۶). این موضوع سبب کاهش مقدار اتم‌های کروم در ناحیه اطراف رسوبات کاربیدی می‌شود. لذا این نواحی به دلیل کاهش مقدار درصد کروم دچار خوردگی و زنگ زدگی می‌شوند.



شکل ۷-۱۶- رسوب ذرات کاربید کروم در مرز دانه‌های فولاد زنگ‌نزن

این اتفاق همان‌طور که در شکل (۷-۱۷) مشاهده می‌شود می‌تواند در حین جوشکاری فولادهای زنگ نزن رخ دهد و سازه‌های جوشکاری شده از جنس فولاد زنگ نزن پس از مدتی در نواحی مجاور خط جوش‌ها دچار خوردگی شوند (شکل ۷-۱۸). بنابراین در موقع جوشکاری فولادهای زنگ نزن باید به این موضوع توجه کنیم و با اتخاذ تدابیر مختلف، تا حد ممکن از وقوع چنین پدیده‌ای جلوگیری نماییم.



شکل ۷-۱۷- رسوب ذرات کاربید کروم در منطقه کنار خط جوش که زمان بیشتری در محدوده دمایی ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه قرار می‌گیرد.



شکل ۱۸-۷- فولاد زنگ نزن در نواحی مجاور خط جوش دچار خوردگی موضعی شده است.

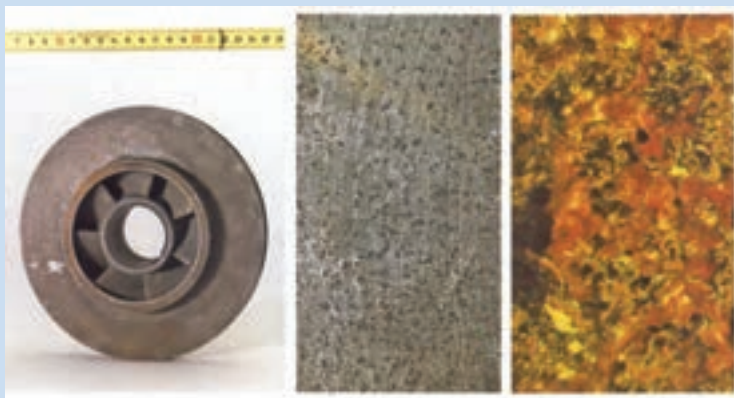
## بحث کنید

به نظر شما برای جلوگیری از وقوع چنین پدیده‌ای (خوردگی موضعی فولاد زنگ نزن) چه اقدامی می‌توان انجام داد؟

## بیشتر بدانیم

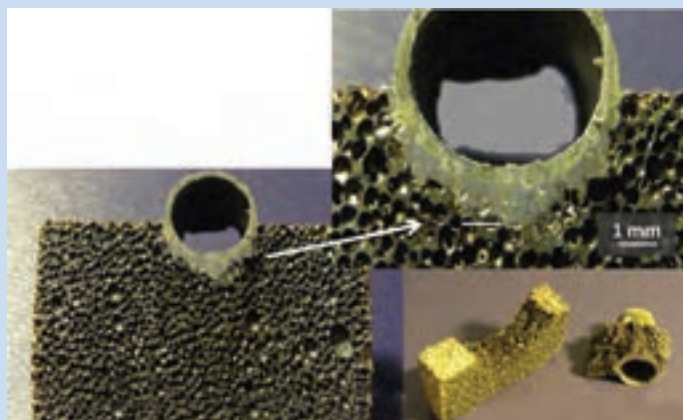
### خوردگی یا جدایش انتخابی

حالت دیگری از خوردگی با مکانیزم الکتروشیمیایی می‌تواند همان‌طور که در شکل‌های (۷-۱۹) و (۷-۲۰) نشان داده شده است در بعضی از آلیاژهای فلزی مثل چدن‌ها و آلیاژ برنج (مس و روی) رخ دهد که به آن در اصطلاح خوردگی انتخابی یا جدایش انتخابی می‌گویند.



شکل ۱۹-۷- گرافیتی شدن بره پمپ از جنس چدن که دچار خوردگی انتخابی شده است.

در این نوع خوردگی همان‌طور که از نام آن مشخص است یکی از عناصر تشکیل‌دهنده آلیاژ به‌صورت انتخابی در محیط خورنده حل می‌شود. مثلاً چنانچه یک قطعه چدنی یا برنجی برای مدت نسبتاً طولانی در محیط خورنده مثل محلول اسیدی قرار گیرد؛ در مورد آلیاژ برنج عنصر روی و در خصوص آلیاژ چدن عنصر آهن به‌دلیل این‌که بر اساس نمودار (۳-۷) تمایل بیشتری به اکسید شدن دارند حل می‌شوند و پس از مدتی سطح قطعات مذکور به‌صورت متخلخل در می‌آیند که رنگ ظاهری سطح نیز به‌رنگ عنصر باقی‌مانده بر روی سطح متمایل می‌شود.

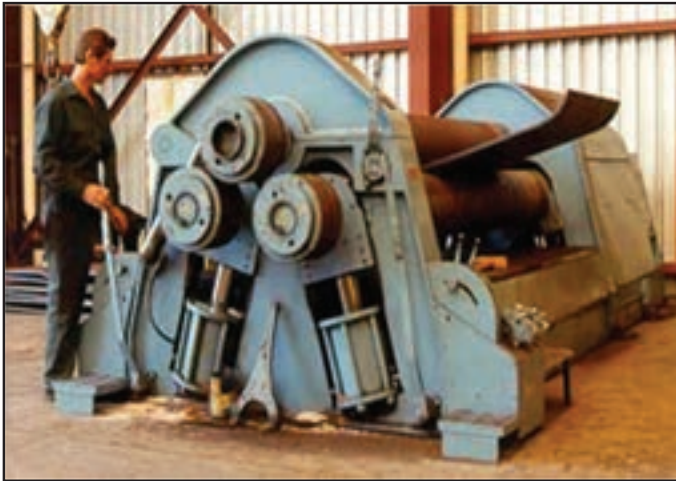


شکل ۲۰-۷- قطعات چدنی و برنجی دچار خوردگی انتخابی شده‌اند و سطح آنها متخلخل گردیده است.



۳-۷-۳ خوردگی مکانیکی: در اینجا پدیده خوردگی تحت تأثیر نیروهای مکانیکی اتفاق می‌افتد. البته ممکن است عامل مکانیکی به تنهایی سبب تخریب و شکست ماده صنعتی گردد. مثل: سایش و یا عوامل دیگر نظیر واکنش الکتروشیمیایی نیز به صورت توأم دخیل باشند. مثل: خوردگی فرسایشی.

سایش یکی از عوامل رایج تخریب کننده قطعات صنعتی است و زمانی اتفاق می‌افتد که دو سطح در تماس با یکدیگر تحت تأثیر نیروی مکانیکی نسبت به هم حرکت لغزشی داشته باشند. یک مورد متداول پدیده سایش روی سطح غلتک‌های نورد اتفاق می‌افتد. آن‌طور که در شکل (۷-۲۱) ملاحظه می‌کنید سطح غلتک‌های دستگاه نورد به دلیل نیروی مکانیکی زیادی که به آنها وارد می‌شود به مرور زمان دچار سایش می‌شوند و باید تعمیر گردند. به طور معمول هر چه نیروی اعمالی افزایش یابد و یا اختلاف سختی دو سطح در حال تماس با یکدیگر بیشتر باشد مقدار سایش افزایش می‌یابد. همچنین افزایش دمای کاری و افزایش حرکت نسبی دو سطح نسبت به یکدیگر میزان سایش را به طور معمول زیاد می‌کند.



شکل ۷-۲۱- سطح غلتک‌های دستگاه نورد به دلیل نیروی مکانیکی دچار سایش می‌شود.

نوع دیگری از خوردگی که تحت تأثیر هم‌زمان نیروی مکانیکی (برخورد ذرات ساینده) و خوردگی الکتروشیمیایی رخ می‌دهد، خوردگی فرسایشی نام دارد. شکل‌های (۷-۲۲) و (۷-۲۳)

تصاویر دو قطعه صنعتی را نشان می‌دهند که دچار خوردگی فرسایشی شده‌اند. این نوع خوردگی زمانی اتفاق می‌افتد که در داخل محلول خورنده ذرات ساینده (مثل شن و ماسه) وجود داشته باشد.



شکل ۲۲-۷- پیچ در محلول خورنده حاوی ذرات ساینده دچار خوردگی فرسایشی شده است.

به شکل (۲۳-۷) نگاه کنید.

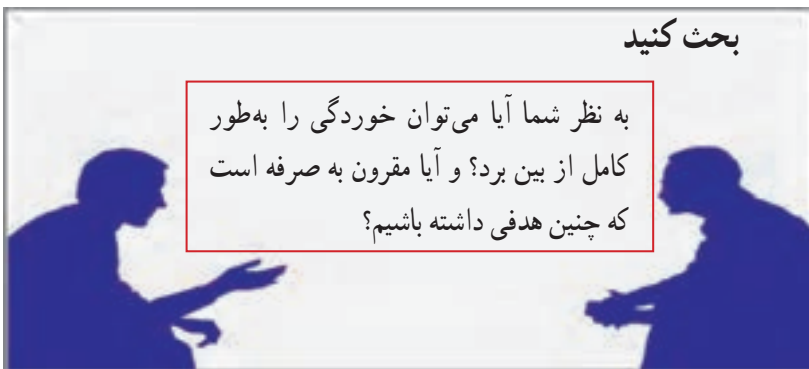
پره پمپ آب به دلیل وجود ذرات شن در محلول خورنده تخریب شده است. در این مثال ضمن اینکه پره فولادی در محلول خورنده قرار داشته، حضور ذرات ماسه در محلول و برخورد آنها به سطح پره پمپ باعث تشدید پدیده خوردگی گردیده است.



شکل ۲۳-۷- پره پمپ به دلیل قرار گرفتن در محلول خورنده حاوی ذرات ماسه دچار خوردگی فرسایشی شده است.

## ۷-۴- روش‌های کنترل خوردگی و حفاظت مواد

به منظور کاهش اثرات ناشی از خوردگی و حفاظت از مواد اقدامات مختلفی را می‌توان انجام داد، که راهکارهای اصلی در نمودار (۷-۴) آمده است. لازم به یادآوری است که انتخاب نوع روش اجرایی علاوه بر مسائل فنی، مشروط به اقتصادی بودن راهکار مورد نظر است.



در حالت کلی جهت کاهش میزان خوردگی و حفاظت مواد در برابر این پدیده مخرب چهار راهکار اساسی وجود دارد. به طور معمول ترکیبی از روش‌های مذکور برای حفاظت از مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد که در ادامه به صورت مختصر به معرفی این روش‌ها می‌پردازیم.

استفاده از پوشش‌های  
محافظ

طراحی مناسب

روش‌های کنترل خوردگی  
و حفاظت مواد

تغییر محیط خورنده

انتخاب مواد مناسب

نمودار ۷-۴- روش‌های اصلی کنترل خوردگی و حفاظت مواد

## بحث کنید

به نظر شما جهت کنترل یا کاهش میزان خوردگی مواد تا چه میزان هزینه کردن مناسب است؟



شکل ۷-۲۴- مخزن تحت فشار که ممکن است برای انجام فعل و انفعال شیمیایی در دمای بالا به کار گرفته شود.

### ۷-۴-۱- طراحی و انتخاب مواد

مناسب: در موقع طراحی سازه‌های صنعتی طراحان باید پیش بینی مسائل مربوط به خوردگی را در نظر بگیرند و تا حد ممکن سعی کنند عوامل مؤثر در خوردگی را کاهش داده و یا شرایط ایجاد آن را از بین ببرند.

به‌عنوان مثال: مطابق شکل (۷-۲۴) یک راکتور شیمیایی و یا مخزن تحت فشار را در نظر بگیرید.

موارد مهمی که طراح باید در موقع طراحی سازه فلزی در نظر بگیرد عبارت است از:

- ۱- نوع، میزان و چگونگی اعمال نیروهای مکانیکی را در نظر بگیرد (محاسبه نماید) و متناسب با آن مواد قابل استفاده را مشخص نماید.
- ۲- با در نظر گرفتن مواد شیمیایی داخل آن و شرایط کاری نظیر: دما و فشار از میان مواد مشخص شده گزینه‌های مناسب را از نظر خوردگی معین کند.
- ۳- با توجه به الزامات دیگر طراحی نظیر: شرایط ورودی و خروجی مواد شیمیایی، فرآیند ساخت و تولید سازه، و هزینه‌ها، ماده بهینه را انتخاب نماید.
- ۴- پس از انتخاب ماده مناسب موارد دیگری نیز وجود دارد که طراح باید در طراحی سازه

اصلی و متعلقات جانبی آن از نظر شکل و محل اتصالات در نظر بگیرد :

- تا حد ممکن میزان تنش‌ها و نقاط تمرکز تنش کاهش یابد.
- از تشکیل محل‌های ساکن برای محلول جلوگیری شود.
- از شرایط ایجاد تغییر ناگهانی در سرعت سیال و تشکیل تلاطم شدید پرهیز نماید.



شکل ۲۵-۷- اتصالات خط لوله محتوی سیال خورنده به دلیل تماس قطعات با جنس‌های متفاوت دچار خوردگی شدید شده است.



شکل ۲۶-۷- گازهای خروجی از دودکش در خوردگی تجهیزات اطراف واحد صنعتی مؤثر است.

۵- از به کار بردن دو فلز غیر هم‌جنس در تماس با هم در محیط خورنده پرهیز کند و در صورتی که لازم است دو فلز غیر هم‌جنس در تماس با هم، داخل الکترولیت مشترک قرار گیرند سعی کنند :

- دو فلز، با توجه به نمودار پتانسیل الکتروشیمیایی نزدیک به هم انتخاب شوند.
- فلز فعال‌تر دارای سطح بزرگتر باشد؛ تا از تمرکز خوردگی جلوگیری شود.

● در صورت امکان با استفاده از واشر یا صفحات پلاستیکی بین مواد متفاوت عایق الکتریکی ایجاد کند. شکل (۲۵-۷) نمونه از خوردگی به دلیل تماس قطعات با جنس‌های متفاوت را نشان می‌دهد.

۲-۴-۷- تغییر شرایط محیط خورنده : یکی دیگر از راهکارهای کاهش میزان خوردگی و حفاظت از مواد، تغییر در شرایط محیط خورنده است. برای این منظور می‌توان اقدامات زیر را انجام داد :

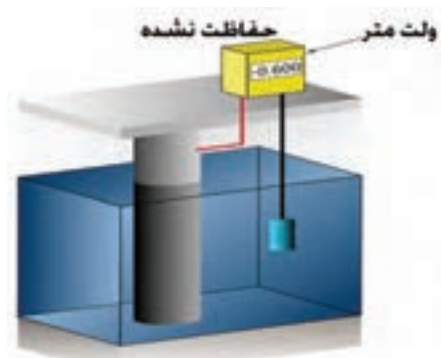
۱- حذف یا کاهش عوامل خورنده از طریق فیلترکردن مواد مضر و جلوگیری از ورود آنها به محیط مثل : فیلتراسیون گازهای خروجی از دودکش واحدهای صنعتی (شکل ۲۶-۷).

۲- راهکار دیگر اضافه کردن مواد شیمیایی به محیط پیرامون سازه فلزی جهت خنثی کردن اثر مواد خورنده است. در این خصوص می‌توان به عملیات بهسازی و تصفیه آب‌های صنعتی مورد استفاده در صنایع مختلف مثل: نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها اشاره کرد که به منظور کاهش اثرات خوردگی روی سازه‌های صنعتی، مواد خورنده و مضر موجود در آب قبل از استفاده حذف می‌شوند.

۳-۴-۷- تغییر پتانسیل سازه فلزی: این کار به دو صورت امکان‌پذیر است؛ یکی از طریق اتصال سازه اصلی به فلز فعال‌تر که در شکل (۲۷-۷) به صورت شماتیک نشان داده شده است. روش دیگر اعمال جریان برق مستقیم به منظور کاهش تمایل به از دست دادن الکترون توسط سازه مورد نظر می‌باشد که در شکل (۲۷-۷ قسمت C) تابلو اعمال جریان مستقیم (DC) برای حفاظت سازه مدفون در خاک و در قسمت (b) نمایش شماتیک فرآیند این روش حفاظتی نشان داده شده است. لازم به ذکر است این تکنیک‌ها به‌عنوان روش‌های حفاظت کاتدی معروف می‌باشند.



(b) سازه حفاظت شده با آند آلومینیومی



(a) سازه حفاظت نشده



(c) تابلو اعمال جریان مستقیم (DC)

شکل ۲۷-۷- حفاظت کاتدی سازه فولادی با استفاده از آند فدا شونده آلومینیومی

همان‌طور که در شکل (۷-۲۷) ملاحظه می‌شود با اتصال قطعه آلومینیومی دارای پتانسیل منفی‌تر نسبت به فولاد، سبب کاهش پتانسیل الکتروشیمیایی سازه فولادی و در نتیجه کاهش تمایل آن به اکسید شدن (خوردگی) می‌شود. در این روش قطعه آلومینیومی با فدا کردن خود باعث کاهش میزان خوردگی سازه فولادی می‌گردد. در شکل (۷-۲۸) بخشی از یک سکوی دریایی که بر اساس این روش تحت حفاظت قرار گرفته نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۸- سکوی دریایی که آندهای آلومینیومی جهت حفاظت کاتدی به آن متصل شده است.

لازم به یادآوری است استفاده از سیستم حفاظت کاتدی برای حفاظت سازه‌های فلزی مدفون در خاک مثل: مخازن و خطوط لوله به‌عنوان سیستم مکمل پوشش کاربرد گسترده‌ای دارد که در شکل (۷-۲۹) هر دو روش حفاظت کاتدی به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۷-۲۹- سیستم حفاظت کاتدی برای حفاظت سازه‌های مدفون در خاک (b- حفاظت مخزن از طریق اعمال جریان مستقیم (DC) a- حفاظت خطوط لوله از طریق کار گذاشتن آند جداشونده منیزیمی در مجاورت آن

#### ۴-۲-۷- استفاده از پوشش‌های محافظ : یکی از دلایل اصلی استفاده از پوشش در

سازه‌های صنعتی حفاظت آنها در برابر خوردگی می‌باشد. به‌طور کلی صرف نظر از این که پوشش‌ها ماهیت پلیمری، سرامیکی، فلزی و یا کامپوزیتی داشته باشند، به‌عنوان سدی در برابر حمله عوامل خوردنده به سطح سازه صنعتی عمل می‌کنند و مانع از تماس این عوامل با سطح می‌شوند. در جدول (۲-۷) ضمن معرفی انواع متداول و پرکاربرد پوشش‌های محافظ، روش‌های متداول اعمال آنها بر روی سطح و نمونه‌هایی از کاربرد آنها در صنعت آورده شده است.

لازم به یادآوری است عملکرد پوشش نسبت به شرایط سطح سازه و تمیز بودن آن قبل از اعمال پوشش بسیار حساس می‌باشد، بنابراین باید قبل از اعمال پوشش هر گونه آلودگی مثل : پلیسه، زنگار، چربی، جرقه‌های جوشکاری و غیره از روی سطح قطعه تمیز گردند. همچنین در موقع اعمال پوشش لازم است دقت شود که پوشش به‌طور کامل روی سطح سازه را بپوشاند و یا در صورت تخریب موضعی، نسبت به ترمیم پوشش اقدام گردد.

### توجه



تجربه نشان می‌دهد بیش از ۷۰ درصد موفقیت یا اثربخش بودن پوشش بستگی به تمیز بودن و شرایط سطح سازه قبل از اعمال پوشش دارد.



جدول ۲-۷ انواع پر کاربرد پوشش‌های محافظ، روش‌های متداول اعمال و نمونه کاربرد آنها در صنعت

تصویر سازه‌های صنعتی	روش‌های متداول اعمال پوشش	ماهیت پوشش	نوع پوشش	ردیف
	<p>۱- پاشش ۲- غوطه‌وری ۳- ابزار دستی</p>	<p>این پوشش‌ها از مواد پلیمری می‌باشند و عمدتاً به منظور محافظت سازه‌های فلزی در محیط اتمسفری استفاده می‌شوند؛ نظیر اپوکسی، پلی‌اورتان، پلی‌استر و غیره</p>	پلیمری	۱
	<p>۱- پاشش ۲- غوطه‌وری ۳- آبکاری</p>	<p>این پوشش‌ها ماهیت فلزی دارند و دو دسته‌اند ۱- پوشش یک عنصری که از یک عنصر فلزی تشکیل شده‌اند مثل پوشش گالوانیزه، قلع، طلا، نقره، کرم و غیره. ۲- پوشش‌های آلیاژی که پوشش از ترکیب دو یا چند عنصر فلزی تشکیل شده است</p>	فلزی	۲
	<p>۱- پاشش ۲- غوطه‌وری</p>	<p>این پوشش‌ها ماهیت معدنی (غیر فلزی) و غیر پلیمری دارند مثل لعاب‌ها که روی ظروف سفالی یا فلزی اعمال می‌شوند.</p>	سرامیکی	۳

- ۱- کدام یک از موارد زیر نشان دهنده ایجاد خوردگی است؟  
 الف) زنگ زدن بدنه کولر آبی  
 ب) تخریب یک مجسمه سنگی به دلیل قرار گرفتن در معرض برف و باران  
 ج) سوراخ شدن لوله‌های آب شهری  
 د) همه موارد
- ۲- کدام یک از موارد زیر نشان دهنده ایجاد خوردگی الکتروشیمیایی است؟  
 الف) ترک خوردن لوله پلاستیکی به دلیل قرار گرفتن در معرض نور خورشید  
 ب) متورم شدن ظرف پلاستیکی محتوی محلول اسید  
 ج) سوراخ شدن بدنه یک تانک فلزی محتوی اسید سولفوریک  
 د) پاره شدن سیم بکسل به دلیل وارد کردن نیروی زیاد
- ۳- زمان لازم برای تجزیه کدام یک از مواد زیر در طبیعت بیشتر است؟  
 الف) فولاد کربنی ب) لاستیک ج) چوب د) مس
- ۴- مکانیزم‌های اصلی ایجاد خوردگی را نام ببرید؟ (سه عامل)
- ۵- فلزات بیشتر دچار چه نوع خوردگی می‌شوند؟  
 الف) الکتروشیمیایی ب) شیمیایی  
 ج) مکانیکی د) شیمیایی و مکانیکی به صورت همزمان
- ۶- اجزاء اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی را نام ببرید؟
- ۷- برای اتصال دو صفحه فولاد کربنی استفاده از میخ پرچ‌های از جنس کدام فلز مناسب‌تر است؟ چرا؟  
 الف) مس ب) روی ج) قلع د) آلومینیومی
- ۸- راه‌های کنترل خوردگی و حفاظت از مواد را نام ببرید؟ (چهار مورد)
- ۹- سه دسته اصلی پوشش‌های محافظ را نام ببرید؟
- ۱۰- سه روش اصلی اعمال پوشش‌های محافظ را نام ببرید؟
- ۱۱- پتانسیل الکتروشیمیایی یک سازه فلزی تحت حفاظت کاتدی نسبت به شرایط بدون حفاظت چگونه است؟  
 الف) مثبت‌تر است ب) منفی‌تر است

(ج) فرق نمی‌کند (د) بستگی به جنس سازه دارد  
۱۲- برای حفاظت یک سازه فولادی با استفاده از آند فدا شونده، کدامیک از مواد زیر مناسب نمی‌باشد؟

(الف) روی (ب) آلومینیوم (ج) منیزیم (د) فولاد زنگ نزن  
۱۳- به نظر شما با افزایش آلودگی هوا سرعت خوردگی .....  
.....

(الف) افزایش می‌یابد (ب) کاهش می‌یابد  
(ج) تغییر نمی‌کند (د) بستگی به دمای محیط دارد  
۱۴- به نظر شما سرعت خورده شدن یک سازه فولادی در کدامیک از شرایط آب و هوایی زیر بیشتر است؟

(الف) گرم و مرطوب (ب) سرد و خشک  
(ج) سرد و مرطوب (د) معتدل و نیمه خشک

۱۵- طراح یک سازه فلزی از نظر خوردگی به چه نکاتی بایستی توجه کند؟ (چهار مورد)  
.....

۱۶- برای جوشکاری یک سازه فلزی از نظر خوردگی جنس الکتروود بهتر است چگونه باشد؟

(الف) هم جنس با جنس فلز اصلی باشد.  
(ب) از جنس فعال تر نسبت به فلز اصلی باشد.  
(ج) از جنس نجیب تر نسبت به فلز اصلی باشد.  
(د) فرق نمی‌کند.

۱۷- دلیل زنگ نزدن فولاد زنگ نزن ناشی از وجود عنصر ..... در فولاد است.

(الف) کروم (ب) کربن (ج) مس (د) آلومینیوم

۱۸- پوشش‌های محافظ چگونه باعث حفاظت از مواد می‌شوند؟

۱۹- مکانیزم خوردگی را در حالت‌های زیر بنویسید؟

(الف) لوله پلاستیکی که دچار ترک خوردگی شده است.

(ب) سطح ستون فولادی که در شرایط اتمسفری زنگ زده است.

(ج) پروانه پمپ آب که در معرض محلول حاوی ذرات ساینده (ماسه) تخریب شده

است.

# فصل هشتم

## فرآیندهای تولید



**هدف رفتاری :** با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

- ۱- روش‌های ساخت و تولید سازه‌های صنعتی را نام ببرد.
- ۲- روش‌های مختلف و متداول ریخته‌گری را نام ببرد.
- ۳- مزایا و کاربرد روش‌های ریخته‌گری را نام ببرد.
- ۴- روش آهنگری (فورج) را توضیح دهد و موارد متداول کاربرد آن را در صنعت بیان کند.
- ۵- روش نورد را شرح دهد و موارد کاربرد آن را در صنعت ذکر کند.
- ۶- روش اکستروژن را توضیح دهد و موارد متداول کاربرد آن را در صنعت بیان نماید.
- ۷- روش متالورژی پودر را شرح دهد و موارد کاربرد صنعتی آن را بیان نماید.

## ۸-۱- مقدمه

وسایلی که در محیط زندگی مورد استفاده قرار می‌گیرند، حاصل انجام یکسری اقدامات کارگاهی با استفاده از ابزار و دستگاه‌های مختلف و صرف هزینه و زمان بر روی مواد اولیه یا مصنوعات نیم‌ساخته می‌باشد. مثل ریخته‌گری، جوشکاری، نورد، ماشین‌کاری، آهن‌گری و غیره که ما آنها را به نام روش‌های مختلف ساخت و تولید قطعات و سازه‌های صنعتی می‌شناسیم و شما با برخی از این روش‌ها در سال‌های قبل یا درس‌های دیگر آشنا شده‌اید. در این فصل با بعضی از روش‌ها مثل: ریخته‌گری، شکل دهی فلزات در حالت جامد و متالورژی پودر آشنا می‌شوید.

## ۸-۲- ریخته‌گری

ریختن مذاب فلزات و آلیاژها در محفظه‌ای به نام قالب با هدف تولید قطعه‌ای با شکل مشخص را ریخته‌گری می‌گویند. این روش قدیمی‌ترین فرآیند شناخته شده برای تولید قطعات صنعتی است. شکل (۸-۱) کوره ذوب یک واحد کوچک ریخته‌گری را نشان می‌دهد. در حال حاضر نیز از بهترین روش‌های ساخت و تولید قطعات صنعتی بشمار می‌رود، به طوری که هنوز هم بیش از ۵۰ درصد قطعات انواع ماشین‌آلات صنعتی با این روش تهیه می‌شوند. فلزاتی که نمی‌توان آن‌ها را به راحتی از روش‌های دیگر شکل‌دهی ساخت، یا چکش‌خواری کمی دارند و نیز قطعاتی که دارای شکل‌های پیچیده هستند به روش ریخته‌گری تولید می‌شوند. به طور کلی در فرآیند ریخته‌گری ابتدا مدلی از قطعه مورد نظر تهیه شده و سپس بر اساس مدل قالب ساخته می‌شود. در مرحله بعدی مذاب‌ریزی درون قالب انجام می‌شود و در انتهای کار در صورت نیاز قطعه پلیسه‌گیری و پرداخت نهایی می‌شود. در جدول (۸-۱) انواع متداول و پرکاربرد روش‌های قالب‌گیری را ملاحظه کنید و در ادامه برخی از آنها شرح داده خواهند شد.

به عقیده صنعتگران، ریخته‌گری هم علم است، هم فن و هم هنر



شکل ۸-۱- کوره ذوب و فولادسازی در یک واحد ریخته‌گری کوچک

جدول ۱-۸ - انواع متداول روش‌های قالب‌گیری و موارد کاربرد آنها

نمونه کاربرد صنعتی	توضیح	روش قالب‌گیری
سرسیلندر، بدنه موتور	قالب‌های یکبار مصرف از ماسه ساخته می‌شوند. هزینه پایین، قابلیت ریخته‌گری وسیع فلزات در اندازه‌ها و شکل‌های مختلف از ویژگی‌های آن است.	قالب ماسه‌ای
میله‌های اتصال، جعبه دنده	از قالب‌های سرامیکی با ضخامت کم استفاده می‌شود، دقت، نرخ تولید بالا و کیفیت سطح بهتر از ویژگی‌های آن است.	قالب پوسته‌ای
پروانه، قالب تزریق مواد پلیمری	از قالب ماسه‌ای که با دمش گاز دی‌اکسید کربن سخت می‌شود استفاده می‌گردد.	قالب سرامیکی
جواهرات	قالب با دقت ابعادی بالا تهیه می‌شود و برای قطعات کوچک و گران قیمت مناسب است.	ریخته‌گری دقیق
چرخ دنده و جعبه‌دنده	قالب از جنس فلز ساخته می‌شود و تعداد زیادی قطعه با استفاده از یک قالب ساخته می‌شود. کیفیت سطح خوب و نرخ تولید بالا است ولی قالب آن گران قیمت است.	قالب دائمی
رینگ اتومبیل، و چرخ‌دنده‌های دقیق	مذاب با فشار به داخل قالب فلزی تزریق می‌شود. دقت ابعادی عالی و نرخ تولید بالا از ویژگی‌های آن است.	تحت فشار

### ۳-۸- روش‌های مهم ریخته‌گری

- ۱-۳-۸- ریخته‌گری ماسه‌ای: پرکاربردترین قالب‌های یک بار مصرف، قالب‌های ماسه‌ای هستند که در آن قالب ساخته شده پس از انجماد مذاب شکسته می‌شود. در این نوع ریخته‌گری ابتدا مدل چوبی یا پلاستیکی بر اساس شکل محصول به طور معمول به صورت دوتکه ساخته می‌شود. شکل (۸-۲) نمونه‌ای از مدل چوبی ریخته‌گری پولی پروانه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۸- تهیه مدل ریخته‌گری ماسه‌ای



شکل ۳-۸- درجه در ریخته‌گری ماسه‌ای

سپس مدل را در قالب نگه‌دارنده فلزی که دو تکه است قرار می‌دهند. هر یک از دو قسمت جداشدنی قالب را «درجه» می‌نامند. شکل (۳-۸) یک جفت درجه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸- فرآیند قالب‌گیری ماسه‌ای

درجه بالایی را بر روی میز کار قرار می‌دهند، قسمت بالایی مدل را در داخل آن می‌گذارند و با کوبیدن ماسه درون قالب (شامل ماسه، آب، خاک رس و نوعی چسب) آن را پر می‌کنند. شکل (۴-۸) نمونه قالب ماسه‌ای پولی پروانه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۸- ماهیچه گذاری در قالب ریخته‌گری

بسیاری از قطعات ریخته‌گری توخالی هستند و یا حفره‌های موجود در آنها قابل دسترس نیستند. این سطوح درونی با قرار دادن ماهیچه داخل قالب شکل می‌گیرد. شکل (۵-۸) نمونه دو ماهیچه استوانه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۸- عملیات مذاب‌ریزی



شکل ۷-۸- پرداخت کاری سطحی



شکل ۸-۸- قالب فلزی ریخته‌گری (قالب تولید سر سیلندر در کارخانه ایران خودرو)

یادآوری می‌شود گذاشتن تکه چوبی به صورت شیب‌دار برای ایجاد راهگاه مناسب درون قالب و نیز تعبیه تغذیه‌کننده برای جبران کمبود ماده مذاب به دلیل انقباض مذاب در درون قالب ضروری است.

پس از خارج کردن مدل از قالب و کار گذاشتن راهگاه، دو نیمه قالب بر روی هم قرار گرفته و مذاب را درون آن می‌ریزند. پس از سرد شدن مذاب، قالب را شکسته و قطعه را خارج می‌کنند. شکل (۶-۸) زمان مذاب‌ریزی داخل قالب را نشان می‌دهد.

پس از خروج قطعه از قالب لازم است، فلز اضافی و لوله‌های تغذیه مذاب بریده شوند. هم‌چنین سطوح مهم ماشین‌کاری شوند تا سطحی پرداخت شده و دقیق حاصل گردد. شکل (۷-۸) پرداخت کاری نهایی پولی ریخته‌گری شده را نشان می‌دهد.

### ۲-۳-۸- ریخته‌گری در قالب فلزی :

مانند ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای است، با این تفاوت که قالب‌ها در این روش فلزی هستند و از آنها برای مدت طولانی استفاده می‌شود. قالب‌ها به‌طور معمول دو تکه ساخته می‌شوند و به وسیله گیره یا پیچ و غیره به هم متصل می‌شوند. (شکل ۸-۸)

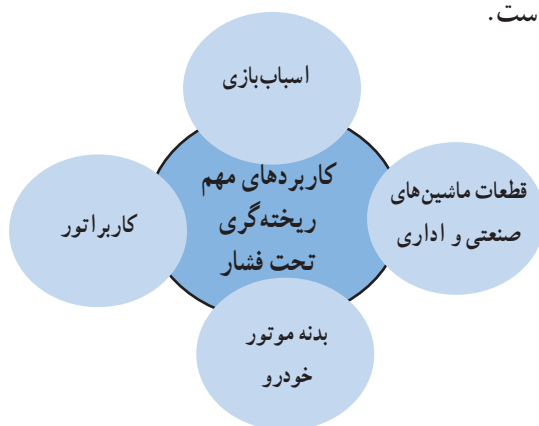


### ۳-۳-۸- ریخته‌گری تحت فشار (دایکاست)<sup>۱</sup>: در ریخته‌گری تحت فشار مواد مذاب

تحت فشار به داخل قالب تزریق می‌شوند (بر خلاف روش‌های دیگر که مذاب تحت نیروی وزن خود قالب را پر می‌کند). شکل (۹-۸) یک نمونه از تجهیزات این نوع ریخته‌گری را نشان می‌دهد. تولید قطعات بدون حفره به علت تحت فشار بودن مذاب در درون قالب از مزیت‌های این روش است. بیشتر قطعات آلومینیومی به روش دایکاست ریخته‌گری می‌شوند. در نمودار (۱-۸) موارد پر کاربرد این روش ریخته‌گری و در شکل (۱۰-۸) چند نمونه صنعتی ریخته‌گری شده به این روش نشان داده شده است.



شکل ۹-۸- تجهیزات ریخته‌گری تحت فشار



نمودار ۱-۸- کاربرد ریخته‌گری تحت فشار



شکل ۱۰-۸- چند نمونه از قطعات ریخته‌گری شده به روش دایکاست پیوسته

#### ۴-۳-۸- ریخته‌گری پیوسته : در این روش فلز مذاب به وسیله پاتیل<sup>۱</sup> به محل دستگاه

ریخته‌گری پیوسته حمل می‌شود، سپس مذاب به داخل ظرف نگهدارنده مذاب ریخته می‌شود و به تدریج وارد محفظه انجماد می‌شود. ظرف نگهدارنده مذاب از جنس مس ساخته شده و مرتباً با سیستم آبگرد سرد می‌شود. فلز مذاب پس از ورود به محفظه انجماد و سرد شدن به شکل جامد از آن خارج می‌شود و توسط جریان آب یا هوا خنک می‌شود. وقتی که طول نیم ساخته منجمد شده به حد معینی برسد به وسیله ابزار برش (مکانیکی یا حرارتی) برش داده می‌شود. در شکل (۸-۱۱) تخلیه مذاب از پاتیل ذوب‌ریزی را در فرآیند ریخته‌گری پیوسته نشان می‌دهد و شکل (۸-۱۲) انجام برش گرم تحت‌الهای گداخته تولید شده به وسیله عملیات ریخته‌گری پیوسته را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱۲- برش حرارتی نیم ساخته‌های ریخته‌گری شده در حالت گداخته در فرآیند ریخته‌گری پیوسته



شکل ۸-۱۱- تخلیه مذاب یا مذاب‌ریزی از درون پاتیل حمل مذاب در ابتدای خط ریخته‌گری پیوسته.

#### ۴-۸- ریخته‌گری چدن

با توجه به این که چدن از قابلیت ریخته‌گری خوب و چکش‌خواری بدی برخوردار است لذا به‌طور معمول از روش ریخته‌گری برای تولید قطعات چدنی استفاده می‌کنند. قالب‌گیری قطعات کوچک در داخل درجه و قطعات بزرگ در زمین انجام می‌شود. پس از تهیه قالب، چدن مذاب را از طریق راهگاه به داخل قالب می‌ریزند و پس از سرد شدن و انجماد، قطعه مورد نظر را از قالب خارج می‌کنند. اندازه مدل بایستی به اندازه انقباضی که فلز در هنگام سرد شدن پیدا می‌کند (چدن خاکستری ۱ درصد) بزرگتر از قطعه اصلی در نظر گرفته شود. هم‌چنین برای ایجاد فضای خالی در قسمت‌هایی از قطعه مورد نظر می‌توان از ماهیچه استفاده کرد که در این موارد باید روی مدل زائده‌ای برای تکیه‌گاه ماهیچه در نظر گرفت. شکل (۸-۱۳) تخلیه مذاب چدن از کوره یک کارگاه تولید قطعات چدنی را نشان می‌دهد.

۱- پاتیل : ظرف فلزی بزرگی است که برای حمل مذاب استفاده می‌شود.



شکل ۱۳-۸

## ۵-۸- ریخته‌گری فولاد

ریخته‌گری برای تولید قطعات فولادی در مقایسه با قطعات چدنی کاربرد کمتری دارد. ولی



شکل ۱۴-۸- عملیات ذوب‌ریزی از پاتیل حمل مذاب

برخی از قطعات صنعتی که فرم پیچیده‌ای دارند و یا لازم است نیروی زیادی را تحمل کنند از فولادهای ریخته‌گری ساخته می‌شوند.

ریخته‌گری فولادها نیز مشابه چدن‌ها است، با این تفاوت که اگر از روش ریخته‌گری در ماسه استفاده می‌شود، باید ماسه‌ای به کار رود که دیرگدازتر باشد (دمای مذاب فولاد بیشتر از چدن است). از تفاوت‌های دیگر انقباض بیشتر مذاب فولاد (حدود ۲ درصد) نسبت به چدن است. از این روش برای تهیه قطعاتی مانند: بدنه توربین، جرثقیل و غیره استفاده می‌شود. شکل (۱۴-۸) تخلیه مذاب فولاد را از پاتیل مذاب‌ریزی نشان می‌دهد.

## ۸-۶- شکل‌دهی فلزات در حالت جامد

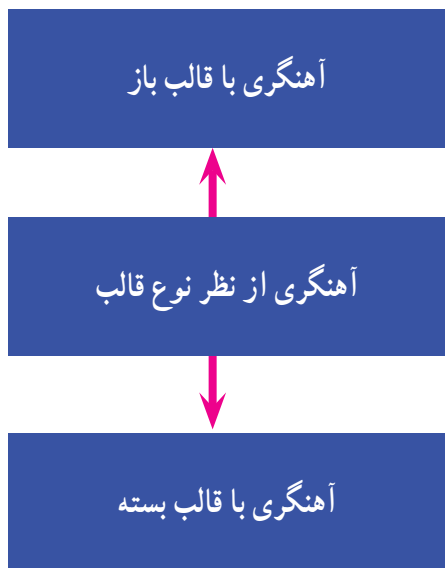
یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در تولید قطعات صنعتی فرآیند شکل‌دهی در حالت جامد است که به روش‌های مختلف انجام می‌شود. در این روش‌ها نیرو عامل اصلی شکل‌دهی است و از حرارت نیز می‌توان به‌عنوان عامل کمکی بهره برد. آهنگری، نورد و اکستروژن از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های شکل‌دهی فلزات در حالت جامد هستند.

۸-۶-۱ آهنگری<sup>۱</sup>: آهنگری یکی از قدیمی‌ترین روش‌های شکل دادن فلزات می‌باشد. در دوران گذشته آهنگران فلز مورد نظرشان را تا حد لازم گداخته می‌کردند، بعد با یک انبر آن را بر روی سندان نگه می‌داشتند و چکش کاری می‌کردند تا شکل مورد نظر را پیدا کند. شکل (۸-۱۵) روش آهنگری سنتی را نمایش می‌دهد.

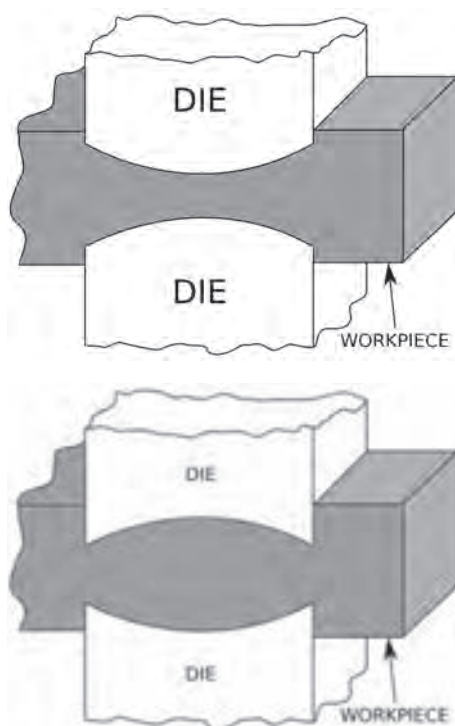


شکل ۸-۱۵- آهنگری به روش سنتی

امروزه نیز فلز نیم‌ساخته را که به لقمه معروف است، گداخته (گرم می‌کنند) و در قالب یا سندان قرار داده و با اعمال نیرو به شکل قالب در می‌آورند. شکل (۸-۱۶) دو نمونه از قالب‌های مورد استفاده در این فرآیند شکل‌دهی فلزات را به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد. نیرو را می‌توان به آرامی (با پرس هیدرولیک) و یا به‌صورت ضربه‌ای (با پتک مکانیکی) اعمال کرد. نمودار (۸-۲) دسته‌بندی عملیات آهنگری را از لحاظ نوع قالب نشان می‌دهد و در شکل (۸-۱۷) فرآیند آهنگری را در یک واحد بزرگ صنعتی نشان می‌دهد.



نمودار ۸-۲- تقسیم‌بندی عملیات آهنگری

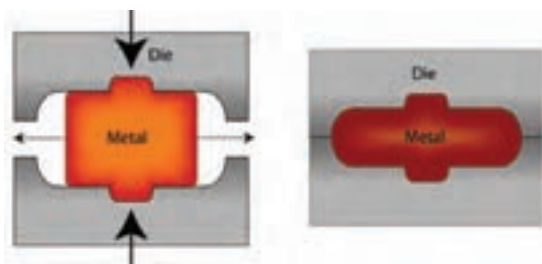


شکل ۸-۱۶- دو نوع قالب فرآیند شکل‌دهی به روش آهنگری



شکل ۸-۱۷- تولید قطعات فولادی به روش آهنگری در یک واحد بزرگ صنعتی

آهنگری در قالب باز معمولاً برای شکل‌های ساده و با دقت ابعادی کم استفاده می‌شود. در این روش سنبه توسط دستگاه پرس به لقمه‌ای که درون قالب قرار دارد برخورد کرده و با کاستن از ارتفاع آن طول و عرض قطعه را تا مقدار معینی افزایش می‌دهد. در آهنگری به روش قالب بسته که در شکل (۸-۱۸) به صورت شماتیک نشان داده شده است و برای شکل‌های پیچیده مناسب است، لقمه درون نیمه پایینی قالب قرار گرفته و نیمه بالایی قالب توسط پرس بر روی لقمه فشار وارد می‌کند. به این ترتیب لقمه به شکل محفظه داخل قالب درمی‌آید. شکل (۸-۱۹) تصویر دیگری از عملیات آهنگری به روش قالب باز را برای تولید قطعات صنعتی نشان می‌دهد.

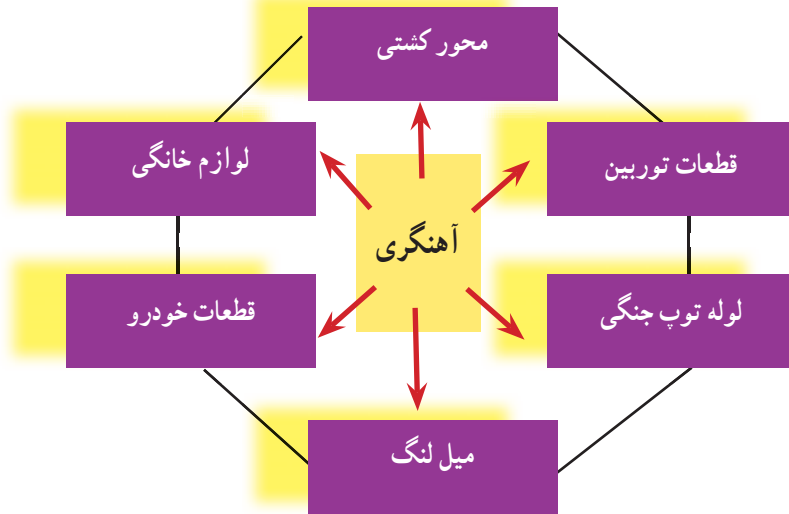


شکل ۸-۱۸



شکل ۸-۱۹- عملیات آهنگری به روش قالب باز برای تولید قطعات صنعتی

سکه و آچار فرانسه دو نمونه از قطعات تولید شده به روش آهنگری هستند. نمودار (۸-۳) کاربردهای مختلف قطعات آهنگری شده را در بخش‌های مختلف صنعتی نشان می‌دهد. در شکل (۸-۲۰) تعدادی از قطعات کوچک صنعتی که به وسیله روش آهنگری تولید شده‌اند نشان داده شده است.

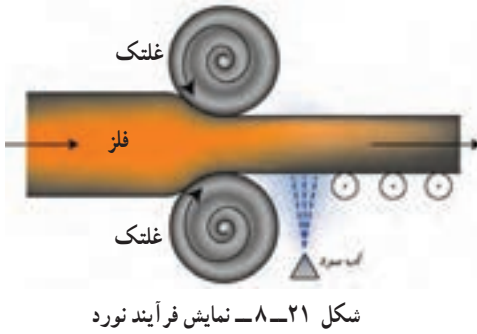


نمودار ۳-۸- کاربرد روش آهن‌گری در تولید قطعات صنعتی



شکل ۲۰-۸- برخی از قطعات صنعتی که به روش آهن‌گری تولید شده‌اند.

از مزایای روش آهن‌گری می‌توان به کم بودن ضایعات اشاره کرد و از معایب آن می‌توان کیفیت سطحی نه‌چندان بالا را نام برد. لازم به یادآوری است، تمامی فلزات را نمی‌توان به روش آهن‌گری شکل داد، زیرا برخی فلزات ترد و شکننده هستند (مثل چدن‌ها)، حتی زمانی که به آن‌ها حرارت داده شود.



۲-۶-۸- نورد: در این روش تغییر

شکل بر اثر عبور قطعه فلزی از میان دو غلتنک ایجاد می‌شود (شکل ۸-۲۱). در فرآیند نورد به دلیل نیروهای فشاری، ضخامت قطعه کاهش یافته، طول و پهنای آن اضافه می‌شود. شکل (۸-۲۲) خط نورد گرم در کارخانه فولاد مبارکه اصفهان را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۲۲- خط نورد گرم در کارخانه فولاد مبارکه اصفهان

یادآوری می‌شود قسمت اعظم فلزات و آلیاژها در کارخانه‌های تولید مواد فلزی به صورت شمش یا نیم ساخته تولید می‌شوند و سپس در کارگاه‌های صنعتی توسط دستگاه‌های نورد به ورق، تیر آهن، تسمه، ریل، نبشی و غیره تبدیل می‌شوند. شکل (۸-۲۳) چند نمونه از محصولات صنعتی تولید شده به روش نورد را نشان می‌دهد.

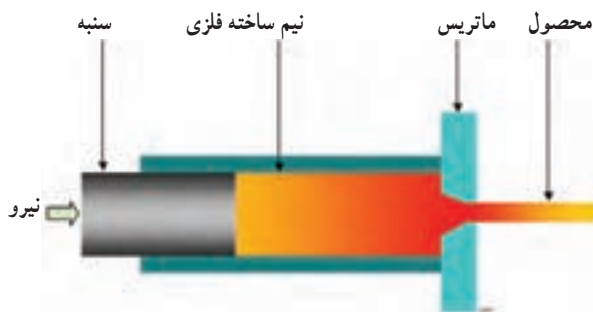


شکل ۸-۲۳- بعضی از محصولات فولادی تولید شده به وسیله عملیات نورد



۳-۶-۸- اکستروژن<sup>۱</sup>: عبارت است از عبور دادن فلز گداخته نیم ساخته فلزی از روزنه

یک قالب توسط اعمال نیرو برای تولید مقطعی با شکل دلخواه شکل (۲۴-۸). برای این منظور ابتدا ماتریسی<sup>۲</sup> به فرم مقطع شمش مورد نظر تهیه و در پیشانی سیلندر پرس نصب می کنند. سپس فلز گداخته ای را که هم قطر محفظه پرس هیدرولیک است به پودر شیشه آغشته می کنند و در داخل محفظه قرار می دهند. سمبه پرس هیدرولیک از پشت به فلز گداخته فشار وارد می کند و آن را از داخل روزنه ماتریس به بیرون می راند. شکل (۲۵-۸) این عملیات را نشان می دهد. استفاده از پودر شیشه باعث کم کردن اصطکاک شده و عمل رانش بلوک را آسان تر می کند. بیشترین کاربرد این روش برای تولید پروفیل های فلزات غیر آهنی مثل آلومینیوم است. شکل (۲۶-۸) نمونه هایی از پروفیل های تولید شده به روش اکستروژن را نشان می دهد.



شکل ۲۴-۸- نمونه ای از قالب مورد

استفاده در فرآیند اکستروژن

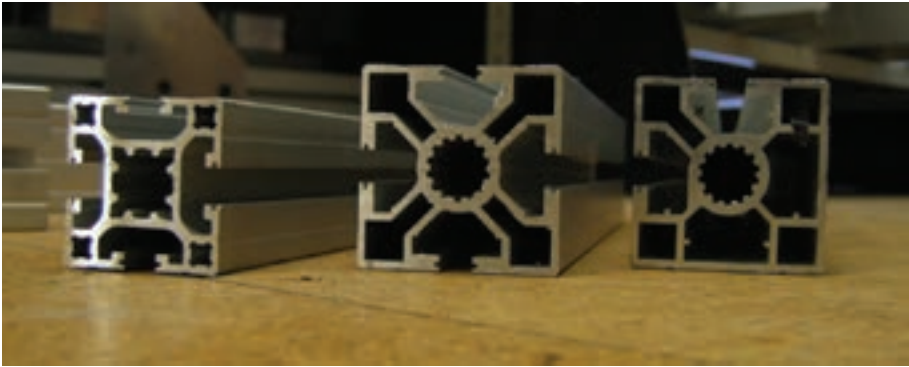
شکل ۲۵-۸- فرآیند اکستروژن در تولید قطعات صنعتی



شکل ۲۶-۸- اعمال فشار توسط پرس هیدرولیک به فلز گداخته در فرآیند اکستروژن

۱- Extrusion

۲- نوعی قالب است که فلز گداخته با فشار از داخل آن عبور می کند و شکل مقطع خروجی آن را به خود می گیرد.



شکل ۲۷-۸- پروفیل‌های مختلف فلزی تولید شده به روش اکستروژن

## ۸-۷- متالورژی پودر

متالورژی پودر فرآیند قالب‌گیری قطعات فلزی از پودر فلز توسط اعمال فشار زیاد می‌باشد. در این فرآیند پس از عمل فشردن پودر فلز، عمل تف‌جوشی در درجه حرارت زیر نقطه ذوب و در فشار یک اتمسفر انجام می‌پذیرد که در آن ذرات فلز ضمن متراکم شدن، به هم جوش می‌خورند. نمودار (۸-۴) مراحل مختلف تولید قطعات صنعتی به روش متالورژی پودر را نشان می‌دهد.

# فرآیند متالورژی پودر



نمودار ۴-۸- مراحل مختلف روش متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی

یکی از مزایای این روش قابلیت آن برای تولید قطعات پیچیده با کیفیت بالا و تolerانس‌های دقیق با رعایت جنبه‌های اقتصادی است. شکل (۸-۲۸) کاربرد روش متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی و نمونه‌هایی از قطعات تولید شده به این روش را نشان می‌دهد.



نمودار ۸-۵- کاربرد متالورژی پودر در تولید قطعات صنعتی



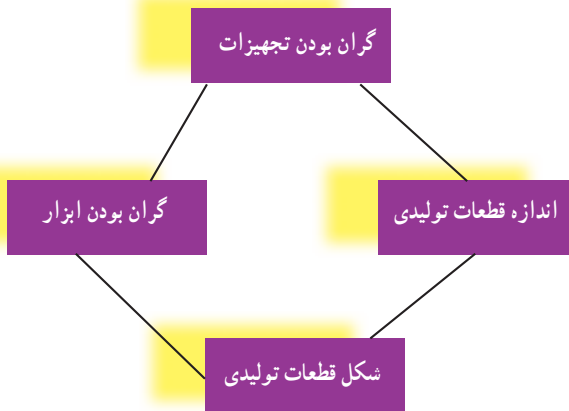
شکل ۸-۲۸- نمونه‌هایی از قطعات صنعتی تولید شده به روش متالورژی پودر

یکی از کاربردهای رایج قطعات متالورژی پودر در صنایع خودروسازی می‌باشد. از دیگر قطعات تولید شده به روش متالورژی پودر می‌توان به تولید رشته‌های تنگستنی لامپ، بوش‌های خود روانساز، اتصالات الکتریکی، اجزاء ترمیمی بدن، قطعات ماشین‌های اداری، صافی‌های مورد مصرف در دمای بالا، قطعات ضدسایش، قطعات توربین و آمالگام‌های دندانپزشکی اشاره نمود. شکل (۸-۲۹) نمونه‌های دیگری از قطعات تولید شده به روش متالورژی پودر را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۲۹- نمونه‌هایی دیگر از محصولات تولید شده به روش متالورژی پودر

با وجود تمامی مزیت‌های متالورژی پودر، محدودیت‌هایی نیز در این روش وجود دارد. نمودار (۸-۶) به محدودیت‌های روش متالورژی پودر اشاره می‌کند.



نمودار ۸-۶- محدودیت‌های روش متالورژی پودر

با این وجود بیشتر قطعات تولید شده بوسیله متالورژی پودر کمتر از  $\frac{2}{3}$  کیلوگرم وزن دارند، اگرچه می‌توان قطعاتی با وزن ۱۶ کیلوگرم را هم به وسیله ماشین‌آلات متعارف متالورژی پودر تولید کرد. هم‌چنین گران بودن ابزار و تجهیزات خط تولید باعث می‌شود که ظرفیت تولید پایین، غیراقتصادی گردد.

- ۱- در صنعت کدام روش قالب گیری فراگیرتر از سایر روش ها است؟  
 الف) بوته ای    ب) ماسه ای    ج) سرامیکی    د) تحت فشار
- ۲- کدام گزینه غلط بیان شده است؟  
 الف) در روش قالب ماسه ای قالب و مدل یک بار مصرف هستند.  
 ب) قالب فلزی برای مدت طولانی مورد استفاده واقع می شود.  
 ج) در روش قالب گیری دقیق مدل هم یکبار مصرف است.  
 د) در ریخته گری تحت فشار قطعات محکم و بدون مک تولید می شود.
- ۳- کدام گزینه نادرست است؟ بیان شده است که.  
 الف) از مزایای فرج نداشتن ضایعات است.  
 ب) تمامی فلزات را می توان با روش فورج شکل داد.  
 ج) امروزه فرج کاری جای آهنگری سابق را گرفته است.  
 د) فرم گرفتن لقمه گداخته با ضربه درون قالب نوعی فرج است.
- ۴- چگونگی استفاده از نورد در ساخت را بنویسید.
- ۵- ماده اولیه نیم ساخته های فولادی چه شکلی دارد و چگونه شکل می گیرد؟
- ۶- تف جوش یعنی چه و در کجا مورد استفاده واقع می شود؟
- ۷- مزایای تولید به روش متالورژی پودر را بنویسید.
- ۸- کاربرد متالورژی پودر در صنایع اتومبیل کدام است؟
- ۹- محدودیت های تولید به روش متالورژی پودر را بنویسید.
- ۱۰- در کدام روش ماشین کاری، قطعه کار ضمن عبور از ابزارهای برنده متوالی شکل می گیرد؟  
 الف) تراشکاری    ب) فرزکاری    ج) خان کشی    د) سنگ زنی

# فصل نهم

## انتخاب مواد



**هدف‌های رفتاری :** با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

- ۱- مراحل عرضه یک محصول به بازار را نام ببرد.
- ۲- فرآیند انتخاب مواد را شرح دهد.
- ۳- دلایل کلی انتخاب مواد اجزاء یک محصول را بیان نماید.

## ۹-۱- مقدمه

در فصل‌های قبل با مواد مختلف صنعتی، خواص و موارد کاربرد آنها در صنعت آشنا شدیم و به صورت مختصر روش‌های ساخت و تولید سازه‌های صنعتی مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل مراحل کلی انتخاب مواد برای سازه‌های صنعتی با ذکر مثال بیان می‌شود و پارامترهای مؤثر در آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

## ۹-۲- انتخاب مواد مهندسی

برای ورود به بحث با بررسی خواص چند سازه صنعتی شروع می‌کنیم: برای ساخت ریل‌های قطار از فولاد استفاده می‌شود، چون فولاد دارای استحکام و چقرمگی بالا می‌باشد و در برابر سایش مقاوم است. مناسب‌ترین نوع فولاد  $CK60$  و  $CK70$  می‌باشد که دلیل آن قابلیت سختی‌پذیری سطحی آن و در نتیجه مقاومت به سایش مناسب می‌باشد. از مواد سرامیک و یا پلیمر نمی‌توان استفاده کرد چون: سرامیک‌ها ترد و شکننده هستند و پلیمرها با وجود چقرمگی مناسب، استحکام لازم برای تحمل وزن قطار را ندارد (شکل ۹-۱).



شکل ۹-۱- ریل راه آهن از فولاد مقاوم در برابر سایش ساخته می‌شود.

برای ساخت بدنه کشتی نکات زیر باید در انتخاب ماده مد نظر قرار گیرد:

- استحکام بالا
- قابلیت شکل‌پذیری و جوشکاری مناسب
- مقاومت در برابر خوردگی





شکل ۹-۲- کشتی مسافربری ساخته شده از آلیاژهای آلومینیومی



شکل ۹-۳- کشتی غول پیکر ساخته شده از فولاد کربنی

فولادها و آلیاژهای آلومینیومی می‌توانند انتظارات فوق را برآورده نمایند، هر چند فولاد از نظر استحکام نسبت به آلیاژهای آلومینیوم برتری دارد ولی آلیاژهای آلومینیوم از نظر مقاومت در برابر خوردگی و سبک بودن مزیت دارند. بنابراین برای ساخت کشتی‌های غول‌پیکر که استحکام بالاتری نیاز دارند فولاد گزینه مناسب‌تر است (شکل ۹-۳) (برای جلوگیری از خوردگی آن از سیستم حفاظتی استفاده می‌کنند) و در ساخت کشتی‌های مسافربری (شکل ۹-۲) و قایق‌ها که سرعت آنها نیز اهمیت پیدا می‌کند، استفاده از آلیاژهای آلومینیومی مناسب‌تر است.

۹-۲-۱- خودرو: جنس ورق‌های مورد استفاده در بدنه خودروها به‌طور عمده از

فولادهای میکروآلیاژی می‌باشد (شکل ۹-۴) چون:

- نسبت استحکام به وزن نسبتاً بالایی دارند.
- از قابلیت شکل‌پذیری و جوش‌کاری مطلوبی برخوردارند.



شکل ۹-۴- بدنه خودرو به‌طور معمول از فولادهای میکروآلیاژی (کم آلیاژ) ساخته می‌شود.

۹-۲-۲- هواپیما : بدنه هواپیما را از آلیاژهای آلومینیوم می‌سازند شکل (۹-۵) چون :  
نسبت استحکام به وزن بالایی دارند (حدود سه برابر فولاد است).



شکل ۹-۵- بدنه هواپیما به‌طور معمول از آلیاژهای آلومینیوم ساخته می‌شود.

از سرامیک‌ها و پلیمرها به‌دلایل زیر نمی‌توان برای ساخت بدنه هواپیما استفاده کرد.

#### سرامیک‌ها

۱- قابلیت شکل پذیری کمی دارند.

۲- ترد و شکننده هستند.

#### پلیمرها

۱- استحکام پایینی دارند.

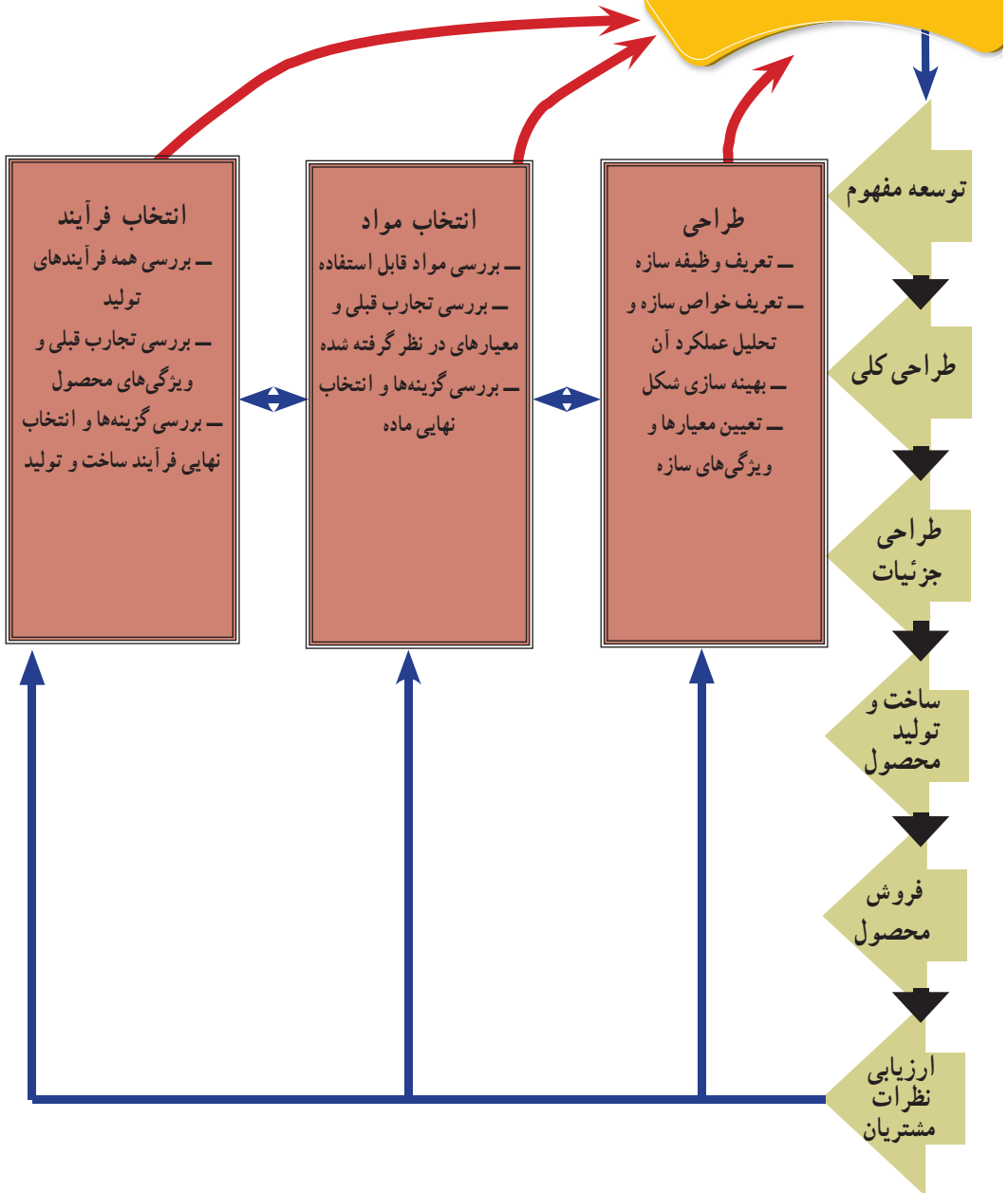
۲- قابلیت اتصال مناسبی ندارند.

### ۹-۳- مراحل طراحی، ساخت و تولید سازه‌های صنعتی

به‌طور کلی در فرآیند ساخت و تولید محصول صنعتی مراحل متعددی وجود دارد که باید به آنها

پرداخته شود. در نمودار (۹-۱) به مراحل اصلی و مهم اشاره شده است.

## پیدایش نیاز جدید در بازار



نمودار ۱-۹- مراحل عرضه محصول به بازار

انتخاب مواد یکی از مراحل مهم در تولید محصول صنعتی است. سؤال اینجاست که با توجه به گستردگی بسیار زیاد مواد مهندسی، چگونه می‌توان خواص همه آنها را بررسی کرد و به جواب مناسب رسید؟ اگر فرایند انتخاب ماده بدون روند خاصی صورت گیرد، احتمال حذف انتخاب‌های مناسب‌تر وجود دارد. شاید به نظر برسد که می‌توان از تجارب قبلی استفاده نمود، اما روشن است که آنچه در گذشته انتخاب شده یک جواب است، ولی ممکن است مناسب‌ترین جواب نباشد. بنابراین اگر همیشه خود را به تجارب قبلی محدود کنیم از نوآوری غافل خواهیم شد.

#### ۹-۴- روند انتخاب مواد صنعتی

روند انتخاب مواد باید طوری باشد که در یک زمان محدود با بررسی گزینه‌های موجود، بهترین انتخاب را انجام داد.

۹-۴-۱ وظایف سازه: از آنجایی که سازه‌های مختلف دارای وظایف متفاوتی هستند، بنابراین معیارهای انتخاب آنها نیز متفاوت است. به‌عنوان مثال وظیفه اسکلت ساختمان این است که وزن ساختمان را تحمل کند و در برابر زلزله مقاوم باشد، بنابراین از ویژگی‌های لازم برای سازه مذکور استحکام بالا و تحمل امواج زلزله است.

جداره داخلی یک کوره ریخته‌گری را در نظر بگیرید. این ماده باید در دمای بسیار بالا کار کند و به‌طور دائم با فلزات مذاب در تماس باشد. پس باید در مقابل اکسیداسیون مقاوم باشد و از انتقال حرارت جلوگیری کند تا دمای داخل کوره افت نکند.

مثال دیگر، ماده مورد استفاده در ساخت سنبله است. این ماده باید بسیار سخت باشد تا باعث سایش دیگر اجسام شده ولی خودش سائیده نشود.

۹-۴-۲ شناسایی مواد قابل استفاده: با توجه به نیازها و محدودیت‌های تعیین شده در مرحله قبل، مواد قابل استفاده شناسایی و معرفی می‌شوند.

۹-۴-۳ ارزیابی گزینه‌ها: در این مرحله نقاط قوت و ضعف گزینه‌های مختلف از نظر فنی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و میزان در دسترس بودن و نیز صرفه اقتصادی مواد مختلف در نظر گرفته می‌شود.

به‌طور معمول علاوه بر مسائل فنی - اقتصادی محدودیت‌های دیگری نیز در انتخاب دخالت دارند مثلاً در مورد اسباب‌بازی‌ها، سالم و بی‌خطر بودن محصول اهمیت فراوانی دارد و یا استفاده از جیوه برای ساخت باتری ممنوع است چون جیوه باعث مسمومیت می‌شود.

همچنین در این مرحله برای افزایش دقت سعی می‌شود از محاسبات نیز کمک گرفته شود و به کمک نرم افزار شرایط عملکرد سازه شبیه‌سازی و تحلیل گردد. به‌طور مثال با محاسبه حداقل استحکام، سختی، هدایت الکتریکی و سایر معیارهای مهم و مقایسه خواص مواد مختلف با مقادیر تعیین شده، مواد قابل قبول از سایر مواد تفکیک می‌شوند. برای کمک به ارزیابی گزینه‌های باقیمانده می‌توان از پاسخ برخی سؤالات هم کمک گرفت:

۱- آیا محیطی که قرار است قطعه در آن کار کند شرایط خاصی دارد؟

دو قطعه را در نظر بگیرید که استحکام یکسانی نیاز دارند ولی یکی از آنها در یک کشتی و دیگری در لوازم خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اولی در محیطی کار می‌کند که تحت بارهای مکانیکی زیاد و خوردگی شدید قرار دارد، در حالی که شرایط کار قطعه دوم بسیار راحت‌تر است.

۲- حساسیت سازه چقدر است؟ (برای فهم بهتر موضوع، حساسیت یک قطعه از هواپیما را با یک قطعه از ماشین لباسشویی مقایسه کنید.)

۳- توجیه اقتصادی برای میزان سرمایه گذاری روی محصول چقدر است؟

۴-۴-۹- تصمیم‌گیری: در این مرحله با در نظر گرفتن تمام معیارها(فنی، اقتصادی، زیست محیطی و ایمنی) و توجه به میزان اهمیت آنها، ماده مناسب انتخاب می‌شود.

مثال کاربردی: برای درک بهتر موارد ذکرشده، مراحل انتخاب مواد اجزای مختلف یک دوچرخه بررسی می‌شود (شکل ۶-۹).

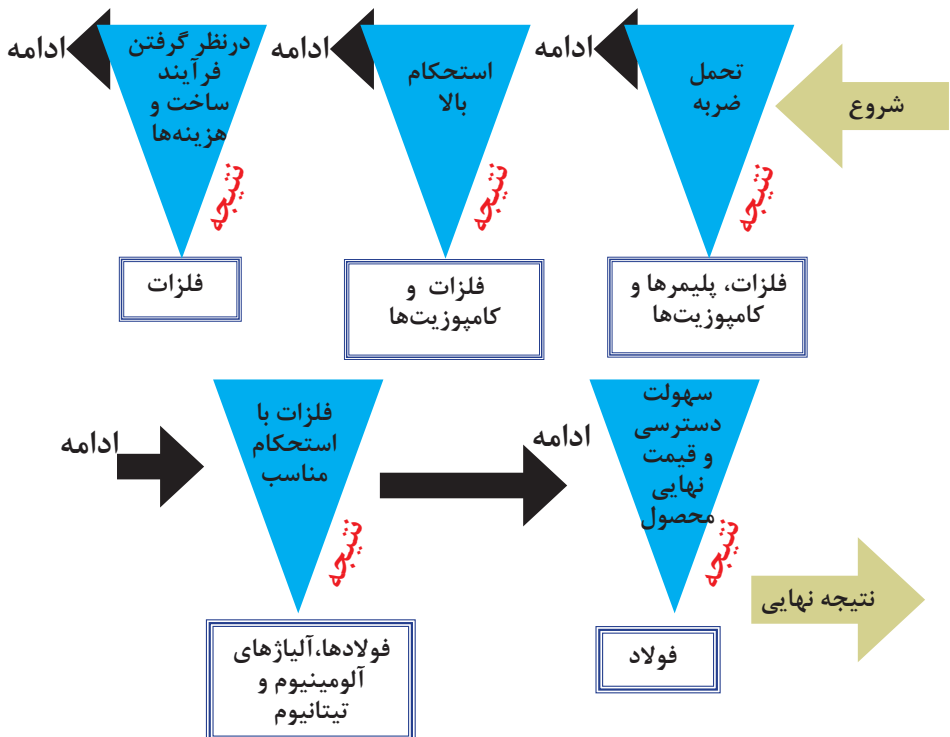


شکل ۶-۹- بخش‌های مختلف یک دوچرخه که باید از مواد مناسب ساخته شوند.

**الف) بدنه:** بدنه دوچرخه، ساختار اصلی آن را تشکیل می‌دهد بنابراین مهم‌ترین بخش آن نیز محسوب می‌شود. بدنه باید بتواند فشار ناشی از وزن دوچرخه‌سوار و ضربه‌های احتمالی در ناهمواری‌های راه را تحمل کند (نیاز عملکردی). وزن آن نیز نباید زیاد باشد تا باعث سنگین شدن دوچرخه نشود. بنابر این استحکام نسبتاً زیاد و وزن کم معیارهای اصلی انتخاب ماده مناسب برای بدنه دوچرخه هستند.

در بین مواد مهندسی گفته شده، فلزات و آلیاژهای آنها بهترین ترکیب از استحکام و تحمل ضربه را دارند و با روش‌های مختلف می‌توان مقاطع توخالی از آنها تولید کرد که وزن محصول را کاهش می‌دهد. در بین فلزات نیز فولادها و برخی از آلیاژهای آلومینیوم و آلیاژهای تیتانیوم دارای خواص مذکور هستند اما دسترسی به فولادها نسبت به دو دسته دیگر آسان‌تر و قیمت آن به مراتب پایین‌تر است (نیاز اقتصادی).

پس برای بدنه دوچرخه، فولاد انتخاب مناسبی است. ولی برای دوچرخه‌هایی که در مسابقات استفاده می‌شوند. محدودیت هزینه کمتر لحاظ می‌شود، در نتیجه می‌توان از آلیاژهای سبک‌تر و گران‌تر بهره برد. این مطالب در نمودار (۲-۹) نشان داده شده است.



نمودار ۲-۹- روند انتخاب ماده برای بدنه دوچرخه

ب) **روکش صندلی**: روکش صندلی باید از جنسی ساخته شود که دوچرخه‌سوار با نشستن روی آن احساس راحتی داشته باشد. ولی نباید آنقدر نرم باشد که پس از چند بار استفاده تغییر شکل دهد. بنابراین وظیفه آن ایجاب می‌کند که میزان مناسبی از نرمی و استحکام را هم‌زمان داشته باشد. پلیمرها ضمن سبک و نرم بودن از استحکام مناسبی نیز برخوردار هستند در حالی که فلزات و سرامیک‌ها سخت هستند و برای این محصول مناسب نمی‌باشند. هم‌چنین پلیمرها به‌طور معمول ارزان قیمت هستند. پس در مجموع مواد پلیمری انتخاب مناسبی برای این بخش از دوچرخه هستند.

ب) **ترمز**: وظیفه ترمز دوچرخه این است که باعث توقف سریع دوچرخه شود، بنابراین باید اصطکاک بالایی بین لاستیک چرخ و ترمز دوچرخه وجود داشته باشد. اغلب سرامیک‌ها زبر بوده و در تماس با مواد دیگر دارای ضریب اصطکاک بالایی هستند، اما آیا می‌توان ترمز دوچرخه را از جنس سرامیک ساخت؟ جواب این سؤال منفی است زیرا سختی بالایی سرامیک باعث تخریب لاستیک چرخ خواهد شد. پس بهتر است ترمز را هم‌جنس لاستیک دوچرخه انتخاب کنیم تا علاوه بر داشتن ضریب اصطکاک بالا، عمر لاستیک نیز کاهش نیابد.

ت) **سیم برقی**: مهم‌ترین وظیفه سیم برق آن است که جریان را به خوبی منتقل کند. سرامیک‌ها و پلیمرها رسانای جریان برق نیستند، پس باید از فلزات استفاده شود. طلا، نقره و مس در بین فلزات بهترین رسانایی را دارند و همگی با روش‌های تولید سیم سازگارند. ولی با در نظر گرفتن قیمت این فلزات، طلا و نقره کنار می‌روند و مس گزینه مناسب می‌ماند.

ث) **زنجر**: وظیفه زنجر دوچرخه، انتقال نیرو از رکاب به چرخ عقب است. از آنجایی که زنجر برای انجام این وظیفه با چرخ دنده‌ها در ارتباط است، باید در مقابل سایش مقاومت کند و اگر نیرو به شکل ناگهانی به آن وارد شد دچار شکست نشود. سرامیک‌ها در مقابل سایش بسیار مقاوم هستند ولی ترد بوده و با یک ضربه کوچک می‌شکنند. هم‌چنین امکان ساخت سرامیک‌ها به شکل زنجر وجود ندارد. پلیمرها نیز نرم بوده و تحمل سایش را ندارند. ولی فولادها از نظر مقاومت در برابر ضربه و سایش انتخاب مناسبی به حساب می‌آیند. ضمن این‌که با استفاده از روغن می‌توان شرایط کاری زنجر فولادی را راحت‌تر کرد تا عمر آن بیشتر شود.

## □ کار گروهی ۱

با دقت در مثال دوچرخه، در مورد هر یک از قطعات زیر (خودرو) چند ماده مناسب پیشنهاد داده و در نهایت یکی را انتخاب کنید.

- کمک فنر
- شیلنگ رادیاتور
- پیستون
- چرخ دنده گیربکس
- داشبورد
- بدنه
- شاسی

## □ کار گروهی ۲

به نظر شما در مورد قطعات زیر مهم‌ترین معیار انتخاب مواد چیست؟

- راکت بدمینتون
- سیلندر اتومبیل
- قاب تلفن همراه
- بال هواپیما
- کاغذ بسته‌بندی شکلات
- بدنه تانک نظامی
- مدارهای الکترونیکی



- ۱- چرا برای ساخت بدنه کشتی‌های کوچک از آلومینیوم استفاده می‌شود؟
- ۲- دلایل استفاده از پلیمر در ساخت قایق‌های تندرو را بنویسید.
- ۳- گزینه‌هایی که در انتخاب مواد برای یک سازه صنعتی مد نظر است کدام است؟
- ۴- CK۶۰ و CK۷۰ در ردیف کدام گروه از فولادها هستند؟

# پیوست‌ها

## جدول ۱- ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ابزار

مقایسه با (10.80) DIN 17350					
علامت اختصاری	شماره مواد	سختی HB <sup>11</sup>	دمای سخت کاری °C	A <sup>21</sup>	مثال‌های کاربردی
<b>فولادهای سرد کار غیر آلیاژی</b>					
C 60 W	1.1740	231	800...830	Ö	اجزای قالب، شافت قالب‌های تندبر و فلزات سخت
C 70 w2	1.1620	183	790 ... 820	W	ابزار هوای فشرده در صنایع معدن و جاده‌سازی
C 80 W1	1.1525	192	780 ... 810	W	قالب با حفزه تخت، قلم‌دستی، ماتریس ضربه سردکار، چاقو
C 85 W	1.1830	222	800 ... 830	Ö	تیغه اره نواری و دیسکی برای ماشینکاری چوب، تیغه ماشین‌های درو
C 105 W1	1.1545	213	770 ... 800	W	ابزار پیچ‌بری، قالب اکستروژن، قالب حکاکای، فرمان‌ها

## جدول ۲- ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ابزارسازی پر آلیاژ

مقایسه با (10.80) DIN 17350					
علامت اختصاری	شماره مواد	سختی HB <sup>11</sup>	دمای سخت‌کاری °C	A <sup>21</sup>	مثال‌های کاربردی
<b>فولادهای سردکار</b>					
X 19 NiCrMo 4	1.2767	255	780...810	L	فولاد سختکاری سطحی هوا سخت، شکل دادن مواد مصنوعی
X 36 CrMo 17	1.2316	285	1000...1040	Ö	ابزار کار روی مواد ترموپلاستی که خواص خوردگی شیمیایی دارند
X 210 CrW 12	1.2436	255	950...980	L	ابزار برش، تیغه‌های خان‌کنی، ابزار بیج‌زنی غلنکی، قالب‌های پرس، نازل سند بلاست
<b>فولادهای گرم کار</b>					
19 NiCrMoV 7	1.2714	248	860...900	L	سنبه اکستروژن، قالب چکنشی
X 38 CrMoV 51	1.2343	229	1000...1040	L	قالب، قالب ریخته‌گری تحت فشار فلزات سبک
X 32 CrMoV 33	1.2365	229	1010...1050	Ö	توبی قالب آهنگری بسته، قالب آهنگری، قالب ریخته‌گری تحت فشار فلزات سبک و سنگین
<b>فولادهای تندبر</b>					
S 6-5-2	1.3343	240 تا 300	1190...1230	Ö, L	تیغه‌های خان‌کنی، منته ماریج، تیغه فرز، برفو، قلاویز، خزینه‌زن، قالب برش ظریف
S 6-5-2-5	1.3243		1200...1240	Ö, L	تیغه فرز، منته ماریج، قلاویز
S 10-4-3-10	1.3207		1210...1250	Ö, L	رنده تراشکاری و فولادهای قالب
S 18-1-2-5	1.3255		1260...1300	Ö, L	رنده تراشکاری، رنده صفحه تراش، تیغه فرز
1- وضعیت تحویل 2- وسیله سخت کردن (ترساندن): آ ب W، روغن Ö، هوا L					

جدول ۳- ویژگی ها و کاربرد فولادهای سردکار آلیاژی

مقایسه با (10.80) DIN 17350					
مثال های کاربردی	A <sup>21</sup>	دمای سخت کاری °C	سختی HB <sup>11</sup>	شماره مواد	علامت اختصاری
ابزار براده برداری مواد مصنوعی که ماشینکاری شده و سختکاری سطحی (سمانتاسیون) می شود.	Ö	810...840	212	1.2436	21 MnCr 5
برش ورق فولادی 6...15mm، ماتریس آرایشی، بیرون انداز، سنبه سوراخ کاری سردکار	Ö	870 ... 900	229	1.2550	60 WCrV 7
شکل دادن مواد مصنوعی، تکه های براده برداری و سنبه ها، قالب های کنش عمیق، ابزار اندازه گیری	Ö	790 ... 820	229	1.2842	90 MnCrV 8
فرامین، سنبه های کنش، ابزار براده برداری چوب، قرقره لبه دار کردن سر لوله، سنبه	Ö	790 ... 820	223	1.2067	100 Cr 6
فلاویز، بیرون انداز، سنبه، خزینه زن، قلم (فولاد نقره)	W	760 ... 810	223	1.2210	115 CrV 3
حدیده، تیغه فرز، برقو، فرامین ابزار اندازه گیری، ابزار پیچ زنی، سنبه	Ö	800...830	229	1.2419	106 WCr 6

جدول ۴- ویژگی ها و کاربرد فولادهای مقاوم به حرارت

مقایسه با (10.83) DIN 17155									
نوع فولاد	استحکام کششی R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	درصد تغییر طول نسبی شکست A به %	تنش تسلیم Re به N/mm <sup>2</sup> در دمای به °C					خواص، کاربرد	
			20	200	300	400	500		
UHI	1.0348	280...400	25	195	135	95	70	-	مخصوص همه روش های جوشکاری ذوبی و جوشکاری برقی لب به لب ضربه ای، مخزن های تحت فشار، لوله های تحت فشار، تأسیسات دیگ بخار
HI	1.0345	360...480	24	235	185	140	110	-	
HII	1.0425	410...530	22	265	205	155	130	-	
17 Mn 4	1.0481	460...580	21	290	245	205	155	-	
19 Mn 6	1.0473	510...650	20	355	265	225	175	-	
15 Mo 3	1.5415	440...590	20	275	225	180	160	150	
13 CrMo 4 4	1.7335	440...590	20	300	240	215	190	175	
10 CrMo 9 10	1.7380	480...630	18	310	245	230	205	185	

مقادیر استحکام برای محصولات با ضخامت کمتر از 16mm صادق است.

## جدول ۵- ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ضد زنگ

مقایسه با (07.85) DIN 17440							
نوع فولاد	شماره مواد	B <sup>11</sup>	سختی HB	استحکام کششی R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	تنش تسلیم R <sub>p</sub> <sup>0.2</sup> N/mm <sup>2</sup>	درصد تغییر طول نسبی شکست A %	خواص، کاربرد
X 6 Cr 13	1.4000	G	185	400...600	250	20	فولادهای فریتی قابل تغییر شکل سرد، براده‌برداری بد، قابلیت جوشکاری مشروط؛ اجزای مانع و محافظ، پوشش
X 6 CrAl 13	1.4002	V	—	550...700	400	18	
X 6 Cr 17	1.4016	G	185	450...600	270	20	
X 6 CrTi 17	1.4510	G	185	450...600	270	20	
X 10 Cr 13	1.4006	G	200	450...650	250	20	فولادهای مارتنزیتی سختکاری شونده، براده‌برداری خوب، گاهی جوشکاری نشدنی، قطعات با استحکام بالا؛ محوره‌های ثابت و گردان، صنایع جراحی
		V	—	600...800	420	18	
X 20 Cr 13	1.4021	G	230	≤ 740	—	—	
		V	—	650...800	450	14	
X 38 Cr 13	1.4031	G	250	≤ 800	—	—	
X 45 CrMoV 15	1.4116	G	280	≤ 900	—	—	
X 5 CrNi 18 10	1.4301	A	—	500...700	195	45	فولادهای آستنیتی قابلیت خوب تغییر شکل سرد، جوشکاری خوب، براده‌برداری بد؛ صنایع شیمیایی و تغذیه
X 6 CrNiTi 18 10	1.4541	A	—	500...730	200	40	
X 6 CrNiMoTi 17 12 2	1.4571	A	—	500...730	210	35	
X 2 CrNiMo 18 16 4	1.4438	A	—	490...690	230	35	
۱- وضعیت عملیات حرارتی: G آنیل شده، V بهسازی شده، A سخت شده (ترسانده شده) مقادیر استحکام برای فولاد تسمه تا ضخامت 25mm و تولیدات صفحه‌ای شکل (ورق و نوار) تا ضخامت 12mm صادق است.							

جدول ۶- ویژگی ها و موارد استفاده فولادهای تسمه و ورق

مقایسه با (2.86) DIN 1623 T2

نوع فولاد	C %	استحکام کششی R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	تنش تسلیم R <sub>e</sub> N/mm <sup>2</sup>	درصد تغییر طول نسبی شکست % A	سختی HRB	خواص، کاربرد	
							شماره علامت اختصاری
St 37.2 G	0.17	360...510	215	20	-	تولیدات صفحه‌ای شکل نورد سرد طبق DIN 1623 T2 در ضخامت 3mm استاندارد شده است.	
St 37.2 G							1.0037 G
St 37.3 G							1.0116 G
St 44.3 G	0.20	430...580	245	18	-	در مورد نبود محدودیت جوشکاری چیزی نمی‌توان گفت. همه انواع و سطوح تولید، مخصوص پوشش رنگ است.	
St 52.3 G	1.0570 G	510...680	325	16			
St 50.2 G	1.0050 G	490...660	295	14			
St 60.2 G	0.50	590...770	335	10	-		
St 70.2 G	1.0070 G	690...900	365	6			

جدول ۷- ویژگی ها و کاربرد فولادهای نسوز

موارد استفاده	ویژگی ها	علامت اختصاری
لوله‌های بخار داغ	قابلیت جوشکاری خوب	14 CrMo 4
سویاپ‌های موتورهای احتراقی	مقاوم در مقابل سایش و خوردگی	X 45 Cr Ni W 15 13 X 45 Cr Ni Si 19 10
قطعات کوره‌های صنعتی، جعبه‌های بهسازی	مقاوم در مقابل سوختن (تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد)	X 15 Cr Ni Si 25 20

جدول ۸- ویژگی ها و کاربرد فولادهای فنر قابل بهسازی

مقایسه با (12.72) DIN 17221

نوع فولاد		وضعیت عملیات حرارتی بهسازی شده					درصد تغییر طول نسبی شکست A %	خواص، کاربرد
علامت اختصاری	شماره مواد	نورد گرم سختی HB	آنیل نرم سختی HB	استحکام کششی R <sub>m</sub> N/mm <sup>2</sup>	تنش تسلیم R <sub>p</sub> <sup>0.2</sup> N/mm <sup>2</sup>			
38 Si 7	1.0970	240	217	1180...1370	1030	6	حلقه های فنری، صفحات فنری	
51 Si 7	1.0903	270	245	1320...1570	1130	6	فنرهای تخت و مخروطی	
60 SiCr 7	1.0961	310	255	1320...1570	1130	6	فنرهای بشقابی و استوانه ای	
55 Cr 3	1.7176	310	248	1370...1620	1180	6	فنرهای تخت؛ بشقابی؛ استوانه ای تخت تنش بالا	
50 CrV 4	1.8159	310	241	1370...1670	1180	6		
51 CrMo 4	1.7701	310	255	1370...1670	1180	6		

مقادیر استحکام برای قطعات با قطر 10mm صادق است.  
مدول الاستیسیته حدود E=200 000 N/mm<sup>2</sup> و مدول برشی (مدول بانکی) G=800 000 N/mm<sup>2</sup> است.

جدول ۹- ویژگی‌ها و کاربرد فولادهای ورق ظریف و ورق سفید (حلبی)

مقایسه با (10.84) DIN 1616

ورق ظریف یک محصول نیمه تمام نورد سرد از فولاد غیر آلیاژی نرم است.  
ورق سفید، یک ورق ظریف با پوشش قلع الکترولیتی دو طرفه است.

تقسیم بندی طبق درجه سختی				تقسیم بندی طبق پوشش قلع			
علامت اختصاری	شماره مواد		سختی راکول HR 30 Tm	دو طرفه مساوی		دو طرفه نامساوی	
	ورق سفید	ورق ظریف		علامت کوتاه	پوشش قلع هر طرف به $g/m^2$	علامت کوتاه	پوشش قلع هر طرف به $g/m^2$
T50	1.0381	1.0371	< 52	E 1.0 / 1.0	1.0	D 2.0 / 1.0	2.0 / 1.0
T52	1.0382	1.0372	48...56	E 2.8 / 2.8	2.8	D 5.0 / 2.8	5.0 / 2.8
T57	1.0385	1.0375	54...61	E 4.0 / 4.0	4.0	D 7.5 / 5.0	7.5 / 5.0
T61	1.0387	1.0377	57...65	E 5.0 / 5.0	5.0	D 5.6 / 2.8	5.6 / 2.8
?	?	?	61...60	E 7.5 / 7.5	7.5	D 8.4 / 5.6	8.4 / 5.6

جدول ۱۰- کاربرد فولادهای از ته شدنی (نیتروژنه)

نوع فولاد	شماره مواد	آنیل نرم سختی HB	$11_B$	استحکام کششی $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	تنش تسلیم $R_{p0.2}$ N/mm <sup>2</sup>	درصد تغییر طول نسبی شکست A %	خواص، کاربرد
مقایسه با (94.87) DIN 17211							
31 CrMo 12	1.8515	248	V	1000...1200	800	11	قطعات تحت سایش تا ضخامت 250mm سوپاپ اتومبیل
15 CrMoV 5 9	1.8521	248	V	900...1100	750	10	
31 CrMoV 9	1.8519	248	V	1000...1200	800	11	قطعات تحت سایش مقاوم به حرارت تا ضخامت 100mm
34 CrAlMo 5	1.8507	248	V	800...1000	600	14	قطعات تحت سایش مقاوم به حرارت تا 500°C و ضخامت 80mm، قطعات توربین بخار
34 CrAlNi 7	1.8550	248	V	850...1050	650	12	برای قطعات مخصوص بزرگ، شاتون، محورها

## واژه‌نامه

### الف

Extraction	استخراج
Direct reduction	احیا مستقیم
Ferrous	آهن
Pig iron	آهن خام
Hydrometallurgy	استخراج فلزات به روش تر
Pyrometallurgy	استخراج فلزات به روش حرارت
Ultimate Tensile Strength	استحکام نهایی تسلیم
Alloy	آلیاژ
Standard	استاندارد
Austenite	آستنیت
Aluminum	آلومینیوم
Forging	آهنگری

### ب

Beinite	بینیت
Cutting	برشکاری
Tomas – Besmer	توماس – بسمر (روش فولادسازی)
Stress	تنش
Yield stress	تنش تسلیم



Fracture stress	تنش شکست
Tensile test	تست کشش
	□پ
Polymer	پلیمر
Plastic	پلاستیک
Metallic bonding	پیوند فلزی
Aging	پیرسختی
Pearlite	پرلیت
	□ج
Periodic table of elements	جدول طبقه بندی عناصر
Solid	جامد
Welding	جوشکاری
	□چ
Cast Iron	چدن
White cast iron	چدن سفید
Grey cast iron	چدن خاکستری
Malleable cast iron	چدن مالیبل
Ductile cast iron	چدن نشکن
Density	چگالی
	□خ
Milling	خرد کردن

Physical properties	خواص فیزیکی
Mechanical properties	خواص مکانیکی
Creep	خزش
Fatigue	خستگی
	□ر
Microstructure	ریزساختار
Zinc	روی
Casting	ریخته‌گری
	□ز
Siemens – Martin	زیمنس – مارتین (روش فولادسازی)
	□س
Ceramic	سرامیک
Atomic Structure	ساختار اتمی
Lattice	سلول واحد
Simple Cubic	سلول واحد مکعبی ساده
Body Centered Cubic	سلول واحد مکعبی مرکزدار
Face Centered Cubic	سلول واحد مکعبی با وجوه مرکزپر
Hexagonal Close – Packed	سلول واحد منشور با قاعده شش ضلعی فشرده
Wear	سایش
Hardness	سختی
Rockwell hardness	سختی راکول

Brinell hardness	سختی برینل
Vickers hardness	سختی ویکرز
Cementite	سمانتیت
Lead	سرب
	ش □
Glass	شیشه
Brittle fracture	شکست ترد
Ductile fracture	شکست نرم
	ع □
Heat Treatment	عملیات حرارتی
Defect	عیب
	غ □
screening	غربال کردن
	ف □
Metal	فلز
Ferrous metal	فلزات آهنی
Non – Ferrous metal	فلزات غیر آهنی
Steel	فولاد
Plain carbon steel	فولاد ساده کربنی
Alloy steel	فولاد آلیاژی
Stainless steel	فولاد زنگ نزن

High Strength Low Alloy	فولاد کم آلیاژ پیر استحکام
Tools steel	فولاد ابزار
Fiber	فیبر
Ferrite	فریت
	□ ق
Tin	قلع
Tinning	قلع اندود
	□ ک
Blast furnace	کوره بلند
Composite	کامپوزیت
Electric arc furnace	کوره قوس الکتریک
Crystal	کریستال
Strain	کرنش
Fracture strain	کرنش شکست
Cool work	کار سرد
Hot work	کار گرم
	□ گ
Galvanizing	گالوانیزه کردن
Gas	گاز
Necking	گلوبی شدن
	□ ل

Rubber	لاستیک
Pipe	لوله
	□ م
Mandaliev	مندلیف
Electron See model	مدل دریای الکترونی
Liquid	مایع
Magnetic	مغناطیس
Stress – Strain curve	منحنی تنش – کرنش
Elastic zone	منطقه الاستیک
Plastic zone	منطقه پلاستیک
Elongation	میزان ازدیاد طول
Martensit	مارتنزیت
Copper	مس
Powder Metallurgy	متالورژی پودر
	□ ن
Nanomaterials	نانومواد
Tension force	نیروی کششی
Pressure force	نیروی فشاری
Shear force	نیروی برشی
Screw force	نیروی پیچشی
Melting point	نقطه ذوب

Boiling point

نقطه جوش

Rolling

نورد

□ و

Plate

ورق

□ هـ

Electrical Conductivity

هدایت الکتریکی

Thermal Conductivity

هدایت حرارتی

## منابع و مآخذ

- 1\_ Avner, introduction to physical metallurgy, McGraw Hill, 1983.
  - 2 \_ David A. Porter, Phase Transformations in Metals and Alloys, CRC press, 2001.
  - 3\_ Dieter, mechanical metallurgy, McGraw Hill, 1984.
  - 4\_ Metal handbook 19th edition, vol 1, Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys.
  - 5\_ Metal handbook 29th edition, vol, Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special \_ Purpose Materials.
  - 6\_ Metal handbook 58th edition, vol, forging & casting.
  - 7\_ Metal handbook 19th edition, vol, Metallographic and Microstructures.
- ۸\_ خواص مکانیکی مواد: فلزات و سرامیک‌ها، نگارش علوم، احمد رزاقیان و آرمان صدقی، ۱۳۸۴
- ۹\_ خواص فیزیکی مواد، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، احمد رزاقیان و سعید باغ‌شاهی، ۱۳۸۸
- ۱۰\_ اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها، دانشگاه صنعتی اصفهان، محمدعلی گل‌نذار، ۱۳۸۸
- ۱۱\_ مرجع کامل آلیاژهای آهنی و غیر آهنی، سایه گستر، علیرضا ململی، ۱۳۸۸
- ۱۲\_ آلومینیوم و آلیاژهای آن، سراجیان، جواد قربانیان و حسین سراجیان، ۱۳۸۸

۱۳- خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمرها، دانشگاه تهران، سیامک مطهری و ایرج رضاییان،

۱۳۸۶

۱۴- انتخاب مواد برای طراحی - مهندسی، دانشگاه فردوسی (مشهد)، ترجمه علی حائریان

اردکانی، محسن حداد سبزواری و فاتح فاضلی

۱۵- جزوه دوره‌های مهندسی بین‌المللی جوش (IIW)، مجموعه شماره دو - بخش فولادسازی،

مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

۱۶- جزوه دوره‌های مهندسی بین‌المللی جوش (IIW)، مجموعه شماره دو - بخش آلیاژهای

آهن کربن، مرکز پژوهش و مهندسی جوش ایران

