بسم الله الرحمن الرحیم

# دانش فنی پایه

رشتهٔ متالورژی

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ دهم دورهٔ دوم متوسطه

**وزارت آموزش و پرورش**
**سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی**

**نام کتاب:** دانش فنی پایه (رشتهٔ متالورژی) ـ ۲۱۰۵۳۲
**پدیدآورنده:** سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
**مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف:** دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
**شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف:** حسن حامد ـ حسن طبیب‌زاده ـ امیر ریاحی ـ محمد معتمدی ـ سعید آقازاده ـ حسن عبداله‌زاده (اعضای شورای برنامه‌ریزی و تألیف)
**مدیریت آماده‌سازی هنری:** ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
**شناسه افزوده آماده‌سازی:** مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) ـ محمد اصغری(صفحه‌آرا)
**نشانی سازمان:** تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
**ناشر :** شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱
(دارو پخش) **تلفن :** ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، **دورنگار:** ۴۴۹۸۵۱۶۰،
**صندوق پستی:** ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
**چاپخانه:** شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
**سال انتشار و نوبت چاپ:** چاپ چهارم ۱۳۹۸

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع، بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

**شابک ۳- ۲۵۷۵- ۰۵- ۹۶۴- ۹۷۸** **ISBN 978 -964 -05 -2575-3**

ما باید زحمت بکشیم تا در همه جناح‌ها خودکفا باشیم. امکان ندارد که استقلال به دست بیاید، قبل از اینکه استقلال اقتصادی داشته باشیم. اگر ما بنا باشد که در اقتصاد احتیاج داشته باشیم، در چیزهای دیگر هم وابسته خواهیم شد و همین طور اگر در فرهنگ، ما وابستگی داشته باشیم، در اساس مسائل وابستگی پیدا می‌کنیم.

**امام خمینی «قُدِّسَ سِرُّهُ»**

# فهرست


**مقدمه**

**فصل اوّل: کلّیات** ..... ۱

تاریخچه متالورژی ..... ۲

اختراع، نوآوری، تفکر خلّاق ..... ۶

مشاغل رشته متالورژی ..... ۸

گزارش کار ..... ۹

**فصل دوم: مواد و کاربرد آنها** ..... ۱۳

۱ـ۲ـ خواص مواد ..... ۱۶

۲ـ۲ـ دسته‌بندی مواد جامد صنعتی ..... ۱۷

۳ـ۲ـ فلزات آهنی ..... ۱۸

۴ـ۲ـ فلزات غیرآهنی ..... ۲۶

۵ـ۲ـ غیرفلزات ..... ۳۴

۶ـ۲ـ نانو مواد ..... ۴۳

**فصل سوم: تجهیزات و فرایندهای تولید قطعات صنعتی** ..... ۴۵

۱ـ۳ـ ریخته‌گری ..... ۴۶

۲ـ۳ـ نوردکاری ..... ۴۶

۳ـ۳ـ فشارکاری(اکستروژن) ..... ۵۰

۴ـ۳ـ پتک‌کاری(آهنگری) ..... ۵۱

۵ـ۳ـ جوشکاری ..... ۵۳

۶ـ۳ـ متالورژی پودر ..... ۵۵

۷ـ۳ـ ماشین‌کاری ..... ۵۷

۸ـ۳ـ مزایا و محدودیت‌های روش ریخته‌گری ..... ۵۸

۹ـ۳ـ محصولات ریخته‌گری ..... ۵۹

۱۰ـ۳ـ تجهیزات ریخته‌گری در قالب‌های دائمی ..... ۶۰

۱۱ـ۳ـ احیا (بازیابی) ماسه ..... ۷۱

**فصل چهارم: محاسبات فنی** ..... ۷۵
۴ـ۱ـ تبدیل واحد ..... ۷۶
۴ـ۲ـ تولرانس ..... ۷۷
۴ـ۳ـ محیط قطعات صنعتی ..... ۷۹
۴ـ۴ـ طول گسترده ..... ۸۱
۴ـ۵ـ تقسیمات طولی ..... ۸۳
۴ـ۶ـ زاویه و زمان ..... ۸۵
۴ـ۷ـ محاسبات سطوح ..... ۸۷
۴ـ۸ـ محاسبه حجم ..... ۸۹
۴ـ۹ـ محاسبه جرم ..... ۹۱
۴ـ۱۰ـ محاسبه وزن ..... ۹۴

## سخنی با هنرآموزان گرامی

با توجه به آموزه‌های اسلامی، کار و اشتغال از ارزش تربیتی برخوردار است و انسان از طریق کار، نفس‌سرکش را رام کرده و شخصیت وجودی خویش را صیقل داده، هویت خویش را تثبیت کرده و زمینهٔ ارتقاءِ وجودی خویش را مهیا و امکان کسب روزی حلال و پاسخگویی به نیازهای جامعه را فراهم می‌آورد. آموزش فناوری، کار و مهارت‌آموزی، باعث پیشرفت فردی، افزایش بهره‌وری، مشارکت در زندگی اجتماعی و اقتصادی، کاهش فقر، افزایش درآمد و توسعه‌یافتگی خواهد شد. برای رسیدن به این مهم، برنامه‌ریزی درسی حوزهٔ دنیای کار و دنیای آموزش بر مبنای نیازسنجی شغلی صورت گرفته است. درس‌های رشته‌های تحصیلی شاخهٔ فنی و حرفه‌ای شامل دروس آموزش عمومی، دروس شایستگی‌های غیرفنی و شایستگی‌های فنی مورد نیاز بازار کار است. دروس دانش فنی از دروس شایستگی‌های فنی است که برای هر رشته در دو مرحله طراحی شده است. درس دانش فنی‌پایه با هدف شناخت مفاهیم و کسب دانش فنی پایه در گروه و رشتهٔ تحصیلی است که هنرجویان در پایهٔ دهم و در آغاز ورود به رشتهٔ تحصیلی خود می‌بایست آن را آموزش ببینند و شایستگی‌های لازم را در ارتباط با دروس عملی و ادامهٔ تحصیل در رشتهٔ خود کسب نمایند. درس دانش‌فنی تخصصی که در پایهٔ دوازدهم طراحی شده است، شایستگی‌هایی را شامل می‌شود که موجب ارتقاءِ دانش تخصصیِ حرفه‌ای شده و زمینه را برای ادامهٔ تحصیل و توسعهٔ حرفه‌ای هنرجویان در مقطع کاردانی پیوسته نیز فراهم می‌کند.

لازم به یادآوری است که کتاب دانش فنی‌پایه تئوری تفکیک شده دروس عملی کارگاه‌های ۸ ساعته نیست بلکه در راستای شایستگی‌ها و مشاغل تعریف شده برای هر رشته تدوین شده است. در ضمن، آموزش این کتاب نیاز به پیش‌نیاز خاصی ندارد و براساس آموزش‌های قبلی تا پایهٔ نهم به تحریر درآمده است. محتوای آموزشی کتاب دانش‌فنی‌پایه، آموزش‌های کارگاهی را عمق می‌بخشد و نیازهای هنرجویان را در راستای محتوای دانش‌نظری تأمین می‌کند.

تدریس کتاب در کلاس درس به‌صورت تعاملی و با محوریت هنرآموز و هنرجوی فعال صورت می‌گیرد.

**دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش**

## سخنی با هنرجویان عزیز

درس دانش‌فنی‌پایه با هدف شناخت مفاهیم، کسب دانشِ‌فنی‌پایه در گروه مواد و فراوری و رشتهٔ تحصیلی متالورژی برای شما هنرجویان عزیز طراحی و کتاب آن تألیف شده است.

در تدوین درس دانش‌فنی‌پایه، موضوعاتی مانند تاریخچهٔ رشته، محتوا جهت ایجاد انگیزش، مشاغل و هدف رشتهٔ تحصیلی، نقش رشتهٔ شما در توسعهٔ کشور،مثال‌هایی از نوآوری، خلاقیت و الهام از طبیعت،اصول،مفاهیم، قوانین، نظریه، فناوری، علائم، تعاریف کمیت‌ها، واحدها و یکاها، فرمول‌های فنی،تعریف دستگاه‌ها و وسایل کار، مصادیقی از ارتباط مؤثر فنی و مستندسازی، زبان‌فنی، ایمنی و بهداشت فردی و جمعی، پیشگیری از حوادث احتمالی شغلی و نمونه‌هایی از مهارت حل مسئله در بستر گروه تحصیلی و برای رشتهٔ تحصیلی در نظر گرفته شده است.

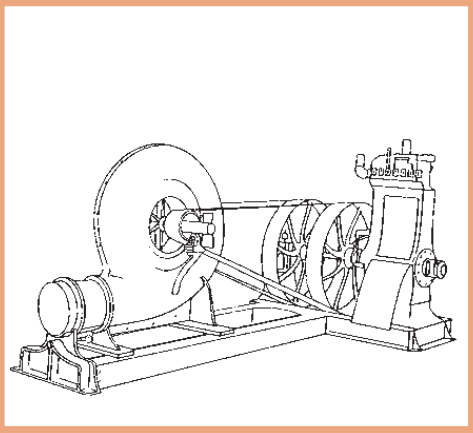
می‌توانید در هنگام ارزشیابی این درس، از کتاب همراه هنرجوی خود استفاده نمایید.

توصیه می‌شود در یادگیری این درس به دلیل کاربرد زیاد آن در درس‌های دیگر رشته، کوشش لازم را داشته باشید.

**دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی وحرفه‌ای و کاردانش**

# فصل ۱

# کلّیات



متالورژی یکی از رشته‌های گروه مواد و فراوری است. که عبارت است از علم و تکنیک جدا کردن فلزات از کانه آنها، خالص‌کردن و تبدیل آنها به فراورده‌هایی که مورد نیاز و مصرف صنایع و بازار باشد، همچنین شامل تولید، تصفیه و شکل دادن فلزات است که از استخراج کانی‌ها شروع و با تصفیه و ذوب و فرایندهای ریخته‌گری و شکل دادن فلزات شامل نورد کاری، پتک‌کاری، فشارکاری، جوشکاری، متالورژی پودر و ماشین‌کاری و کاربرد محصولات تولیدی و اقتصادی مربوطه ختم می‌شود. متالورژی جزء صنایع مادر است که بعد از استخراج و تهیه شمش فلزات، مراحل بعدی تولید قطعات صنعتی را شامل می‌گردد. به طوری که کلیه قطعات فلزی موجود در صنایع از محصولات صنعت متالورژی است از جمله ورق‌های فلزی، تیرآهن، میل‌گرد، پروفیل‌های فلزی مثل آلومینیوم نبشی و...

افرادی که در رشته متالورژی تحصیل می‌کنند می‌توانند در کارخانجات بزرگ صنعتی مانند ذوب آهن، کارخانه‌های تولید فولاد، آلومینیوم، مس و سرب و روی و... و همچنین کارخانجات و کارگاه‌های صنعتی تولید قطعات فلزی به روش ریخته‌گری و شکل دادن فلزات مشغول به‌کار شوند و یا با اندک سرمایه می‌توانند خود با تأسیس کارگاه‌های کوچک مانند ریخته‌گری قطعات فلزی، آبکاری، عملیات حرارتی و... کارآفرینی نمایند. از طرفی می‌توانند در آزمایشگاه‌های متالورژی و تعیین خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی فلزات مشغول شوند.

کسانی که در این رشته مشغول به تحصیل می‌گردند از دوره متوسطه با گرفتن مدرک دیپلم فنی می‌توانند تا سطح دکترای رشته متالورژی ادامه تحصیل دهند. در این صورت می‌توانند در مراکز آموزش عالی به‌عنوان مدرس این رشته نیز مشغول به‌کار شوند.

## تاریخچه متالورژی

براساس تحقیقات باستان‌شناسان، ریخته‌گری فلزات، یک فناوری ماقبل تاریخ بوده و قدمتی شش هزار ساله دارد. اولین اشیای ساخته شده از فلزات به صورت قطعات کوچک چکش‌کاری شده از مس هستند که قدمت آنها به نه‌هزار سال قبل از میلاد مسیح، می‌رسد. از نقطه نظر تاریخی، ریخته‌گری را می‌توان به چند دوره تقسیم نمود که در اینجا شرح آنها به اختصار آمده است.

### دورهٔ برنز (مس و مفرغ)

دورهٔ برنز در خاور نزدیک و در حدود ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح آغاز شد. اولین اشیای برنزی کشف شده، به صورت آلیاژی از مس و آرسنیک (حدود ۴ درصد) بوده است. این آلیاژ که مصرف عمومی داشت، هم‌زمان با خاور نزدیک در اروپا به خصوص انگلستان نیز مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۱ـ۱).

شکل ۱ـ۱ـ قالب سنگی مورد استفاده در عصر برنز

موضوع مهم در این دوره، پی بردن به تأثیر قلع بر خواص مس است که باعث افزایش استحکام و سختی آن می‌شود. این موضوع هنوز در پرده‌ای از ابهام است، زیرا نه سنگ معدن مس حاوی قلع بوده است و نه اینکه معادن مس و قلع نزدیک هم قرار دارند که آلیاژ شدن آنها به‌طور اتفاقی امکان‌پذیر باشد. به‌عنوان مثال شیئی (میخ) مربوط به ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد در ایران کشف شده که دارای ۱/۷۴ درصد قلع است.

در ارتباط با چگونگی پیدایش ریخته‌گری، می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که با توجه به اینکه پتک‌کاری قبل از ریخته‌گری مورد استفاده بشر قرار گرفته است، ممکن است در هنگام حرارت دادن فلز جهت پتک‌کاری به‌علت بالا رفتن درجه حرارت یا طولانی شدن مدت نگهداری در کوره، عمل ذوب به‌طور اتفاقی صورت گرفته باشد که با مشاهده این امر، موارد زیر در ذهن بشر القا شد:

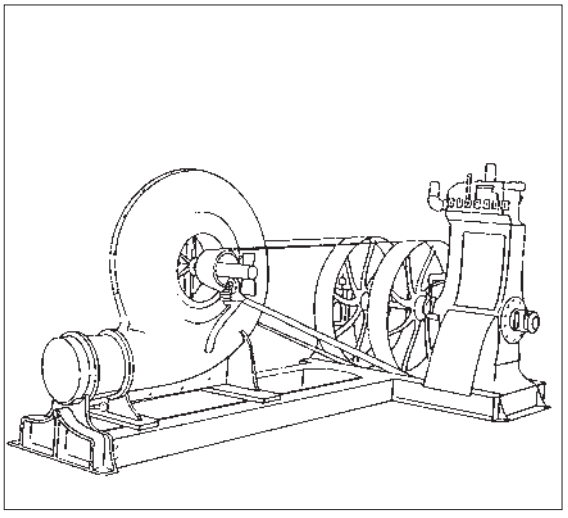
ـ مذاب باید در محفظه‌ای ریخته شود تا شکل پیدا کند.

ـ برای تهیه مذاب باید کوره‌های پتک‌کاری به گونه‌ای تغییر یابد که همواره تهیه مذاب در آن امکان‌پذیر باشد.

ـ برای تهیه مذاب و نگهداری آن باید ظرفی نسوز یا دیرگداز تهیه کرد (بوته).

با توجه به اینکه بشر قبلاً به‌نسوز بودن بعضی از خاک‌ها پی‌برده بود و نیز به‌دلیل آشنایی با حرفه سفالگری، به نحوه شکل دادن خاک نیز دست یافته بود، لذا به نیازهای اول و سوم او پاسخ داده شد. نیاز دوم یعنی ساخت کوره‌های ذوب نیز، احتمالاً با سنگ‌چین و گل‌اندودکردن و قرار دادن محلی برای عبور هوا برآورده شد (شکل ۲ـ۱).

شکل ۲ـ۱



شکل ۳ـ۱ـ سیر تکاملی در امر هوا دادن کوره

از مسائل مهم در این ارتباط، موضوع دمش بود که البته این موضوع برای عصر فلز تازگی نداشت چرا که در دوران سفالگری نیز این موضوع مطرح بوده است با این تفاوت که میزان حرارت لازم برای ذوب فلز با پختن سفال تفاوت زیادی دارد که این امر به تبدیل سیستم دم از حالت فوت کردن به استفاده از کیسهٔ دوم و سپس به موتورهای تنظیم هوا با فشار مناسب، که امروزه کاربرد فراوانی دارند، منتهی شده است (شکل ۳ـ۱).

به طور کلی در دوران مِفرغ، ساخت قطعاتی نظیر تبر، نیزه، کارد، سپر، ظروف، شیشه و نیز ساخت آلیاژهایی از مس با عناصری نظیر قلع (تا ۱۸ درصد) و سرب (تا ۱۱ درصد) و آرسنیک و روی، معمول بوده است.

## دورهٔ آهن

اگرچه براساس کاوش باستان‌شناسان در چین قطعاتی چدنی مربوط به ۶۰۰ سال قبل از میلاد به‌دست آمده است، اما پیدایش آهن به‌عنوان یک دوره، به دو هزار سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد. نام آهن در زبان پهلوی به‌عنوان « آلیسن» در آلمانی «آیزن» و در انگلیسی «آیرن» نامیده شده است و احتمالاً به هنگام ذوب مس، به آن پی برده‌اند. در هر حال در حدود ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ سال قبل از میلاد آهن تقریباً ماده اصلی اغلب سلاح‌ها و ابزارها را تشکیل می‌داد، در حالی که برنز به‌منظور ساخت ظروف، گلدان‌ها و اشیای تزئینی مورد استفاده قرار می‌گرفت.

بدیهی است که آهن‌های به‌دست آمده در این دوران را نمی‌توان به ریخته‌گری نسبت داد، بلکه این آهن‌ها در اثر پتک‌کاری بر روی آهن اسفنجی به دست آمده است. با توجه به نقطه ذوب بالا (۱۵۳۹°C) بدیهی است که ذوب مستقیم آهن تا قرن نوزدهم امکان‌پذیر نبود[1] ولی در اواسط دوره آهن بر اثر افزایش کربن و پایین آمدن نقطه ذوب (در چدن‌ها) قطعات ریخته‌گری نیز به‌وجود آمد.

نکته مهم دیگر کشف عملیات حرارتی بر روی آهن بود که از اهمیت خاصی برخوردار است. در مصر شمشیر و تبری با پوششی از خاک نسوز به دست آمده که لبهٔ آن حاوی ۰/۹ درصد کربن و قسمت‌های میانی آن تقریباً فاقد کربن است. در این اشیا، سختی در قسمت میانی معادل ۷۰ برینل و در قسمت لبهٔ معادل ۴۴۰ برینل بوده است.

در دوره آهن تحولات جدیدی در آلیاژهای مس نیز به‌وجود آمد و آلیاژهای مختلفی از مس و قلع ساخته شد. در جدول ۱ـ۱ نمونه‌هایی از مصنوعات مسی درج شده است.

**جدول ۱ـ۱ـ محصولات ساخته شده از آلیاژهای مس در دورهٔ آهن**

| نوع محصول | نوع آلیاژ |
|---|---|
| زنگ و ظروف | ۵ قسمت مس ـ یک قسمت قلع |
| کارد | ۳ قسمت مس ـ یک قسمت قلع |
| آیینه‌ها | یک قسمت مس ـ یک قسمت قلع |
| تبر | ۴ قسمت مس ـ یک قسمت قلع |
| بیل | ۲ قسمت مس ـ یک قسمت قلع |

از آلیاژهای دیگر ساخته شده در اواخر این دوره، آلیاژ برنج (مس و روی) و نیز برنج‌های قلع‌دار است.

پیدایش روش‌های جدید ریخته‌گری و قالب‌گیری را نیز باید از دیگر تحولات دوره آهن دانست. در این دوره شواهدی در دست است که از قالب‌های سرامیکی نیز استفاده شده است. از عجایب این دوره ساخت مجسمه رودس است که در سال ۲۹۰ قبل از میلاد ساخته شد و جزء عجایب هفت‌گانهٔ محسوب می‌شود. این مجسمه ۳۲ متری که از قطعات مختلف برنز ریختگی ساخته‌شده و وزنی حدود ۳۹۰ تن داشت، طی زمین‌لرزه‌ای در دریای مدیترانه غرق شد.

۱ـ شواهدی نیز موجود است که براساس آن ذوب آهن توسط ایرانیان باستان انجام گرفته است.

**دورهٔ تاریک صنعتی:** در سده‌های سوم و چهارم بعد از میلاد تا قرن چهاردهم میلادی یک دوره رکود در صنایع و از جمله ریخته‌گری به‌وجود آمد. البته با توجه به حاکمیت کلیسا و تزئینات آن نظیر ناقوس، شمعدانی و... روش‌های جدید در ریخته‌گری ایجاد شد.

ساخت ناقوس‌ها در این دوره اهمیت خاصی پیدا کرد و رقابت برای ساخت آنها زیاد شد. در «سنت پل» ناقوسی به وزن ۱۷ تن به نام پل کبیر ساخته شد. در روسیه ناقوس‌هایی به وزن ۱۷۱ تن در «نرونسکی» و ۱۱۰ تن در مسکو ریخته شده است.

**دوره رنسانس صنعتی:** این دوره از سال ۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰ میلادی به طول انجامید. در این دوره صنعت توپ‌ریزی بنا نهاده شد. در ابتدا لوله‌های توپ از برنز و سپس از چدن ساخته شد و در این رابطه دولت عثمانی نقش زیادی داشت. در این دوره همچنین کوره‌ها از نظر دمش رونق یافت و برای مذاب از نگه‌دارنده استفاده شد. دوره رنسانس صنعتی را علاوه بر تکامل کوره‌ها و سیستم‌های دمشی از نظر مواد اولیه باید آغاز استفاده از ماسه و روش ریخته‌گری در ماسه محسوب کرد. ظهور چدن و فولاد به‌عنوان مواد اولیه در ساخت قطعات و لوازم دفاعی و خانگی و نیز استفاده از آلیاژهای متفاوت مس نظیر برنز و برنج و عناصر دیگر و همچنین استفاده از طلا در ساخت زینت آلات و قطعات تزئینی از مظاهر دیگر این دوره است.

در این دوره متالورژی به‌عنوان یک علم مستقل، پیشرفت کرد. نظریه ساختار بلوری فلزات و سایر مواد توسط هارسوپکر (harsoeker) فرانسوی اعلام شد. قرن هفدهم، قرن دستیابی به ابزاری جدید به نام میکروسکوپ بود که تحولی جدی در علم متالورژی ایجاد کرد.

**دوره انقلاب صنعتی:** یکی از تعاریف انقلاب صنعتی این است که حداقل ۵۰ درصد از تولید هر ماده از خانه یا کارگاه‌های کوچک به کارخانه منتقل شود. در انگلستان سال ۱۷۵۰ را آغاز انقلاب صنعتی می‌دانند و علت آن را استفاده از کک به جای زغال چوب بیان می‌کنند.

اولین کوره هواده با سوخت کک در سال ۱۷۰۹ آغاز به‌کار کرد. ابراهام داربی انگلیسی در سال ۱۷۷۷ اولین کوره بلند خود را برای ذوب و احیای سنگ معدن آهن به کار انداخت. از محصولات چدنی آن، پلی موسوم به پل آهن بر روی رودخانه‌ای احداث کرد که امروزه مورد بازدید عموم مردم قرار می‌گیرد. (شکل۴ـ۱)

شکل ۴ـ۱

علاوه بر نوع کوره، روش دمیدن و استفاده از دمنده‌های بهتر و اطلاع کافی از وجود واکنش‌های گرمازا میان هوا و سوخت را باید از عوامل اصلی دیگر در تحول و تکامل ریخته‌گری محسوب کرد. روش‌های دمیدن که با استفاده از کیسه هوا (فوتک) انجام می‌گرفت، در این دوره جای خود را به دمنده‌هایی داد که با استفاده از موتور بخار کار می‌کردند.

چدن، آلیاژی سخت و شکننده بود و در مقابل، فولادهای کار شده، نرم و انعطاف‌پذیر بودند. چدن را می‌توانستند ریخته‌گری کنند ولی در مورد فولاد این امر امکان‌پذیر نبود. شاید در یکی از عملیاتی که برای نرم کردن و ساختن فولاد از چدن انجام می‌گرفت، چدن چکش‌خوار حاصل شد. «رئومور» اولین کسی است که به تهیه چدن چکش‌خوار اقدام کرد. فولاد ریختگی نیز در بوته و توسط بنیامین‌هانسمن در سال ۱۷۵۰ به‌عنوان کشف جدید معرفی شد. قبل از این کشف، تمامی فولادها از طریق کربن‌زدایی از انواع چدن خام و یا با استفاده از سنگ‌های معدنی مرغوب و کربن‌زدایی انجام می‌گرفت.

زیمنس در سال ۱۸۴۶ از طریق ذوب چدن و آهن قراضه و استفاده از پودر زغال کک، کوره‌های روباده را به‌وجود آورد.

استفاده از سرب و روی در ریخته‌گری به‌صورت فلزاتی مستقل و نه فقط به‌عنوان عناصر آلیاژی و به‌ویژه استفاده از روی، برای ساخت ظروف، در دوره انقلاب صنعتی معمول شد.

کشف نیکل در سال ۱۷۵۱ و استفاده آن در سال ۱۸۰۰ به‌عنوان عنصر آلیاژی و نیز کشف و استفاده از دو فلز سبک و پراستحکام آلومینیوم و منیزیم از موارد بسیار مهم در این دوره به‌شمار می‌آیند. در زمینه فناوری ریخته‌گری نیز محصولات عظیمی ساخته شد که در طی آن روش‌های ابتدایی ریخته‌گری به انواع مختلف ریخته‌گری تحت فشار، ریخته‌گری دقیق و ریخته‌گری ماشینی متحول شده است که هنرجویان عزیز در این کتاب با این روش‌های مدرن آشنا خواهند شد.

## اختراع، نوآوری، تفکر خلّاق

**اختراع:** به‌وجود آوردن مصنوعی نو، به گونه‌ای که بتواند کاری تازه انجام دهد (و یا کاری رایج به روش‌های سنتی را با روشی نوین و کارآمدتر انجام دهد). به‌گونه‌ای ساده‌تر، ساختن وسیله‌ای که بتواند کاری را راحت‌تر از گذشته انجام دهد و می‌گویند اساس اختراع، نیاز است. گرچه نوآوری، اهمیتی کمتر از اختراع دارد اما در برخی موارد دارای اهمیتی بسیار است. برای نمونه ساخت سه نظام برای گرفتن قطعات در ماشین تراش یک اختراع است، در صورتی که تغییرات جزئی برای افزایش توانمندی‌های آن، نوآوری خواهد بود به همین ترتیب می‌توان گفت: پیل ولتا یک اختراع است، ولی پیل لکانشه یک نوآوری مهم، استفاده گرافیت برای نوشتن یک کشف و قراردادن آن در یک محفظه چوبی (مداد) یک نوآوری است.

در یک اختراع معمولاً الهاماتی از طبیعت، مخترع را کمک می‌کند، اگر دقت کنید خواهید دید که بیشتر مخترعین و مکتشفین افرادی بوده‌اند که با دقت به محیط اطراف خود می‌نگریستند، از هر پدیده‌ای گذرا، رد نمی‌شدند، پرسش‌های زیادی داشتند به این ترتیب یک فرد فنی قادر است با توجه دقیق به حرکات، پدیده‌ها و...، ایده‌های تازه به‌دست آورد. یک هواپیما یا کشتی را با آنچه در اول بوده‌اند مقایسه کنید، خواهید دید که هزاران نفر در طرح‌های اولیه تغییر داده‌اند تا امروز این مصنوعات به این اوج از تکامل رسیده اند. کارهای آنها بسته به تغییراتی که داده‌اند می‌توانند اختراع یا کشف یا نوآوری باشند.

در مورد تاریخچه اختراع نمی‌توان به نسخه روشنی رسید به هر حال با برداشتن اولین سنگ با لبه تیز که شبیه دندان‌های خود انسان بود، برای بریدن گوشت شکار و بعدها اختراع کلنگ با الهام از نوک زدن پرندگان و...، اختراعات بشر شروع می‌شود.

هنرجویان با توجه به فاکتورهای مختلفی که دارند، می‌توانند در زمینه نوآوری و خلاقیت گام‌های موثری بردارند.

به‌عنوان نمونه می‌توان ساخت پل خیبر در تاریخ جنگ‌های باتلاقی را یکی از این نوآوری‌ها و ابتکارها دانست.

## خلاقیت و نوآوری در دفاع مقدس

ابتکار و خلاقیت از خصایص پیشتازان جامعه است. یکی از ابتکارات فرماندهان ایران در طول دفاع مقدس کشاندن جنگ به محل‌هایی که نقطه ضعف دشمن بود و یا اینکه به‌علت صعب‌العبور بودن و پیچیدگی و سختی ظاهری، انتظار حمله از آن محل نمی‌رفت. محور هورالعظیم که باتلاقی و آب بود به‌عنوان استراتژی نیروهای ایران در دستور کار قرار گرفت. حرکت از این محور، بسیار مشکل و نیازمند اندیشیدن تدابیر مهندسی رزمی و اطلاعاتی بالا بود. در همین راستا عملیات خیبر در منطقهٔ هور طرح‌ریزی و اجرا شد.

رزمندگان با استفاده از اصل غافلگیری، موفق به تصرف جزیره مجنون شمالی و بخش اعظم جزیره مجنون جنوبی شدند. اما پشت سر آنها، حدود ۱۴ کیلومتر آب بود و به عقبه جبهه متصل نبودند. احداث پل شناور ۱۳ کیلومتری خیبر راه حل این مشکل بود.

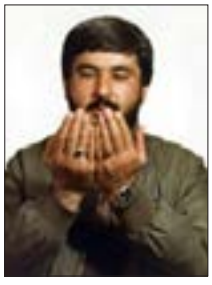
این پل از دو قسمت فلزی و شناور تشکیل شده بود. در پل خیبر ۱ از پشم شیشه، فایبر گلاس، کائوچو و رزین به‌عنوان صفحه شناور استفاده شد. در پل خیبر ۲ سازه فلزی تغییراتی کرد و قدرت تحمل افزایش یافت. بالأخره ابتکار تلفیق فوم و فایبرگلاس در پل خیبر راهگشا بود، زیرا پس از اصابت ترکش به پل، از شناوری آن کاسته نشده و پل غرق نمی شد. در واقع پل خیبر، یک پل شناور ضد ترکش بود. قسمت شناوری نیز از دو نوع ساخته شد یکی نوع «پلاستوفوم» و دیگری «پلی‌اورتان‌فوم» که برای عایق‌بندی از آن استفاده می‌شود تا در مقابل گلوله مقاوم‌تر باشد. پوشش روی فوم هم از فایبر گلاس و برای محافظت در مقابل ضربه‌ها ساخته شده است، صفحه فلزی پل نیز تحمل باری حدود ۶ تن را دارد و شناورها هم در هر شش متر حدود هشت متر مکعب حجم دارند. این قطعات می‌توانند تا حدود هشت تن بار نهایی را تحمل کنند. البته قطعات طوری ساخته شده اند که می‌توانند انتقال نیرو کرده و این امر باعث می‌شود که هر قطعه بیش از ظرفیت اسمی خود بار حمل کند.

مواد اولیه این کار اکثراً در داخل کشور به‌مقدار کافی وجود داشت، مواد شیمیایی یعنی پلی‌الیتران و پلی‌استایرن که مواد اصلی پلاستوفوم می‌باشد نیز در داخل کشور موجود بود. تنها مقداری رزین برای کار فایبرگلاس لازم بود که از خارج وارد شد. کارخانه‌های زیادی از جمله زاگرس، FM، نبوغ، فابیس ساوه، یوریتان رشت و... تولید قطعات پلی‌اورتان، پلی استایرن، پوشش کامپوزیتی قطعات پلیمری و... را بر عهده داشتند.

تمام قطعات پل از جمله بلوک‌های پلی استایرن همانند قطعات یک جورچین (پازل) در گوشه و کنار ایران توسط حدود ۲۰ کارخانه داخلی تهیه شده و برای مونتاژ به اهواز حمل شدند.

عمده‌ترین مشخصه این پل سبکی وزن، امکان تولید آن در مدت کوتاه و حالت خاص شناورهای آن می‌باشد. شناورهای پل‌های نظامی در واقع صندوقچه‌های هوا هستند که با ورقه‌های فلز ساخته شده اند. اما اگر گلوله‌ای و یا ترکشی بخورند، دیگر قابل استفاده نمی‌باشند، ولی خاصیت این پل‌ها این است که هر چقدر هم که گلوله و یا ترکشی به آن اصابت کند اگر حتی سوراخ نیز بشود، غرق‌شدنی نیست. از دیگر خاصیت‌های مهم این پل این است که قطعاتش قابل تعویض بود و در هر شرایطی می‌توان بدون اینکه سیستم پل به هم بریزد یک الی چند قطعه از پل را تعویض کرد.

این پل در مدت حدود دو ماه ساخته شد. افراد مختلفی جهت تکمیل شدن طرح پل نقش داشتند، از طراحان آن آقایان مهندس بهروز پورشریفی، مهندس افشارزاده، مهندس مرجوی و... است. شهدای زیادی هنگام اجرای این پل شیمیایی شده و به شهادت رسیدند که از آن جمله شهید سید محمد صنیع‌خانی بود که بعد از پایان جنگ به شهادت رسید (شکل ۵ـ۱).



شکل ۵ ـ۱ـ شهید سید محمد صنیع خانی

شکل ۶ ـ۱ـ تصاویری از مراحل آمادگی، نصب و آماده‌سازی پل خیبر

شکل۶ ـ۱ مراحل مختلف اجرای این پل را نشان می‌دهد.

## مشاغل رشته متالورژی

مشاغلی که هنرجویان پس از فارغ‌التحصیلی می‌توانند در بازار کار مشغول شوند در جدول زیر ارائه شده است.

| ردیف | نام گروه کاری/ شغل | ردیف | نام گروه کاری/ شغل |
|---|---|---|---|
| ۱ | متصدی ساخت مخلوط ماسه | ۱ | متصدی خط تجزیه الکتریکی مواد معدنی |
| ۲ | قالب‌گیر ماسه تر | ۲ | متصدی فرایند تبدیل فلزات غیرآهنی |
| ۳ | کمک ماهیچه‌گیر | ۳ | متصدی کوره ذوب فلزات |
| ۴ | کمک متصدی کوره ذوب فلزات | ۴ | ذوب ریز |
| ۵ | کمک ذوب‌ریز | ۵ | مدل‌ساز فلزی |
| ۶ | کمک مدل‌ساز چوبی | ۶ | قالبگیر ماسه‌ای |
| ۷ | مدل‌ساز چوبی | ۷ | ماهیچه‌گیر درجه ۱ |
| ۸ | ماهیچه‌گیر درجه ۲ | ۸ | قالب‌گیر سرامیک |
| ۹ | متصدی قالب‌های فلزی | ۹ | آلیاژ ساز |
| ۱۰ | کارگر تخلیه درجه ریخته‌گری | ۱۰ | چدن ساز |
| ۱۱ | مدل‌ساز فومی | ۱۱ | متصدی آزمایشگاه متالورژی |
| ۱۲ | برش‌کار محصولات فلزی | ۱۲ | متصدی کوره عملیات حرارتی |
| ۱۳ | جوشکار محصولات فلزی | ۱۳ | آبکار فلزات |
| ۱۴ | متصدی تعمیر قطعات ریخته‌گری | ۱۴ | اپراتور ماشین روکش‌کاری فلز |
| ۱۵ | متصدی تکمیل کاری قطعات ریخته‌گری | ۱۵ | استادکار حفاظت کاتدی و خوردگی |

**وظایف:** وظایف شاغلین در رشته متالورژی به قرار زیر است.

تولید فلزات ـ مدل‌سازی ـ ماهیچه‌سازی ـ قالب‌گیری ـ ذوب‌سازی ـ ریخته‌گری ـ آزمایشات متالورژی ـ عملیات حرارتی ـ تولید متالورژیکی قطعات ـ حفاظت از فلزات در برابر خوردگی

## گزارش کار

**هدف کلی: ارائه گزارش کار روزانه به‌گونه‌ای رسا، کوتاه، ساده و جامع**

تعریف گزارش: گزارش یعنی خبردادن، آگاه کردن از رویدادی و به‌طور معمول عبارت است از آگاه کردن با شرحی نسبتاً جامع و رسا.

همچنین می‌توان برای تبیین آن از عبارات: به‌جای آوردن، انجام دادن، اظهارنظرکردن، در میان نهادن و شرح و تفسیر کردن، استفاده نمود.

گزارش‌نویسی یعنی خبردادن از انجام یک کار و یک رویداد شامل اخبار، اطلاعات، رویدادها و دلایل و تحلیل آنها به‌شکلی روشن، کوتاه، البته با رعایت اصول «ساده‌نویسی» و «درست‌نویسی».

پس گزارش باید به‌گونه‌ای تهیه شود که هدف موردنظر را در کوتاه‌ترین زمان و با ساده‌ترین گفتار بیان کند.

نکاتی که در گزارش‌نویسی باید مورد توجه قرار گیرند:

گزارش برای که نوشته می‌شود؟ (روی سخن با کیست؟)

عنوان گزارش چیست؟ (کاملاً روشن و گویا، مانند: انجام اره‌کاری)

گزارش انجام کار روزانه در حقیقت شامل:

ـ چگونگی خط‌کشی ـ کلیه مراحل آماده‌سازی وسایل

ـ چگونگی شروع کار

مراحل بستن قطعه کار به گیره، مشکلات احتمالی اولیه، چگونگی رفع این مشکلات

ـ چگونگی انجام کار

با توجه به اینکه در اینجا روی سخن با هنرآموز محترم است، ایشان بایستی در جریان جزئیات انجام کار این مرحله کاری قرار گیرد.

نکته

**تلاش در تنظیم یک گزارش کار خوب، گویا و کامل، سطح تفکر فنی و توانایی ارائه ایده‌های ما را بالا می‌برد.**

یادداشت

**گزارش کار باید هر روز و برای هر کاری که انجام می‌شود، تهیه شود. (با ذکر تاریخ و زمان انجام کار در گزارش) برای نمونه اگر در یک روز یک کار مانند اره‌کاری انجام شود یک گزارش کار و اگر دو کار مختلف انجام می‌شود، دو گزارش کار ارائه گردد.**

نکته

**گزارش کار در حقیقت نوعی مستندسازی و سناریونویسی است که سرگذشت یک محصول را از بدو توجه به آن تا تولید کامل بیان می‌کند.**

و اما برای کسب توانایی بیشتر در گزارش‌نویسی که در حقیقت به صورت یک علم درآمده است موارد صفحهٔ بعد می‌توانند بسیار مفید باشند.

**تعریف گزارش‌نویسی:** گزارش‌نویسی یعنی نوشتن اخبار، اطلاعات، رویدادها و دلایل و تجزیه و تحلیل آنها به شکل روشن و کوتاه با رعایت دو اصل مهم ساده‌نویسی و درست‌نویسی.

نکته: گزارش باید به‌گونه‌ای تهیه شود که هدف موردنظر را در کوتاه‌ترین زمان و با ساده‌ترین گفتار بیان کند.

نکاتی که باید در گزارش‌نویسی به آن توجه کرد:

۱ **مخاطب گزارش کیست؟**

همیشه باید در نظر داشته باشید که مخاطبان شما چه کسانی هستند و قرار است گزارش پاسخ‌گوی چه نیازی باشد.

۲ **توجه به عنوان در گزارش‌نویسی:**

**انتخاب عنوان:** عنوان باید تا حدامکان کوتاه و با محتوای متن هماهنگ باشد. در عنوان‌گذاری از واژگان کلیدی که در متن آمده است استفاده شود.

گزارش‌نویس باید توجه داشته باشد که مخاطب در آغاز از هدف او آگاهی ندارد. در این‌صورت باید مسئله را به‌گونه‌ای در اول گزارش خود بیاورد. تا مخاطب در جریان کار قرار گیرد. اگر دربارهٔ همایشی گزارش می‌دهد، در همان چند خط اول روشن شود که این گزارش از چه مراسمی است و به چه دلیل به آن پرداخته شده است. و اگر منظور از گزارش، کاری است که از طرف خود او انجام شده، باید به وضوح شرح داده شود.

۳ **مراحل برنامه‌ریزی، تدارکات و مقدمات:** گزارشگر برای تهیه گزارش خود باید کاملاً آگاه باشد که این گزارش به چه دلیل تهیه می‌شود. برای پاسخ گفتن به چه نیازی است و برای هرچه بهتر شدن مطلب به چه امکانات و اطلاعاتی نیازمند است.

**مرحله تنظیم و سازمان‌دهی:** مهم‌ترین بخش گزارش‌نویسی تنظیم و سازمان‌دهی کلی گزارش است.

نکته

**گزارشگر باید مخاطب گزارش را کاملاً نسبت به موضوع و آنچه برایش در گزارش دارای اهمیت بیشتری است آگاه، و روی موارد اصلی و فرعی گزارش تأکید کند.**

گزارشگر برای آنکه بداند چه چیزی را باید به گزارش بیفزاید یا از آن حذف کند، باید توجه کند که اجزای گزارش با هدف گزارش سازگاری داشته باشد. برای این کار باید بتواند به پرسش‌های زیر پاسخ دهد:

چه کسی گزارش را خواهد خواند؟

چه کسی گزارش را خواسته است؟ ممکن است خوانندهٔ گزارش و کسی که آن را خواسته است، یکی نباشد از گزارش چه استفاده‌ای خواهد شد؟

مخاطب چه انتظاری از گزارش دارد؟

یعنی یک گزارش خوب باید به پنج سؤال: چه چیز؟ چگونه؟ برای چه کسی؟ کجا؟ چه موقع؟ پاسخ دهد.

۴ **ساختار گزارش:** چگونگی تنظیم گزارش، مهم‌ترین عامل در تنظیم آن است. ساختار و بدنهٔ هر گزارش به‌طور کلی بر سه پایهٔ مقدمه، بدنهٔ‌اصلی و پایان گزارش استوار است.

۵ **ویژگی‌های مقدمه:** مقدمه در ارتباط با موضوع گزارش باید به گونه‌ای تهیه شود که برای مخاطب قابل فهم و معنادار باشد.

مقدمه باید بتواند در خواننده نسبت به موضوع علاقه ایجاد کند.

مقدمه باید به خواننده بگوید که از گزارش چه انتظاری داشته باشد.

۶ **متن یا بدنهٔ اصلی:** متن یا بدنهٔ اصلی گزارش، جای ارائهٔ آمارها، داده‌ها و تحلیل و تفسیر آنهاست.

۷ **پایان گزارش:** در پایان گزارش نتیجه‌گیری و پیشنهادها می‌آیند.

**۸ روش‌های تأکید بر نکته‌های مهم:**

**اندازه و تناسب:** هرقدر نکته‌ای در گزارش مهم‌تر باشد، باید فضای بیشتری به آن اختصاص داده شود.

**زبان تأکید:** به‌کار بردن عبارت‌هایی همچون: مهم‌ترین عامل، نکتهٔ اساسی، و... توجه خواننده را جلب می‌کند.

**۹ رعایت ترتیب منطقی در گزارش‌نویسی:** در مرحلهٔ دوم گزارش‌نویسی، یعنی شکل و صورت گزارش، مطالب باید به ترتیب منطقی سامان داده شوند، در این مرحله باید عنوان‌های اصلی و فرعی مشخص، و بنابر اولویت و اهمیت مرتب شوند.

بررسی طرح برای تهیهٔ پیش‌نویس گزارش انجام شود.

**چند اصل در تعیین اولویت‌ها:**

کل باید با جزء برابر باشد.

پاراگراف‌ها (بندها) از نظر اندازه تعادل داشته باشند.

بازکردن یک بخش جانبی به شکل جداگانه، بدون آنکه به بخش اصلی مربوط باشد، امکان‌پذیر نیست.

## مرحله نگارش

در این مرحله باید به چهار اصل توجه داشت:

**۱ تهیهٔ پیش‌نویس:** پیش‌نویس، ستون و بدنهٔ اصلی گزارش است. در این مرحله، قالب اصلی گزارش شکل می‌گیرد.

**۲ سبک گزارش:** گزارش باید روشن، دقیق، و خلاقانه باشد. گزارشگر باید بکوشد با حفظ جنبهٔ رسمی و علمی گزارش، آن را از حالت خشک و بی‌روح درآورد. از به‌کار بردن واژه‌ها و اصطلاح‌های گزافه‌آمیز همچون: هرگز، بی‌نهایت، بدون ذره‌ای شبهه باید گفت و.... خودداری کند.

**۳ چگونگی به کار بردن واژه‌ها:** شما نباید برای پررنگ جلوه‌دادن گزارش خود یا نشان دادن میزان اطلاعاتش دربارهٔ موضوع، از واژه‌های سنگین و دشوار فهم، بهره بگیرید.

**۴ جمله:** جمله باید شامل یک مضمون و نکتهٔ اصلی باشد. گزارش‌نویس باید توجه داشته باشد که:

- هیچ نکتهٔ اصلی نباید برای آسان فهم کردن جمله از آن حذف شود.
- هیچ نکته اضافی و غیرضروری در جمله گنجانده نشود.
- به قواعد دستور زبان از نظر جای فعل، فاعل، مفعول و فارسی‌سازی (در اندازهٔ متعادل) واژگان، دقت شود.
- حروف ربط مانند از، و، که و... در یک جمله پشت سر هم قرار نگیرند.
- به‌کار بردن حرف ربط «و یا» نادرست است. «یا» را باید بدون «و» به‌کار برد.
- از نوشتن جمله‌های بلند خودداری شود.
- اگر جمله با اگرچه، گرچه، با اینکه، با آنکه، با وجود آنکه آغاز می‌شود، در جملهٔ وابستهٔ بعدی نباید از واژهٔ اما، استفاده کرد. به‌طور نمونه: گرچه این موضوع به او گوشزد شده بود، توجهی به آن نکرد.
- برای آگاهی بیشتر به شیوه‌نامه ویرایش کتاب نگاه کنید.

## بند (پاراگراف):

در گزارش، پاراگراف (بند) به معنای مجموعه جمله‌هایی است که فکر یا مطلب واحدی را بیان می‌کنند.

استفاده از پاراگراف (بند) چه امتیازهایی دارد:

- شکستن یکنواختی متن
- کمک به درکِ تقسیم‌بندی موضوع

- آسان کردن رجوع به هر مطلب
- جلب توجه خواننده به تغییر موضوع یا موضوع‌های فرعی

نکته

**نکته: در نگارش باید کوشید همان‌گونه که در یک جلسه غیررسمی سخن می‌گوییم، بنویسیم. به این معنا که مطالب با بیشترین میزان دقت، صراحت، روشنی و کوتاهی نگاشته شوند.**

### مرحلهٔ بازبینی و اصلاح و تهیهٔ متن:

این مرحله، آخرین بخش تهیه گزارش است. در این بخش از کار، گزارشگر باید تمام مطالب را یک‌بار دیگر بازبینی، و ایرادهای آن را اصلاح کند.

### فایده گزارش‌نویسی:

فایده و هدف از نوشتن گزارش، رساندن پیام خود به خواننده با سرعت و صحت و روشنی است. و مهم این است که نویسنده گزارش، قادر باشد تصویری روشن از فکر و هدف خود را در ذهن خواننده ترسیم نماید.

خواننده گزارش کیست؟

قبل از اینکه تصمیم به تدوین گزارش بگیرید باید بدانید که گزارش را برای چه شخصی یا اشخاصی تهیه می‌کنید. در واقع چه کسی یا کسانی، براساس گزارش شما تصمیم گرفته و اقدام خواهند کرد.

دانستن افکار، تمایلات، خلق و خوی، تحصیلات، تجربیات و نحوه تصمیم‌گیری خواننده گزارش و اینکه آیا او خود تصمیم می‌گیرد یا آنکه گزارش را برای اظهار نظر به نزد دیگران ارسال می‌دارد، برای تهیه‌کننده گزارش بسیار مهم است. زیرا با آگاهی از مسائل فوق می‌توانید گزارش خود را به شکلی تهیه کنید که رسیدن به هدف را سریع‌تر و مطمئن‌تر کند.

در اغلب اوقاع شروع کننده یک گزارش شما هستید، لذا باید بدانید که چه نتایجی را انتظار دارید، و چه کسی اقدام خواهد کرد. اما اگر یک مقام مافوق از شما بخواهد که گزارشی تهیه کنید، در این حالت باید شما تصمیم‌گیرنده نهایی مطالب گزارش خود را شناسایی کنید، تا بتوانید با رعایت نکات یاد شده گزارش خود را طراحی کنید.

مثلاً اگر مدیر امور اداری هستید و معاون اداری و مالی سازمان مربوطه از شما بخواهد که گزارشی از نحوه مکاتبات داخل سازمان برای او تهیه نمایید، باید مطمئن شوید که او گزارش را برای تصمیم‌گیری خود می‌خواهد؛ و یا آنکه گزارش را برای پاره‌ای از تصمیم‌گیری‌ها، به نزد رئیس سازمان ارسال می‌دارد. این در طراحی و تعیین هدف گزارش شما بسیار با اهمیت است.

بنابراین با توجه به موارد فوق تهیه گزارش به یکی از این دو شکل مربوط می‌شود.

الف) از شما خواسته می‌شود که گزارش تهیه کنید.  ب) خود شروع به تهیه گزارشی می‌نمایید.

### شناسنامه فنی

تعریف: برگه‌ای است شامل ویژگی‌های یک قطعه و فرایند تولید آن

بدین ترتیب می‌توان جزئیات یا سرگذشت یک قطعه، از بدو طراحی تا مورد استفاده قرار گرفتن آن را دانست. پس یک شناسنامه فنی در حقیقت برگه‌ای است شامل جنس قطعه، مقدار آن، چگونگی ساخت، آبکاری و عملیات حرارتی، وزن، قیمت، مراحل فراوری، رنگ،آزمایش‌های احتمالی لازم، کنترل‌ها،... و نقشه کار.

نمونه‌ای از شناسنامه فنی ارائه می‌شود.

# فصل ۲

## مواد و کاربرد آنها

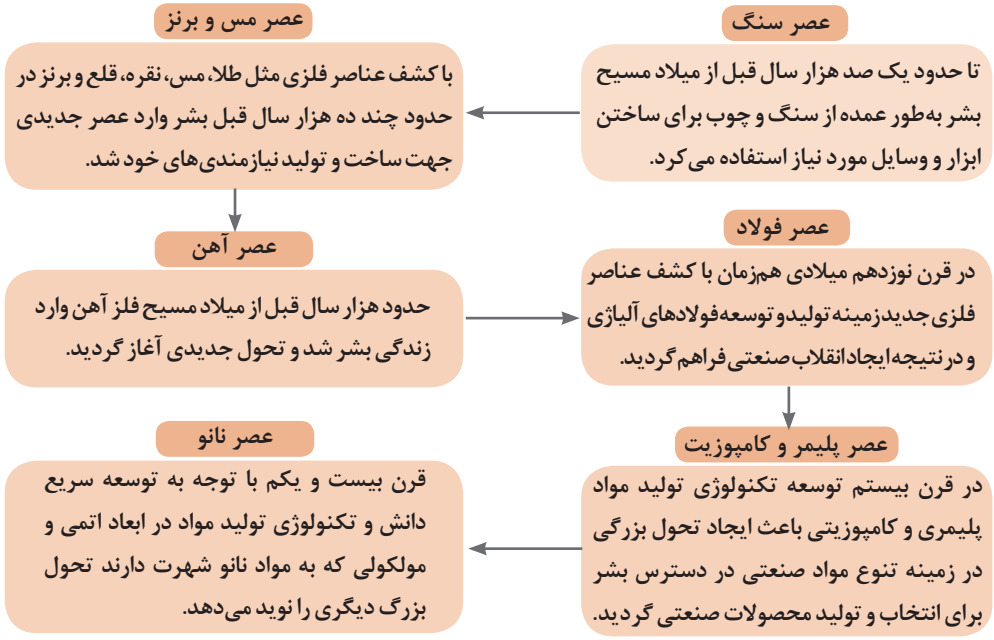
به اطراف خود دقت کنید. وسایل مورد استفاده شما از چه جنسی ساخته شده‌اند؟ تاکنون به این فکر کرده‌اید که جنس قطعات بر چه اساسی تعیین می‌شوند؟ چه عواملی در انتخاب مواد و جنس قطعات مؤثرند؟

چگونه می‌توان جنس قطعات را معین نمود؟ این‌ها همه سؤالاتی هستند که ذهن هرکسی را به خود مشغول می‌کند.

برای یافتن پاسخ این سؤالات باید با علم مواد آشنا بود و خصوصیات مواد و کاربرد آنها را به‌طور کامل مورد بحث و بررسی قرار داد.

به‌طور کلی موادی را که در ساخت و تولید قطعات، تجهیزات و سازه‌های صنعتی به‌کار می‌برند، مواد صنعتی می‌گویند. با این تعریف مواد صنعتی دربرگیرنده مواد جامد، مایع و گازی مورد استفاده در صنایع مختلف می‌شود.

تکنولوژی مواد ـ علم و فناوری است که در باره فرایندهای 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 ریزساختار آنها می‌پردازد. از زمانی که بشر به روش‌هایی برای تغییر مواد طبیعی و تولید مواد جدید دست یافت، تنوع مواد جدید به‌سرعت گسترش پیدا کرد و بحث انتخاب ماده مناسب از میان چند ماده مختلف براساس ویژگی‌های مورد انتظار مطرح بوده است. نمودار (۱ـ۲) دوره‌های مهم ایجاد تحول اساسی در مواد صنعتی را در طول تاریخ بشر نشان می‌دهد.




نمودار ۱ـ۲ـ 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 به‌خاطر 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 ۱ـ۲ نمونه‌هایی از کاربرد مواد صنعتی در صنایع مختلف نشان داده شده است.

شکل ۱ـ۲ـ استفاده از مواد مختلف صنعتی برای تولید محصولات متفاوت

امروزه شناخت مواد و درک رفتار آنها در مقابل تأثیر مواد خارجی برای توسعه مواد جدید و به کارگیری آنها درفناوری‌های 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 ـ مکانیکی و یا شیمیایی را بدانند.

به عبارت دیگر متخصصین مذکور باید بدانند:

- چه ماده ای برای هدف آنها مناسب‌تر است؟
- از چه فرایند ساخت و تولیدی می‌توانند برای تولید محصول صنعتی استفاده کنند؟
- چگونه می‌توانند خواص و ویژگی‌های مورد نظر برای محصول صنعتی را مثل: تولرانس‌های ابعادی، شرایط سطحی و ظاهری، طول عمر و کارایی 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 صدمه‌دیدن چگونه می‌توان آن را تعمیر و بازسازی کرد؟
- سازگاری مواد مورد استفاده در ساخت قطعات صنعتی با اجزای 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.

در این فصل به‌طور محدود به ویژگی‌ها ـ ساختار و کاربرد مواد پرداخته و قصد داریم هرچه کوتاه در باره طبقه‌بندی مواد برای شما هنرجویان مطالبی را بیان نماییم. قبل از آن به تعریف بعضی از خواص مهم مواد اشاره خواهد شد.

## ۱ـ۲ـ خواص مواد

### ۱ـ۱ـ۲ـ خواص فیزیکی مواد

خواص فیزیکی باعث تغییر در ساختمان شیمیایی اجسام نمی‌شود. از خواص فیزیکی اجسام می‌توان قابلیت هدایت حرارت، قابلیت هدایت جریان الکتریسیته، جرم مخصوص و نقطه ذوب را نام برد.

**قابلیت هدایت حرارت:** قابلیت هدایت حرارت هر جسم عبارت است از قدرت هدایت حرارت واحد طول جسم بر واحد مساحت مقطع آن. عناصر فلزی از مهم‌ترین‌هادی‌ها به شمار می‌روند و در بین فلزات به ترتیب نقره، مس و آلومینیم بیشترین قابلیت هدایت حرارتی را دارند.

**قابلیت هدایت الکتریسیته:** قابلیت هدایت الکتریسیته هر جسم عبارت است از قدرت هدایت الکتریسیته واحد طول جسم بر واحد مساحت مقطع آن. در بین فلزات به ترتیب نقره، مس، و آلومینیوم قابلیت هدایت الکتریکی بیشتری دارند.

**جرم مخصوص:** جرم واحد حجم از هر جسم را جرم مخصوص آن جسم گویند. جرم مخصوص مواد مختلف به نوع ماده و اندازه تراکم ذرات تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد.

**نقطه ذوب:** درجه حرارتی که یک ماده از حالت جامد به حالت مایع تبدیل می‌شود نقطه ذوب نام دارد. مواد خالص نقطه ذوب مشخصی دارند؛ به‌عنوان مثال نقطه ذوب یخ صفر درجه سانتی‌گراد است.

### ۲ـ۱ـ۲ـ خواص مکانیکی مواد

عبارت است از مقاومت فلزات در مقابل تأثیرات عوامل مکانیکی. از خواص مکانیکی می‌توان استحکام، سختی و الاستیسیته را نام برد.

**استحکام:** مقاومتی که اجسام در مقابل نیروی خارجی از خود نشان می‌دهند استحکام نام دارد؛ و مقدار آن به نحوهٔ تأثیر نیروی خارجی و همچنین به نیروی جاذبه بین مولکولی آنها بستگی دارد.

**سختی:** مقاومتی که اجسام در مقابل نفوذ جسم خارجی از خود نشان می‌دهند سختی نام دارد.

**الاستیسیته:** اجسامی یافت می‌شوند که تحت تأثیر نیرو، در آنها تغییر شکل حاصل شده و پس از برداشتن نیرو به حالت اولیه خود برمی‌گردند. این خاصیت برگشت‌پذیری را الاستیسیته می‌نامند. لاستیک و فنر دو نمونه از اجسامی هستند که الاستیسیته خوبی دارند.

### ۳ـ۱ـ۲ـ خواص تکنولوژیکی مواد

قابلیت چکش‌خواری، ریخته‌گری، جوشکاری و براده‌برداری مواد را خواص تکنولوژیکی مواد می‌گویند.

**قابلیت چکش‌خواری:** قابلیت تغییر شکل مواد را به کمک نیروی فشاری و ضربه، قابلیت چکش‌خواری می‌نامند. به عنوان مثال مس، فولاد و برنج را می‌توان تحت تأثیر نیروی فشاری تغییر شکل داد و عملیاتی مانند نوردکاری، خمکاری و کوره‌کاری را روی آنها انجام داد. ولی چدن قابلیت چکش‌خواری ندارد.

شکل ۲ـ۲

**قابلیت ریخته‌گری:** خاصیت شکل‌پذیری اجسام در حالت مذاب را قابلیت ریخته‌گری می‌نامند برای تهیه قطعاتی که دیواره نازک و شکل پیچیده‌ای دارند باید از موادی که قابلیت ریخته‌گری بهتری دارند استفاده گردد (شکل ۳ـ۲).

چدن، آلیاژهای آلومینیم، آلیاژهای مس و مواد مصنوعی را می‌توان به راحتی ریخته‌گری کرد.

**قابلیت جوشکاری:** موادی قابلیت جوشکاری دارند که بتوان آنها را به کمک حرارت یا حرارت توأم با فشار به صورت مذاب به یکدیگر متصل کرد. فولادها، مواد مصنوعی و فلزات غیر آهنی قابلیت جوشکاری دارند (شکل ۴ـ۲).

**قابلیت براده برداری:** جسمی دارای قابلیت براده برداری خوبی است که بتوان آن را با سرعت زیاد و نیروی کم‌براده‌برداری کرد و سطح آن نیز پس از براده‌برداری کاملا صاف و پرداخت باشد (شکل ۵ـ۲).

شکل ۳ـ۲

شکل ۴ـ۲

شکل ۵ـ۲

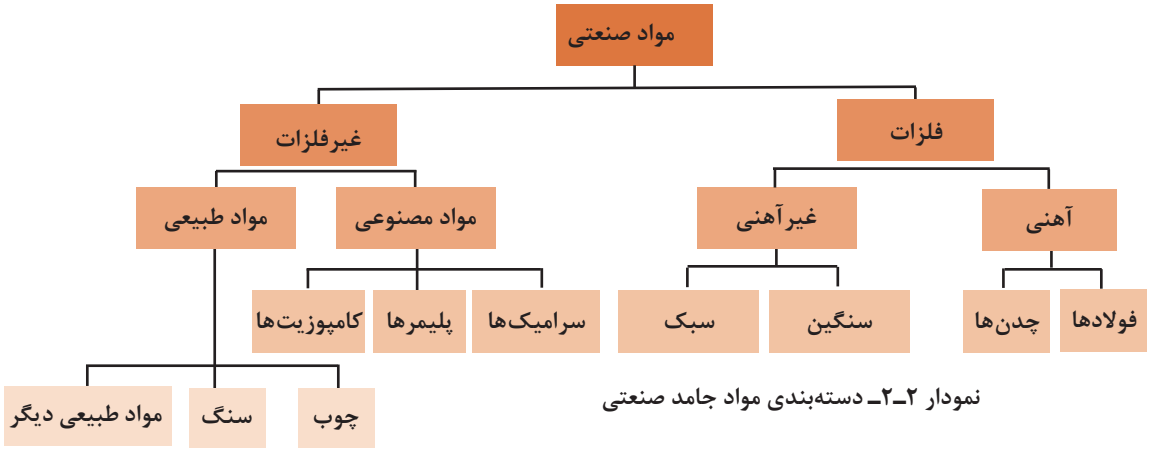
### ۴ـ۱ـ۲ـ خواص شیمیایی مواد

از مهم‌ترین خواص شیمیایی مواد می‌توان مقاومت در مقابل خوردگی، قابلیت احتراق، مقاومت در مقابل اکسیدشدن و همچنین سمی بودن آنها را نام برد.

مقاومت یک فلز در مقابل عوامل خارجی مانند محیط اطراف شامل هوا، آب، خاک، اسید و... که منجر به اکسیدشدن و خوردگی می‌گردد را می‌توان به کمک آلیاژ کردن افزایش داد.

## ۲ـ۲ـ دسته‌بندی مواد جامد صنعتی

مواد جامد صنعتی را به‌صورت‌های مختلفی می‌توان تقسیم‌بندی کرد. درحالت کلی می‌توان آنها را به دو دسته اصلی شامل: فلزات و غیر فلزات تقسیم کرد و سپس مطابق نمودار ۲ـ۲ به اجزای کوچک‌تری تقسیم‌بندی نمود.




نمودار ۲ـ۲ـ دسته‌بندی مواد جامد صنعتی

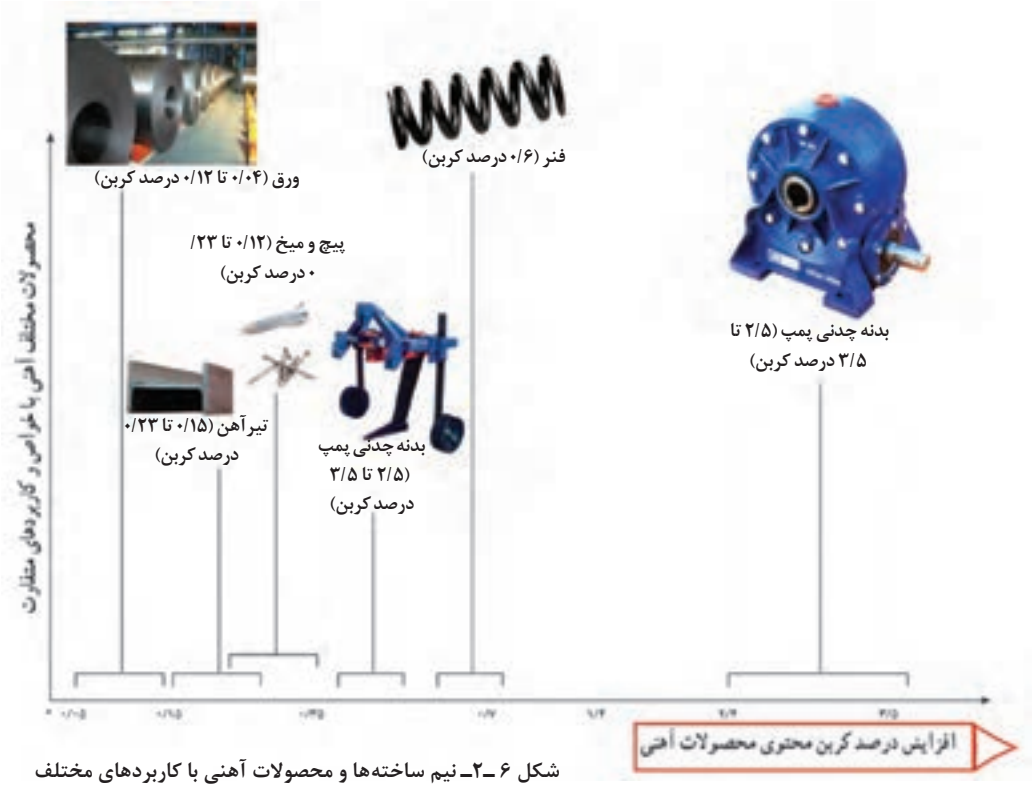
### ۱ـ۲ـ۲ـ فلزات

از زمانی که بشر فلز را شناخت، متالورژی را به عنوان یک علم و تکنولوژی فرا گرفت. به‌طور کلی علم شناخت، استخراج و کار روی فلزات را متالورژی یا فلز شناسی می‌گویند و فلزات دسته‌ای از مواد صنعتی هستند که دارای خواص ویژه‌ای می‌باشند؛ از نظر خواص فیزیکی به جز جیوه که مایع می‌باشد بقیه آنها در دمای محیط جامد هستند 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، تورق و مفتول‌شدن آنها زیاد است و نیز در مقابل ضربه، فشار و کشش مقاوم اند. فلزات و آلیاژهای آنها را می‌توان به دو گروه تقسیم نمود. گروه اول فلزات آهنی و گروه دوم فلزات غیرآهنی نامیده می‌شوند.

## ۳ـ۲ـ فلزات آهنی

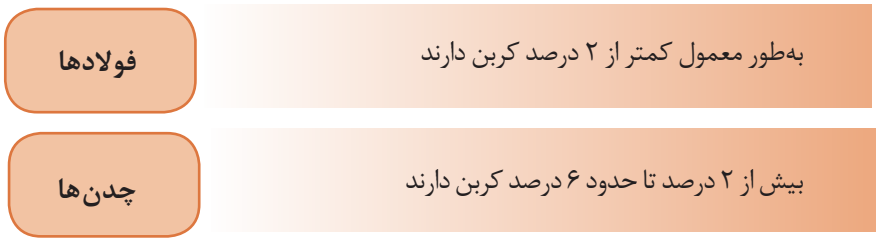
پرکاربردترین مواد صنعتی، آلیاژهای آهن می‌باشند که به دلیل پایین‌بودن خواص مکانیکی مثل: سختی و استحکام، آهن خالص کاربرد چندانی ندارد. بنابراین آنچه ما در اطراف خود از وسایل آهنی می‌بینیم مثل: میز، صندلی،در و پنجره، دوچرخه، موتورسیکلت، اتومبیل و غیره در حقیقت از فولاد (آلیاژهای آهن) ساخته شده‌اند. آلیاژهای آهن در صنعت به دو صورت فولادها و چدن‌ها (آلیاژ آهن‌ـکربن و سیلیسیم همراه با عناصر دیگر هستند)، مورد استفاده قرار می‌گیرند که در شکل (۶ـ۲) چند محصول با درصدهای مختلف کربن نشان داده شده است.




شکل ۶ ـ۲ـ نیم ساخته‌ها و محصولات آهنی با کاربردهای مختلف

## دسته‌بندی فلزات آهنی

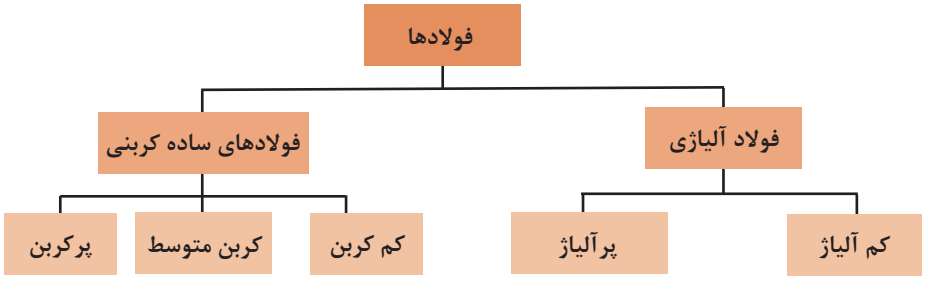
کربن و دیگر عناصر آلیاژی در ترکیب با آهن طیف گسترده‌ای از خواص را در فلزات آهنی ایجاد می‌کنند که می‌توان با شناخت این خواص از آنها در صنایع مختلف استفاده نمود.
فلزات پایه آهنی براساس میزان کربن به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند (نمودار ۳ـ۲).




نمودار ۳ـ۲ـ دسته‌بندی فلزات پایه آهنی بر حسب مقدار کربن

## فولاد

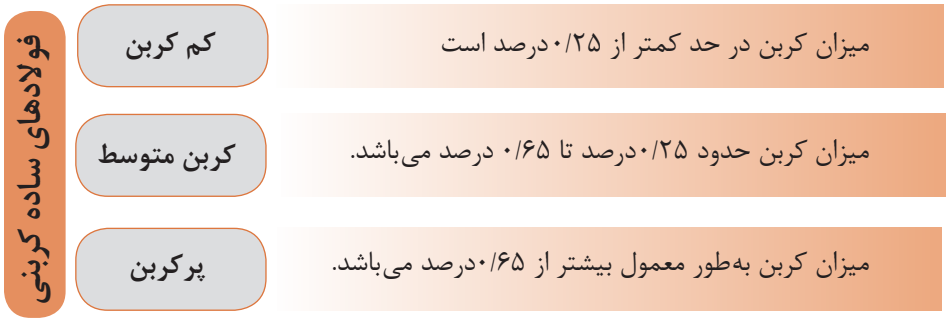
به طور کلی می‌توان فولادها را مطابق نمودار (۴ـ۲) تقسیم‌بندی کرد.




نمودار ۴ـ۲ـ تقسیم‌بندی فولادها

### فولادهای ساده کربنی

فولادهای ساده کربنی به آن دسته از فولادها اطلاق می‌شود که کربن اصلی‌ترین و مؤثرترین عنصر آلیاژی آن می‌باشد و با افزایش میزان کربن استحکام فولاد افزایش پیدا می‌کند. فولادهای ساده کربنی مطابق نمودار (۵ـ۲) به سه گروه تقسیم می‌شوند.




نمودار ۵ـ۲ـ تقسیم‌بندی انواع فولادهای ساده کربنی

**الف ــ فولاد ساده کم کربن**

این نوع فولاد که برای عموم قطعات مهندسی، سازه‌ها و پل‌ها، صنایع کشتی‌سازی و بدنه واگن‌ها و... به‌کار می‌روند، از خواص شکل‌پذیری، ماشین‌کاری، جوشکاری و مغناطیسی خوب برخوردار می‌باشند (شکل ۷ـ۲).

**شکل ۷ـ۲ـ کاربرد فولادهای ساده کم کربن**

**ب ــ فولادهای ساده کربن متوسط**

در صنایع حمل و نقل به خصوص راه آهن (چرخ و محور واگن‌ها)، قطعات خودرو و ماشین‌آلات صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فولادها علاوه بر داشتن خواص ماشین‌کاری و جوشکاری مناسب از قابلیت سختی‌پذیری بالایی برخوردار هستند (شکل ۸ـ۲).

**الف) اکسل عقب و دیفرانسیل اتومبیل**

**ب) سازه‌های مربوط به فراوری مواد معدنی**

**شکل ۸ـ۲ـ کاربرد فولادهای ساده کربن متوسط**

**ج ــ فولادهای ساده پرکربن**

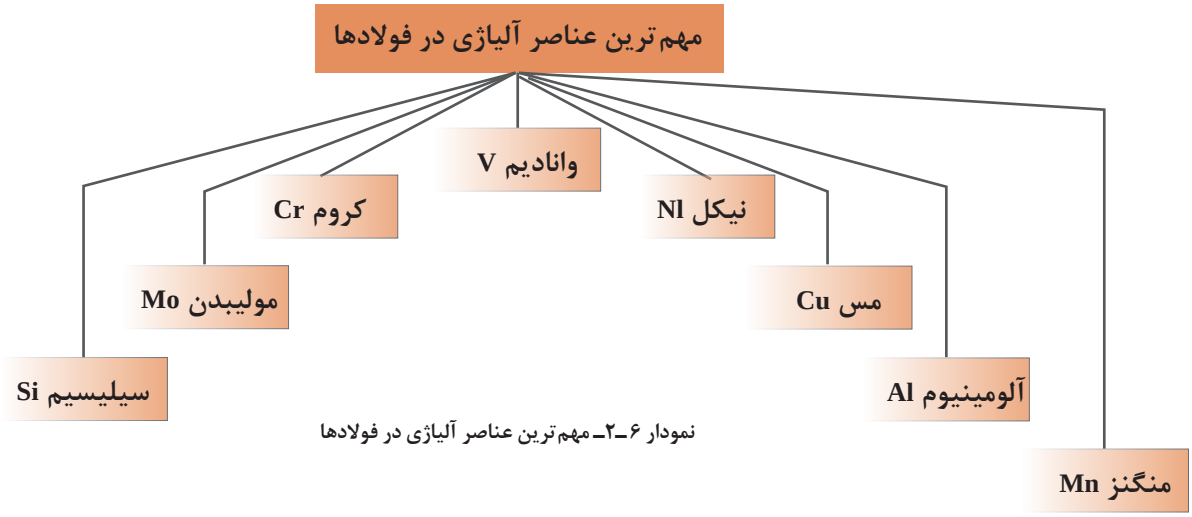
در مواردی که به سختی بالایی نیاز باشد از فولادهای ساده پرکربن استفاده می‌شود مانند تیغ‌های برش، غلتک نورد و... که در شکل ۹ـ۲ دو نمونه از این قطعات صنعتی نشان داده شده است.

**شکل ۹ـ۲ـ کاربرد فولادهای ساده پرکربن**

## فولادهای آلیاژی

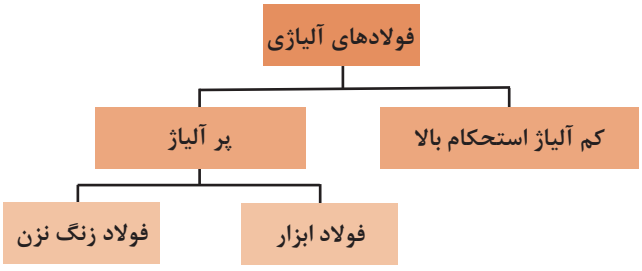
برای بهبود خواص فولادها که در نمودار (۷ـ۲) به دلایل اصلی آن اشاره شده است. عناصری آلیاژی به آن افزوده می‌شود که مهم ترین عناصر آلیاژی در نمودار (۶ـ۲) مشاهده می‌شوند.

**مهم ترین عناصر آلیاژی در فولادها**




**نمودار ۶ـ۲ـ مهم‌ترین عناصر آلیاژی در فولادها**

**نمودار ۷ـ۲ـ دلایل افزودن عناصر آلیاژی به فولاد**




**نمودار ۸ـ۲ـ دسته‌بندی فولادهای آلیاژی**

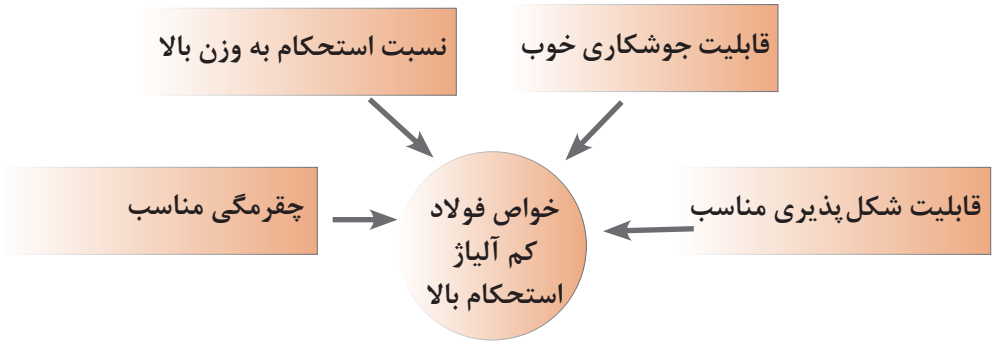
فولادهای آلیاژی را می‌توان مطابق نمودار (۸ـ۲) تقسیم‌بندی کرد.

---

**۱ـ 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 ـ کرنش محاسبه کرد. بنابراین هرچه چقرمگی ماده‌ای بیشتر باشد انرژی لازم برای شکست آن بیشتر است.

**الف ـ فولاد کم آلیاژ استحکام بالا (HSLA)[1]**

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 به فردی می‌باشند، که در نمودار (۹ـ۲) نمایش داده می‌شود.




**نمودار ۹ـ۲ـ 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 میکروآلیاژها مرسوم می‌باشد. به عنوان مثال در صنایع خودروسازی برای انتخاب ورق بدنه خودرو معیار اصلی دارا بودن استحکام بالا و به همراه وزن کم می‌باشد که از ورق‌های HSLA با ضخامت کم استفاده می‌شود.

فولادهای میکرو آلیاژی بدون شک یکی از مهم ترین پیشرفت‌های علم متالورژی در 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 ـ فولادهای ابزار[2]**

فولادهای ابزار گروهی از فولادها هستند که در ساخت ابزار مانند تیغه اره، تیغه قیچی، سوهان، شکل (۱۰ـ۲) قلم‌تراش، سوزن خط‌کشی و قالب‌های نورد و پرس مورد استفاده قرار می‌گیرند. سختی‌پذیری بالا، مقاومت سایشی مناسب، پایداری ابعاد خوب (انقباض و انبساط کم) و قابلیت عملیات حرارتی از جمله خواص مهم فولاد ابزار می‌باشد.

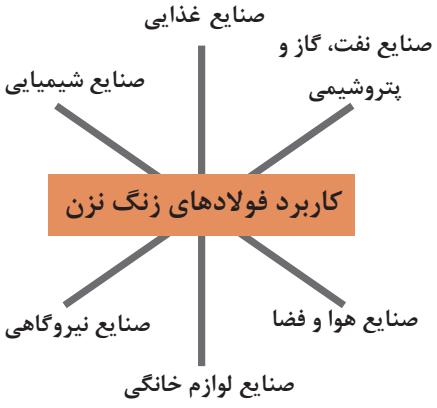
میزان کربن این نوع فولادها از حدود ۳۵درصد تا حدود ۱/۲۵ درصد متغیر است و بسته به نوع فولاد ابزار ممکن است دارای عناصر آلیاژی خاص مثل : تنگستن، کروم، وانادیوم و مولیبدن نیز باشند.

**شکل ۱۰ـ۲ـ کاربردهای فولاد ابزار**

1- High Strength Low Alloy
2- Tool Steel

**ج ـ فولاد زنگ نزن**[1]

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 (۱۰ـ۲) آورده شده است.




**نمودار ۱۰ـ۲ـ کاربرد فولادهای زنگ نزن**

## 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 ۳ـ۴/۵ درصد کربن دارند). همچنین ممکن است برحسب کاربرد دارای عناصر دیگری مثل کرم، منگنز و غیره به ترکیب چدن‌ها اضافه شود.

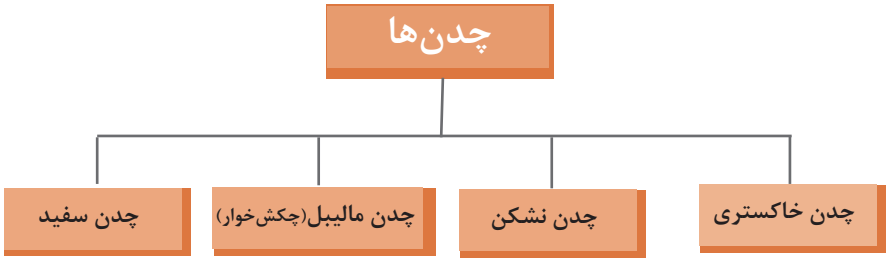
نقطه ذوب چدن‌ها نسبت به فولادها به مراتب کمتر است (حدود ۱۱۵۰ الی ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد). بنابراین به‌راحتی ذوب و ریخته‌گری می‌شوند، اما چدن‌ها ترد و شکننده‌اند. از این رو ساده‌ترین روش ساخت و تولید قطعات چدنی ریخته‌گری است.

**دسته‌بندی چدن‌ها:** یک روش ساده و متداول برای دسته‌بندی چدن‌ها، شکل ذرات گرافیت در ساختار چدن و رنگ ظاهر سطح مقطع شکست آنها می‌باشد. شکل (۱۱ـ۲) فرم‌های مختلف ذرات گرافیت در ساختار چدن‌ها نشان داده شده است.

**شکل ۱۱ـ۲ـ ساختار چدن‌ها و شکل ذرات گرافیت آزاد**

1- Stainless Steel

براساس توضیحات ذکر شده چدن‌ها را مطابق نمودار (۱۱ـ۲) می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود.




**نمودار ۱۱ـ۲ ـ تقسیم‌بندی چدن‌ها**

**الف ـ چدن سفید**

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

**ب ـ چدن خاکستری**

سطح مقطع شکست آلیاژ، خاکستری رنگ است چون بخشی از کربن موجود در آلیاژ به‌صورت گرافیت ورقه‌ای یا رشته‌ای 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 دستگاه‌های تراش و فرز کاربرد دارد.

**ج ـ چدن نشکن یا گرافیت کروی**

چنانچه به ترکیب مذاب چدن خاکستری قبل از ریخته‌گری مقدار اندکی منیزیم یا سدیم اضافه شود باعث می‌شود شکل ذرات گرافیت تغییر کند. در این نوع چدن ذرات گرافیت به‌صورت کروی شکل یا شبیه کره می‌باشند. استحکام و انعطاف‌پذیری چدن نشکن نسبت به چدن خاکستری بیشتر است لذا کاربرد گسترده این چدن‌ها در مواردی مثل شیرآلات، پمپ، میل لنگ، چرخ دنده و ماشین‌آلات صنعتی مشابه است.

**د ـ چدن مالیبل یا چکش خوار**

چنانچه چدن سفید برای مدت نسبتاً طولانی در دمای حدود ۷۰۰ یا ۸۰۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد کاربید آهن($Fe_3C$) موجود در ساختار چدن تجزیه شده و ذرات گرافیت خوشه‌ای شکل تشکیل می‌شود. این چدن‌ها از استحکام و انعطاف‌پذیری یا چکش‌خواری مناسبی برخوردار می‌باشند و در مواردی مثل شاتون، چرخ دنده‌های انتقالی نیرو، تجهیزات راه آهن و به‌طور کلی در قطعات مهندسی تحت شرایط سخت‌کاری کاربرد دارند.

جدول ۱ـ۲ به‌طور نمونه کاربرد انواع چدن در صنایع گوناگون را نشان می‌دهد.

**جدول ۱ـ۲ـ کاربرد انواع چدن در صنایع گوناگون**

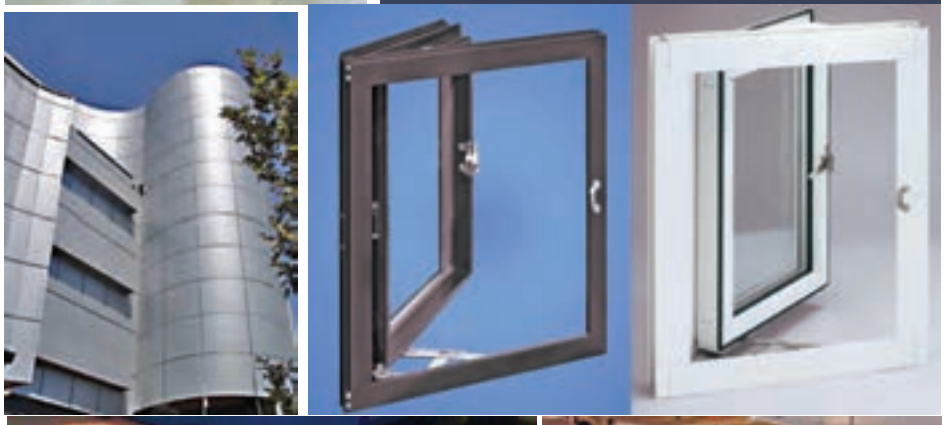
| نوع چدن | تصویر نمونه کاربردی |
|---|---|
| چدن چکش‌خوار (مالیبل) | |
| چدن خاکستری | |
| چدن سفید | |
| چدن نشکن (گرافیت کروی) | |

## ۴ـ۲ـ فلزات غیر آهنی

فلزات غیرآهنی عبارت‌اند از: تمام فلزات و آلیاژهایی که بخش اصلی تشکیل‌دهنده ترکیب آنها عنصری غیر از آهن باشد. فلزات غیرآهنی به‌دلایل مختلف از جمله اینکه، مقدار آنها در طبیعت کمتر یافت می‌شود و یا مراحل استخراج آنها پیچیده‌تر و پرهزینه‌تر است و یا از نظر خواص موردنظر ضعیف‌تر می‌باشند نسبت به فلزات آهنی موارد کاربرد کمتری در صنعت دارند و یا در موارد و کاربردهای مخصوصی به‌کار می‌روند که خواص ویژه‌ای موردنظر باشد مثل: آلیاژهای مس، آلومینیوم، منیزیم، روی، نیکل و غیره.

فلزات غیر آهنی براساس 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 تقسیم‌بندی می‌شوند که در شکل (۱۲ـ۲) مواردی از کاربردهای صنعتی فلزات غیر آهنی نشان داده شده است.

مس در صنایع برق



آلومینیوم در صنایع ساختمان

تیتانیوم در صنایع هوافضا

شکل ۱۲ـ۲ـ کاربرد فلزات غیر آهنی در ساخت سازه‌های صنعتی

## آلومینیوم

در صنعت، آلومینیوم پس از فولاد در ردیف دوم از نظر پرکاربردترین 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 مقاومت به خوردگی و قابلیت ریخته گری مناسب و شکل پذیری خوبی برای تولید مقاطع مختلف نظیر: لوله، پروفیل، نبشی و.... دارند. جداول (۲ـ۲) خصوصیات آلومینیوم را نشان می‌دهد.

**جدول ۲ـ۲ـ خواص فیزیکی مهم آلومینیوم**

| نام، علامت اختصاری | Aluminum, Al |
|---|---|
| جرم حجمی | ۲/۷ $gr/cm^3$ |
| رنگ | نقره ای |
| حالت ماده | جامد |
| نقطه ذوب | ۶۶۰ $^\circ C$ |
| رسانایی الکتریکی | ۳۷/۷ ×۱۰$^۶$ زیمنس[۱] |
| رسانایی گرمایی | ۲۳۷ $W/m \times {}^\circ K$ |
| ساختار کریستالی | Fcc |
| ظرفیت گرمایی ویژه | ۹۰۰ $J/Kg \times {}^\circ K$ |

درجدول (۳ـ۲) دلایل و موارد کاربرد آلیاژهای آلومینیومی در صنایع مختلف نشان داده شده است.

**جدول ۳ـ۲ـ کاربرد آلومینیوم در صنایع مختلف**

| کاربرد | دلیل استفاده و نمونه کاربرد صنعتی | |
|---|---|---|
| صنایع هوا و فضا (هواپیماها و راکت‌ها) | ● سبک بودن<br>● بالا بودن نسبت استحکام به وزن | |
| صنایع حمل‌ونقل (ریلی و خودرو) | ● بالا بودن نسبت استحکام به وزن<br>● مقاومت به خوردگی بالا | |

۱ـ زیمنس واحد رسانایی جریان الکتریسیته و معادل $\frac{۱}{\text{اهم}}$ است.

| | | |
|---|---|---|
| صنایع کشتی‌سازی | ● مقاومت به خوردگی بالا<br>● بالا بودن نسبت استحکام به وزن | |
| صنایع بسته‌بندی | ● مقاومت در برابر خوردگی<br>● سبکی<br>(موجب کاهش هزینه‌های حمل و نقل می‌شود)<br>● به‌راحتی استرلیزه می‌شود | |

## 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 نقره از مس بیشتر است. شکل (۱۳ـ۲) چند نمونه قدیمی از سازه‌های مسی را نشان می‌دهد. و جدول (۴ـ۲) خصوصیات مس را نشان می‌دهد.

سرنیزه های ساخته‌شده از مفرغ — ظرف مسی — سرویس قاشق و چنگال مسی

**شکل ۱۳ـ۲ـ چند سازه مسی مربوط به دوران قدیم**

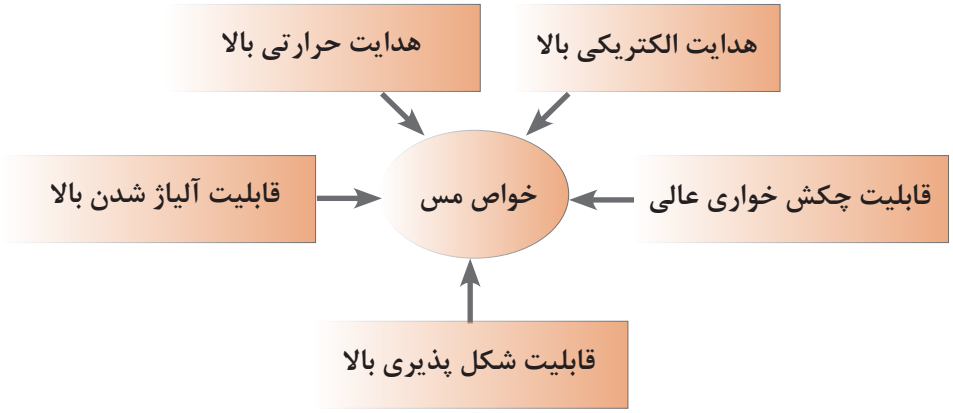
**جدول ۴ـ۲ـ خصوصیات مس**

| نام و علامت اختصاری | Copper, Cu |
|---|---|
| جرم حجمی | ۸/۹۲ $gr/cm^3$ |
| رنگ | قرمز |
| حالت ماده | جامد |
| نقطه ذوب | ۱۰۸۴ °C |
| رسانایی الکتریکی | $۵۹/۶\times۱۰^۶$ زیمنس $\frac{۱}{اهم}$ |
| رسانایی گرمایی | ۴۰۱ $W/m \times °K$ |

با نگاه به خواص مس که در نمودار (۱۲ـ۲) آمده است، می‌توان به نقش مس و آلیاژهای آن به عنوان یک فلز غیرآهنی مهم صنعتی پی برد.

**کاربردهای مس**

باتوجه به خواص مطلوب مس از آن در صنایع مختلف استفاده می‌شود که در نمودار (۱۳ـ۲) و شکل (۱۴ـ۲) موارد مهم و پرکاربرد مس و آلیاژهای آن را نشان می‌دهد.




نمودار ۱۲ـ۲ـ ویژگی‌های خوب فلز مس

نمودار ۱۳ـ۲ـ صنایعی که از مس و آلیاژهای آن به صورت گسترده استفاده می‌کنند.

شکل ۱۴ـ۲ـ چند نمونه از کاربردهای صنعتی مس و آلیاژهای آن

## روی

جدول (۵ـ۲) ویژگی‌های فیزیکی مهم فاز روی و نمودار (۱۴ـ۲) خواص صنعتی آن را نشان می‌دهد.

**جدول ۵ـ۲ـ ویژگی‌های مهم روی**

| نام، علامت اختصاری | Zinc, Zn |
|---|---|
| جرم حجمی | ۷/۱۴ $gr/cm^3$ |
| رنگ | خاکستری کم‌رنگ مایل به آبی |
| حالت ماده | جامد دیامغناطیس |
| نقطه ذوب | ۶۹۲/۶۸ °K |
| رسانایی الکتریکی | ۱۰۶×۶×۱۰$^6$ زیمنس |
| رسانایی گرمایی | ۱۱۶ W/m ×°K |

**نمودار ۱۴ـ۲ـ خواص فلز روی**

باتوجه به خواص فلز روی از این فلز بیشتر برای پوشش قطعات فولادی به‌منظور حفاظت در برابر خوردگی استفاده می‌شود.

**گالوانیزه کردن**

پوشش دادن سازه‌های فولادی را در حمام روی مذاب، فرایند گالوانیزه (غوطه وری 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 (۱۵ـ۲) خط تولید ورق و قوطی‌های گالوانیزه را نشان می‌دهد.

شکل ۱۵ـ۲ـ خط گالوانیزه کردن ورق و قوطی‌های فولادی

## قلع

قلع فلز دیگری است که در پوشش‌های مقاوم به خوردگی (قلع اندود کردن)، آلیاژسازی، لحیم‌کاری و غیره کاربرد دارد. جدول (۶ـ۲) خصوصیات فیزیکی مهم فلز قلع را نشان می‌دهد.

جدول ۶ـ۲ـ خصوصیات فیزیکی مهم قلع

| نام، علامت اختصاری | Tin, Sn |
|---|---|
| جرم حجمی | ۷۳/۱ $gr/cm^3$ |
| رنگ | خاکستری درخشان (نقره‌ای) |
| حالت ماده | جامد |
| نقطه ذوب | ۱۳۲ ° c |
| رسانایی الکتریکی | ۹/۱۷ ×۱۰$^6$ زیمنس |
| رسانایی گرمایی | ۶۶/۶ $(W/m) \times {}^\circ K$ |

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 پوشش‌دهی 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 لحیم‌کاری نرم نیز به‌عنوان یکی از عناصر تشکیل‌دهنده لحیم مورد استفاده فراوان است. شکل (۱۶ـ۲) کاربرد ورق‌های قلع اندود را در صنایع بسته‌بندی نشان می‌دهد.

شکل ۱۶ـ۲ـ کاربرد ورق قلع اندود در صنایع بسته بندی مواد غذایی

## سایر فلزات غیرآهنی

سایر فلزات غیرآهنی متناسب با خواص و ویژگی‌های مربوط به خود به‌صورت خالص یا آلیاژ در ساخت و تولید سازه‌های مختلف صنعتی نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. در جدول ۷ـ۲ برخی از خواص سایر فلزات غیرآهنی همراه با مهم‌ترین موارد کاربرد آنها در صنایع آورده شده است.

جدول ۷ـ۲ـ خواص و موارد کاربرد صنعتی برخی ازفلزات غیر آهنی

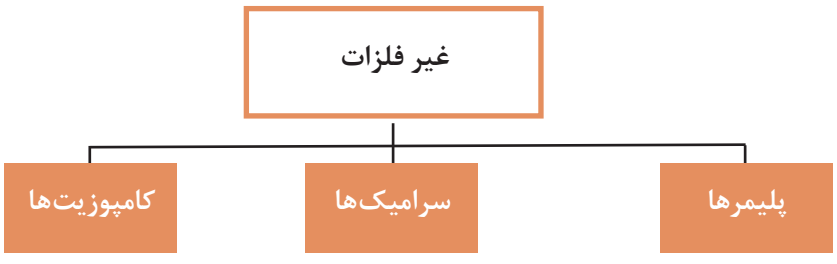
| فلز | خواص | موارد کاربرد صنعتی | |
|---|---|---|---|
| نیکل<br>جرم حجمی: ۸/۸۵gr/cm$^3$<br>نقطه ذوب: ۱۴۵۰°C | ـ هادی جریان الکتریسیته<br>ـ مقاوم در برابر اکسیداسیون<br>ـ براق | ـ تولید فولاد زنگ نزن<br>ـ باطری قابل شارژ<br>ـ کاتالیزور<br>ـ آبکاری الکتریکی | ـ سکه<br>ـ ابزار ریخته گری و فلز کاری<br>ـ ظروف آزمایشگاه‌های شیمی |
| کبالت<br>جرم حجمی: ۸/۶gr/cm$^3$<br>نقطه ذوب: ۱۴۹۰°C | ـ فرومغناطیسی<br>ـ مقاوم در مقابل فرسایش<br>ـ براق | ـ قطعات توربین<br>ـ هواپیما (آلیاژهای دیرگداز)<br>ـ آهن ربا | ـ کاتالیزور در صنایع شیمیایی<br>ـ رنگ سازی<br>ـ باطری‌سازی |
| کرم<br>جرم حجمی: ۶/۸gr/cm$^3$<br>نقطه ذوب: ۱۹۰۰°C | ـ سخت<br>ـ براق<br>ـ غیر قابل جوشکاری<br>ـ مقاوم در برابر خوردگی<br>ـ مقاوم دربرابر اکسیداسیون | ـ قالب پخت آجر<br>ـ سبز کردن ر نگ شیشه<br>ـ نوارهای مغناطیسی | |

| | | |
|---|---|---|
| تیتانیوم<br>جرم حجمی: $4/51 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $1700^\circ C$ | ـ استحکام بالا<br>ـ مقاوم درمقابل خوردگی<br>ـ قابل جوشکاری<br>ـ عملیات حرارتی پذیر<br>ـ شکل پذیری<br>ـ مقاوم در برابر سایش | ـ موتور و هواپیما<br>ـ ماشین‌های نساجی<br>ـ تجهیزات شیمیایی<br>ـ وسایل جراحی<br>ـ وسایل ارتوپدی<br>ـ نیروگاه اتمی و حرارتی |
| منیزیم<br>جرم حجمی: $1/74 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $650^\circ C$ | ـ سبک<br>ـ استحکام پایین<br>ـ قابل اشتغال | ـ مواد دیر گداز<br>ـ آلیاژ سازی<br>ـ فلاش دوربین عکاسی<br>ـ منور بمب‌های آتش زا |
| منگنز<br>جرم حجمی: $7/4 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $1250^\circ C$ | ـ سخت<br>ـ شکننده<br>ـ فرومغناطیس | ـ آلیاژ سازی<br>ـ پیل‌های خشک |
| تنگستن<br>جرم حجمی: $19 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $3370^\circ C$ | ـ سخت<br>ـ مقاوم در برابر فرسایش | ـ پوشش مقاوم به سایش<br>ـ آلیاژسازی |
| مولیبدن<br>جرم حجمی: $10/3 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $2600^\circ C$ | ـ چکش خواری<br>ـ قابلیت شکل‌دهی<br>ـ قابل جوشکاری<br>ـ هدایت الکتریکی و حرارتی خوب | ـ تولید فولاد آلیاژی<br>ـ تولید الکترودهای لامپ‌های اشعه ایکس<br>ـ کاربرد در دماهای بالا<br>ـ قطعات دمای بالا در دستگاه رادار<br>ـ المنت حرارتی در کوره‌ها<br>ـ لوازم آزمایشگاهی دما بالا<br>ـ پوشش پیستون‌ها |
| وانادیم<br>جرم حجمی: $5/7 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $1715^\circ C$ | ـ انبساط حرارتی کم<br>ـ مقاوم در برابر خوردگی<br>ـ چکش خواری | ـ تولید فولادهای آلیاژی |
| سرب<br>جرم حجمی: $11/3 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $327^\circ C$ | ـ مقاوم در برابر خوردگی<br>ـ چکش خواری<br>ـ مقاوم در برابر اسیدها | ـ پوشش ورق‌های فولادی<br>ـ مخازن مقاوم در مقابل اسیدها<br>ـ صفحات باتری<br>ـ حروف چاپ<br>ـ تهیه پوشش‌های ضد پرتو رادیواکتیو<br>ـ تهیه لوله‌های فاضلاب<br>ـ پوشش محافظ کابل‌ها |

| | | |
|---|---|---|
| جیوه<br>جرم حجمی: $13/55 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $-38/8^\circ C$ | ـ مایع در دمای محیط<br>ـ انبساط حرارتی زیاد | ـ لامپ‌های بخار جیوه<br>ـ دماسنج و فشار سنج‌ها<br>ـ کلیدهای الکتریکی<br>ـ آمالگام (ملقمه) دندان پزشکی |
| بریلیم<br>جرم حجمی: $1/9 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $1280^\circ C$ | ـ چگالی کم<br>ـ مقاومت در برابر اکسیداسیون<br>ـ هدایت بالا<br>ـ خاصیت الاستیک بالا | ـ صنایع هواپیمایی<br>ـ صنایع حمل و نقل<br>ـ قطعات کامپیوتر<br>ـ راکتورهای هسته‌ای |
| نقره<br>جرم حجمی: $10/5 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $960^\circ C$ | ـ هدایت الکتریکی بالا<br>ـ قابلیت مفتول شدن<br>ـ قابلیت ورقه شدن | ـ ساخت آئینه<br>ـ تهیه فیلم‌ها و کاغذهای حساس عکاسی<br>ـ ساخت وسایل تزئینی و تهیه جواهرات |
| طلا<br>جرم حجمی: $19/2 gr/cm^3$<br>نقطه ذوب: $1063^\circ C$ | ـ هدایت الکتریکی و حرارتی بالا<br>ـ مقاوم در برابر اکسیداسیون<br>ـ چکش خواری عالی<br>ـ بسیار نرم | ـ جواهر سازی<br>ـ ساخت زینت آلات<br>ـ کاربرد در صنایع الکترونیکی<br>ـ آب طلاکاری |

## ۵ـ۲ـ غیر فلزات

غیر فلزات دسته دوم مواد جامد صنعتی را تشکیل می‌دهند که می‌توان آنها را به دو دسته غیر فلزات طبیعی و مصنوعی دسته‌بندی نمود. غیر فلزات 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 غیر فلزات مصنوعی به تمام مواد غیرفلزی ساخته شده دست بشر اطلاق می‌شود که مطابق نمودار(۱۵ـ۲) می‌توان آنها را در سه دسته پلیمرها، سرامیک‌ها و کامپوزیت‌ها جای داد.




نمودار ۱۵ـ۲ـ تقسیم‌بندی مواد غیرفلزی

## الف ـ پلیمرها

شکل ۱۷ـ۲ـ بخشی از یک مولکول پلیمری (تفلون)

پلیمرها (درشت مولکول‌ها) مولکول‌های بزرگی هستند که از به‌هم چسبیدن تعداد زیادی مولکول‌های کوچک‌تر تشکیل می‌شوند. مولکول‌های کوچک را مونومر و عمل اتصال و پیوند آنها را پلیمر شدن می‌گویند. در شکل (۱۷ـ۲) بخشی از یک مولکول پلیمری (تفلون) نشان داده شده است. چنانچه واحدهای سازنده یک پلیمر (مونومر) از یک نوع باشند آن را همومونمر و اگر مونومرهای تشکیل‌دهنده 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 به‌صورت‌های مختلف تقسیم‌بندی کرد. درحالت 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، آنزیم‌ها، 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، شیلنگ‌ها 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.

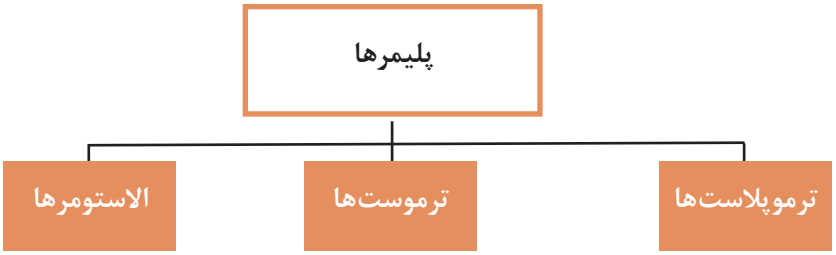
پلیمرهای صنعتی طی سال‌های اخیر توانسته اند با توجه به تنوع و گستردگی در خواص و ویژگی‌های خود باعث تحول بزرگی در عرصه مواد صنعتی شوند. به‌طوری که امروزه در بسیاری موارد به دلیل خواص بهتر و هزینه کمتر تولید، جایگزین مناسبی برای مواد صنعتی دیگر به حساب می‌آیند.

در شکل (۱۸ـ۲) دو نمونه از جایگزینی پلیمرها مشاهده می‌شود. قسمت الف نشان می‌دهد که لوله‌های پلیمری جایگزین لوله‌های فولادی شده‌اندو قسمت ب نشان می‌دهد که امروزه قایق‌ها به دلیل مزایای ویژه مواد پلیمری (از جمله سبک بودن) از پلیمر ساخته می‌شوند.

شکل ۱۸ـ۲ـ مواد پلیمری جایگزین شده: الف) لوله‌های آب، ب) قایق

**تقسیم‌بندی پلیمرهای صنعتی**

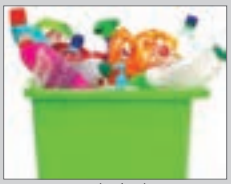
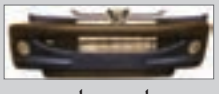
پلیمرهای صنعتی را می‌توان بر حسب خواص و رفتار آنها در برابر حرارت و خواص مکانیکی مطابق نمودار(۱۶ـ۲) به سه دسته تقسیم‌بندی کرد.




**نمودار ۱۶ـ۲ـ تقسیم‌بندی پلیمرها**

در جدول (۸ـ۲) سه دسته اصلی مواد پلیمری معرفی شده‌اند، همچنین خواص آنها آورده شده و مواردی از کاربردهای صنعتی آنها نشان داده شده است.

**جدول ۸ـ۲ـ معرفی خواص و موادی از کاربرد پلیمرهای صنعتی**

| | | |
|---|---|---|
| ترموپلاست‌ها (پلاستیک‌های گرمانرم) | ویژگی و خواص | 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 هرچند بار که بخواهیم می‌توانیم آن را ذوب کرده و تغییر فرم داد. این علت کاربرد بسیار زیاد این مواد است.<br>نایلون، پلی اتیلن، پلی پروپیلن پلی ونیل کلراید (P.V.C) از جمله مواد ترموپلاستیک هستند. |
| | موارد کاربرد | وسایل اسباب بازی کودکان، لوله‌ها و تجهیزات انتقال مایعات، تجهیزات الکتریکی، پوشش‌ها، اتصالات، لوازم آشپزخانه، کیسه پلاستیکی و نظایر آن. |
| نمونه‌های صنعتی از کاربرد ترموپلاست‌ها در صنعت | |  پلی‌اتیلن<br> پلی‌وینیل کلراید (P.V.C)<br> پلی‌اتیلن<br> <br> <br>  پلی‌پروپیلن |

| | | |
|---|---|---|
| ترموست‌ها (پلاستیک‌های گرماسخت) | ویژگی و خواص | ترموست یا گرما سخت به پلیمرهایی گفته می‌شود که در اثر اعمال حرارت دچار واکنش شیمیایی و سخت می‌شوند و پس از پخت و شکل‌پذیری، دیگر با استفاده از حرارت نمی‌توان شکل آنها را تغییر داد. آنها جزو پلیمرهای سه‌بعدی 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 |
| | موارد کاربرد | از آنها در ساخت لوله‌ها، شیرها، پمپ‌ها، ظروف، پوشش محافظ وسایل الکتریکی، بدنه گوشی تلفن، بدنه و اجزای وسایل نقلیه، دوچرخه، موتورواتومبیل، وسایل خانگی، اسباب بازی، مبلمان و نظیر آن استفاده می‌شود. |
| نمونه‌های صنعتی از کاربرد مواد پلیمری ترموست در صنایع | | پلی‌استر پلی‌استر اپوکسی اپوکسی |

| | | |
|---|---|---|
| الاستومرها نام الاستومر از دو قسمت «الاستو» برگرفته از «لاستیک» و به معناس ارتجاعی و «مر» برگرفته از «پلیمر» تشکیل شده است | ویژگی و خواص | 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 می‌گردد. همچنین بدون پاره شدن و گسستن در برابر تغییر شکل مقاومت می‌کنند. این پلیمرها در اثر گرما نرم می‌شوند، ولی بر خلاف 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. |
| | موارد کاربرد | در ساخت محصولات زیادی مانند: لاستیک اتومبیل، مواد آب‌بندی، برف‌پاک‌کن، شیلنگ‌ها و مواد پوشش مخازن، تانک‌ها، لوله‌ها و امثال آنها کاربرد دارند. |
| نمونه‌های صنعتی از کاربرد الاستومرها در صنعت | | <br>واشر پلاستیکی<br> <br>شیلنگ<br> <br>تایر اتومبیل |

## ب ـ سرامیک‌ها

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

ـ دیرگدازی بالا

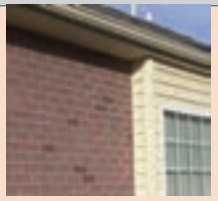
ـ سختی زیاد

ـ مقاومت در برابر خوردگی بالا

**طبقه‌بندی 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 درحال گسترش می‌باشد. در جدول(۹ـ۲) مواد سرامیکی متداول و پرکاربرد در صنعت معرفی شده‌اند.

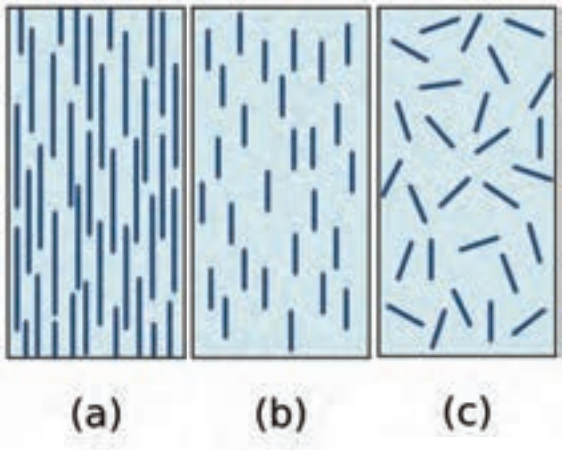
جدول ۹ـ۲ـ معرفی مواد سرامیکی متداول و پرکاربرد در صنعت

| ماده سرامیکی | توضیح خصوصیات و ویژگی‌ها | تصویر |
|---|---|---|
| سفال | از قدیمی‌ترین دست ساخته‌های بشراست. خاک رس ماده اصلی آن است که از اخلاط آب + خاک رس و ورزدادن به منظور افزایش قابلیت شکل‌پذیری و در نهایت خشک شدن و پختن جسم حاصل در کوره به‌دست می‌آید. مواد سفالی متخلخل هستند، لذا هر مایعی را به‌سرعت جذب کرده و ازخود عبور می‌دهند. بنابراین به منظور: افزایش زیبایی، افزایش استحکام، کاهش نفوذپذیری و بهداشتی نمودن برروی ظروف سفالی لعاب کاری صورت می‌گیرد. | |
| آجر | از مهم‌ترین مصالح ساختمانی است که در قدیم به روش دستی تولید می‌شد، اما امروزه آجر با استفاده از دستگاه‌ها و تجهیزات مخصوص به‌صورت مکانیزه ساخته می‌شود. |  |
| کاشی | قطعاتی مسطح ازجنس سفال می‌باشند که تنها یک روی آنها لعاب داده می‌شود(ضد آب کردن کاشی) و با کمک دوغاب سیمان به دیوار می‌چسبانند؛ کاشی در دو نوع دیواری و زمینی (موسوم به سرامیک) تولید می‌گردد. | |
| چینی | نوعی ماده سفید و محکم و شبیه سفال است که نسبت به نفوذ آب مقاوم‌اند. فلدسپات، کوارتز و رس سه جزء اصلی تشکیل‌دهنده چینی هستند که در کوره‌های مخصوص پخته می‌شوند. | |
| دیر گدازها | فراورده‌هایی می‌باشند که دارای استحکام کافی بوده و می‌توانند در دمای بالا کار کنند؛ دیر گدازها به‌طور عموم یا به‌صورت آجر و بلوک تولید می‌شوند (آجرهای نسوز شومینه) یا به‌صورت ملات‌های نسوز ساخته می‌شوند (سیمان نسوز) دیر گدازهای سنتی به‌طور معمول می‌توانند تا دمای ۱۹۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد را تحمل کنند در صورتی که دیر گدازهای نوین می‌توانند تا بیشتر از ۳۰۰۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل کنند. | |

| | | |
|---|---|---|
| ساینده‌ها و سنباده‌ها | 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 برروی مقوا یا پارچه می‌چسبانند. | صفحه سنگ‌ساب کاغذ سنباده |
| لعاب | پوششی سرامیکی است که با ضخامت کم به‌صورت پودر یا محلول برروی قطعه قرار گرفته و توسط حرارت پخته و تثبیت می‌گردد، باید توجه نمود که لعاب علاوه بر ظروف سرامیکی برروی قطعات فلزی نیز کاربرد دارد. (مثل کتری لعابی، سینک لعابی و بخاری) | |
| سرامیک‌های مدرن | مواد سرامیکی هستند که از مواد با درجه خلوص بالا و به‌وسیله روش‌های ویژه تولید می‌شوند و امروزه در صنایع مختلف مثل: پزشکی، برق و الکترونیک، هوافضا، هسته‌ای، کامپیوتر و غیره کاربرد زیادی دارند. | |

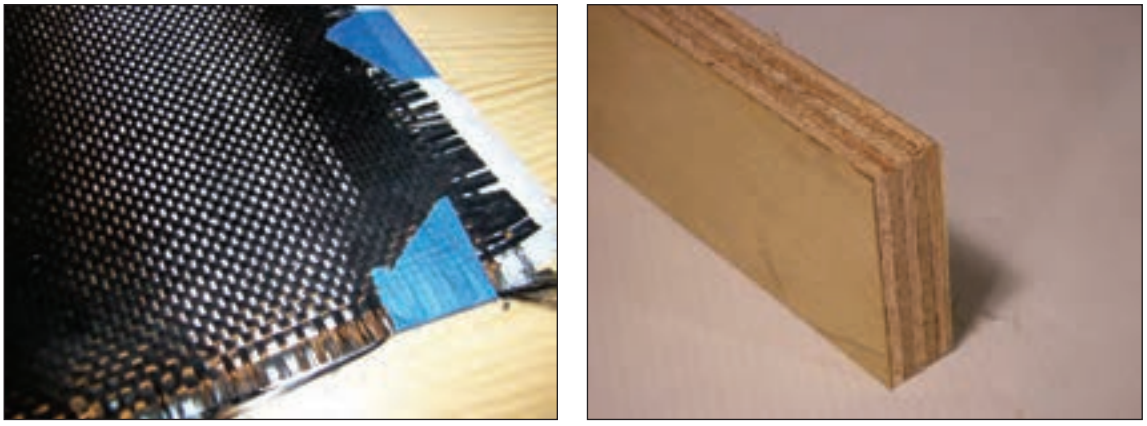
## ج ـ کامپوزیت‌ها

مواد کامپوزیتی یا مرکب از دو فاز زمینه و تقویت‌کننده تشکیل شده‌اند. فاز زمینه با احاطه کردن فاز تقویت‌کننده آن را در محل خود نگه می‌دارد و فاز تقویت‌کننده موجب بهبود خواص مکانیکی ماده کامپوزیتی می‌گردد. به‌طور کلی فاز تقویت‌کننده می‌تواند به‌صورت رشته‌های کوتاه، بلند و یا ذرات ریز با شکل‌های گوناگون باشند که در (شکل ۱۹ـ۲) سه حالت از این مواد به‌صورت شماتیک نشان داده شده است.



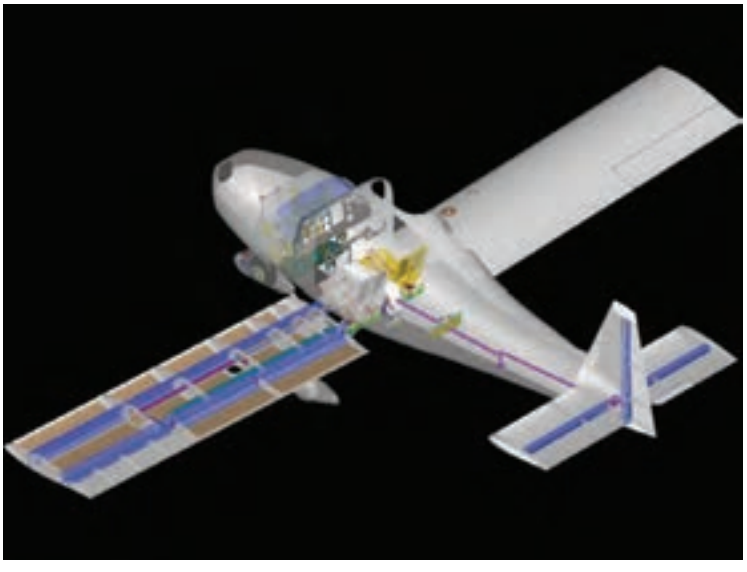

شکل ۱۹ـ۲ـ سه حالت قرار گرفتن فاز تقویت کننده در داخل فاز زمینه

مواد کامپوزیت به منظور دستیابی به مواد با خواص متفاوت و برتر از مواد صنعتی دیگر تولید می‌شوند. به کمک مواد مرکب مهندسین علم مواد قادر هستند مواد جدیدی متناسب با نیازهای واقعی صنایع در عرصه‌های مختلف بسازند. اجزای تشکیل دهنده کامپوزیت‌ها از لحاظ شکل، ترکیب شیمیایی و خواص با یکدیگر متفاوت‌اند. شکل (۲۰ـ۲) دو نوع از مواد کامپوزیتی چوبی و پلیمری را نشان می‌دهد.



**شکل ۲۰ـ۲ـ 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 رادار گریز، 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 ۲۱ـ۲).



**شکل ۲۱ـ۲ـ 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:

ـ استحکام عالی در برابر وزن کم (نسبت استحکام به وزن بالا)

ـ مقاومت در برابر خوردگی بالا

ـ عایق حرارتی خوب

ازدیگر 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 تشکیل‌دهنده 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 (۱۰ـ۲) انواع کامپوزیت‌ها و ویژگی آنها آورده شده است.

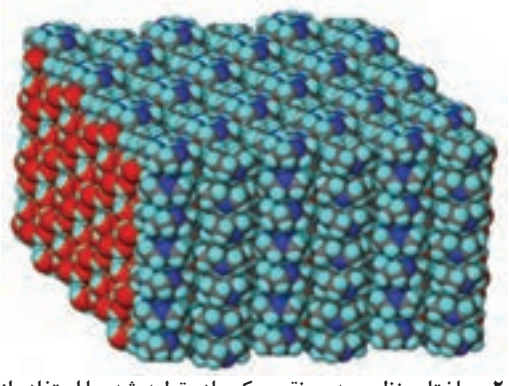
**جدول ۱۰ـ۲ـ آشنایی با مواد کامپوزیتی پرکاربرد صنعتی**

| تقویت‌کننده / زمینه | فلزی | سرامیکی | پلیمری |
|---|---|---|---|
| فلزی | ● نقره ـ پودر تنگستن<br>✓ اتصالات الکتریکی مقاوم به سایش<br>● آلومینیوم ـ رشته‌های نازک تنگستن | ● آلومینیوم ـ پودر یا رشته‌های آلومینا، کاربید سیلسیم و کربن<br>✓ صنایع هوا و فضا، قطعات نظامی، قطعات خودرو مثل: بیستون، شفت و میله‌های اتصال | ● آلومینیوم ـ رشته‌های کربن و بُر<br>● آلیاژ نقره ـ مس با رشته‌های کربن<br>✓ قطعات موتور هواپیما و فضاپیما |
| سرامیکی | ● بتن ـ میل گرد فولادی<br>✓ سازه‌های ساختمان، سد سازی، پایه پل و ساختمان سازی | ● آلومینا ـ کاربید سیلیسیم<br>✓ ابزار برش و ماشین کاری فلزات سخت<br>● کربن ـ رشته‌های کربن<br>✓ صنایع هوافضا<br>قطعات هواپیما و توربین | ● کربن ـ آرامید<br>✓ زره پوش‌های نظامی، پوشاک ضد گلوله، طناب ماهی‌گیری، چوب اسکی، راکت تنیس و دسته گلف |
| پلیمری | ● پلیمر ـ رشته‌های سیم فولادی<br>✓ تایر خودرو<br>● پلی اتیلن ـ پودر سرب<br>✓ جذب اشعه | ● پلیمر ـ رشته‌های شیشه<br>✓ فایبر گلاس<br>● پلیمر ـ رشته‌های کربن<br>● پلیمر ـ کاربید سیلیسیم یا آلومینا<br>✓ قطعات هواپیما، قطعات نظامی و صنایع هوافضا<br>● قیر ـ بتن<br>✓ آسفالت | ● پلیمر ـ آرامید<br>✓ جلیقه نجات، راکت تنیس، وسایل ورزشی، کاسه نمد لنت ترمز و کلاچ |

## ۶ـ۲ـ نانو[۱] مواد

یک نانومتر برابر یک میلیاردم متر ($10^{-9}$ m) است. این اندازه حدود ۱۸۰۰۰ بار کوچک‌تر از قطر یک تار موی انسان است. به‌طور میانگین ۳ تا ۶ اتم در کنار یکدیگر طولی معادل یک نانومتر را می‌سازند. موادی که حداقل یکی از ابعاد آنها در مقیاس ۱ الی ۱۰۰ نانومتر باشد، مواد نانویی یا نانو مواد خوانده می‌شوند. به این ترتیب فناوری نانو عبارت از توانایی به‌دست گرفتن کنترل ماده در ابعاد نانومتری برای تولید و استفاده از ابزار و مواد است. از همین تعریف ساده برمی‌آید 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 حوزهٔ مواد، ابزار و سیستم‌ها قابل تقسیم است. همچنین مبالغه نیست اگر بگوییم انسان در معرض یک انقلاب اجتماعی تسریع شده و قدرتمند است که ناشی از علم نانو تکنولوژی 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 (۲۲ـ۲) قسمتی از ساختمان منظم و بی‌عیب و نقص یک ماده نانو را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



**شکل ۲۲ـ۲ـ 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 نانو فناوری 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 نانوذرات و نانولایه‌ها دارای نسبت سطح به حجم بالایی هستند که آنها را برای استفاده در تولید مواد کامپوزیت، کاتالیزور واکنش‌های شیمیایی، تهیه دارو و منابع ذخیره انرژی ایده‌ال می‌سازد.

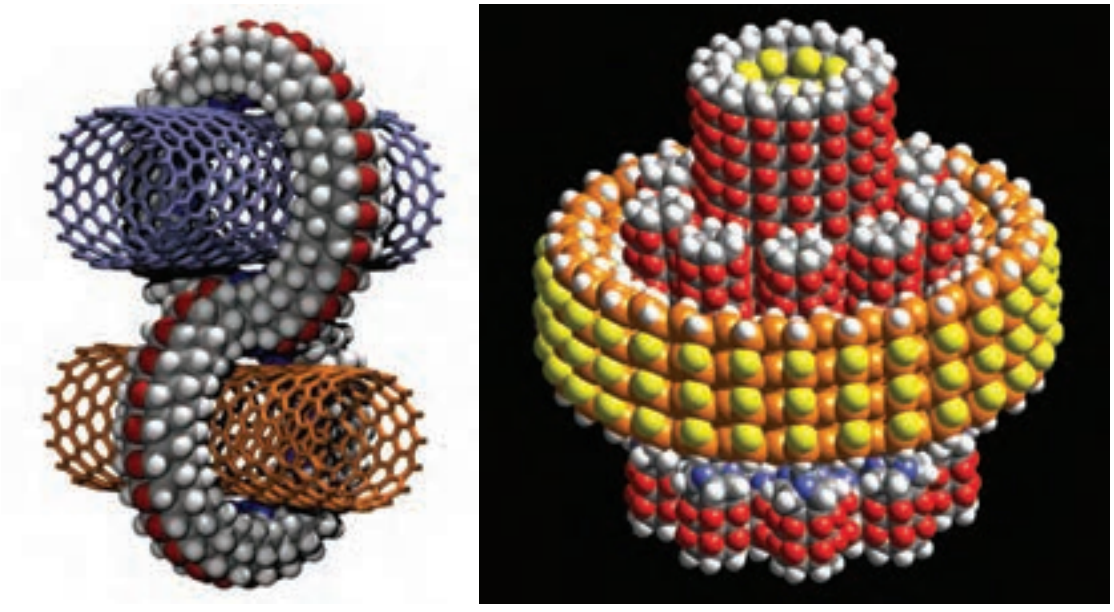
سرامیک‌های نانو ساختاری غالباً سخت‌تر و غیرشکننده‌تر از مواد مشابه در مقیاس بزرگ‌تر خود هستند. کاتالیزورهای مقیاس نانو راندمان واکنش‌های شیمیایی و احتراق را افزایش داده و به میزان چشمگیری از مواد زائد و آلودگی آن کم می‌کنند. وسایل الکترونیکی جدید با مدارهای کوچک‌تر، سرعت بیشتر و مصرف انرژی بسیار کمتر می‌توانند به کمک نانو ساختارها به‌دست آیند. اینها تنها اندکی از فواید و مزایای تولید مواد نانو می‌باشد. واقعیت آن است که علم بشری اینک در آستانه چنگ‌اندازی به عرصه‌ای است تا ساختارهای بی‌نظیری را با کارایی بسیار بالا بسازد که تاکنون بشر تصور آنها را نکرده است. به‌عنوان مثال:

---

۱ـ Nano=$10^{-9}$

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 همه‌گیرشدن اَبَر کامپیوترهای بسیار قوی، کوچک و کم مصرف
۵ سلاح‌های سبک‌تر، کوچک‌تر، هوشمندتر، دوربردتر، ارزان تر و نامرئی در مقابل رادار
۶ شناسایی 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 غیرقابل پیش‌بینی دیگر

شکل ۲۳ـ۲ دو مدل از مواد کامپوزیتی را با استفاده از تکنولوژی نانو به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



**شکل ۲۳ـ۲ـ ساختار منظم و بدون نقص مواد مرکب (کامپوزیت) تولید شده با استفاده از فناوری نانو**

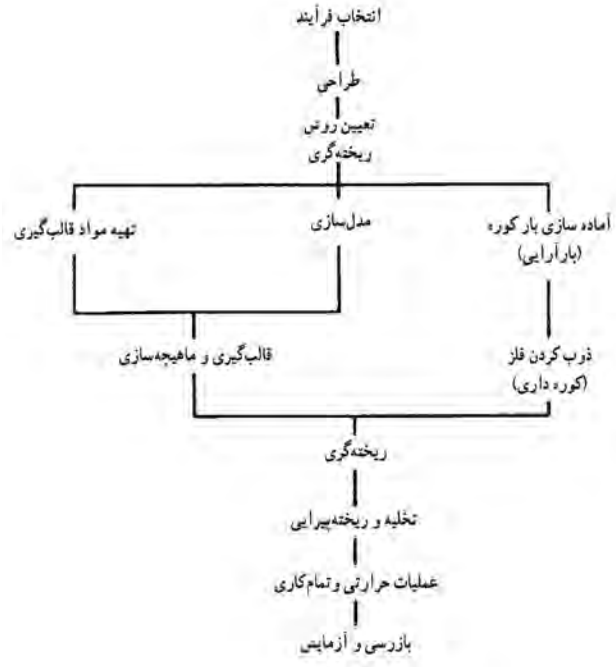
# فصل ۳

# تجهیزات و فرایندهای تولید قطعات صنعتی

## مقدمه

بعد از استخراج و تهیه شمش فلزات، مرحله بعدی تولید قطعات صنعتی است. برای تولید قطعات از روش‌ها و تکنیک‌های متفاوتی استفاده می‌شود که به روش‌های تولید معروفند. روش‌های تولید با توجه به عواملی نظیر نوع و جنس آلیاژ، اندازه و شکل قطعات، کیفیت و کمیت، هزینه تمام شده و بسیاری از موارد دیگر انتخاب می‌شوند. معمولاً برای ساخت یک قطعه با توجه به شکل فلز و کاربرد از چند روش تولید می‌توان استفاده نمود.

روش‌های تولید را می‌توان به هفت دسته اصلی تقسیم کرد که عبارت‌اند از: ریخته‌گری[1]، نوردکاری[2]، فشارکاری[3]، پتک‌کاری[4]، جوشکاری، متالورژی پودر[5] و ماشین‌کاری. البته روش‌های نوین دیگری نیز ابداع شده که توضیح در مورد آنها در حوصلهٔ این کتاب نمی‌باشد.




شکل ۱ـ۳ـ نمودار تولید قطعه ریخته‌گری

## ۱ـ۳ـ ریخته‌گری

ریخته‌گری یکی از روش‌های شکل دادن قطعات فلزی است که شامل تهیه مذاب از فلز مورد نظر و ریختن آن در محفظه‌ای به نام قالب است، به‌گونه‌ای که پس از انجماد مذاب، شکل، اندازه و خواص مورد نظر تأمین شود. بنابراین با توجه به این تعریف، فرایند ریخته‌گری را باید مجموعه‌ای از عملیات ذوب، تهیه قالب و ریختن مذاب دانست. در شکل ۱-۳ مراحل مختلف ریخته‌گری یک قطعه فلزی، به‌طور ساده نشان داده شده است.

## ۲ـ۳ـ نوردکاری

تغییر شکل فلزات بر اثر عبور از بین دو استوانه (غلتک) دوار را نوردکاری گویند. شاید بتوان گفت که نورد مهم‌ترین روش شکل دادن به فلزات است. در این روش شمش‌های تولید شده بر اثر عبور از بین غلتک‌های نوردی مختلف بدون آنکه ذوب شوند، به شکل‌های مورد نظر تبدیل می‌شوند.

دستگاه‌های نورد بر حسب تعداد و ترتیب قرار گرفتن غلتک‌ها دسته‌بندی می‌شوند. ساده‌ترین نوع آن دارای دو غلتک است که در جهت مخالف هم دوران می‌کنند. بنابراین به جهت نورد مجدد شمش و کم‌کردن مجدد ضخامت آن باید شمش را به‌وسیله افراد یا دستگاه به محل اولیه برد و دوباره نورد کرد (شکل ۲ـ۳ـ الف). گاهی

---

۱- Casting
۲- Rolling
۳- Extrusion
۴- Forging
۵-Powder Metallurgy

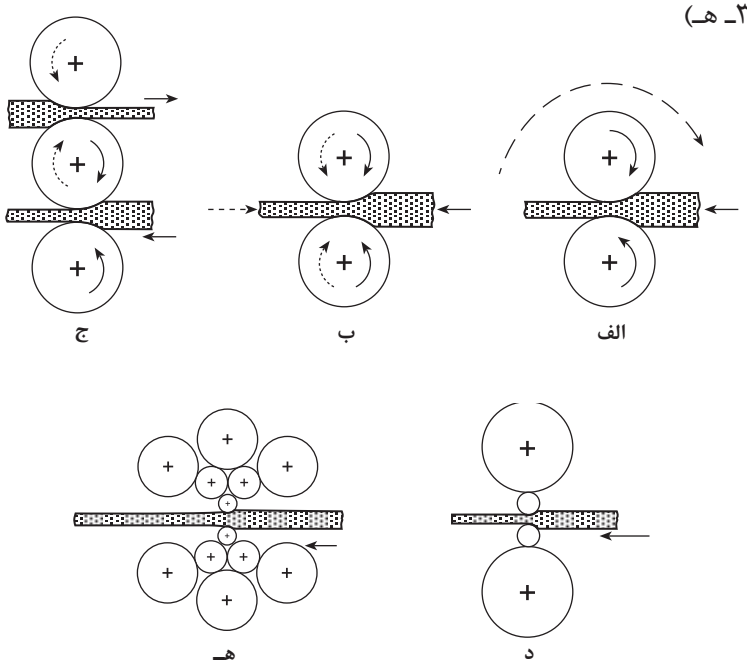
دستگاه نورد از دو غلتک تشکیل شده که در این گونه نوردها جهت دوران غلتک‌ها قابل تغییر است. در این حالت بعد از آنکه شمش از بین دو غلتک عبور کرد و ضخامت آن‌قدری کاهش یافت، دستگاه متوقف و غلتک‌ها قدری به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند و در جهت معکوس دوران می‌کنند. شمش نورد شده از طرفی که از دستگاه خارج شده مجدداً وارد دستگاه نورد می‌شود این بار ضخامت آن باز هم کمتر می‌شود (شکل ۲ـ۳ـ ب).

گاهی به جای دو غلتک از سه غلتک استفاده می‌شود چنانچه در شکل ۲ـ۳ـ ج ملاحظه می‌شود غلتک‌های بالایی و پایینی در یک جهت و غلتک وسطی در جهت معکوس دوران می‌کند.

بدین ترتیب شمشی که از بین غلتک بالا و وسط عبور می‌کند و خارج می‌شود، توسط یک سیستم ساده پایین آورده می‌شود و این بار به غلتک وسط و پایینی وارد می‌گردد. بدین ترتیب به عوض کردن جهت دوران غلتک‌ها نیازی نیست ( برخلاف دستگاه نورد با دوغلتک).

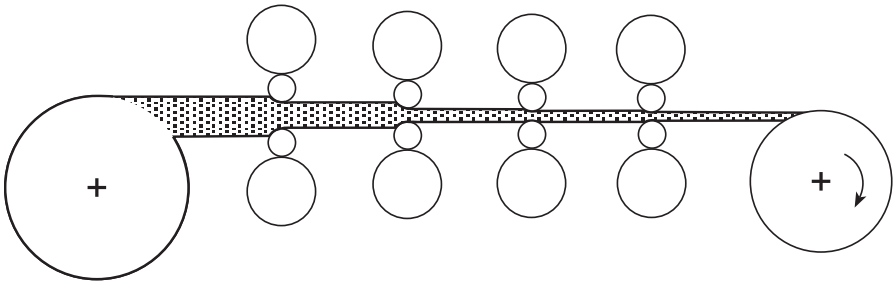
هنگامی که بخواهیم برای نورد از توان کمتری استفاده کنیم، باید غلتک‌های با قطر کوچک را به کار برد. اشکال این مسئله آن است که هر قدر قطر غلتک کمتر باشد استحکام و صلبیت غلتک کمتر می‌شود. در این حالت باید غلتک‌های کوچک توسط غلتک‌های بزرگ‌تر حمایت شوند، تا انحنا بر ندارند. ساده‌ترین این نوع نوردها، نوردهای چهار غلتکی است (شکل ۲ـ۳ـ د).

برای نورد ورق‌های بسیار نازک با دقت ابعادی بسیار بالا از غلتک‌های با قطر کم استفاده می‌شود. در اینجا نیز به جهت جلوگیری از انحنا برداشتن غلتک‌های کوچک، هر غلتک به‌وسیله دو غلتک حفظ می‌شود. این دو غلتک نیز خود به وسیلهٔ غلتک دیگر از انحنا برداشتن حفظ می‌شوند. این‌گونه نوردها به نوردهای مجموعه‌ای معروفند (شکل ۲ـ۳ـ هـ)

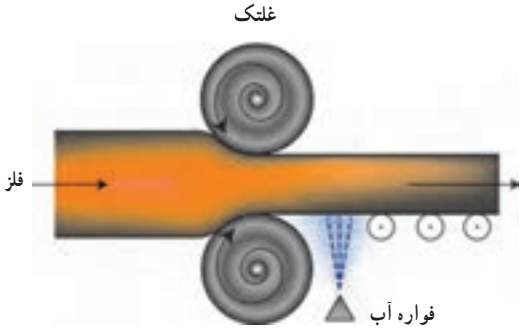



**شکل ۲ـ۳ـ انواع دستگاه‌های نورد از نظر تعداد و ترتیب قرارگرفتن**
**الف) نورد دوغلتکی با یک جهت دوران، ب) نورد دو غلتکی با سیستم تغییر جهت دوران، ج) نورد سه غلتکی، د) نورد چهار غلتکی، هـ) نورد مجموعه‌ای**

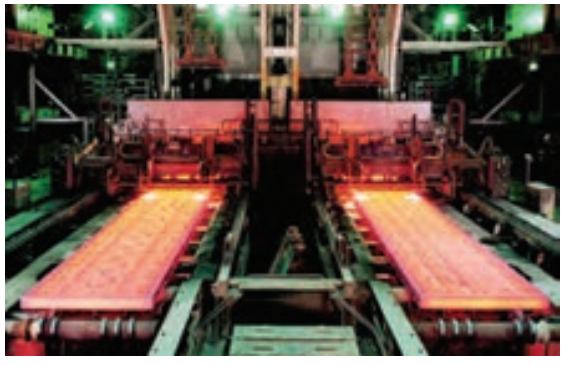
برای تولید در مقیاس زیاد معمولاً یک سری دستگاه نورد به دنبال هم کار گذاشته می‌شوند.
بدین ترتیب ورق با ضخامت زیاد وارد این سری دستگاه‌های نورد مداوم می‌شود و در انتها ورق با ضخامت کم و با سطح صاف از دستگاه خارج و حلقه می‌شود (شکل ۳ـ۳).



**شکل ۳ـ۳ـ تصویری شماتیک از نورد تسمه‌ها در یک سیستم نورد مداوم**

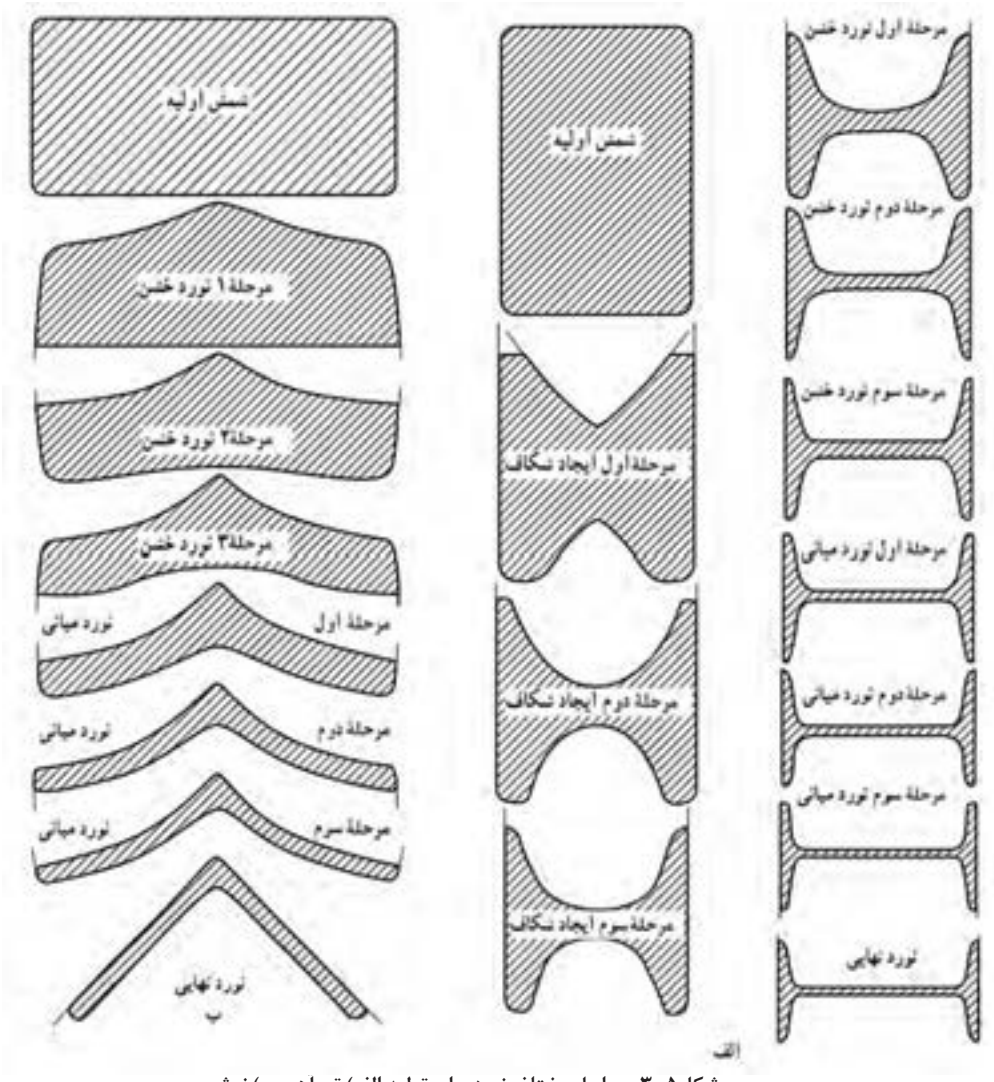



در کلیهٔ روش‌های نورد، نیروی جلو برندهٔ شمش به داخل دستگاه نورد، ناشی از اصطکاک بین غلتک‌ها و شمش است.
عملیات نورد ممکن است به‌صورت گرم یا سرد انجام شود. برای نورد گرم ابتدا بسته به جنس فلز، شمش‌ها تا دمای نسبتًا بالایی گرم می‌شوند. برای فولادها معمولاً شمش بین $1000^{\circ}C$ تا $1250^{\circ}C$گرم می‌شود. اگر داخل شمش خلل و فرج و حفره‌ای به هم جوش داشته باشد معمولاً بر اثر نورد گرم این حفره‌ها حذف می‌شوند و به اصطلاح دو طرف حفره‌ها به هم‌جوش می‌خورند (مثل جوشکاری مقاومتی). نورد گرم باعث همگن و یکنواخت شدن شمش از نظر ترکیب شیمیایی و افزایش استحکام می‌شود. برای سرعت دادن به عملیات نورد معمولاً از نورد گرم استفاده می‌کنند.
در عملیات نورد سرد، استحکام سختی فلزات بهبود می‌یابد و سطح تمام شدهٔ مناسبی ایجاد می‌شود. معمولاً نورد سرد آخرین مرحلهٔ عملیات نورد است.



**شکل ۴ـ۳ـ دستگاه نورد ۱۶۰ اینچی**

در هنگام نورد علاوه بر اینکه به طول شمش افزوده می‌شود، عرض آن نیز افزایش می‌یابد. برای اینکه عرض شمش از یک حد معین بیشتر نشود و حالت قائم بودن گوشه‌ها حفظ گردد، در بیرون دستگاه نورد از سیستم‌هایی استفاده می‌شود که این مسئله را کنترل کند. در شکل ۴ـ۳ دستگاه نورد دو غلتکی مجهز به سیستم معکوس شدن جهت دوران با غلتک‌های ۱۶۰ اینچ در حال نورد گرم شمش به عرض ۱۶۰ اینچ نشان داده شده است که از طرفین به‌وسیلهٔ تجهیزاتی، از عریض شدن وگرد شدن گوشه‌ها جلوگیری به عمل می‌آید.

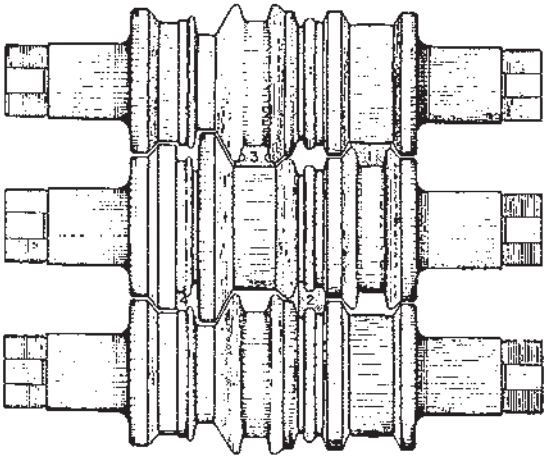



**شکل۵ـ۳ـ مراحل مختلف نورد برای تولید الف) تیراهن ب) نبشی**

از روش نورد فقط برای تولید ورق استفاده نمی‌شود. با این روش انواع میل‌گرد، چهار پهلوها، نبشی‌ها، تیرآهن‌ها و شکل‌هایی از این قبیل را می‌توان تهیه کرد.

در شکل ۵ـ۳ـ الف مراحل مختلف برای تولید یک تیرآهن دیده می‌شود. در مرحلهٔ اول یک شمش با مقطع مستطیل وارد دستگاه نورد می‌شود و در عبور دوم در وسط شمش از طرفین شیاری عمیق شکل داده می‌شود. به تدریج با عبور مکرر شمش از بین غلتک‌های نورد شکل تیر آهن ایجاد می‌شود. در مراحل میانی و انتهایی شمش کاملاً حالت اولیه خود را از دست می‌دهد و تیرآهن تولید می‌شود. در شکل ۵ـ۳ـ ب همین مراحل برای تولید یک نبشی ارائه شده است.

در شکل ۶ـ۳ چگونگی شکل دادن و ایجاد شیار در سطوح غلتک‌ها برای تولید یک ریل راه‌آهن ارائه شده است. برای تولید ریل از دستگاه نورد سه غلتکی استفاده شده است. در مرحلهٔ اول با عبور اول شمش از بین دو غلتک بالا و وسطی، مقطعی ذوزنقه‌ای ایجاد می‌شود.



شکل ۶ـ۳ـ طرح غلتک‌های سه‌تایی برای تولید یک ریل راه‌آهن

در مرحلهٔ بعدی با عبور این مقطع ذوزنقه‌ای از بین غلتک وسط و پایینی، شمش تقریباً شبیه ریل می‌شود. در مراحل ۳ و بالاخره در پایان مرحلهٔ چهارم ریل تولید می‌شود.

## ۳ـ۳ـ فشار کاری (اکستروژن)

شکل ۷ـ۳ـ نمونه‌هایی از قطعات آلومینیومی با شکل‌های پیچیده، تولید به روش فشارکاری

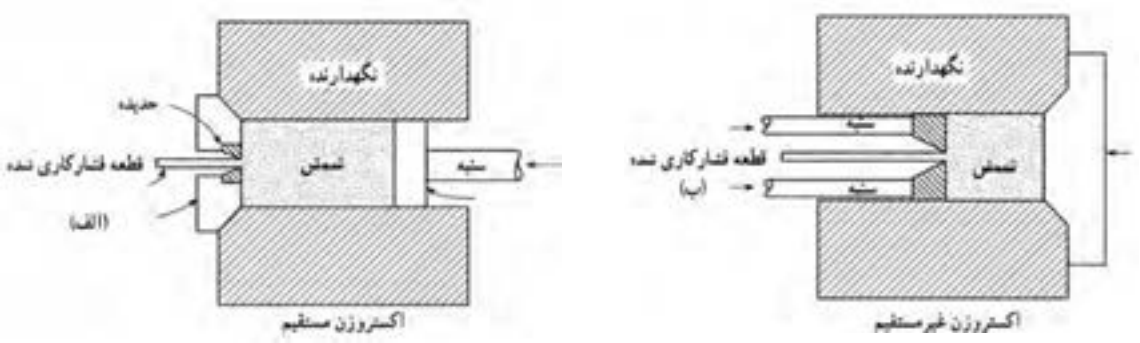
روش فشار کاری نیز یکی دیگر از روش‌های تولید به شمار می‌رود. بسیاری از قطعات صنعتی نظیر میله، لوله و اشکال خاص را فقط از این روش می‌توان تهیه کرد. طبق تعریف، فشارکاری فرایندی است که به‌وسیلهٔ آن سطح مقطع بلوکی از فلز بر اثر اعمال فشار کاهش می‌یابد. به‌طور کلی این فرایند برای تولید میله‌های استوانه‌ای توپر یا توخالی استفاده می‌شود. برای فلزاتی مثل آلومینیوم که قابلیت شکل‌پذیری بالاتری دارند می‌توان مقاطع پیچیده‌تری را نیز تولید کرد ( شکل ۷ـ۳). چون فشار کاری به نیروی بسیار بالایی نیاز دارد فلزات را معمولاً به‌صورت گرم فشارکاری می‌کنند تا کار با نیروی کمتری انجام گیرد.

به طور کلی دو نوع روش فشارکاری وجود دارد، مستقیم و غیرمستقیم. در شکل ۸ ـ۳ این دو روش ارائه شده است. بلوک فلزی در نگهدارندهٔ دستگاه قرار می‌گیرد و به‌وسیلهٔ سنبه به آن فشار وارد می‌شود.

در روش مستقیم شکل ۸ـ۳ـ الف، در انتهای سنبه یک صفحه قرار می‌گیرد که از طرف دیگر با بلوک در تماس است. بر اثر اعمال فشار فلز جامد گرم از طرف دیگر دستگاه خارج می‌شود. مقطع میلهٔ خروجی به شکل حدیده بستگی دارد.

اگر دایره باشد، میل‌گرد تولید می‌شود. اگر مقطع حدیده مربع شکل باشد، چهار پهلو تولید می‌گردد. گاهی حدیده دارای چند خروجی است. در این صورت به طور همزمان چند میله تولید می‌شود.

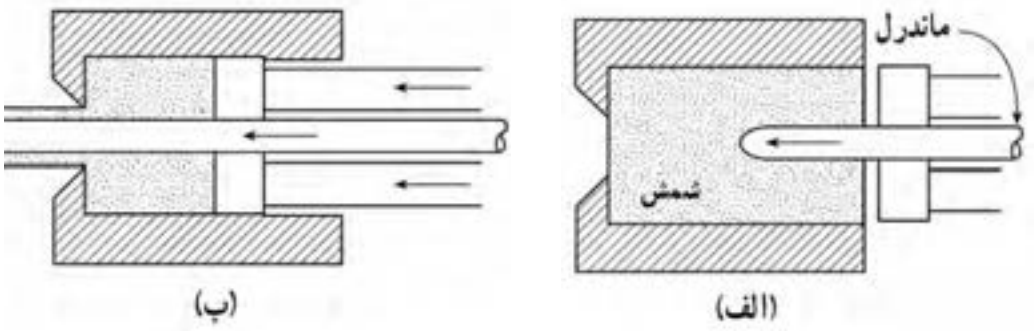
در روش فشار کاری غیر مستقیم (شکل ۸ـ۳ـ ب) سنبه و قطعه در جهت مخالف حرکت می‌کنند. در این روش سنبه توخالی است و سنبه به حدیده که متحرک است فشار وارد می‌کند.




**شکل ۸ـ۳ـ انواع روش‌های فشارکاری الف) مستقیم ب) غیر مستقیم**

با روش فشارکاری و با استفاده از وسایل مدرن می‌توان انواع لوله‌ها را با دقت بالایی تولید کرد. برای این کار یک ماندرل[1] به انتهای سنبهٔ پرس متصل می‌شود. ماندرل بر اثر اعمال فشار ابتدا از داخل بلوک فلزی عبور می‌کند و از سوراخ حدیده خارج می‌گردد. (شکل ۹ـ ۳ـ الف).

البته گاهی از بلوک‌های سوراخ دار استفاده می‌شود، که دراین‌صورت، این مرحله حذف می‌شود. پس از این با اعمال فشار به شمش یا بلوک، فلز از فضای خالی بین ماندرل و حدیده به بیرون راه پیدا می‌کند (شکل ۹ـ۳ـ ب).




**شکل۹ـ۳ـ فشارکاری لوله‌ها الف) مرحلهٔ سوراخ کردن شمش یا بلوک ب) فشارکاری لوله**

## ۴ـ۳ـ پتک‌کاری (آهنگری[2])

پتک‌کاری قدیمی‌ترین روش شکل دادن به فلزات محسوب می‌شود. در این روش معمولاً قطعه‌ای استوانه‌ای یا مکعب مستطیل از فلز به نام لقمه را تا دمای بالایی گرم می‌کنند. سپس با قرار دادن قطعهٔ گداخته شده بر روی سندان و وارد کردن ضربات چکش یا پتک، آن را به شکل مورد نظر شکل می‌دهند. در قطعات پتک‌کاری شده، استحکام زیادی به‌دست می‌آید. به‌طور کلی قطعاتی که به روش پتک‌کاری تهیه می‌شوند نسبت به قطعات تهیه شده از روش‌های دیگر کیفیت بهتری دارند. از دیگر مزایای این روش نداشتن دور ریز و ضایعات در تولید است. بنابراین، در مصرف مواد اولیه صرفه‌جویی می‌شود. از معایب اصلی این روش می‌توان از دقت ابعادی کم و نامرغوب بودن سطح قطعهٔ به‌دست آمده نام برد.

---

۱ - Mandrel ماندرل، میله‌ای است که برای شکل دادن فضای داخلی لوله و پروفیل در فشار کاری به‌کار می‌رود.

۲ - چون در قدیم به منظور ساخت ابزارآلات و وسایلی نظیر داس، شمشیر و سپر عمل پتک‌کاری بیشتر بر روی قطعات آهن صورت می‌گرفته، لذا این روش به آهنگری نیز معروف است، گرچه پتک‌کاری خاص فلزات آهنی نیست.

هر فلزی را نمی‌توان تحت عملیات پتک‌کاری قرار داد. بعضی از فلزات ترد هستند و بر اثر حرارت دادن نیز تردی آنها کمتر نمی‌شود و چنانچه تحت عملیات پتک‌کاری قرار گیرند بر اثر ضربات چکش یا پتک، ترک می‌خورند و غیرقابل استفاده می‌شوند. مثال بارز این گونه فلزات چدن‌ها هستند.

برای پتک‌کاری قطعات بزرگ‌تر نیروی دست کافی نیست بنابراین برای وارد کردن ضربه به فلزات گداخته از ماشین‌های پرس و چکش‌های ماشینی استفاده می‌شود ( شکل ۱۰ـ۳ـ الف). ای نوع ماشین ها از نوع مکانیکی، نیوماتیکی ( که با نیروی هوای فشرده کار می‌کنند) یا هیدرولیکی هستند.

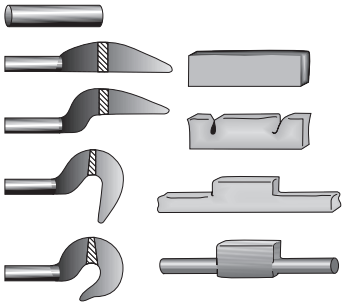
کار با این ماشین‌ها اقتصادی است. ولی عیب آنها ایجاد ارتعاش و سروصدای زیاد است. در شکل ۱۰ـ۳ـ ب نمونه‌ای از یک پرس پتک‌کاری بسیار بزرگ به ظرف ۵۰،۰۰۰ تن دیده می‌شود که برای پتک‌کاری قطعات بسیار سنگین به‌کار گرفته می‌شود. در ساختمان این پرس بیش از سه میلیون کیلوگرم فولاد به‌کار رفته است.

**شکل ۱۰ـ۳ـ الف) دو نمونه از ماشین‌های پرس یا چکش‌های نیومکانیکی ب) نمونه‌ای واقعی از یک پرس پتک‌کاری**

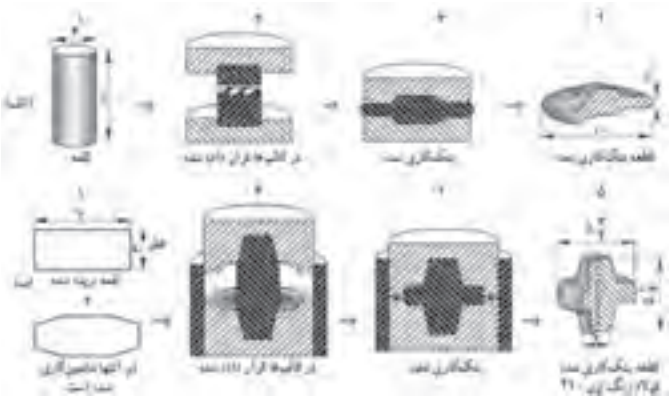
در شکل ۱۱ـ۳ دو نمونه از قطعات تهیه شده به روش پتک‌کاری ارائه شده است. در شکل ۱۱ـ۳ـ الف ملاحظه می‌شود که برای تهیهٔ یک قلاب فولادی با استفاده از پرس‌های پتک‌کاری در چهار مرحله چگونه میل‌گرد به قلاب تبدیل شده است. برای تهیهٔ قطعهٔ صنعتی دیگری دیده می‌شود که به چه طریقی با استفاده از یک لقمهٔ مکعب‌مستطیل شکل، چنین قطعه‌ای تولید شده است

در مواردی که تعداد قطعات پتک‌کاری زیاد باشد معمولاً از قالب استفاده می‌شود. برای تأمین نیروی لازم نیز از پرس‌های آهنگری استفاده می‌کنند. در شکل ۱۲ـ۳ چند نمونه از قطعات تهیه شده به‌وسیلهٔ پتک‌کاری با استفاده از قالب دیده می‌شود. برای تولید قطعهٔ ۱۲ـ۳ـ الف، ابتدا میل‌گردی به قطر و ارتفاع ۴ و ۶ اینچ بریده می‌شود. سپس در حالت گداخته در قالب قرار می‌گیرد و با یک ضربه پرس به شکل مورد نظر تبدیل می‌شود.

برای تولید قطعهٔ شکل ۱۲ـ۳ـ ب ابتدا لقمه‌هایی استوانه‌ای با قطر و ارتفاع ۳ و ۷ اینچ تهیه و دو انتهای آن، ماشین‌کاری می‌شود. سپس در حالت گداخته در قالب قرار می‌گیرد و با یک ضربهٔ پرس به شکل قطعهٔ مورد نظر در می‌آید.



شکل ۱۱ـ۳ـ مراحل تهیه دو قطعهٔ به روش پتک‌کاری که بدون استفاده از قالب تهیه می‌شوند.



شکل ۱۲ـ۳ـ دو نمونه از قطعات که توسط روش پتک‌کاری با استفاده از قالب تهیه شده است.

## ۵ـ۳ـ جوشکاری

جوشکاری فرایندی است که در طی آن دو قطعه فلزی با اعمال حرارت یا در بعضی موارد با اعمال فشار زیاد به هم متصل می‌شوند. تا قبل از جنگ جهانی اول جوشکاری به‌عنوان یک روش تولید قابل اعتماد نبود و کمتر در تولید قطعات صنعتی به‌کار می‌رفت. زیرا قطعات تهیه شده به روش جوشکاری استحکام کافی نداشت و معمولاً از محل جوش یا از اطراف منطقه جوش ترک می‌خورد و منهدم می‌شد. لذا در ساخت قطعات حساس و مهم کمتر به‌کار گرفته می‌شد.
با شناخت دقیق‌تر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فلزات از سال‌های ۱۹۳۰، جوشکاری به‌تدریج اهمیت بیشتری پیدا کرد و در جنگ جهانی دوم به‌طور وسیعی برای اتصال قطعات تانک‌ها، کشتی‌ها و هواپیماها به‌کار رفت. امروزه جوشکاری دیگر به‌عنوان یک علم مطرح است. (از قدیم جوشکاری به‌عنوان یک هنر در تهیه زیورآلات به‌کار گرفته می‌شد). انواع روش‌های جوشکاری عبارت‌اند از: جوشکاری ذوبی، جوشکاری فشاری، جوشکاری زرجوش و لحیم‌کاری.

### ۱ـ۵ـ ۳ ـ جوشکاری ذوبی

در روش جوشکاری ذوبی با استفاده از جریان الکتریسیته یا حرارت، لبه‌های دو فلز اصلی و فلز پرکننده را که معمولاً از همان جنس است ذوب و بدین‌طریق دو قطعه را به هم وصل می‌کنند.
معمول‌ترین روش جوشکاری ذوبی با استفاده از جریان الکتریسیته، جوشکاری به روش قوس الکتریک (الکترود دستی) است. در این روش معمولاً با استفاده از یک ترانسفورماتور، ولتاژ جریان برق شهر را کاهش و به جای آن شدت جریان را افزایش می‌دهند. قطعات اصلی را به یک الکترود متصل کرده و فلز پرکننده را به الکترود دیگر وصل می‌کنند.
بر اثر تماس بین دو الکترود تخلیه‌الکتریکی صورت می‌گیرد و الکترود و لبه‌های قطعات ذوب، به هم متصل می‌شوند. در شکل ۱۳ـ۳ شمای این فرایند ارائه شده است.

شکل ۱۳ـ۳ـ شمای فرایند جوشکاری قوس الکتریک یا الکترودمسی

به محض برقراری قوس، درجهٔ حرارتی بین ۵۰۰۰ تا ۲۰،۰۰۰درجهٔ سانتی‌گراد ایجاد می‌شود. این درجهٔ حرارت به قدری زیاد است که در یک لحظه نوک الکترود و قطعات اصلی ذوب می‌شوند. الکترودها معمولاً جنسی مشابه و کیفیت برتری از نظر ترکیب شیمیایی دارند. سطح مفتول‌های الکترود را با موادی پوشش می‌دهند که موجب سهولت جوشکاری، حصول کیفیت عالی از نظر متالورژیکی و افزایش سرعت جوشکاری می‌شوند.

مزایای این روش عبارت‌اند از:

**الف)** ارزان بودن وسایل و تجهیزات

**ب)** قابل حمل‌ونقل بودن وسایل و تجهیزات

معایب آن عبارت‌اند از:

**الف)** کیفیت جوش به حد بسیار زیادی متأثر از مهارت جوشکار است، زیرا فرایند ماشینی نیست.

**ب)** تعویض الکترود در این روش اجتناب‌ناپذیر است، زیرا طول الکترودها محدود است و در جوشکاری مسیرهای طولانی، اپراتور مجبور است به دفعات کار را متوقف و الکترود را تعویض کند.

شکل ۱۴ـ۳ـ تکنیک جوشکاری به روش اُکسی استیلن

جوشکاری اکسی استیلن متداول‌ترین روش جوشکاری ذوبی با استفاده از حرارت است. در این روش حرارت لازم برای ذوب قطعات و فلز جوش از واکنش شیمیایی سوختن گاز با اکسیژن موجود در هوا تأمین می‌شود. گاز استیلن و اکسیژن از مخزن وارد مشعل می‌شود و توسط شیرهای مربوطه گاز و هوا با نسبت‌های مشخص و با فشار زیاد از نوک مشعل خارج و محترق می‌شوند (شکل ۱۴ـ۳). حرارت ناشی از سوختن توسط هدایت و تشعشع نیروی جابه‌جایی و تشعشع به قطعه منتقل می‌شود. با تغییر دادن قطر نازل یا نوک مشعل و فشار گازها می‌توان قدرت حرارتی شعله را تغییر داد.

در این روش ابتدا با حرارت دادن دو قطعه در آنها ذوب موضعی ایجاد می‌شود و به هر میزان که مفتول به شعله یا حوضچه مذاب نزدیک‌تر شود، مقدار بیشتری از مفتول ذوب می‌شود. بدین طریق دو فلز به هم متصل می‌شوند. روش جوشکاری با گاز در مقایسه با روش قوس الکتریک کندتر است، زیرا درجه حرارت شعله بسیار کمتر از دمای ناشی از قوس الکتریک است. کندی این روش جزء محدودیت های آن به شمار می رود.

### ۲ـ۵ـ۳ ـ جوشکاری فشاری (مقاومتی)

در روش جوشکاری فشاری، بر اثر اعمال فشار و حرارت به هم متصل می‌شوند. البته درجه حرارت از نقطهٔ ذوب فلزات کمتر است[۱]. روش جوشکاری مقاومتی به جهت وصل کردن صفحات آهن، متداول‌ترین این روش‌ها به‌شمار می‌رود. در ساختن کابینت‌های فلزی با استفاده از دستگاه جوشکاری مقاومتی، صفحات نازک آهنی بدون ذوب شدن و فقط بر اثر گرم شدن و اعمال فشار به هم متصل می‌شوند.

---

۱ - در روش جوشکاری فشاری، گاهی بدون اعمال حرارت و فقط بر اثر فشار، دو قطعه فلزی به هم متصل می‌شوند.

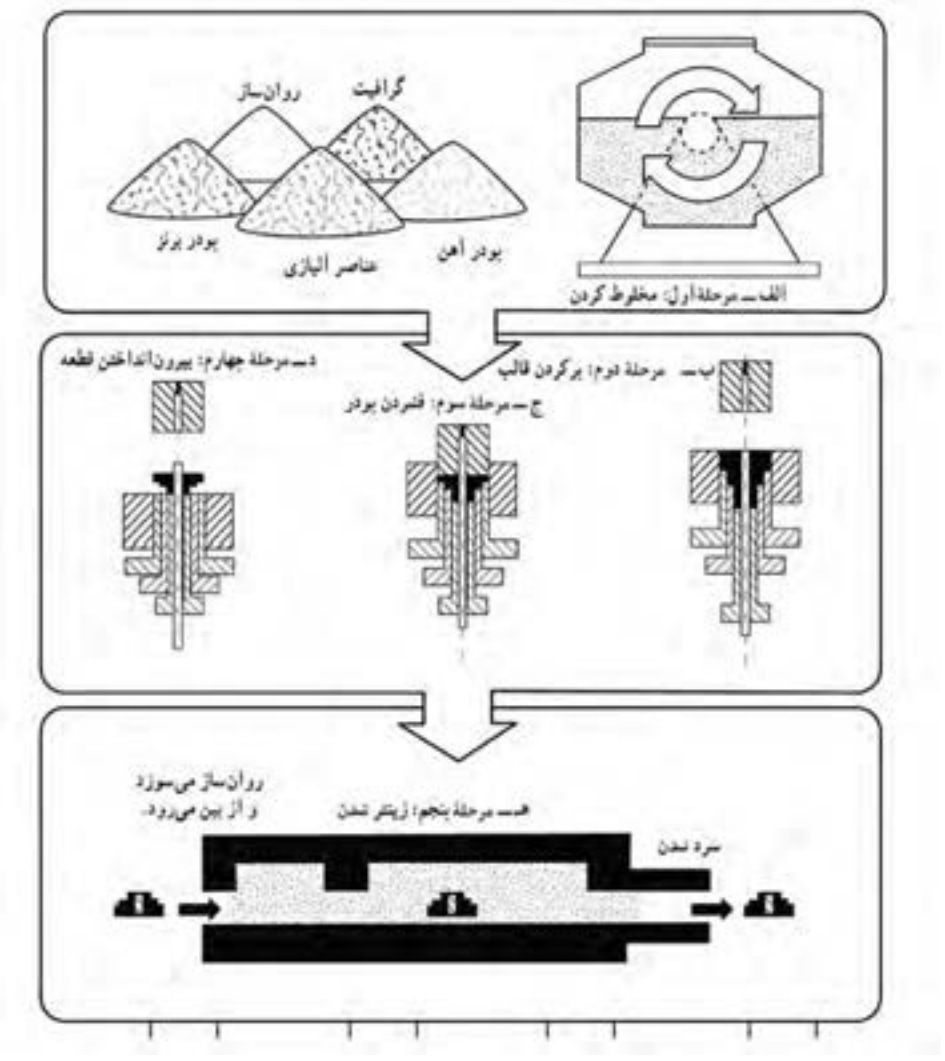
### ۳ـ۵ـ۳ ـ لحیم‌کاری و زرجوش

در لحیم‌کاری و جوشکاری زرجوش دو قطعه توسط یک پل رابط که از جنس فلز است به هم متصل می‌شوند. این در حالی است که در دو فلز اصلی هیچ‌گونه ذوبی صورت نمی‌گیرد. در لحیم‌کاری مقدار فلز متصل‌کننده بسیار کم است و در حد ترکردن فلز اصلی است.

در جوشکاری به روش زرجوش مقدار فلز اتصال‌دهنده در حدی است که فضای بین دو قطعه را کاملاً پر می‌کند. در این روش جوشکاری، جنس فلز اتصال دهنده با جنس دو قطعهٔ اصلی متفاوت است.

## ۶ـ۳ـ متالورژی پودر

متالورژی پودر یکی از روش‌های نوین تولید است. طبق تعریف، متالورژی پودر عبارت است از: تکنولوژی تولید پودر فلزات و آلیاژها و تبدیل این پودر به قطعات مورد استفاده در صنعت.




شکل۱۵ـ۳ـ مراحل مختلف تولید قطعه به روش متالورژی پودر

### ۱ـ۶ـ۳ ـ مراحل مختلف تولید قطعه به روش متالورژی پودر

ـ مرحلهٔ اول، پودر فلزات و دیگر افزودنی‌ها با نسبت‌های مناسب کاملاً مخلوط می‌شوند (شکل۱۵ـ۳ـ الف)

ـ مرحلهٔ دوم، سنبه بالا می‌رود و پودر فلزات به داخل قالب ریخته می‌شود (شکل ۱۵ـ۳ـ ب)

ـ مرحلهٔ سوم، سنبه پایین می‌آید و پودر در داخل قالب فشرده می‌شود و بر اثر اعمال فشار شکل قطعهٔ مورد نظر ایجاد می‌شود. (شکل۱۵ـ۳ـ ج)

ـ مرحله چهارم، قطعه فشرده شده از قالب خارج می‌شود (شکل ۱۵ـ۳ـ د)

ـ مرحلهٔ پنجم، قطعه تولید شده در کوره حرارت داده می‌شود و بدون آنکه در قطعه ذوب صورت گیرد ذرات پودر، کاملاً به هم اتصال می‌یابد و قطعه مستحکم می‌شود به این عمل در اصطلاح، زینتر[1] کردن گویند. در این مرحله درجه حرارت کوره معمولاً ۸۰ تا ۹۰ درصد نقطهٔ ذوب پودر فلزات تشکیل‌دهندهٔ قطعه است (شکل ۱۵ـ۳ـ ه)

در پایان، قطعه تولید شده تحت یک سری عملیات پایانی مثل ماشین کاری یا پرس‌کاری مجدد به‌منظور اندازه کردن قطعه قرار می‌گیرد. بنابراین در این روش باید ابتدا پودر فلزات را تولید کرد. تهیهٔ پودر فلزات روش‌های مختلفی دارد که تشریح آن در برنامهٔ این کتاب نیست.

امروزه پیشرفت و توسعه فراوانی در زمینهٔ متالورژی پودر حاصل شده است و این روش طیف وسیعی از صنعت جدید را تحت پوشش خود قرار داده است که برخی از این موارد به شرح زیر هستند:

ـ ساخت ابزارهای برش و تراش برای کارهایی که میزان سایش در آنها بالا است.

ـ ساخت فیلامان تنگستنی لامپ‌های روشنایی

ـ ساخت قطعات اتومبیل

ـ ساخت قطعات مربوط به لوازم خانگی، مانند ماشین لباسشویی، کمپرسور یخچال و کولر

ـ ساخت قطعات مربوط به ماشین‌های کشاورزی

**شکل ۱۶ـ۳ـ تعدادی از قطعات صنعتی که به روش متالورژی پودر تهیه شده‌اند.**

در اینجا ذکر این نکته حائز اهمیت است که هرچند می‌توان قطعات زیادی را با استفاده از روش متالورژی پودر ساخت، ولی ساخت قطعات از فلزات دیرگداز (با نقطه‌ذوب بالا) از ویژگی‌های منحصربه‌فرد این روش است.

توجه و دقت نظر به مطالبی که به اختصار به آنها اشاره شد، بیانگر این واقعیت است که فرایندهای اصلی شکل دادن در بسیاری از جنبه‌ها، مکمل یکدیگر هستند. به عبارت دیگر در صنایع نمی‌توان برای یک روش خاص و یا یک نوع از روش‌های شکل دادن، حق تقدم قائل شد.

در شکل ۱۶ـ۳ تعدادی از قطعات صنعتی که به روش متالورژی پودر تهیه شده‌اند نشان داده شده است.

---

۱ـ Sintering

### ۲ـ۶ـ۳ ـ مزایای متالورژی پودر

شکل ۱۷ـ۳ـ تعدادی صافی فلزی که به روش متالورژی پودر تهیه شده‌اند.

**الف- آلیاژ کردن فلزات غیر قابل آلیاژ:** بعضی از فلزات و عناصر در حالت مذاب در هم حل نمی‌شوند. لذا پودر آنها را تهیه و با هم مخلوط می‌کنند و به روش متالورژی پودر این قطعات را تهیه می‌کنند. مثل قطعات اتصالات الکتریکی کنتاکت که از جنس مس و گرافیت ساخته می‌شوند.

**ب ـ تولید فلزات با نقطهٔ ذوب بسیار بالا:** فلزاتی نظیر تنگستن و مولیبدن نقاط ذوب بسیار بالایی دارند (دمای ذوب تنگستن $3380\ ^{\circ}C$ و دمای ذوب مولیبدن $2610\ ^{\circ}C$ است.) بنابراین تولید این قطعات به روش ذوب امکان‌پذیر نبوده یا بسیار مشکل است، لذا از متالورژی پودر استفاده می‌شود.

**ج ـ تولید قطعات متشکل از فلزات و غیر فلزات:** در ساخت بعضی از قطعات باید ترکیبی از فلزات و غیرفلزات را به کار برد، که از روش‌های ذوب نمی‌توان این قطعات را تهیه کرد. لذا از این روش استفاده می‌شود، مثل تولید مواد اصطکاکی ساخته شده از مس، آهن و آزبست[۱] که ماده‌ای غیرفلزی و نسوز است.

**د ـ ساخت قطعات متخلخل:** بسیاری از قطعات مثل یاتاقان‌ها یا صافی‌ها الزاماً باید به صورت متخلخل ساخته شوند. در مورد یاتاقان‌ها با افزودن قدری روغن به یاتاقان، روغن از خلل و فرج آن کاملاً نفوذ می‌کند و محل دوران محور کاملاً روغن‌کاری می‌شود. در شکل ۱۷ـ۳ تصویر تعدادی صافی دیده می‌شود.

## ۷ـ۳ـ ماشین‌کاری

ماشین‌کاری نیز یکی دیگر از روش‌های تولید است. در این روش معمولاً قطعاتی از فلز به شکل‌های ساده‌ای مثل میل‌گرد یا صفحات فلزی و از این قبیل، با روش‌های متفاوتی براده‌برداری می‌شوند و به شکل دقیق قطعه مورد نظر در می‌آیند. در تولید بیشتر قطعات صنعتی، بعد ازآنکه قطعه به روش‌های مختلف ریخته‌گری، نورد، پتک‌کاری، جوشکاری و... تولید می‌شود، در مرحلهٔ آخر برای ایجاد سطوح صاف و با دقت بالا بر روی آنها ماشین‌کاری انجام می‌شود.

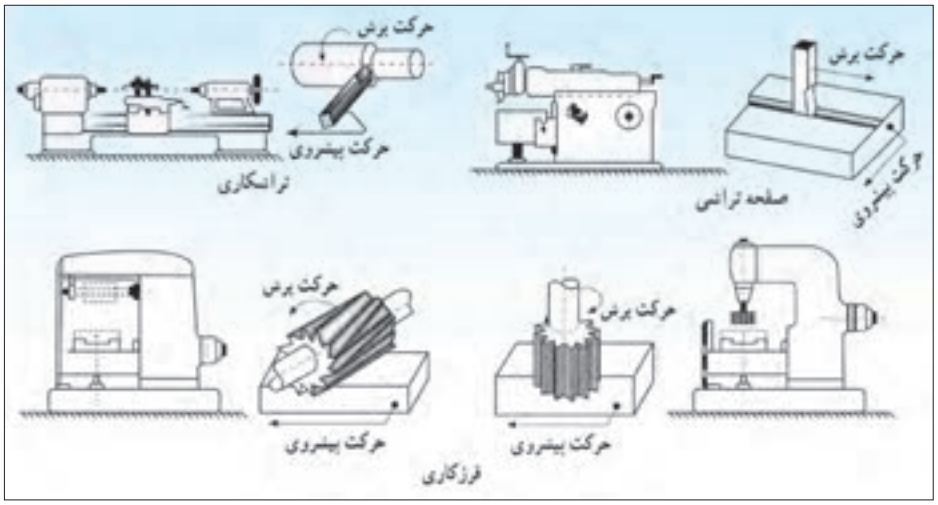
مهم‌ترین مسئله در ماشین‌کاری، قابلیت ماشین‌کاری فلزات و آلیاژها است. منظور از قابلیت ماشین‌کاری سهولت در تراش فلزات است. با انجام عملیاتی در جهت بهبود خواص فلزات و بالا بردن استحکام و سختی آنها معمولاً قابلیت ماشین‌کاری قطعات کاهش می‌یابد.

قطعات صنعتی دارای سطوح صاف، استوانه‌ای، مخروطی یا با انحنا هستند. لذا به تناسب باید از ماشین‌های مناسب استفاده کرد. متداول‌ترین ماشین‌های ماشین‌کاری عبارت‌اند از دستگاه دریل، فرز، ماشین‌تراش و صفحهٔ تراش (شکل ۱۸ـ۳).

برای براده‌برداری به‌وسیلهٔ ماشین‌های ابزارسه حرکت اصلی برش، پیشروی و تنظیم بار مورد لزوم است. بدین‌معنی

۱- Asbestos

که برای تراش یک قطعه ابتدا یا باید قطعه حرکت کند، مثل ماشین‌تراش؛ یا ابزار برش حرکت کند، مثل حرکت مته در دستگاه دریل، که به آن حرکت اصلی برش گویند. در شکل ۱۸ـ۳ این حرکت نشان داده شده است.




**شکل ۱۸ـ۳ـ دستگاه‌های تراش، صفحه‌تراش و فرز. در این شکل حرکت اصلی برش و پیشروی نشان داده شده است.**

برای انجام براده برداری باید ابزار برش با سرعت کم و یکنواختی نسبت به قطعه حرکت کند تا عمل براده برداری به طور یکنواخت انجام گیرد، به این حرکت پیشروی گفته می‌شود (شکل ۱۸ـ۳)
ماشین های ابزار باید مجهز به سیستمی باشند که میزان براده برداری را تنظیم کند.
در کلیه عملیات ماشین‌کاری فلزات، باید از فلز یا وسیله دیگری برای براده برداری استفاده کرد که سختی آن به مراتب بیش از سختی فلز تحت ماشین‌کاری باشد. به این ابزار، ابزار سایش گویند.
انتخاب ابزار سایش از محدودیت های بزرگ این صنعت به شمار می رود و باعث بروز اشکالات عمده‌ای می‌شود.
جنس ابزار سایش معمولاً از فولادهای ابزار با سختی بسیار بالاست. در عین حال، هنگامی که جنس فلز ماشین‌کاری سخت باشد یا سرعت براده برداری زیاد باشد این ابزار سختی خود را از دست می‌دهد و به سرعت کند می‌شود. ابزار سایش امروزه بیشتر به روش متالورژی پودر تهیه می‌شوند.
با توجه به گسترش روز افزون تکنولوژی، امروزه روش‌های نوین براده برداری الکتریکی و الکترودی ابداع شده است. ولی با وجود این هنوز از صنعت ماشین‌کاری به عنوان صنعت مادر نمی‌توان نام برد، بلکه فقط در حد یک صنعت تمام کننده مطرح است.

## ۸ـ۳ـ مزایا و محدودیت‌های روش ریخته‌گری

در جهان امروز، صنعت ریخته‌گری قسمت بزرگی از اقتصاد یک کشور را تحت پوشش خود قرار می‌دهد. با مراجعه به آمارهای جهانی تولید قطعات صنعتی، افزایش روز افزون میزان محصولات ریخته‌گری در مقایسه با محصولات ساخته شده از طریق سایر روش‌ها، به‌خوبی مشهود است. با توجه به گسترش روز افزون این روش تولیدی، در اینجا لازم است تا مروری مختصر بر مزایا و محدودیت‌های تولید قطعات به روش ریخته‌گری صورت گیرد.

**۱ـ۸ـ۳ـ مهم‌ترین مزایای روش ریخته‌گری:** پاره‌ای از مزایا، به‌عنوان یک ویژگی ذاتی، در فرایند ریخته‌گری مطرح هستند. این ویژگی‌ها در مواردی خاص، عامل اصلی در انتخاب روش ریخته‌گری به‌عنوان یک روش برتر، نسبت به سایر روش‌های شکل دادن به‌شمار می‌روند، در هرحال، برخی از مزایای عمده این روش عبارت‌اند از:

**امکان ساخت:** اجسامی که دارای شکل‌های پیچیده داخلی و خارجی هستند، فقط از طریق ریخته‌گری تولید می‌شوند. در نتیجه بسیاری از عملیات دیگر از قبیل ماشین‌کاری، آهنگری و جوشکاری، که در ساخت قطعاتی همچون سیلندرها، توربین‌ها، پمپ‌ها و نظایر آنها از محدودیت‌های فراوانی برخوردارند، کاهش یافته و یا از بین می‌روند.

**طبیعت فلز:** برخی از فلزات بنا به طبیعت متالورژیکی، تنها به روش ریخته‌گری شکل می‌گیرند و عملیات مکانیکی از قبیل نورد و آهنگری را نمی‌پذیرند. چدن‌ها، نمونهٔ بارز از این قبیل مواد هستند.

ـ سهولت و سرعت تولید

ـ امکان تولید قطعات بسیار بزرگ و بسیار کوچک

ـ امکان ایجاد خواص مکانیکی لازم، از طریق کنترل ترکیب شیمیایی آلیاژ و یا سرعت سرد کردن آن

ـ با توجه به سرعت تولید و هزینه‌های تمام شده، از نظر اقتصادی، قطعات ساخته شده به روش ریخته‌گری نسبت به سایر روش‌ها مقرون به‌صرفه‌تر است.

**۲ـ۸ـ۳ـ مهم‌ترین محدودیت‌های عمدهٔ روش ریخته‌گری:** علی‌رغم مزیت‌های زیادی که به آنها اشاره شد، تولید قطعات به این روش از محدودیت‌هایی نیز برخوردار است که برخی از آنها عبارت‌اند از:

**کافی نبودن دقت:** هرچند میزان دقت ابعاد و سطوح در روش‌های مختلف ریخته‌گری متفاوت است و با پیشرفت روزافزون این صنعت، روش‌هایی ابداع شده‌اند که محصول تولیدی آنها از دقت ابعاد و سطوح بسیار بالایی برخوردار است (روش ریخته‌گری دقیق) ولی با این وجود، در یک نگرش کلی به طبیعت این فرایند، کافی نبودن دقت ابعادی در این روش در مقایسه با روشی همچون ماشین‌کاری به خوبی استنباط می‌شود.

**غیر یکنواختی در خواص مکانیکی:** عدم یکنواختی در سرعت سرد شدن قطعات ریخته‌گری که از طبیعت این فرایند ناشی می‌شود، به غیریکنواختی ساختار درونی و خواص مکانیکی قطعه منتهی می‌شود.

درهرحال امروزه با توجه به پیشرفت‌های حاصل شده در زمینه‌های آزمایشگاهی رشتهٔ متالورژی و همچنین پیشرفت و تکامل صنعت ریخته‌گری و ارتباط دائمی و مؤثر صنایع وابسته از قبیل ماشین‌کاری و جوشکاری، بسیاری از محدودیت‌های موجود از میان رفته است.

## ۹ـ۳ـ محصولات ریخته‌گری

صنعت ریخته‌گری از نظر تولیدی به دودستهٔ اصلی تقسیم می‌شود که عبارت‌اند از:

ریخته‌گری شمش (شمش ریزی) و ریخته‌گری قطعه (شکل‌ریزی)

همان‌گونه که قبلاً اشاره گردید شمش‌ها محصولات نیمه‌تمامی هستند که یا به‌منظور استفاده در ریخته‌گری (ذوب مجدد) تولید می‌شوند و یا اینکه برای تهیه قطعات صنعتی از طریق یکی از روش‌های شکل دادن مکانیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دارا بودن ابعادی مناسب از نقطه‌نظر وزن، انبار کردن و سهولت برش و جدا کردن از ویژگی‌های مهم در ارتباط با شمش‌های ریخته‌گری هستند. درحالی‌که شمش‌های مناسب برای انجام کار مکانیکی، شکل هندسی معینی داشته و بیشتر در انواع مکعب مستطیل و یا استوانه تولید می‌شوند.

## ۱۰ـ۳ـ تجهیزات ریخته‌گری در قالب های دائمی

### ۱ـ۱۰ـ۳ـ روش‌های ریخته‌گری ریژه:

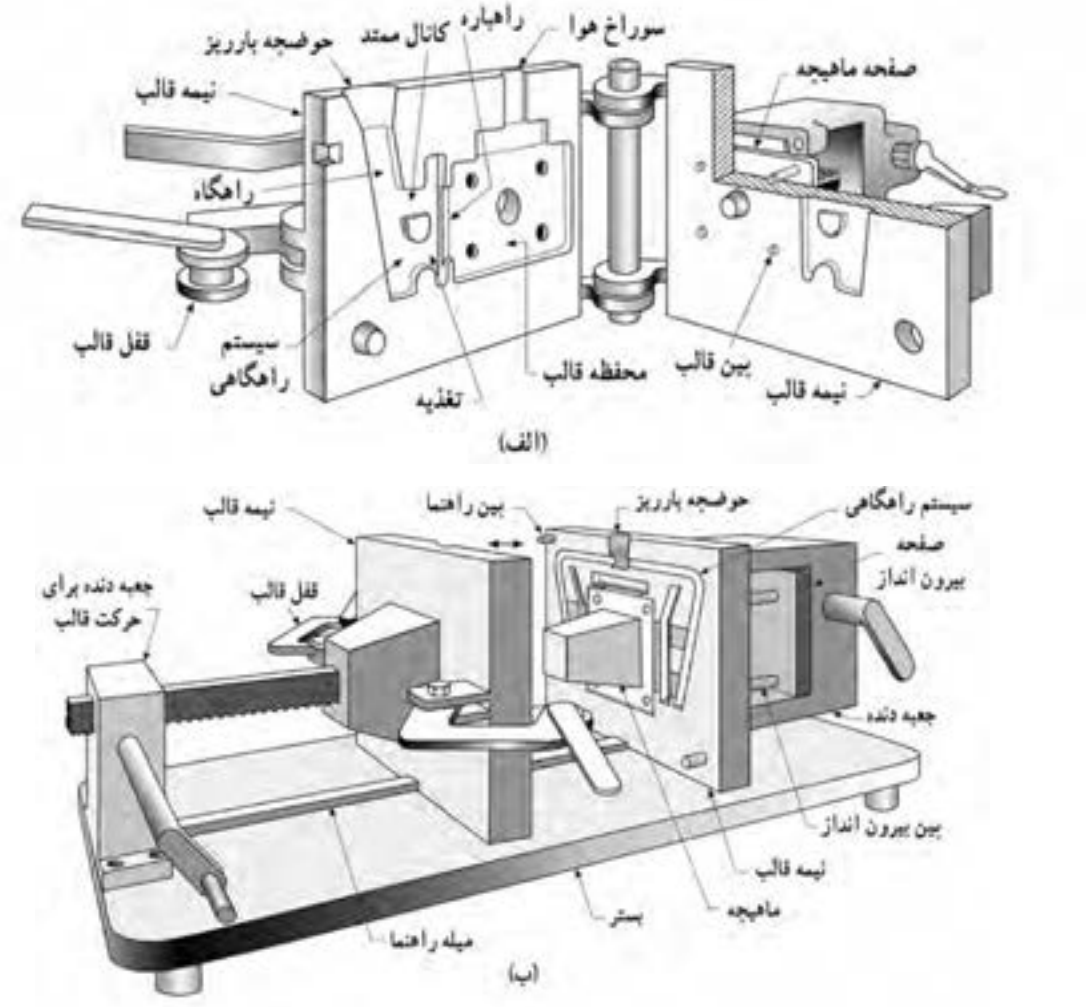
ریخته‌گری در قالب‌های ریژه را می‌توان به سه گروه روش‌های دستی، روش‌های نیمه‌اتوماتیک و روش‌های تمام‌اتوماتیک تقسیم نمود. در این قسمت به بررسی آنها پرداخته می‌شود.

**الف) روش دستی:**

ریخته‌گری در قالب‌های ریژه به طریق دستی دارای طرح‌های نسبتاً ساده‌ای بوده و متناسب با ضخامت قطعه ساخته شده است.

شکل (۱۹ـ۳ـ الف) یک روش سادهٔ کتابی را نشان می‌دهد، این روش برای تولید قطعاتِ ریختگی با ضخامت کم و نازک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل (۱۹ـ۳ـ ب) نوع دیگر از ماشین‌های ریخته‌گری ریژه دستی را نشان می‌دهد که برای تولید قطعات با ضخامت زیاد استفاده می‌شود.

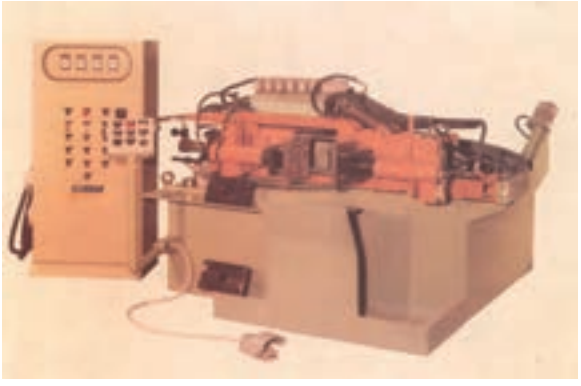



**شکل۱۹ـ۳ـ دو نوع ماشین ریخته‌گری ریژه دستی (الف) قالب نوع کتابی ساده برای تولید قطعات با ضخامت کم (ب) برای تولید قطعات با ضخامت زیاد**

روش‌های ریخته‌گری ریژهٔ دستی علی‌رغم سادگی، کاربردی وسیع دارد و امروزه درصد بالایی از قطعات ریختگی به این روش تولید می‌شود.

**ب) روش نیمه اتوماتیک:** برای تولید انبوهِ قطعات، روش‌های نیمه‌اتوماتیک جایگزین روش‌های دستی شده است. در این روش‌ها جهت باز و بسته شدن قالب از سیستم‌های هیدرولیکی یا پنوماتیکی استفاده می‌شود. پر کردن قالب و نیز خارج کردن قطعات ریخته شده از قالب توسط دست انجام می‌شود. شکل (۲۰ـ۳) یک نوع از این ماشین‌ها را نشان می‌دهد.

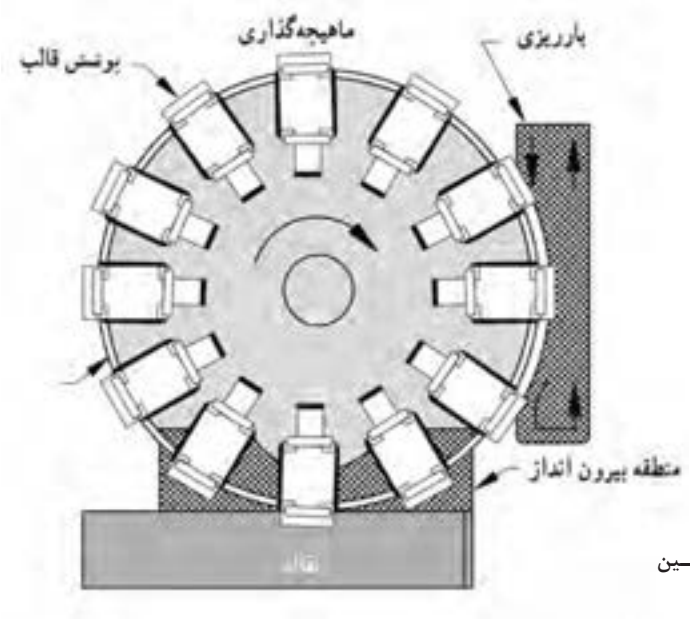
**ج) روش خودکار (اتوماتیک):** در این نوع ماشین اکثر کارها توسط ماشین و حتی رباط‌ها انجام می‌شود. شکل (۲۱ـ۳) یک نوع از این ماشین را نشان می‌دهد. از این نوع ماشین به‌منظور تولید انبوه قطعات مختلف کوچک و بزرگ استفاده می‌شود.



شکل ۲۰ـ۳ـ ماشین ریخته‌گری ریژه نیمه‌اتوماتیک

شکل ۲۱ـ۳ـ ماشین ریخته‌گری ریژه تمام اتوماتیک

شکل (۲۲ـ۳) نوع دیگر از یک ماشین اتوماتیک با میزگردان را نشان می‌دهد. در این روش ایستگاه‌های مختلف در ریخته‌گری شامل بار ریزی، پوشش قالب، ماهیچه‌گذاری، انجماد و بیرون‌انداز به دنبال یکدیگر قرار گرفته‌اند.

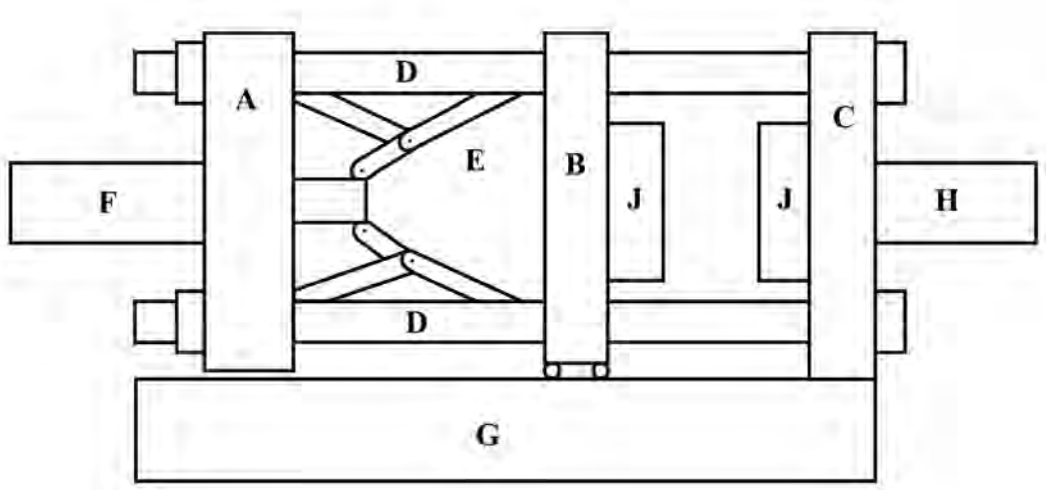



شکل ۲۲ـ۳ـ تصویر شماتیک یک ماشین ریخته‌گری ریژه اتوماتیک با ۱۲ قالب

## ۲ـ۱۰ـ۳ـ ریخته‌گری تحت فشار

ریخته‌گری تحت فشار به روشی اطلاق می‌شود که در آن مذاب تحت فشار معین، محفظه قالب را پر می نماید.

**طرز کار ماشین‌های ریخته‌گری تحت فشار:** در این قسمت به‌منظور درک بهتر روش کار ماشین‌های تحت فشار به تشریح یک سیستم ساده از آن پرداخته می‌شود. اگرچه جزئیات ماشین‌های ریخته‌گری تحت فشار زیاد با هم تفاوت دارد اما اساس کار همهٔ آنها مشابه می‌باشد. شکل ۲۳ـ۳ به طور شماتیک قسمت‌های اصلی ماشین ریخته‌گری تحت فشار را نشان می‌دهد.




**شکل ۲۳ـ۳ ـ نمای شماتیک از قسمت‌های اصلی ماشین ریخته‌گری تحت فشار**

همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود یک ماشین ریخته‌گری تحت فشار از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

**(G)**: بستر یا پایه که سایر قطعات بر روی آن سوار می‌باشد.

**(A)**: صفحهٔ تنظیم که به سیستم قفل‌کننده اتصال دارد.

**(B)**: صفحهٔ متحرک که بر روی پایهٔ ماشین سر خورده و حرکت می‌کند.

**(C)**: صفحهٔ ثابت که به سیستم تزریق **H** متصل است. این صفحه‌ها به‌وسیلهٔ چهار راهنمای **D** به یکدیگر متصل هستند. در روی صفحهٔ ثابت **(C)** سیستم تزریق قرار دارد.

**(F)**: سیستم قفل‌کنندهٔ **(F)** در پشت صفحهٔ تنظیم **(A)** قرار دارد و نیروی لازم را برای به حرکت درآوردن صفحهٔ تنظیم فراهم می‌آورد.

**(E)**: بین صفحهٔ تنظیم **(A)** و صفحهٔ متحرک **(B)** سیستم اتصالات زانویی[۱] **(E)** قرار دارد که وظیفهٔ آن انتقال نیرو از صفحهٔ تنظیم به صفحهٔ متحرک می‌باشد.

**(j)**: دو نیمهٔ قالب **(j)** یکی روی صفحهٔ ثابت و دیگری به روی صفحهٔ متحرک نصب شده و هنگامی که نیمه‌های قالب بر روی یکدیگر توسط مکانیزم قفل‌سازی سیلندر و اتصالات زانویی محکم می‌شوند، ماشین قفل می‌کند.

طرز کار ماشین به طور خلاصه به شرح زیر است:

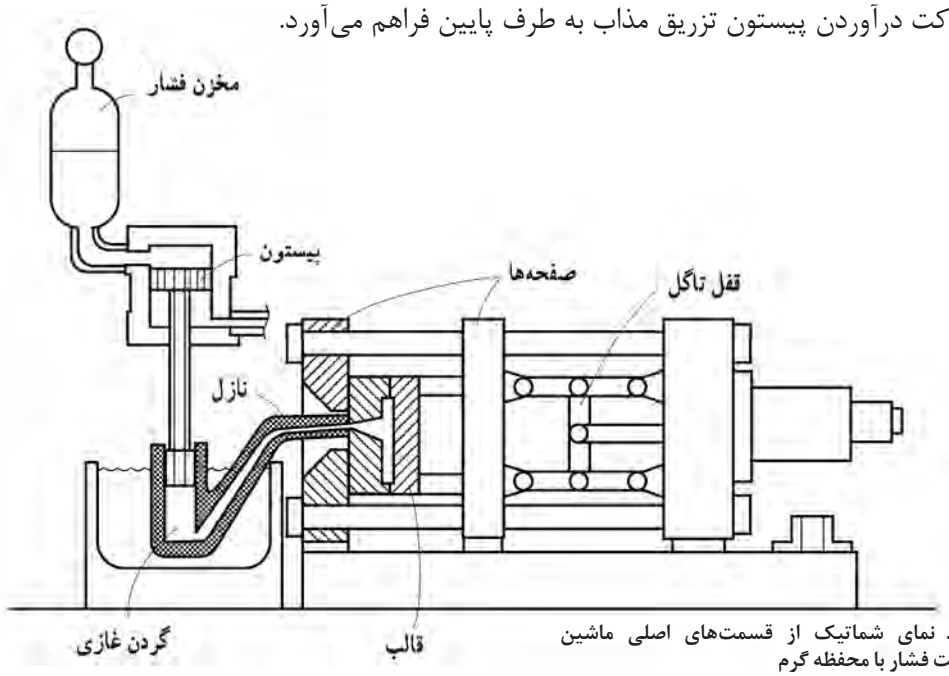
---

۱- Toggle link

الف: « دو نیمه قالب» توسط سیستم قفل‌کننده کاملاً به هم محکم می‌شوند.
ب: مذاب لازم توسط سیستم تزریق **H** به داخل قالب تحت فشار وارد شده و تمام قسمت‌های قالب را پر می‌کند.
ج: پس از انجماد مذاب، سیستم قفل‌کننده، صفحهٔ متحرک **B** را به عقب حرکت می‌دهد.
د: قطعهٔ ریخته شده توسط پران‌های مخصوص از سطح قالب جدا می‌شود.
هـ : قالب تمیز شده و توسط اسپری پوشش داده می‌شود.
و: عملیات فوق مجدداً تکرار می‌شود.

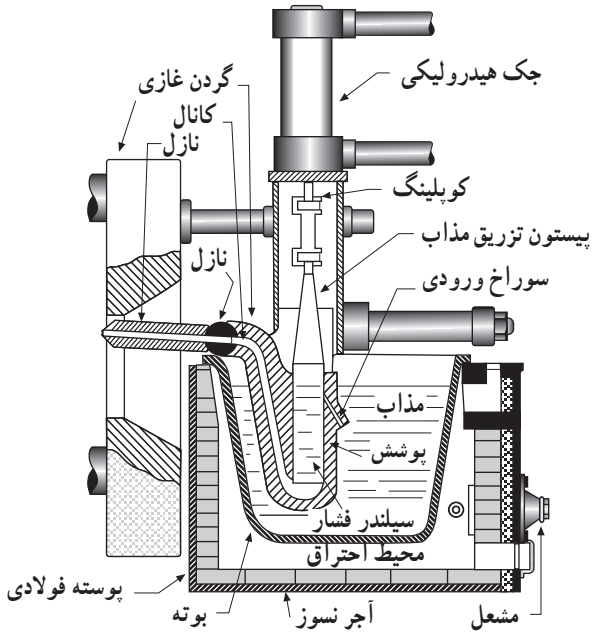
**انواع ماشین‌های ریخته‌گری تحت فشار:** ماشین‌های ریخته‌گری تحت فشار براساس نحوهٔ تزریق مذاب به داخل محفظهٔ قالب به دو دسته تقسیم می‌شوند:
الف: ماشین‌های ریخته‌گری تحت فشار با محفظهٔ گرم[۱].
ب: ماشین‌های ریخته‌گری تحت فشار با محفظه سرد[۲].

**الف) ماشین‌های ریخته‌گری تحت فشار با محفظه گرم:** این روش دارای کوره‌ای است که وظیفهٔ آن نگهداری مذاب در درجهٔ حرارت مطلوب می‌باشد. (شکل ۲۴ـ۳). شکل (۲۵ـ۳) سیستم پمپ مذاب به داخل محفظهٔ قالب را نشان می‌دهد. این سیستم شامل سیلندر فشار، پیستون تزریق مذاب[۳]، گردن غازی ونازل می‌باشد. در داخل گردن غازی، سیلندر فشار و نیز پیستون تزریق مذاب که در داخل مذاب غوطه‌ور است، قرار دارد و بنابراین درجهٔ حرارت این مجموعه به اندازهٔ درجهٔ حرارت مذاب خواهد بود. این سیستم به مذاب این امکان را می‌دهد که در حداقل زمان و با حداقل کاهش درجهٔ حرارت، مذاب به داخل قالب تزریق گردد.
هنگامی که پیستون تزریق مذاب در قسمت بالا قرار دارد (شکل ۲۵ـ۳) مذاب از داخل بوته توسط سوراخ مدخل ورودی به داخل سیلندر وارد می‌شود. هنگامی که قالب بسته و قفل می‌شود، جک هیدرولیکی نیروی لازم را برای به حرکت درآوردن پیستون تزریق مذاب به طرف پایین فراهم می‌آورد.




**شکل ۲۴ـ۳ـ نمای شماتیک از قسمت‌های اصلی ماشین ریخته‌گری تحت فشار با محفظه گرم**

۱- Hot Chamber Process
۲- Cold Chamber Process
۳-Plunger




**شکل ۲۵ـ۳ـ قسمت‌های اصلی تزریق مذاب در روش محفظه گرم**

در این حالت «مدخل ورودی» بسته می‌شود. با به حرکت در آمدن پیستون تزریق مذاب به طرف پایین مذاب تحت فشار وارد قسمت «گردن غازی» شده و پس از عبور از نازل وارد محفظهٔ قالب می‌شود. بعد از عمل تزریق و پس از منجمد شدن مذاب در داخل محفظهٔ قالب، جک هیدرولیکی در جهت معکوس عمل نموده و پیستون تزریق مذاب را به طرف بالا هدایت می‌کند. در این هنگام درب مدخل ورودی باز شده و مذاب لازم وارد «سیلندر فشار» می‌شود. در این حالت ماشین برای عملیات بعدی آماده است.

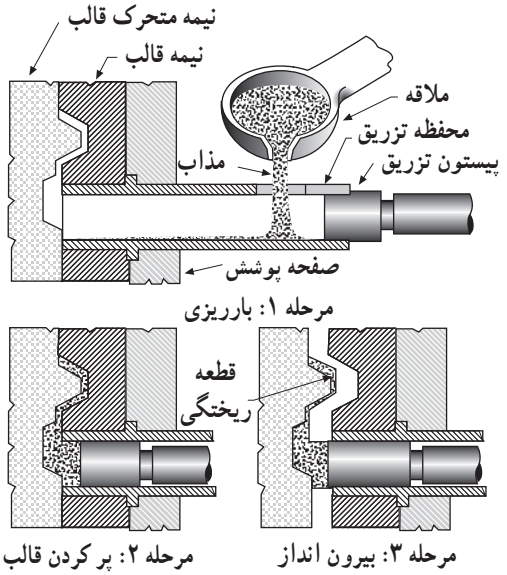
اندازهٔ قطعات ریختگی تولید شده توسط فرایند محفظهٔ گرم می‌تواند از چند گرم تا حدود ۲۵ کیلوگرم باشد. فلزات و آلیاژهایی که توسط این روش تهیه می‌شود به دلیل تماس قسمت‌هایی از ماشین با مذاب بایستی دارای نقطهٔ ذوب پایین باشند و معمولاً آلیاژهای روی، سرب، قلع و اخیراً منیزیم را می‌توان به این روش تولید نمود.

**ب: روش ریخته‌گری تحت فشار با محفظهٔ سرد:** ماشین‌های ریخته‌گری تحت فشار با محفظه سرد کاربرد وسیع‌تری دارد و توسط آن می‌توان آلیاژهایی دارای نقطه ذوب بالاتر (تا حدود مس) را تولید نمود. شکل (۲۶ـ۳) یک ماشین با محفظهٔ سرد را نشان می‌دهد.

شکل (۲۷ـ۳) سیستم تزریق این نوع ماشین را به‌طور شماتیک نشان می‌دهد. در این ماشین‌ها محفظهٔ تزریق از طریق مذاب گرم می‌شود.

با بسته و قفل شدن قالب، مذاب از دریچهٔ بارریزی به داخل محفظه تزریق، وارد می‌شود، (مرحله ۱ در تصویر۲۷ـ۳). دراین حالت جک هیدرولیک، پیستون تزریق را در داخل محفظهٔ تزریق به طرف جلو هدایت می‌کند. «پیستون تزریق» ابتدا دریچهٔ بارریزی را می‌بندد و سپس مذاب را با فشار به داخل محفظهٔ قالب می‌راند (مرحله ۲ در تصویر ۲۷ـ۳). پس از انجماد مذاب، قالب باز شده و پیستون به حالت اولیه خود برمی‌گردد.

شکل ۲۶ـ۳ـ ماشین ریخته‌گری تحت فشار با محفظه سرد




شکل ۲۷ـ۳ـ دوره عملیات ریخته‌گری یک‌ماشین ریخته‌گری تحت فشار با محفظه سرد

روش ریخته‌گری تحت فشار با محفظهٔ سرد برای آلیاژهای آلومینیوم، منیزیم و مس کاربرد زیادی دارد. مهم‌ترین مزیت روش محفظهٔ سرد این است که تجهیزات درتماس دائم با مذاب نمی‌باشد (زیرا محفظهٔ تزریق و پیستون در داخل مذاب غوطه‌ور نیستند.) از دیگر مزیت‌های این فرایند بالا بودن فشار تزریق است.

مهم‌ترین محدودیت‌های این روش عبارت‌اند از:

ـ زمان طولانی‌تر تزریق نسبت به روش محفظهٔ گرم

ـ امکان ایجاد عیوب در قطعات به علت کاهش درجهٔ حرارت مذاب

**قالب:** قالب‌های مورد استفاده در ریخته‌گری تحت فشار از دو نیمه تشکیل شده است.

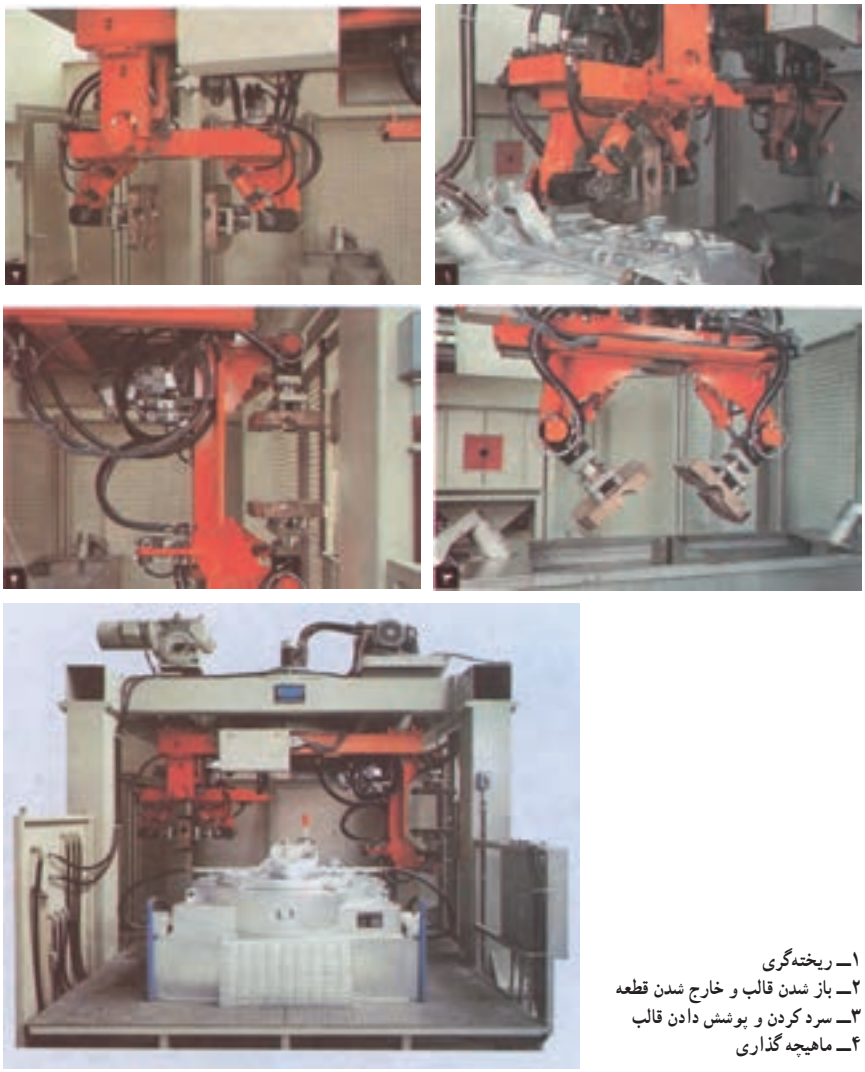
نیمه اول قالب، ثابت است و تزریق مذاب در آن تعبیه شده و با محفظه تزریق به‌وسیله نازل ارتباط دارد. نیمه دوم قالب متحرک است و سیستم بیرون‌انداز در آن قرار دارد و در بیشتر موارد راه باره‌ها نیز روی آن تعبیه شده است. محفظهٔ قالب در دو نیمه طوری ساخته می‌شود که هنگام باز کردن قالب، قطعهٔ ریختگی جامد از نیمهٔ ثابت قالب آزاد شده و روی نیمهٔ متحرک قالب باقی بماند و سپس به وسیلهٔبیرون‌انداز که در نیمهٔ متحرک قالب قرار دارد، از قالب جدا می‌شود. اگر محور ماهیچه‌ها موازی با جهت حرکت قالب باشند، نیازی به خارج‌کردن آنها قبل از باز کردن قالب نیست که به آنها ماهیچه‌های ثابت می‌گویند و با باز شدن دو نیمه قالب، آنها نیز از قطعهٔ ریختگی جدا می‌شوند. ماهیچه‌هایی که دارای محور غیر موازی با جهت حرکت قالب هستند، ماهیچه‌های متحرک نامیده می‌شوند. این ماهیچه‌ها به‌وسیله سیستم جداگانه‌ای قبل از خارج شدن قطعهٔ ریختگی از آن جدا می‌شوند.

**ریخته‌گری تحت فشار کم:** فشار تزریق مذاب در این روش کمتر از یک اتمسفر می باشد. لذا محدودیت موجود در روش ریخته‌گری تحت فشار بالا در استفاده از ماهیچه‌های موقت (ماسه‌ای) حذف می‌گردد. به این ترتیب امکان تولید کلیه قطعاتی که توسط روش ریژه تولید می‌گردد، توسط این فرایند و با کیفیت بالاتر وجود دارد. به‌علاوه امکان تولید قطعات پیچیده که به‌دلیل پرنشدن قالب، در روش ریژه وجود ندارد، با کمک این روش امکان‌پذیر می‌گردد. از دیگر مزایای این روش نسبت به روش ریژه می‌توان از کیفیت سطوح ریختگی، خواص مکانیکی و متالورژیکی بالاتر، سرعت تولید زیادتر نام برد.

محدودیت اصلی این روش، بالا بودن قیمت تجهیزات و قالب نسبت به روش ریخته‌گری در قالب ریژه می‌باشد. شکل (۲۸ـ۳) این روش را نشان می‌دهد.

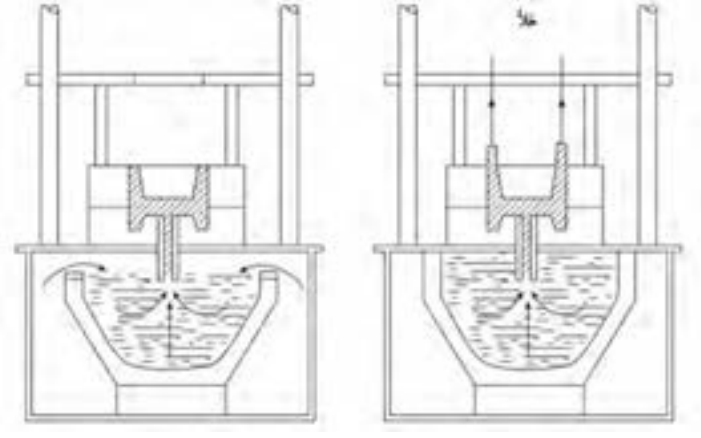
**روش کار:** در شکل (۲۹ـ۳) به‌طور شماتیک روش کار این فرایند نشان داده شده است. در این روش قالب پس از ماهیچه‌گذاری و بسته شدن، $180^\circ$ چرخیده و به‌طور معکوس روی کوره القایی مخصوص قرار می‌گیرد. از قسمت دیگر کوره فشار هوا بر سطح مذاب در کوره اعمال می‌گردد، بدین‌ترتیب مذاب از پایین با فشار کم (حدود ۰/۵ اتمسفر) به داخل قالب تزریق می‌شود.

پس از انجماد کامل قطعه، قالب $180^\circ$ چرخیده و به حالت اولیه خود برمی‌گردد، دو نیمه قالب باز شده و قطعه توسط بیرون‌انداز از قالب جدا می‌شود. آنگاه دو نیمهٔ قالب در داخل مواد پوششی غوطه‌ور شده تا پوشش لازم در سطح قالب به‌وجود آید. در پایان عملیات ماهیچه‌گذاری در آن انجام می‌شود و دورهٔ عملیات جدید آغاز می‌گردد. ماشین‌های ریخته‌گری تحت فشار کم معمولاً دارای چند ایستگاه کاری بوده و در نتیجه سرعت تولید در آنها افزایش می‌یابد.



۱ــ ریخته‌گری
۲ــ باز شدن قالب و خارج شدن قطعه
۳ــ سرد کردن و پوشش دادن قالب
۴ــ ماهیچه گذاری

شکل۲۸ــ۳ــ ماشین ریخته‌گری تحت فشار کم



شکل۲۹ــ۳ــ نمای شماتیک از روش کار ماشین و ریخته‌گری تحت فشار کم

### ۳ـ۱۰ـ۳ـ ریخته‌گری گریز از مرکز[۱]

**تعریف:** روش ریخته‌گری گریز از مرکز به روشی گفته می‌شود که در آن قالب تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز پر می‌شود. به‌طور کلی در فرایند ریخته‌گری گریز از مرکز دو روش وجود دارد که عبارت‌اند از:

ـ روش ریخته‌گری گریز از مرکز افقی.

ـ روش ریخته‌گری گریز از مرکز عمودی.

**روش گریز از مرکز افقی:** این روش که قالب حول محور افقی خود می‌چرخد، برای اولین بار در سال ۱۸۰۹ میلادی در انگلستان به ثبت رسید. این روش ابتدا برای تولید لوله‌های چدن خاکستری، چدن نشکن و برنج با ضخامت کم مورد استفاده قرار گرفت. با پیشرفت صنایع و استفاده از تجهیزات مدرن جهت بهبود بخشیدن به خواص متالورژیکی، پیشرفت چشمگیری در قابلیت تولید لوله‌های بزرگ و دقت ابعادی آنها به‌وجود آمد.

**روش کار:** یک ماشین ریخته‌گری گریز از مرکز افقی باید قابلیت تکرار چهار عمل را با دقت داشته باشد که عبارت‌اند از:

ـ قالب تحت سرعت مشخص حول محور افقی بچرخد.

ـ وسیله ای برای بار ریزی مذاب در داخل قالب در حال چرخش وجود داشته باشد.

ـ به محض پر شدن قالب، انجماد از یک قسمت آغاز و در یک قسمت دیگر به پایان برسد.

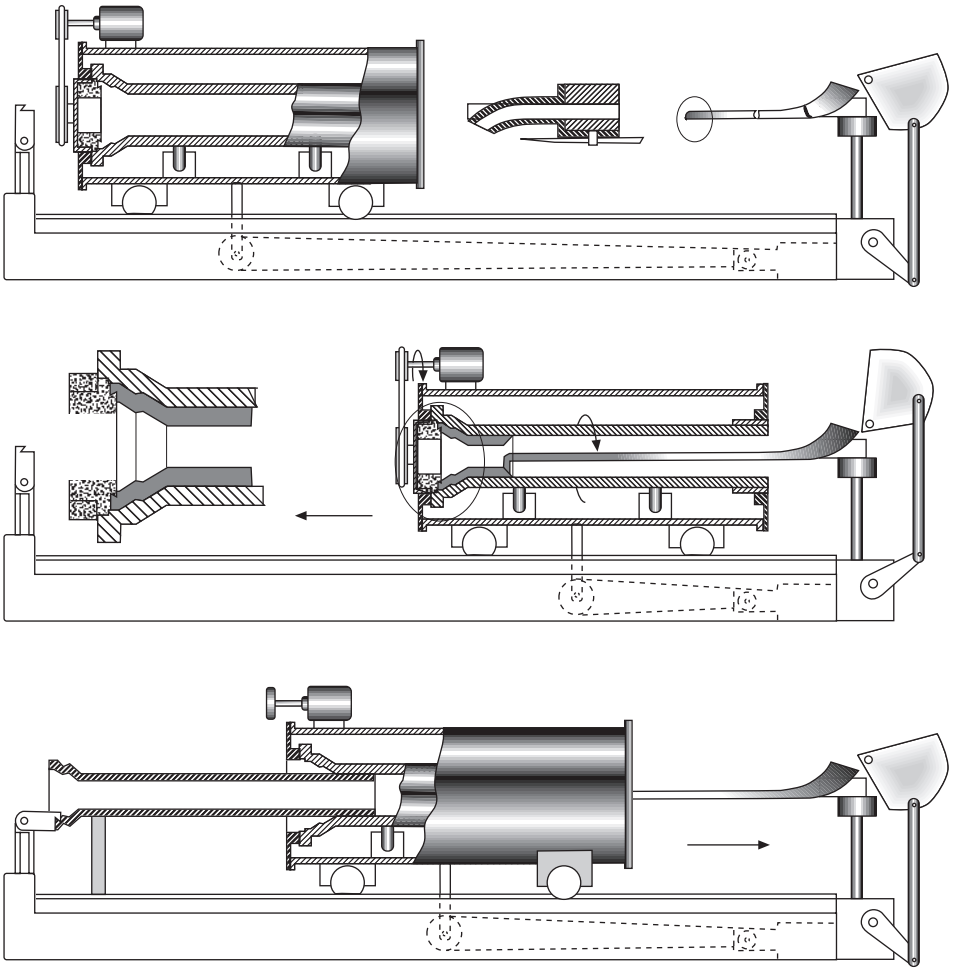
ـ قطعهٔ منجمد شده با سرعت از داخل قالب خارج شود.

شکل (۳۰ـ۳) یک نوع از ماشین‌های گریز از مرکز را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، ماشین دو حرکت دارد، حرکت چرخشی و حرکت رفت و برگشت که روی یک ریل مخصوص انجام می‌گیرد و در قسمت وسط این شکل نیز نمایان است. درحالی‌که قالب در حول محور خود با سرعت مشخص می‌چرخد، مذاب توسط یک ناودانی مخصوص به تدریج در قالب ریخته می‌شود. در همین زمان قالب روی ریل با سرعت معین شروع به عقب رفتن می‌کند. این عمل تا آنجا ادامه می‌یابد که مذاب به همهٔ قسمت‌های قالب برسد. پس از انجماد مذاب، لوله توسط سیستم بیرون‌کش مخصوص، از داخل قالب خارج می‌شود.

شکل (۳۱ـ۳) سیستمی را نشان می‌دهد که قالب فقط حول محور خود می‌چرخد و حرکت رفت و برگشتی در آن وجود ندارد. در این‌گونه ماشین‌ها مذاب به یکباره به داخل قالب ریخته می‌شود

---

۱- Centrifugal Casting



شکل ۳۰ـ۳ـ یک نوع ماشین گریز از مرکز افقی جهت لوله‌ریزی چدن

شکل ۳۱ـ۳ـ نوع دیگر از ماشین گریز از مرکز افقی

**جنس قالب:** جنس قالب معمولاً از فولاد، مس یا گرافیت می باشد. قالب‌های فولادی برای تولید قطعه‌ها به تعداد زیاد و برای ریخته‌گری آلیاژهایی که دارای نقطه انجماد بالایی هستند، به‌کار می‌رود. قالب‌های فولادی نسبت به شوک حرارتی حساس بوده و برای کاهش آن سطح قالب باید کاملاً پوشش داده شود.

**درجهٔ حرارت ریختگی:** درجهٔ حرارت بارریزی تابعی از فلز یا آلیاژ ریختگی، اندازه قالب و خواص فیزیکی مواد قالب است.

**درجهٔ حرارت قالب:** درجهٔ حرارت قالب نیز در خواص قطعه ریختگی مؤثر بوده و درجهٔ حرارت اولیهٔ قالب به جنس مذاب، ضخامت قالب و ضخامت لولهٔ ریختگی بستگی دارد.

**ریخته‌گری گریز از مرکز عمودی:** در این فرایند قطعات ریختگی در اثر بارریزی مذاب در داخل یک قالب گردان عمودی به‌وجود می‌آید. نیروی گریز از مرکز که ناشی از چرخش قالب است، فشار لازم برای پر کردن محفظه قالب (یا محفظهٔ قالب) را فراهم می‌آورد. این فشار تا انجماد کامل فلز داخل قالب باقی می‌ماند. قطعات تولید شده به این روش نسبت به روش‌های استاتیکی دارای خواص مکانیکی برتری می‌باشند. از طرف دیگر این روش برای تولید قطعه‌های خاص اقتصادی‌تر است.

از ویژگی‌های این روش همسویی خواص فیزیکی، مکانیکی قطعه‌ها و نیز بالا رفتن چگالی آنها می‌باشد. از طرف دیگر قطعه‌ها از اکسیدها، مک‌های گازی و دیگر ناخالصی‌ها عاری می‌باشند.

از مزیت‌های مهم این روش، عدم استفاده از راهگاه و تغذیه و در نتیجه بالا رفتن راندمان تولید است.

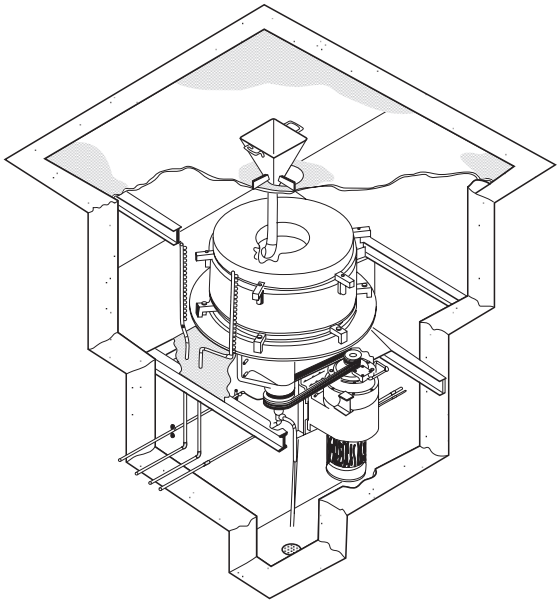
امکان تولید کلیهٔ آلیاژها در روش گریز از مرکز از دیگر مزیت‌های این روش است. فولادهای سادهٔ کربنی و آلیاژی، فولادهای پرآلیاژ و مقاوم به خوردگی و حرارت، چدن‌های خاکستری، نشکن، فولادهای پر آلیاژ، فولادهای زنگ‌نزن، فولادهای نیکلی، آلیاژهای آلومینیوم، مس، منیزیم، نیکل، تماماً امکان تولید توسط روش گریز از مرکز عمودی را دارند. مواد غیرفلزی نظیر سرامیک‌ها، شیشه‌ها، پلاستیک‌ها و ... و در حقیقت تمام موادی که می‌توانند حالت مذاب داشته باشند، امکان تولید توسط این روش را دارند.

**قالب‌ها:** قالب‌ها در روش گریز از مرکز عمودی می‌توانند ماسه‌ای، نیمه‌دائمی و دائمی باشند. انتخاب نوع قالب به شکل قطعه، کیفیت مورد نیاز و نیز تعداد تولید بستگی دارد.

**تقسیم‌بندی روش گریز از مرکز عمودی:** روش گریز از مرکز عمودی به سه دسته تقسیم می‌شود:

- ریخته‌گری گریز از مرکز واقعی.
- ریخته‌گری نیمه‌گریز از مرکز.
- ریخته‌گری چرخشی گریز از مرکز.

**الف) ریخته‌گری گریز از مرکز واقعی:** در این روش قالب حول محور عمودی خودش می‌چرخد و قطعه‌های استوانه‌ای شکل و یا لوله‌ای تولید می‌نماید. استفاده از ماهیچه در این روش محدود است. شکل (۳۲ـ۳) یک نوع از این‌گونه ماشین‌ها را نشان می‌دهد.



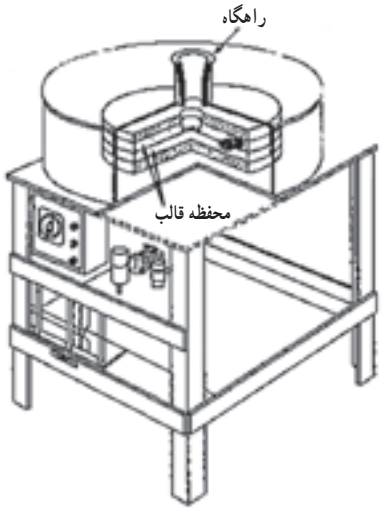
**شکل ۳۲ـ۳ـ ماشین ریخته‌گری گریز از مرکز عمودی واقعی**

در این روش انجماد از پوستهٔ خارجی آغاز شده و در قسمت داخلی به پایان می‌رسد. این نحوهٔ انجماد باعث فراهم آوردن قطعه‌ها با کیفیت عالی، عاری از عیب‌های ریختگی و بدون انقباض می‌شود.

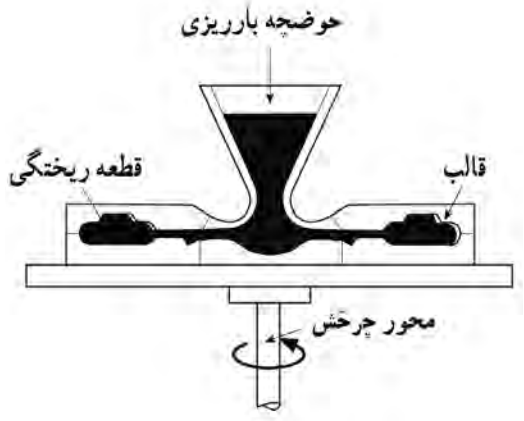
**ب) ریخته‌گری نیمه‌گریز از مرکز:** این روش به‌منظور تولید قطعه‌هایی به‌کار می‌رود که شکل داخل و خارج آن تماماً توسط قالب ایجاد می‌شود. در این روش قالب و قطعه حول محور خود می‌چرخد که در این رابطه از یک محور چرخان عمودی استفاده می‌شود. اگر قطعه دارای سوراخ باشد، از ماهیچه استفاده می‌شود (شکل ۳۳ـ۳).

قطعه‌هایی مانند لقمه‌های چرخ دنده، چرخ تسمهٔ شیاردار، پروانه‌ها و روتور موتورهای الکتریکی را می‌توان توسط این فرایند تولید نمود.

**ج) روش ریخته‌گری چرخشی گریز از مرکز:** در این روش محفظه‌های قالب در اطراف محور، مانند پره‌هایی اطراف چرخ چیده شده‌اند (شکل ۳۴ـ۳). به این ترتیب در هر بار چندین قطعه تولید می‌شود. نیروی گریز از مرکز، فشار لازم را برای پر کردن قالب مانند روش نیمه گریز از مرکز فراهم می‌آورد. این روش نوعاً برای تولید بدنهٔ شیرها، ماهک‌ها، بست‌ها و ... به‌کار می‌رود.




شکل ۳۳ـ۳ـ ماشین ریخته‌گری نیمه گریز از مرکز عمودی




شکل ۳۴ـ۳ـ روش ریخته‌گری چرخشی گریز از مرکز

## ۱۱ـ۳ـ احیا (بازیابی) ماسه

همان‌گونه که قبلاً اشاره گردید، در مخلوط ماسه قالب‌گیری، از انواع خاک‌ها به‌عنوان چسب استفاده شده و جهت ایجاد چسبندگی، به آنها مقدار معینی آب افزوده می‌شود. به هنگام ریخته‌گری در این قالب‌ها، براساس نوع فلز یا آلیاژ و اندازهٔ قطعهٔ ریختگی و نیز خواص ماسه و خاک ممکن است تغییراتی در مشخصات اجزای تشکیل‌دهندهٔ مخلوط به‌ویژه ماسه و چسب حاصل گردد. درصورتی‌که مخلوط ماسه در تماس با فلز مذاب تا درجه حرارتی بالاتر از $590^{\circ}C$ گرم شود، ممکن است جزء ماسه دچار تحول و افزایش حجم شده و جزء خاک نیز آب موجود در ساختمان (آب مولکولی) خود را از دست بدهد. چنین مخلوطی را مخلوط سوخته شده یا اصطلاحاً ماسه سوخته

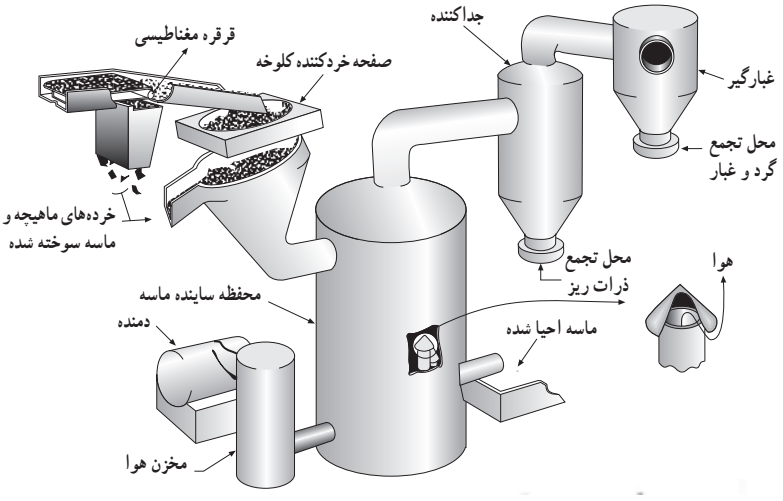
شده[1] می‌نامند. ماسه سوخته شده‌ای که پس از تخلیه قالب به‌صورت کلوخه‌های درشت باقی می‌ماند، از خواص قالب‌گیری مطلوبی برخوردار نمی‌باشد. خاک موجود در این ماسه به‌دلیل از دست دادن آب ترکیبی خود، خاک مرده یا کلسینه شده[2] نامیده می‌شود زیرا که با افزودن مجدد آب، قابلیت چسبندگی پیدا نمی‌کند. این حالت بیشتر در ریخته‌گری قطعات حجیم و نیز در درجه حرارت‌های بارریزی بالا روی می‌دهد. استفاده مجدد از چنین ماسه‌هایی که در صورت زیاد بودن آنها، امری ضروری است، نیازمند انجام عملیاتی تحت عنوان احیا (بازیابی) بر روی مخلوط ماسه می‌باشد. در این عملیات، خاک مرده به روش‌های مختلفی که به آنها اشاره خواهد شد، از ذرات ماسه جدا می‌شود. پس از خروج خاک و سایر مواد ناخواسته، ماسه احیا شده با درصدهای معینی از چسب (خاک)، آب و مواد افزودنی مخلوط شده، مجدداً جهت قالب‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد. قابل ذکر است که عملیات احیا تنها به ماسه‌های با چسب خاکی اختصاص نداشته و در مورد سایر چسب‌ها نیز صورت می‌گیرد.

در قطعات کوچک و نازک و نیز در مواردی که درجه حرارت بارریزی زیاد نیست، معمولاً تنها آب اضافه شده به مخلوط تبخیر می‌شود و بنابراین با افزودن مجدد آب به میزان معین، بدون آنکه ماسهٔ جدیدی اضافه گردد، دوباره مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ۱ـ۱۱ـ۳ـ روش‌های احیای ماسه

**الف) روش خشک:** در این روش جهت جداسازی ذرات ریز از قبیل پودر سیلیس و خاک از دمش هوا استفاده می‌شود. عمل جداسازی در یک مخزن و در اثر سایش ذرات بر روی یکدیگر صورت می‌گیرد. در شکل ۳۵ـ۳ یکی از انواع سیستم‌های نیوماتیکی[3] به‌منظور بازیابی ماسه به روش خشک نشان داده شده است. سیستم‌های پنوماتیکی معمولاً دارای ۲ تا ۸ قسمت هستند که پس از سایش ذرات ماسه بر روی یکدیگر در این قسمت‌ها، چسب همراه با ماسه خارج می‌گردد.

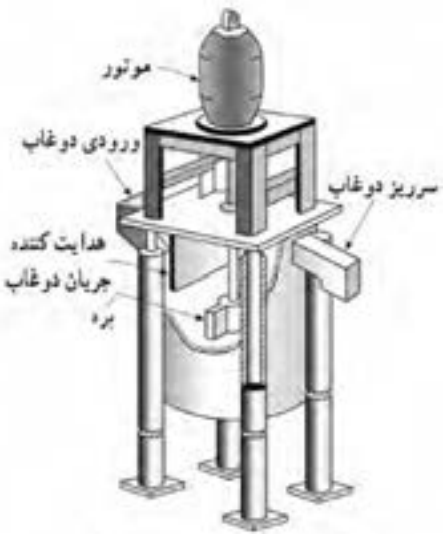
اندازه و شکل ذرات ماسه در بازدهی عمل احیا بسیار مؤثرند. احیای ذرات کروی نسبت به ذرات گوشه‌دار آسان‌تر و سریع‌تر صورت می‌گیرد. ماسه‌های احیا شده به این روش معمولاً به جای ماسه نو برای ماسهٔ رویه[4] به‌کار می‌روند.




۱ـ Burnt Sand
۲ـ Dead or Calsined Clay
۳ـ Pneumatic Scrubbing System
۴ـ Facing Sand

**شکل ۳۵ـ۳ـ سیستم سایش نیوماتیکی برای احیای ماسه به روش خشک**

**ب) روش تر:** در این روش ابتدا ماسه در محفظه‌ای با آب مخلوط شده و به صورت دوغابی در می‌آید. سپس دوغاب به‌دست آمده وارد یک سیستم سایش ماسه مطابق شکل ۳۶ـ۳ شده و پس از آن برای خروج خاک و سایر ذرات ریز به یک سیستم «جداکنندهٔ ماسه از ذرات ریز[1]» مطابق شکل ۳۷ـ۳ تزریق می‌شود. در پایان عملیات، ماسه احیا شده خشک می‌گردد. ماسه به‌دست آمده به این روش را می‌توان مجدداً با استفاده از غربال‌هایی به اندازه‌های مختلف دانه‌بندی نمود.



**شکل ۳۶ـ۳ـ سیستم سایش ماسه برای احیای ماسه به روش تر**

**شکل ۳۷ـ۳ـ سیستم جداکننده هیدرولیکی در احیای ماسه به روش تر**

۱ـ Classifier

مزایای احیای ماسه به روش تر عبارت‌اند از:
ـ کیفیت سطح تمام شده قطعه ریختگی همانند حالتی است که از ماسه نو استفاده می‌شود.
ـ جدا سازی مطلوب خاک و مواد ریز
ـ پایین بودن هزینه در مقایسه با قیمت ماسه نو
ـ کنترل دقیق تر توزیع دانه بندی در مقایسه با ماسه نو
ـ عدم کاهش نقطه دیرگدازی ماسه
لازم به ذکر است که در این روش آب مصرف شده در تهیهٔ دوغاب، در پایان عملیات برای استفاده مجدد بازیابی می گردد.
**ج) روش حرارتی:** در احیای ماسه به روش حرارتی، ماسه در محدوده درجه حرارتی $800^{\circ}C$ ـ ۶۵۰ حرارت داده می‌شود. در طی این عملیات مواد کربنی و نیز خاک همراه با ماسه در اثر سایش ذرات بر روی یکدیگر، به هنگام حرکت در کوره از ماسه جدا شده، خارج می گردند. میزان خاک جدا شده به نوع آن بستگی دارد. به‌عنوان مثال جداسازی بنتونیت سدیمی آسان‌تر از خاک نسوز صورت می‌گیرد. هر چند با استفاده از این روش به تنهایی، تمام خاک را نمی‌توان از ماسه جدا نمود ولی خارج نمودن مقدار کمی از مواد کربنی در فرایند روش تر در ماسه باقی می‌ماند در این روش به‌طور مؤثری می‌تواند انجام شود. ماسه احیا شده به این روش، غیر از رنگ، در بقیه موارد اساساً با ماسه نو برابری می کند.
اشاره به این نکته ضروری است که برای احیای ماسه‌های همراه با چسب‌های آلی (ماسه‌های استفاده شده در قالب‌های پوسته‌ای) روش حرارتی مؤثرترین روش در جداسازی چسب از ماسه می‌باشد.

# فصل ۴

# محاسبات فنی

## ۱ـ۴ـ تبدیل واحد

با توجه به اینکه در سال‌های قبل در مورد تبدیل یکاها مطالبی را خوانده‌اید و نیز در کتاب فیزیک در خصوص سیستم‌های SI توضیحاتی داده شده است در زیر به‌جهت یادآوری مسائل، نمونه ای حل شده است به آن دقت کنید.

**مثال:**

۸۲۵cm = ? mm

۸۲۵×۱۰=۸۲۵۰ mm

نکته

**برای تبدیل واحدها از نمودار زیر استفاده می‌شود.**

در فاصله‌ها ×

km $\xrightarrow{۱۰}$ Hm $\xrightarrow{۱۰}$ dam $\xrightarrow{۱۰}$ m $\xrightarrow{۱۰}$ dm $\xrightarrow{۱۰}$ cm $\xrightarrow{۱۰}$ mm $\xrightarrow{۱۰۰۰}$ µm

÷

فعالیت کلاسی

۲۵۰m=? Hm

۲۵۰÷(۱۰×۱۰)=۲/۵ Hm

**از کوچک‌تر به بزرگ‌تر(۱۰×۱۰) فاصله هکتومتر تا متر**

جاهای خالی را مطابق نمونه کامل کنید.

۱/۲ × ۱۰۷ = ۱۲۰km = ☐dam = ☐m

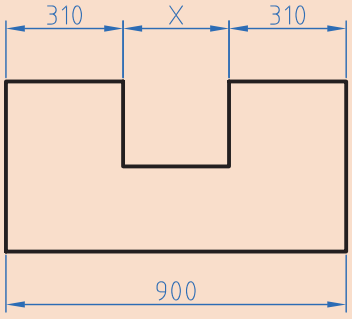
۲۳۵m = ۲/۵۳ ☐ = ☐µm

۲۴۲۵dam ☐ = km ☐ = dam

۲/۱km = ۲۱۰۰ ☐ = ☐µm

فعالیت

**در شکل زیر مقدار x را برحسب dm (دسی‌متر) به‌دست آورید.**




شکل ۱ـ۴

## ۲ـ۴ـ تولرانس

برای ساخت قطعات صنعتی با اندازه مطلق یعنی بدون درنظر گرفتن خطا، وقت و هزینه بسیار زیادی باید صرف شود، لذا ممکن است ساخت قطعات برای دستگاه‌هایی که نیاز به دقت زیادی ندارند مقرون به‌صرفه نباشد. به همین دلیل برای تولید قطعات با توجه به وظیفه‌ای که دارند مقداری خطا در ساخت توسط طراح درنظر گرفته می‌شود. این میزان خطای مجاز را تولرانس می‌گویند.

$Gu=N+A_u$ $\quad$ $Go=N+Ao$ $\quad$ $T=Go-Gu$

در این فرمول‌ها

T: تولرانس $\quad$ Go : بزرگ‌ترین اندازه $\quad$ Gu: کوچک‌ترین اندازه $\quad$ N: اندازه اسمی

Ao: انحراف بالایی $\quad$ Au: انحراف پایینی

**مثال:** روی یک نقشه اندازه قطعه به‌صورت $۴۰^{+۰/۱}$ نوشته شده است مقدار تولرانس را به‌دست آورید.

**حل:** ابتدا اطلاعات را استخراج و در یک گوشه می‌نویسیم.

$N=۴۰\,mm$

$Ao=۰/۱\,mm$ $\quad$ $Go=N+Ao=۴۰+۰/۱=۴۰/۱\,mm$

$Au=-۰/۱\,mm$ $\quad$ $Gu=N+Au=۴۰+(-۰/۱)=۳۹/۹\,mm$

$T=Go-Gu=۴۰/۱-۳۹/۹=۰/۲\,mm$

سؤال:

**آیا می‌توانید راهی بیابید که بدون محاسبه، بزرگ‌ترین اندازه و کوچک‌ترین اندازه قطر تولرانس را به‌دست آورید.**

**راهنمایی:**

$T=$ ☐ $-$ ☐ $=۰/۲\,mm$

فعالیت

**مطابق مثال نمونه حل شده تولرانس را محاسبه کنید.**

$۲۵^{+۰/۲}_{+۰/۱}$ بزرگ‌ترین اندازه $=$ ☐ $+$ ☐ $=۲۵/۲\,mm$

☐ $=۲۵+$ ☐ $=۲۵/۱\,mm$

تولرانس $=$ ☐ $-$ ☐ $=۰/۱\,mm$

نکته

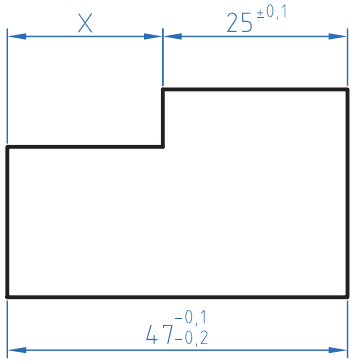
**در عدد $25^{+0/2}_{+0/1}$ را اندازه اسمی و ۰/۲+ حد بالایی و ۰/۱+ را حد پایینی می‌گویند از تفاضل حد بالا با حد پایینی تولرانس به‌دست می‌آید.**

## تمرین

۱ در اندازه‌های نوشته شده مطلوب است محاسبه بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین اندازه و تولرانس.

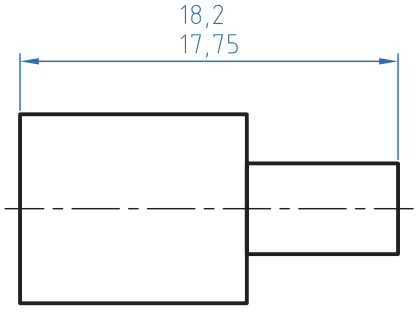
الف) $55^{\pm 0/03}$ ب) $28^{+0/15}_{+0/3}$ ج) $29^{-0/25}_{-0/15}$ د) $37^{-0/25}_{0}$

۲ در نقشه مطابق شکل مقدار بزرگ‌ترین و کمترین اندازه x را به‌دست آورید.




شکل ۲ـ۴

۳ در نقشه زیر مقادیر انحراف بالایی و انحراف پایینی و تولرانس را به‌دست آورید.




شکل ۳ـ۴

## ۳ـ۴ـ محیط قطعات صنعتی

### یادآوری

در دوره اول متوسطه در دروس ریاضی محاسبه محیط اشکال استاندارد مانند مربع، دایره و ... را خوانده‌اید. در این قسمت کاربرد فرمول‌ها را برای محاسبه محیط قطعات صنعتی خواهید آموخت.

### محاسبه محیط قطعات یا اشکال مرکب

برای محاسبه این‌گونه شکل‌ها باید آن را به قسمت‌های قابل محاسبه تقسیم نموده و سپس با هم جمع کنید.

**مثال:** محیط قطعه مطابق شکل را محاسبه کنید.

**حل:**

**مرحله اول:** ابتدا شکل را تقسیم‌بندی نموده و با حروف $L_1$ تا $L_6$ شماره‌گذاری کنید.

$L_1=10\,mm$

$$L_2=\frac{d.m}{2}=\frac{40\times3/14}{2}=62/8\,mm$$

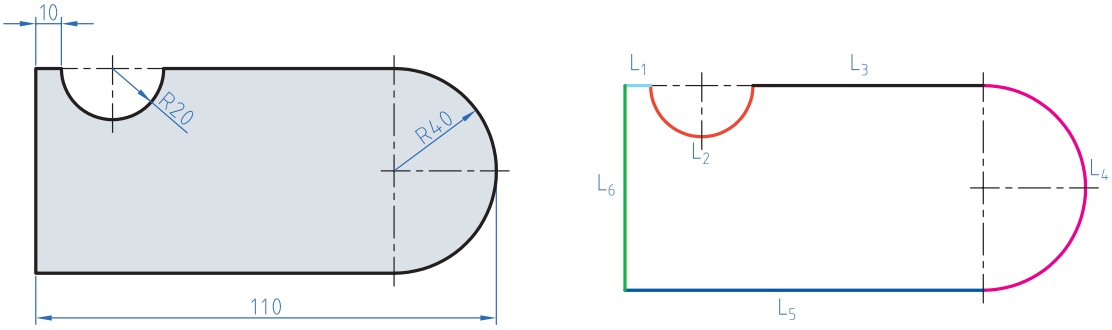
$L_3=110-(40+40+10)=20\,mm$

$$L_4=\frac{d.m}{2}=\frac{80\times3/14}{2}=125/6\,mm$$

$L_5=110-40=70\,mm$

$L_6=2\times R=2\times40=80\,mm$

$$U=L_1+L_2+L_3+L_4+L_5+L_6=10+62/8+20+125/6+70+80=468/4\,mm$$



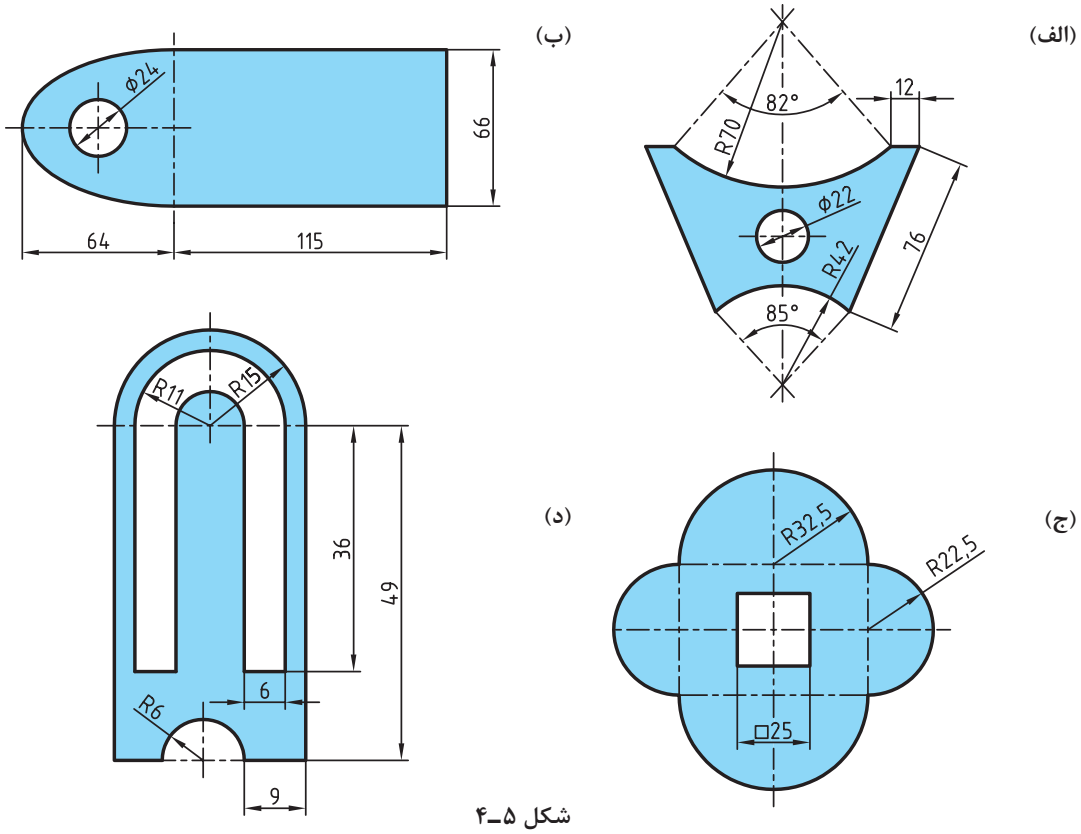

شکل ۴ـ۴

نکته

**برای استفاده از فرمول‌های محیط به کتاب همراه قسمت محاسبات فنی مراجعه نمایید.**

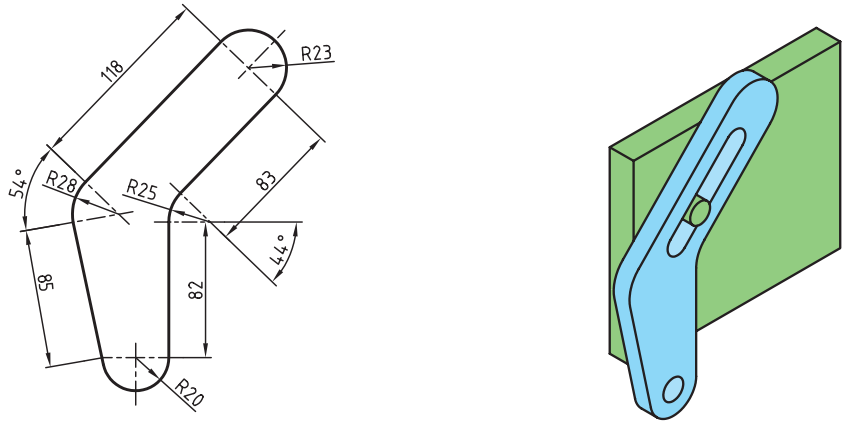
## تمرین

۱ محیط داخلی و خارجی قطعات زیر را به‌دست آورید.




شکل ۵ـ۴

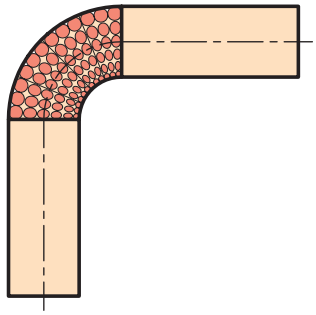
۲ قطعه‌ای مطابق شکل با روش برش لیزر از ورق آلومینیومی ساخته شده است. طول مسیر برش را حساب کنید.




شکل ۶ـ۴

## ۴ـ۴ـ طول گسترده

طول گسترده زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد که بخواهیم با خم‌کاری قطعاتی را تولید کنیم. زمانی که قطعات خم‌کاری می‌شوند قسمت داخلی قوس فشرده و قسمت خارجی قوس کشیده می‌شود ولی لایه مرکزی بدون تغییر باقی می‌ماند. برای محاسبه طول گسترده قطعات کافی است طول لایه خنثی محاسبه شود.



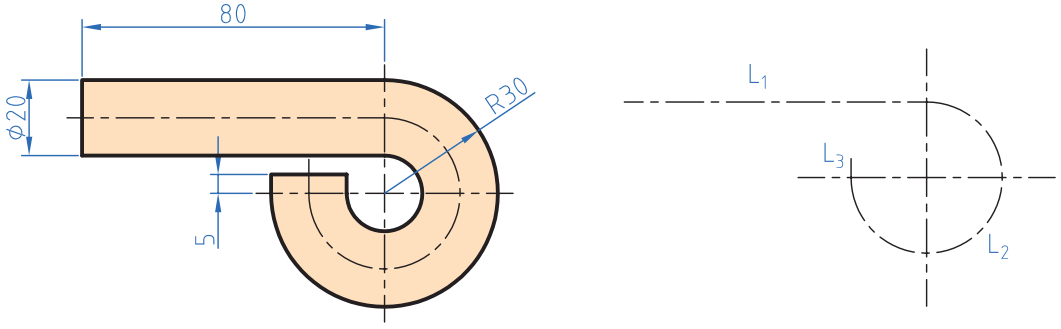
شکل ۷ـ۴

نکته

**برای محاسبه طول لایه خنثی طول این لایه را همانند محاسبه محیط قطعات به قسمت‌های مختلف تقسیم‌بندی نموده و در پایان این قسمت‌ها را با هم جمع کنید.**

**مثال:** در قطعه مطابق شکل طول قبل از تولید را محاسبه کنید.

**حل:** ابتدا طول فاز خنثی را قسمت‌بندی نمایید.




شکل ۸ـ۴

$L_1 = ۸۰\ mm$

$d_m = ۲(R - \frac{d}{۲}) = ۲(۳۰ - \frac{۲۰}{۲}) = ۴۰\ mm$

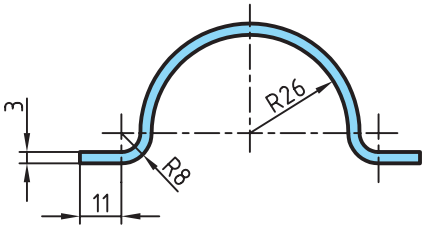
$L_۲ = \frac{d_m \times \pi \times \alpha}{۳۶۰} = \frac{۴۰ \times ۳/۱۴ \times ۲۷۰}{۳۶۰} = ۹۴/۲\ mm$

$L_۳ = ۵\ mm$

$L_S = L_۱ + L_۲ + L_۳ = ۸۰ + ۹۴/۲ + ۵ = ۱۷۹/۲\ mm$

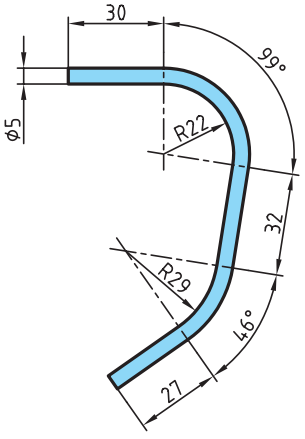
## تمرین

۱ برای بستن لوله از بست مطابق شکل استفاده شده است. در صورتی‌که بخواهیم تعداد ۱۰۰ عدد از این بست‌ها تولید کنیم و پهنای تیغهٔ برش ۲ میلی‌متر باشد مقدار طول اولیه را به‌دست آورید.



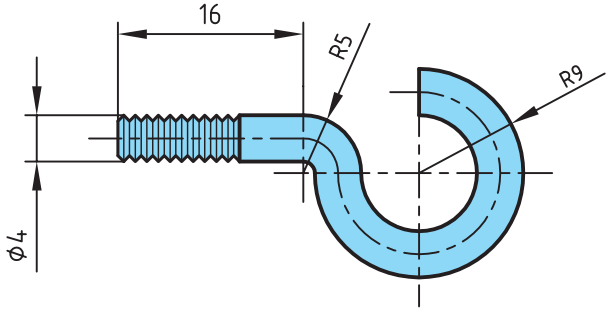

شکل ۹ـ۴

۲ در موتورسیکلت زیر از یک حفاظ آهنی استفاده شده است. مقدار طول گسترده این حفاظ را به‌دست آورید.




شکل ۱۰ـ۴

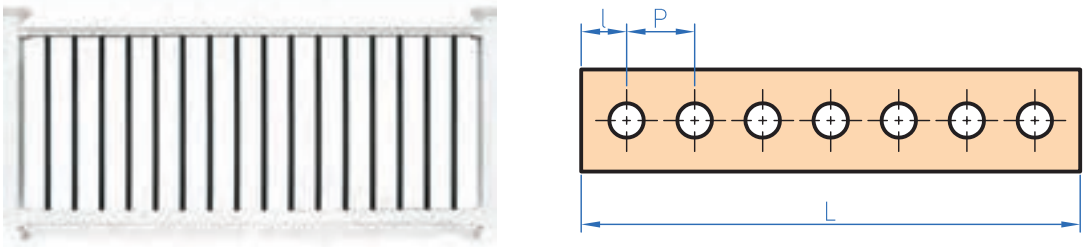
۳ در پیچ آویز زیر طول گسترده اولیه را به‌دست آورید.




شکل۱۱ـ۴

## ۵ـ۴ـتقسیمات طولی

برخی اوقات لازم است در تولید قطعات فاصله قرارگرفتن سوراخ‌ها یا سایر قطعات مساوی باشد برای تولید این‌گونه قطعات ابتدا باید فاصله‌ها را محاسبه نموده و سپس با مشخص‌کردن این فاصله‌ها روی قطعه اصلی اقدام به سوراخ‌کاری یا جوشکاری قطعات دیگر می‌شود.




شکل ۱۲ـ۴

نکته

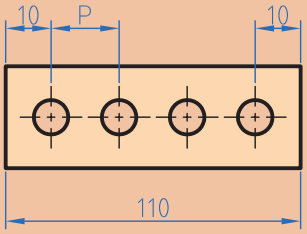
$$P=\frac{L-2l}{n-1}$$

**n تعداد تقسیمات یا سوراخ‌ها است.**

**مثال:** درقطعه مطابق شکل فاصله بین سوراخ‌ها را محاسبه کنید.

P= ?
L=۱۱۰ m
l=۱۰
n=۴

$$P=\frac{L-2l}{n-1}=\frac{۱۱۰-۲\times۱۰}{۴-۱}=۳۰\,m$$

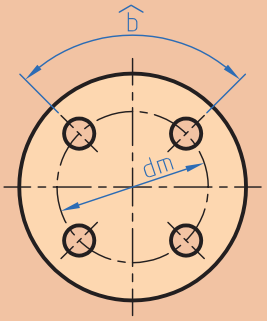



شکل ۱۳ـ۴

نکته

**چنانچه تقسیمات روی محیط دایره باشد طول کمان $\hat{b}$ از رابطه زیر محاسبه می‌شود.**

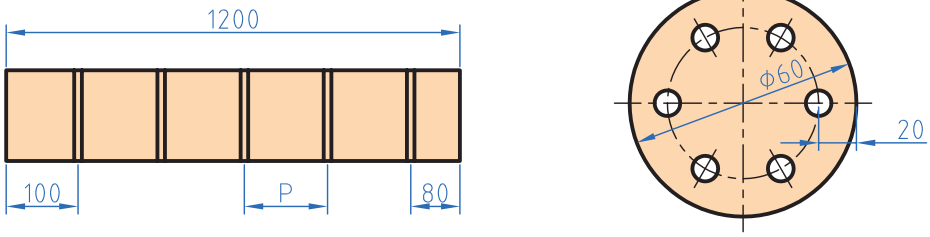
$$\hat{b} = \frac{dm.\pi}{n}$$




شکل ۱۴ـ۴

## تمرین

۱ در شکل‌های زیر فاصله تقسیمات را محاسبه کنید.



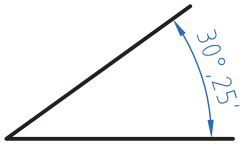

شکل ۱۵ـ۴

۲ برای دسترسی به مخزن شکل زیر به یک نردبان به ارتفاع ۳/۵ متر نیاز است. در صورتی که فاصله مرکز پله اولی و آخری از دو سر نردبان ۳۵ سانتی‌متر فاصله داشته باشد و فاصله مرکز هر پله از پله بعدی ۲۰ سانتی‌متر باشد تعداد پله‌ها را به‌دست آورید.

شکل ۱۶ـ۴

## ۶ـ۴ـ زاویه و زمان

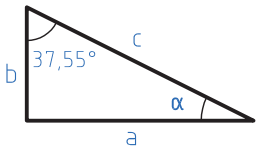
به شکل دقت کنید عدد ′۲۵ چه مفهومی دارد.
تاکنون زوایا را برحسب درجه اندازه‌گیری و محاسبه می‌کردید. با توجه به اینکه در قطعات صنعتی برخی اوقات نیاز به اعداد کوچک‌تر و دقیق‌تر است لذا یکا کوچک‌تر از درجه برای زاویه مطرح می‌شود اجزای کوچک‌تر از درجه، دقیقه و ثانیه است که بین آنها رابطه زیر برقرار است.



شکل ۴ـ۱۷

$$1^\circ = 60^\circ = 3600''$$

**مثال:** در مثلثی مطابق‌شکل مقدار زاویه $\alpha$ را برحسب (درجه و دقیقه) به‌دست آورید.



شکل ۴ـ۱۸

$$\hat{a}+\hat{b}+\hat{c}=180$$

$$a=180-(b+c)=180^\circ-(90+37/55)$$

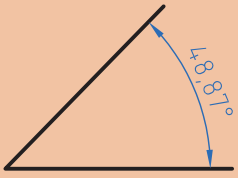
$$a=51/45^\circ$$

$$a=51^\circ+0/45\times60=51^\circ و 27'$$

نکته

**برای تبدیل درجه به دقیقه و ثانیه عدد اعشاری را در عدد ۶۰ ضرب کنید و اگر عدد به‌دست آمده دارای اعشاری است مجدد عدد اعشاری را در ۶۰ ضرب کنید تا دقیقه به ثانیه تبدیل شود.**

**مثال:** مقدار زاویه مقابل را برحسب درجه، دقیقه و ثانیه به‌دست آورید.



شکل ۴ـ۱۹

$$0/87\times60=52/2'$$

$$0/2\times60=12''$$

$$48^\circ,52',12''$$

نکته

**برای تبدیل دقیقه و ثانیه به درجه، ابتدا مقدار دقیقه را بر $60^\circ$ تقسیم کرده و سپس مقدار ثانیه را بر ۳۶۰۰ تقسیم نموده و باهم جمع کرده و به مقدار درجه اضافه می‌کنیم.**

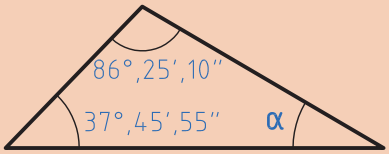
**مثال:** زاویه $30''$ و $12'$ و $25^\circ$ را برحسب درجه بنویسید.

$$25^\circ + \frac{12^\circ}{60} + \frac{30}{3600} = 25/208$$

**مثال:** در مثلث زیر مقدار $\alpha$ را برحسب درجه و دقیقه به‌دست آورید.

$$(86^\circ,25',10'') + (37^\circ,45',55'') + \alpha = 180^\circ$$

$$\begin{array}{r} {}^{1}\quad {}^{1} \\ 86^\circ \;,\; 25' \;,\; 10'' \\ 25^\circ \;,\; 45' \;,\; 55'' \\ \hline 112^\circ \;,\; 71' \;,\; 65'' \\ \quad\;\; {}^{1} \end{array}$$




شکل ۲۰ـ۴

$$112^\circ,11',5'' + \alpha = 180$$

$$\begin{array}{r} 179^\circ \;,\; 59' \;,\; 60'' \\ -112^\circ \;,\; 11' \;,\; 5'' \\ \hline 67^\circ \;,\; 48' \;,\; 55'' \end{array}$$

$$\alpha = 180 - 112^\circ,11',5''$$

$$\begin{array}{r} 180^\circ \;,\; 0' \;,\; 0' \\ -112^\circ \;,\; 11' \;,\; 5'' \\ \hline \end{array} \rightarrow$$

$$\alpha = 67^\circ,48',55''$$

## تمرین

۱ مقدار هر یک از زوایای زیر را برحسب درجه به‌دست آورید.

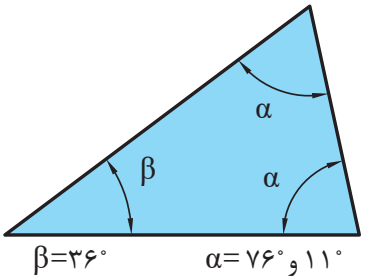
الف) $34^\circ,12',48''$ ب) $22',35''$ ج) $14^\circ,52''$

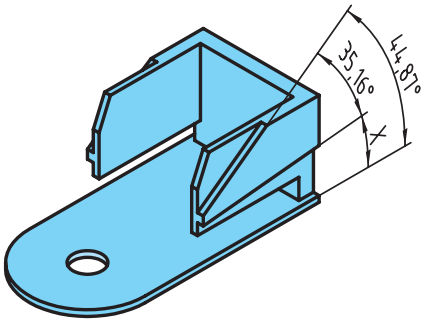
۲ مقادیر خواسته شدهٔ زیر را به‌دست آورید.

| A | B | A+B | A−B |
|---|---|---|---|
| $52^\circ,45',20''$ | $38^\circ,21',46''$ | | |
| $4^\circ,25',44''$ | $2^\circ,45''$ | | |

۳ در قطعهٔ زیر مقدار x را برحسب درجه و دقیقه و ثانیه به‌دست آورید.

۴ در مثلث مطابق شکل زاویهٔ γ را به‌دست آورید.




شکل ۲۱ـ۴

## ۷ـ۴ـ محاسبه سطوح

**یادآوری**

برای تبدیل یکاهای سطح همانند تبدیل یکای طول عمل می‌شود با این تفاوت که فاصله هر واحد تا واحد بعدی $۱۰^۲$ است.

واحد بزرگ‌تر به کوچک‌تر × فاصله دو واحد

$$Km^۲ \xrightarrow{۱۰^۲} Hm^۲ \xrightarrow{۱۰^۲} dam^۲ \xrightarrow{۱۰^۲} m^۲ \xrightarrow{۱۰^۲} dm^۲ \xrightarrow{۱۰^۲} cm^۲ \xrightarrow{۱۰^۲} mm^۲$$

واحد کوچک‌تر به بزرگ‌تر ÷ فاصله دو واحد

**مثال۱:** مساحت یک قطعه ۲۵۰ دسی‌متر مربع است آن را برحسب Cm مربع به‌دست آورید.

$۲۵۰ \times ۱۰^۲ = ۲۵۰۰۰ Cm^۲$

**مثال۲:** ۱۲۲۰ میلی‌متر مربع چند دسی متر مربع است.

$۱۲۲۰ mm^۲ = ? dm^۲$

$۱۲۲۰ \div (۱۰^۲ \times ۱۰^۲) = ۱۲۲۰ \div ۱۰^۴ = ۰/۱۲۲ dm^۲$

### ۱ـ۷ـ۴ـ محاسبه سطوح مرکب

با توجه به اینکه در سال‌های قبل محاسبه سطوح استاندارد را فرا گرفته‌اید برای محاسبه سطوح مرکب ابتدا سطح مورد نظر را به سطوح قابل محاسبه تقسیم‌بندی نموده و سپس با هم جمع جبری می‌شود.

**مثال:** مساحت قطعه را مطابق شکل محاسبه کنید.

$$A = A_۱ + A_۲ - A_۳ + A_۴$$

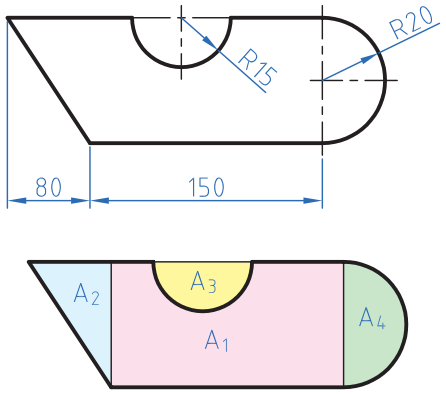
$$A_۱ = ۱۵۰ \times ۴۰ = ۶۰۰۰ \ mm^۲$$

$$A_۲ = \frac{۴۰ \times ۲۰}{۲} = ۴۰۰ \ mm^۲$$

$$A_۳ = \frac{\pi.r^۲}{۲} = \frac{۳/۱۴ \times ۱۵^۲}{۲} = ۳۵۳/۲۵$$

$$A_۴ = \frac{\pi.r^۲}{۲} = \frac{۳/۱۴ \times ۲۰^۲}{۲} = ۶۲۸ \ mm^۲$$

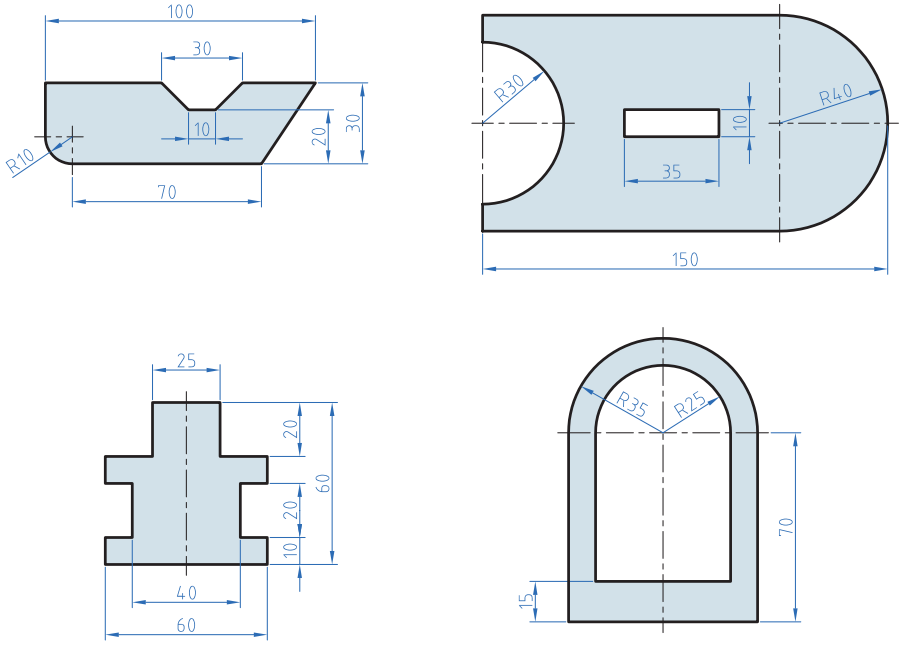
$$A = ۶۰۰ + ۴۰۰ + ۳۵۳/۲۵ + ۶۲۸ = ۱۹۸۱/۲۵ \ mm^۲$$




شکل ۴ـ۲۲

### تمرین

۱ مساحت قطعات را مطابق شکل به‌دست آورید.




شکل ۴ـ۲۳

۲ در دایره‌ای نسبت مساحت به محیط آن ۲/۵ است. قطر این دایره چقدر است؟

نکته

**برای استفاده از فرمول‌های مساحت شکل‌های استاندارد به کتاب همراه هنرجو مراجعه نمایید.**

## ۸ـ۴ـ محاسبه حجم

### یادآوری

در دروس گذشته محاسبه حجم اجسام با شکل استاندارد مانند استوانه مکعب و ... را فرا گرفتید در این درس ابتدا تبدیل واحد که دقیقاً همانند تبدیل واحد طول و سطح است را فرا می‌گیرید ولی با این تفاوت که فاصله هر واحد با واحد دیگر ۱۰۳ می‌باشد.

ضرب

$$M^3 \xrightarrow{10^3} dm^3 \xrightarrow{10^3} Cm^3 \xrightarrow{10^3} mm^3$$

تقسیم

نکته

**هر لیتر یک دسی‌متر مکعب است.** $1Lit = 1dm^3$

**مثال:** ۲۵۰ سانتی‌متر مکعب چند مترمکعب است؟

**حل:**

$$m^3 \xrightarrow{10^3} dm^3 \xrightarrow{10^3} cm^3 \Rightarrow ۲۵۰ \div (۱۰^3 \times ۱۰^3) = ۲۵۰ - ۱۰^6$$

$$۰/۰۰۰۲۵\,m = ۲/۵ \times ۱۰^{-4}\,m$$

نکته

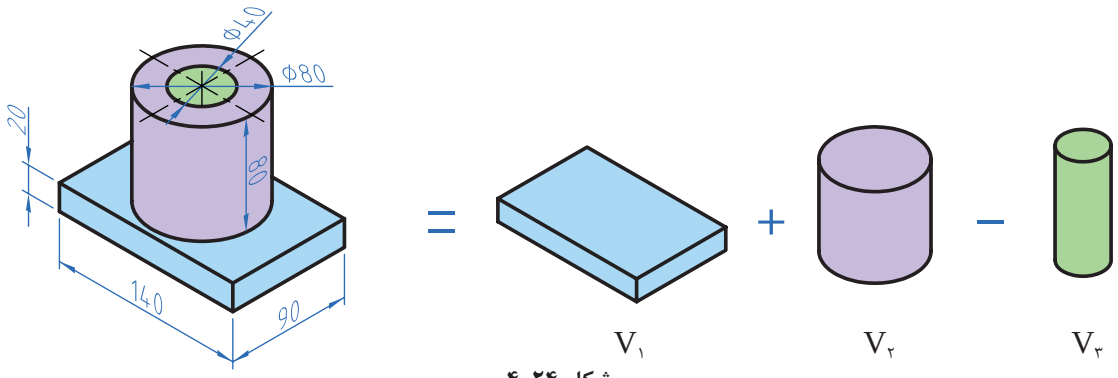
**همان‌طور که قبلاً آموختید می‌توان اعداد اعشاری را به صورت نماد علمی نوشت.**

### ۱ـ۸ـ۴ـ محاسبه احجام مرکب

برای محاسبه احجام ابتدا هر جسم که تشکیل شده از چند شکل معین را به احجام تشکیل دهنده تقسیم‌بندی نموده و سپس با محاسبه هر یک و جمع جبری آنها حجم را محاسبه می‌کنیم.

**مثال:** در شکل مقابل حجم را بر حسب $dm^3$ محاسبه نمایید.

**حل:** ابتدا تجزیه




شکل ۲۴ـ۴

$V=V_۱+V_۲-V_۳$

$V_۱=۱/۴\times۰/۹\times۰/۲=۰/۲۵۴dm^۳$

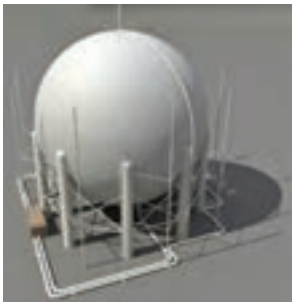
$V_۲=\pi r^۲\times h=۳/۱۴\times۰/۴^۲\times۰/۸=۰/۴۰۲dm^۳$

$V_۳=\pi r^۲\times h=۳/۱۴\times۰/۲۰^۲\times۰/۸=۰/۱dm^۳$

$V=۰/۲۵۴+۰/۴۰۲-۰/۱=۰/۵۵۶dm^۳$

## تمرین

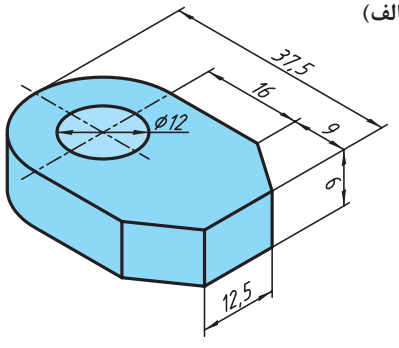
۱ قطر مخزن اکسیژن شکل زیر ۶/۵m است. حجم مخزن را برحسب متر مکعب و لیتر به‌دست آورید.



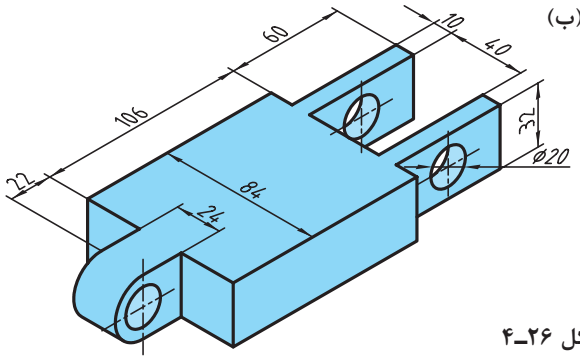
شکل ۲۵ـ۴

۲ حجم قطعات زیر را به‌دست آورید:

(الف)

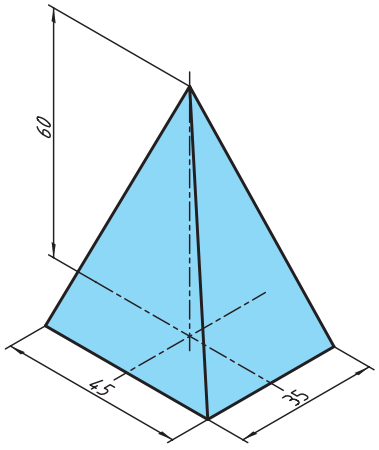



(ب)

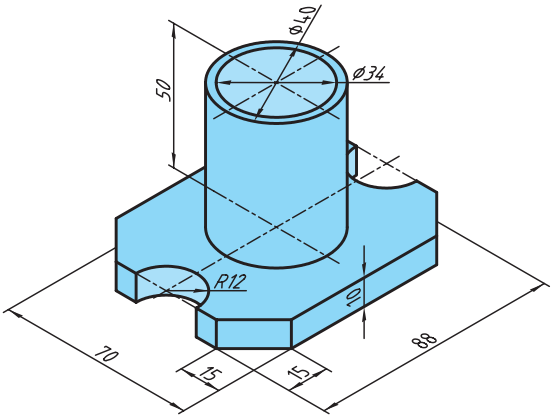



شکل ۲۶ـ۴

(ج)




(د)




شکل ۲۷ـ۴

## ۹ـ۴ـ محاسبه جرم

### یادآوری

محاسبه جرم را قبلاً آموخته‌اید لذا در این قسمت به یادآوری کوتاه در مورد محاسبه جرم و تبدیل واحدهای آن می‌پردازیم.

واحد جرم در سیستم SI[1] کیلوگرم است و واحدهای گرم (gr) و تن (ton) از اجزاء و اضعاف کیلوگرم است که رابطهٔ زیر بین آنها برقرار است.

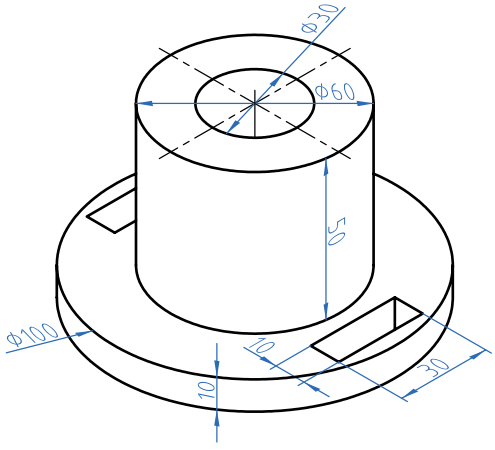
$$۱kg=۱۰۰۰gr$$

$$۱ton=۱۰۰۰kg$$

**مثال:** برای محاسبه جرم از فرمول $m=\rho.V$ استفاده می‌شود.

m جرم برحسب کیلوگرم F چگالی برحسب $\frac{kg}{m^3}$ یا $\frac{kg}{dm^3}$ و V حجم برحسب $m^3$ یا $dm^3$ همان‌گونه که در دروس علوم و ریاضی پایه هفتم آموختید برای محاسبه جرم ابتدا حجم یک جسم را محاسبه می‌کنیم سپس با ضرب آن در چگالی (جرم حجمی) مقدار جرم به‌دست می‌آید.

**مثال:** جرم قطعه مطابق، شکل را حساب کنید. در صورتی‌که چگالی آن ۷/۵ کیلوگرم بر دسی متر مکعب باشد.




شکل ۲۸ـ۴

۱- استاندارد بین المللی یکاها

$V=V_1+V_2(V_3+2V_4+V_5)$

$V_1=\pi.r^2.h=3/14\times50^2mm\times10mm=78500mm^3\div10^6=0/0785dm^3$

$V_2=\pi\times r^2\times h=3/14\times30^2mm\times50mm\ 141300mm^3\div10^6=0/1413dm^3$

$V_3=\pi r^2h=3/14\times15^2mm\times60mm=42390\div10^6=0/042390dm^3$

$V_4=V_5=30\times10\times10=3000\div10^6=0/003dm^3$

$V=0/0785+0/1413-(0/042390+0/003+0/003)=0/17141dm^3$

$M=p.V=7/5\times0/1741=7/67\ Kg$

همان‌طوری که در مثال بالا مشاهده نمودید چون واحد چگالی $\frac{kg}{dm^3}$ بود لذا حجم در محاسبات باید برحسب $dm^3$ به‌دست آید ولی اگر واحد چگالی باشد باید حجم برحسب سانتی‌متر و جرم برحسب gr به‌دست آید.
برای تبدیل واحدهای چگالی از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$1\frac{kg}{m^3}=1000\frac{kg}{dm^3}=1\frac{kg}{cm^3}$$

### ۱ـ۹ـ۴ـ جرم طولی

برای محاسبه جرم نیمه ساخته‌ها مانند میل‌گردها، پرفیل‌ها و لوله‌ها که دارای مقطع یکنواخت در طول هستند از فرمول جرم طولی استفاده می‌شوند. بدین ترتیب است که جرم طولی را از جدول برای پروفیل مورد نظر استخراج نموده و در طول ضرب می‌کنند تا مقدار جرم به‌دست آید.

$$M=M'\times L$$

جرم برحسب kg m جرم طولی برحسب $\frac{kg}{m}$ L طول برحسب m

مثال جرم یک شاخه میل گرد از جنس $St^{37}$ به قطر ۳۰ میلی‌متر و طول ۳/۵ متر را محاسبه نمایید.

$M'=\xrightarrow{\text{از جدول}^1}55/5\ \frac{kg}{m}$

$m=m'\times L=5/55\times3/5=19/25kg$

$L=3/5m$

---

۱ـ به کتاب همراه هنرجو قسمت محاسبات جدول جرم طولی مراجعه نمایید.

نکته

**معمولاً جرم طولی و سطحی برای محاسبه مواد خام استفاده می‌شود.**

## ۲ـ۹ـ۴ـ جرم سطحی

برای محاسبه جرم ورق‌ها از فرمول جرم سطحی استفاده می‌شود. مراحل محاسبه همانند جرم طولی است

$m$ : جرم برحسب $kg$

$M''$ :جرم سطحی بر حسب $\frac{kg}{m^2}$

$A$ : سطح ورق برحسب $m^2$

$$m = m' \times A$$

**مثال:** ورقی به ابعاد ۳×۲۵۰۰×۳۰۰۰ برای ساخت یک محفظه مورد نیاز است جرم این ورق را با استفاده از جدول جرم سطحی موجود در کتاب همراه هنرجو محاسبه نمایید.

$$L = ۳۰۰۰ \div ۱۰۰۰ = ۳m$$

$$b = ۲۵۰۰ \div ۱۰۰۰ = ۲/۵m$$

$$A = L \times b = ۳ \times ۲/۵ = ۷/۵\ m^2$$

$$M' = \xrightarrow{\text{از جدول}} ۲۳/۶ \frac{kg}{m^2}$$

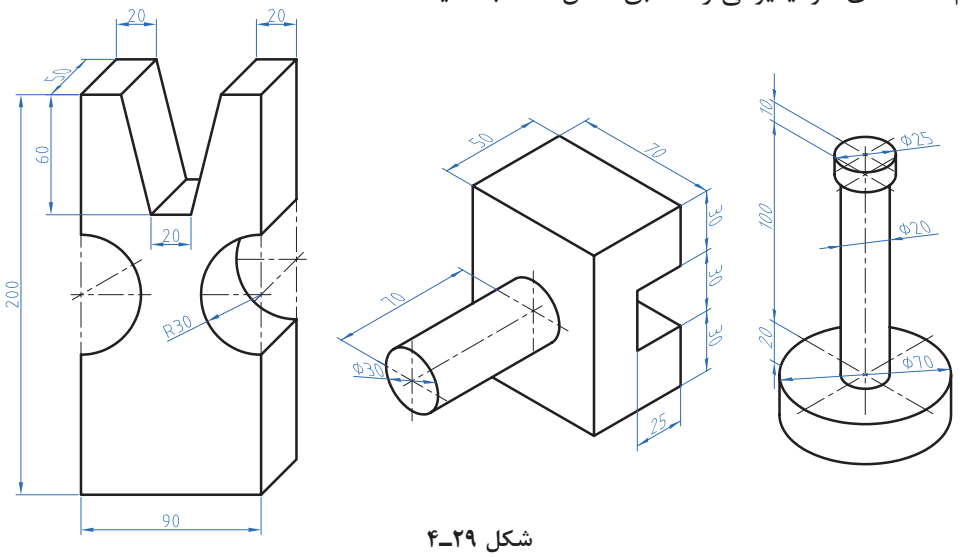
$$m = m'' \times L = ۲۳/۶ \times ۷/۵ = ۱۷۷\ kg$$

### تمرین

۱ جرم مواد خام برای ساخت قطعات یک دستگاه که در جدول زیر آمده را محاسبه نمایید.

| ابعاد ورق به ضخامت × عرض × طول | | مشخصات | قطعه |
|---|---|---|---|
| ۲۵۰×۱۸۰×۲ mm | محفظه | عملکرد ۲۵×۱۴۰ Ø | محور اصلی |
| ۳۵×۲۵×۲/۵ mm | درپوش | طول دوونیم متر ۴۰×۴۰ ضخامت ۳mm | پایه از پروفیل چهارگوش توخالی |

۲ جرم قطعه‌های آلومینیومی را مطابق شکل حساب کنید.




شکل ۲۹ـ۴

نکته

**برای استخراج جرم حجمی، جرم طولی، جرم سطحی به کتاب همراه هنرجو مراجعه فرمایید.**

## ۱۰ـ۴ـ محاسبه وزن

**یادآوری**

نیروی وزن نیرویی است که از طرف زمین به جرم جسم وارد می‌شود. برای محاسبه نیروی وزن کافی است از رابطه $W = M \times g$ استفاده شود.

در این فرمول: $W$ نیروی وزن برحسب نیوتن $(N)$

$M$ جرم برحسب کیلوگرم $(Kg)$

$g$ شتاب جاذبه زمین برحسب $۹/۸۱ \frac{m}{S^۲}$

نکته

**یک کیلوگرم متر بر مجذور ثانیه $(\frac{km}{S^۲})$ با یک نیوتن برابر است.**

**توجه:** **شتاب جاذبه یا شتاب ثقل کره زمین در نقاط مختلف متفاوت است. این مقدار از ۹/۷۸ (استوا) تا ۹/۸۳ (قطب شمال) متغیر است ولی محل قراردادی را برای محاسبه پاریس (۹/۸۱) در نظر می‌گیرند.**

**مثال:** نیروی وزن قطعه مطابق شکل را محاسبه نمایید. ($g = ۹/۸ \frac{m}{s^۲}$)

تذکر:

**جنس این قطعه فولاد ساختمانی ST۳۷ است.**

$V = V_۱ - V_۲$

$V_۱ = ۳۰۰ \times ۲۰۰ \times ۲۰۰ = ۱۲۰۰۰۰۰۰ \div ۱۰^۶ = ۱۲\ dm^۳$

$V_۲ = ۱۰۰ \times ۲۰۰ \times ۲۰۰ = ۴۰۰۰۰۰۰ \div ۱۰^۶ = ۴\ dm^۳$

$V = ۱۲ - ۴ = ۸\ dm^۳$

$V = A.h$

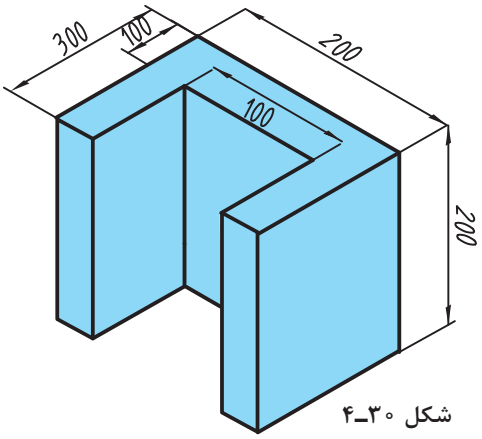
$A = (۳۰۰ \times ۲۰۰) - (۱۰۰ \times ۲۰۰) = ۴۰۰۰۰ \div ۱۰^۴ = ۴\ dm^۲$

$V = A.h = ۴ \times ۲ = ۸\ dm^۳$

$m = \rho.V = ۷/۲۵ \times ۸ = ۵۸\ Kg$

$W = m.g = ۵۸ \times ۹/۸ = ۵۶۸/۴\ N$

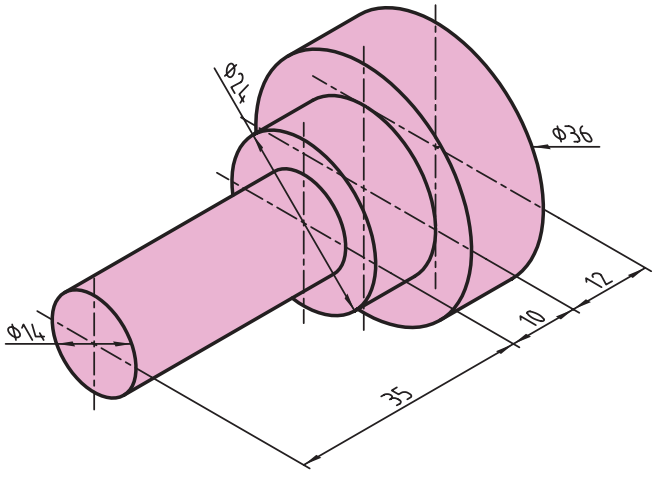
$W = ۵۶۸/۴\ N$




شکل ۳۰ـ۴

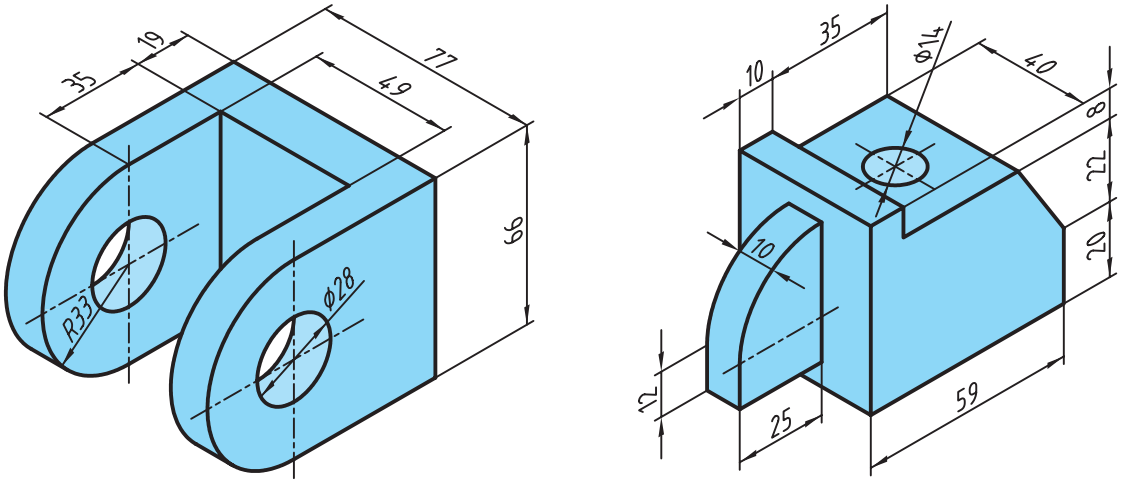
**تمرین**

۱ نیروی وزن قطعه را مقابل شکل زیر که از آلومینیوم ساخته شده محاسبه نمایید.




شکل ۳۱ـ۴

۲ وزن قطعات را مطابق شکل زیر که از جنس فولاد ساختمانی (ST۳۷) ساخته شده‌اند محاسبه نمایید.




**شکل ۳۲ـ۴**