بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

تولید سرامیک به روش پرس پودر

رشتهٔ سرامیک

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ یازدهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: تولید سرامیک به روش پرس پودر - ۲۱۱۵۰۹
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: غلامرضا امامی‌میبدی، هادی برزگربفرویی، ندیٰ دیده‌ور، فرشاد فرشیدفر، ناصر ضیاییان‌مفید، امیر مقصودی‌پور (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
علیرضا ابراهیم‌آبادی، هادی برزگربفرویی، سمیرا دادستان، ندیٰ دیده‌ور، بشیر فتوحی، فرشاد فرشیدفر، محمدحسن نجاری (اعضای گروه تألیف) ـ آیدا قویدل (ویراستار)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: سیدمرتضی میرمجیدی (رسام فنی) ـ مریم نصرتی (صفحه آرا)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی) **تلفن:** ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، **دورنگار:** ۸۸۳۰۹۲۶۶، **کد پستی:** ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹ **وب سایت:** www.chap.sch.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 هفتم ۱۴۰۲

کلیهٔ 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- ۲۷۸۶ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 - 964 - 05 - 2786-3**

ملت شریف ما اگر در این انقلاب بخواهد پیروز شود باید دست از آستین برآرد و به کار بپردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و باغستان‌ها تا آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.

امام خمینی (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان اول: خردایش ۱

پودمان دوم: آسیاب کردن..... ۲۹

پودمان سوم: تعیین رطوبت و دانه‌بندی ۵۷

پودمان چهارم: گرانول‌سازی ۸۳

پودمان پنجم: پرس پودر ۱۱۳

منابع ۱۳۷

سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط درحال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعهٔ پایدار ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامهٔ درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی توانایی انجام کار واقعی به طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشتهٔ تحصیلی ـ حرفه‌ای شما چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

۱ـ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی پرس پودر؛

۲ـ شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه؛

۳ـ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها؛

۴ـ شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر.

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامهٔ درسی رشته‌های شاخهٔ فنی و حرفه‌ای را تدوین کرده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.

این کتاب چهارمین کتاب کارگاهی است که ویژهٔ رشتهٔ سرامیک تألیف شده است و کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت در شغل و حرفه بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی کنید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی تولید سرامیک به روش پرس پودر شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا چند واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحلهٔ کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنید. هنرآموز محترم شما برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌کند و نمرهٔ قبولی در هر پودمان حداقل دوازده است.

همچنین علاوه بر کتاب درسی شما امکان استفاده از سایر اجزای بستهٔ آموزشی که برای شما طراحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بستهٔ آموزشی کتاب همراه هنرجو است که برای انجام فعالیت‌های موجود در کتاب درسی باید استفاده کنید. این کتاب را می‌توانید هنگام آزمون و فرایند ارزشیابی نیز همراه داشته باشید. اجزای دیگری نیز برای بستهٔ آموزشی شما درنظر گرفته شده است که با مراجعه به وبگاه رشتهٔ خود به نشانی http://tvoccd.oerp.ir می‌توانید از آنها مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی طراحی و در کتاب درسی و بستهٔ آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش کنید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به کار گیرید.

رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است، لذا توصیه‌های هنرآموز محترمتان را، درخصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است، در انجام فعالیت کارگاهی جدی بگیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام‌های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت مؤثر و شایستهٔ جوانان برومند میهن اسلامی برداریم.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرآموزان گرامی

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش‌وپرورش و برنامهٔ درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامهٔ درسی رشتهٔ سرامیک طراحی و براساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف شد. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی است که برای سال یازدهم تدوین و تألیف شده است. این کتاب دارای پنج پودمان است که هر پودمان از یک یا چند واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب است که در پایان هر پودمان شیوهٔ ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی باید برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمرهٔ قبولی در هر پودمان حداقل دوازده است و نمرهٔ هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌شود که شامل ارزشیابی پایانی و ارزشیابی مستمر برای هریک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست‌محیطی است. این کتاب جزئی از بستهٔ آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بستهٔ آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوهٔ ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید.

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

پودمان اول: دارای عنوان «خردایش» است. ابتدا مفهوم خردایش بیان شده و سپس فرایند خردکردن شرح داده شده است.

پودمان دوم: عنوان «آسیاب کردن» دارد. در این پودمان مفاهیم آسیاب آورده شده و سپس انواع روش، تجهیزات آسیاب و اجرای عملیات آن بیان شده است.

پودمان سوم: دارای عنوان «تعیین رطوبت و دانه‌بندی» است. در این پودمان اهمیت تعیین رطوبت و دانه‌بندی شرح داده شده است. همچنین روش‌های تعیین این خواص و تجهیزات مرتبط به آنها آموزش داده شده است.

پودمان چهارم: دارای عنوان «گرانول‌سازی» است که در آن عوامل مؤثر بر گرانول‌سازی و روش‌های متداول تولید گرانول شرح داده شده است.

پودمان پنجم: با عنوان «پرس پودر» است. در این پودمان مراحل فرایند پرس و تجهیزات آن آموزش داده شده است. همچنین عیوب و عوامل مؤثر بر کیفیت محصولات پرس بیان شده است.

امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش

پودمان ۱

خردایش

ویژگی‌های ابعادی مواد اولیه تأثیر بسیار زیادی بر خواص نهایی بدنه‌های سرامیکی دارند. قبل از شروع تمامی فرایندهای ساخت بدنه‌های سرامیکی لازم است مواد اولیهٔ مصرفی آماده شوند. اولین مرحله در آماده‌سازی مواد اولیه، تبدیل سنگ‌ها و کلوخه‌های بزرگ به ابعاد کوچک‌تر و مناسب برای ورود به مراحل بعدی فرایند تولید یا فراوری است.

واحد یادگیری ۱

شایستگی خردایش

آیا تا به حال پی برده‌اید

۱ مواد اولیه در فرایند تولید سرامیک‌ها باید به ابعاد مناسبی تبدیل شوند تا قابل استفاده باشند؟
۲ از چه روش‌هایی می‌توان برای خرد کردن اشیا و مواد مختلف استفاده کرد؟
۳ چه دستگاه‌ها و تجهیزاتی برای خردایش مواد اولیهٔ تولید قطعات سرامیک موردنیاز است؟

هدف از این شایستگی آشنایی با ضرورت خردایش و اهمیت انجام آن در آماده‌سازی مواد اولیه است. هنرجو انواع روش‌های خردایش، تجهیزات و عوامل مؤثر در انتخاب نوع سنگ‌شکن را فرامی‌گیرد. به‌منظور کسب مهارت عملی، فعالیت‌های کارگاهی برای خرد کردن در نظر گرفته شده است که با رعایت اصول ایمنی باید انجام پذیرد.

استانداردعملکرد

خردایش مواد اولیه براساس ابعاد، میزان سختی و با توجه به جدول توزیع دانه‌بندی.

اهمیت کوچک کردن ابعاد مواد

دربارهٔ سؤالات زیر فکر کنید و نظر خود را با دیگر هنرجویان مقایسه کنید:

۱ چرا پیامبر اکرم (ص) دربارهٔ آداب غذا خوردن به کوچک کردن لقمه و جویدن آن تأکید کرده است؟

۲ قند حبه‌ای در آب سریع‌تر حل می‌شود یا شکر؟

الف) قطعات مکعبی قند

ب) ذرات ریز شکر

شکل ۱

۳ کوچک کردن اجزای خودرو در بازیافت خودروهای فرسوده چه کمکی به فرایند بازیافت می‌کند؟

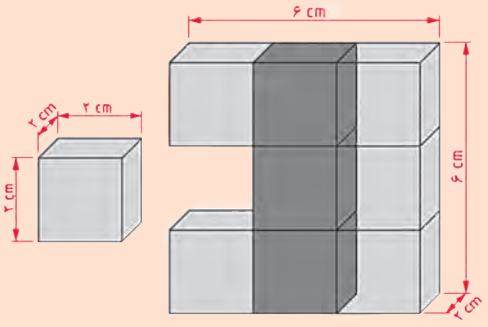
الف) خودروهای فرسوده

ب) قطعات خودروهای فرسوده

شکل ۲

فعالیت کلاسی

در شکل (۳) مساحت کل پس از تقسیم شدن مکعب مستطیل به ۹ قسمت مساوی چه تغییری می‌کند؟ نسبت مساحت کل به حالت اول (قبل از تقسیم) را پس از تقسیم شدن محاسبه کنید.



شکل ۳ـ تأثیر تقسیم شدن بر روی مساحت کل

فعالیت کلاسی

اثر کوچک کردن ابعاد بر افزایش سطح

مواد و ابزار: کاغذ یا مقوا، قیچی، خط‌کش، مداد و چسب.

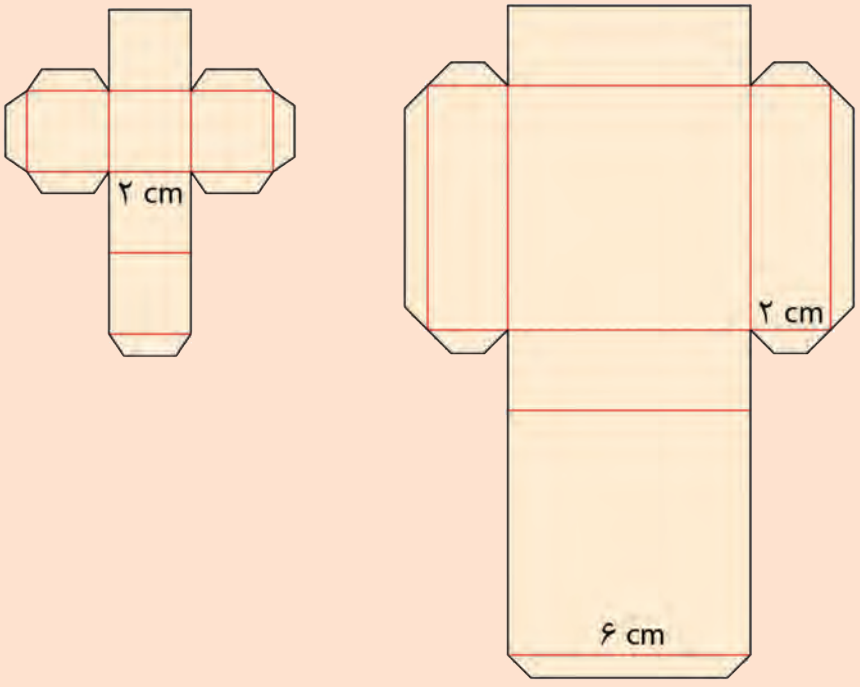
شرح فعالیت:

با توجه به نقشهٔ شکل (۴) و با استفاده از مقوا:

ـ مکعبی به ابعاد ۲×۶×۶ سانتی‌متر بسازید.

ـ ۹ عدد مکعب به ابعاد ۲×۲×۲ سانتی‌متر بسازید.

ـ مساحت کل مکعب اول و مکعب‌های ساخته شده در مرحلهٔ دوم را مقایسه کرده و مساحت مقوای مصرفی را در هر دو حالت محاسبه کنید.



شکل ۴ ـ نقشهٔ ساخت مکعب ۲×۶×۶ و ۲×۲×۲ سانتی‌متری

نکات ایمنی

هنگام کار با قیچی مراقب باشید تا صدمه‌ای به شما یا هم‌کلاسی‌هایتان وارد نشود.

خردایش

بسیاری از مواد اولیهٔ موردنیاز برای تولید محصولات سرامیکی به‌صورت کلوخه یا قطعه‌سنگ‌های بزرگ در طبیعت وجود دارند.

آیا مواد اولیه به این صورت قابل استفاده در صنعت خواهند بود؟

با توجه به شکل (۵)، کدام‌یک از مواد اولیه برای مصرف در واحدهای صنعتی مناسب‌تر هستند؟

الف) تکه‌سنگ‌های بزرگ

ب) خرده‌سنگ

پ) پودر سنگ

شکل ۵

مواد معدنی استخراج شده پیش از ورود به فرایند تولید به فراوری نیاز دارند. هدف از فراوری آماده‌سازی مواد اولیه برای مصرف در واحد تولیدی است. اولین مرحله در آماده‌سازی مواداولیه خردایش سنگ‌ها و کلوخه‌های بزرگ است. در فرایند خردایش، ابعاد قطعات بزرگ تا حد امکان کاهش می‌یابد تا بتواند وارد مراحل بعدی فراوری و آماده‌سازی مواد مانند آسیاب، شست‌وشو و تغلیظ شود.

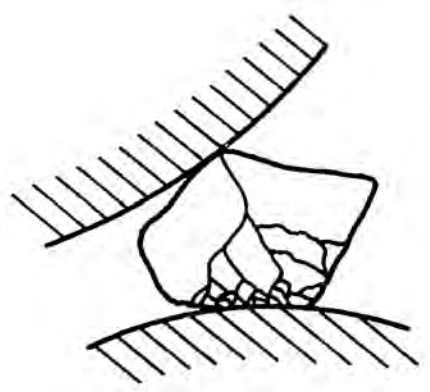
شکل ۶ـ روند خردایش

گفت‌وگو کنید

چه دلایل دیگری برای خردایش مواد اولیه در صنعت وجود دارد؟

به نظر شما مواد سخت مانند سنگ‌هایی با ابعاد بزرگ، چگونه به قطعات کوچک و قابل‌استفاده در صنعت تبدیل می‌شوند؟

خرد شدن در اثر انبساط و انقباض در طبیعت



شکسته شدن سنگ بر اثر اعمال نیرو

شکل ۷

نیروهای مؤثر در خردایش

با توجه به شکل‌های زیر مشخص کنید در هر شکل چه نیرویی باعث فرایند خرد شدن می‌شود؟ پاسخ‌های خود را در جدول یادداشت کنید.

۳ ۲ ۱

شکل ۸

جدول ۱

نیرو	شمارهٔ شکل
ضربه	☐
فشار	☐
سایش	☐

برای شکسته شدن یک سنگ باید به آن تنش وارد شود یعنی به سطح آن نیرویی وارد شود تا شکسته شود. فرایندی که با ایجاد ترک و شکستگی در سنگ‌ها، آنها را به ابعاد کوچک‌تر تبدیل می‌کند «خردایش» و دستگاهی که عملیات خردکردن سنگ‌ها را انجام می‌دهد «سنگ‌شکن» نامیده می‌شود.

تجهیزات متنوعی برای خردایش مواد در صنعت وجود دارد. این تجهیزات بیشتر با اعمال ضربه، فشار یا سایش، به‌صورت تکی یا ادغام با یکدیگر، موجب خرد شدن و ریزتر شدن سنگ‌ها می‌شوند.

الف) سنگ‌شکن فکی

ب) سنگ‌شکن ضربه‌ای

پ) سنگ‌شکن مخروطی

ت) سنگ‌شکن غلتکی

شکل ۹ـ انواع سنگ‌شکن

کلوخه‌ها و سنگ‌های استخراجی به‌طور طبیعی می‌توانند دارای محدودهٔ ابعاد گسترده باشند.

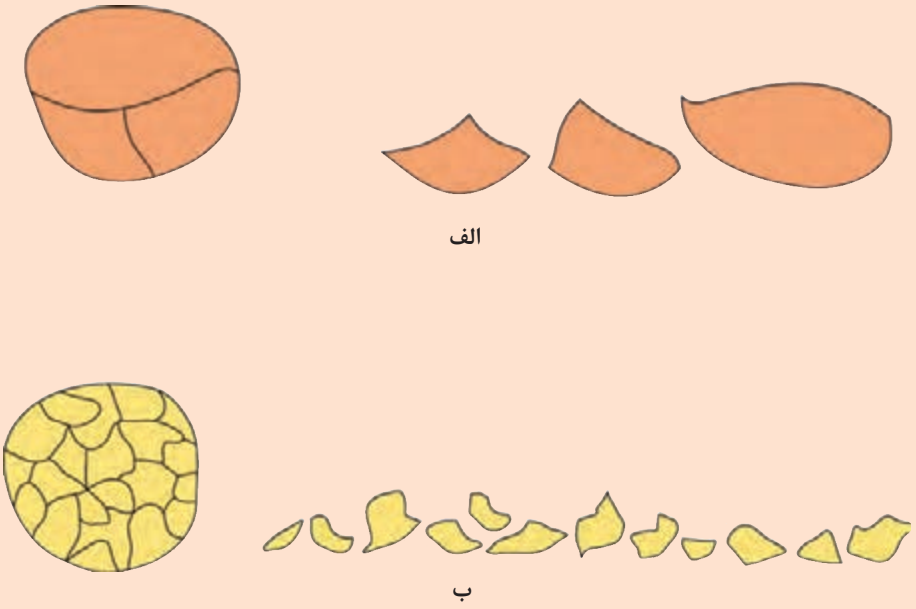
شکل ۱۰

گفت‌وگو کنید

آیا ریز کردن مواد اولیه به‌صورت یکباره و در یک مرحله امکان‌پذیر است؟

آیا می‌دانید

موادی که در طبیعت وجود دارند از لحاظ قابلیت خرد شدن به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱ـ موادی که در اثر ضربه یا فشار به آنها در تمام جهات به‌طور یکنواخت خرد می‌شوند. ۲ـ موادی که عمل خرد شدن در آنها در جهات مختلف یکسان نیست و عواملی مانند صفحات کلیواژ، وجود حفره و شکاف و رگه باعث می‌شود تا مادهٔ معدنی در بعضی جهت‌ها آسان‌تر شکسته و خرد شود. در این میان سختی، چکش‌خواری و شکل تبلور نیز مؤثر است.



شکل ۱۱ـ الف) خرد شدن در جهات خاص ب) خرد شدن یکنواخت

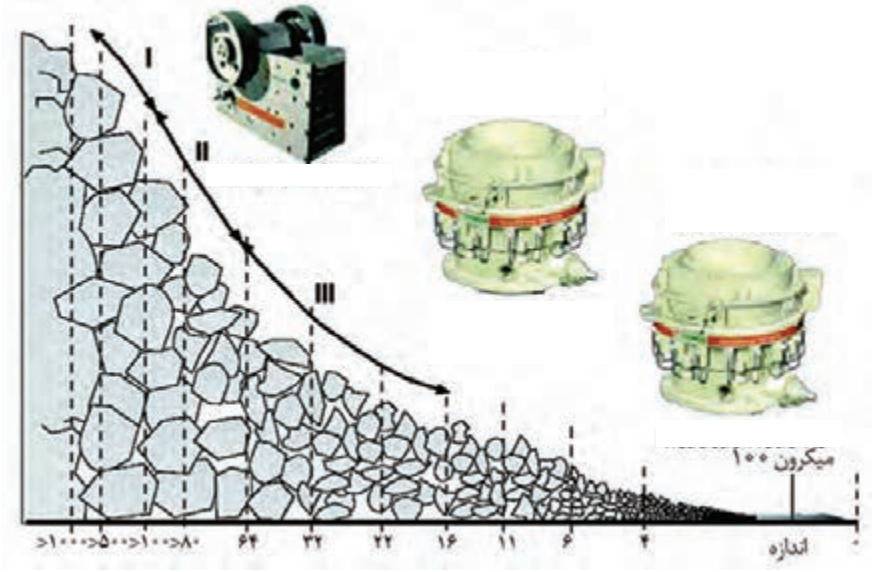
فرایند کاهش ابعاد سنگ‌ها به دو دستهٔ کلی خردایش (سنگ‌شکنی) و آسیاب‌کردن (نرم کردن) مواد تقسیم می‌شود.

خردایش (سنگ‌شکنی)

در مورد ذرات با ابعاد درشت به‌کار می‌رود.

- هدف از آن تبدیل سنگ با ابعاد تقریبی چندصد سانتی‌متر به چند سانتی‌متر یا چند میلی‌متر است.
- معمولاً تبدیل سنگ از ابعاد چندصد سانتی‌متری به ابعاد میلی‌متری در سه مرحله انجام می‌شود:

ـ سنگ‌شکنی مرحلهٔ اول
ـ سنگ‌شکنی مرحلهٔ دوم
ـ سنگ‌شکنی مرحلهٔ سوم



شکل ۱۲

در برخی از مواد اولیه مانند فلدسپات و سیلیس تمام مراحل خردایش انجام می‌شود و در مورد برخی مواد مانند کلوخه‌های کائولن تمامی مراحل انجام نمی‌شود.

فلدسپات

سیلیس

کائولن

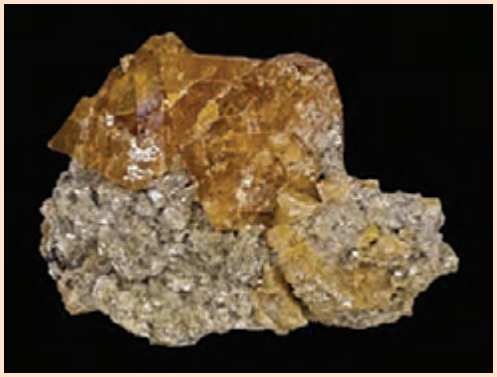
شکل ۱۳

تحقیق کنید

چرا تمامی مراحل خردایش برای کلوخه‌های کائولن انجام نمی‌شود؟

آیا می‌دانید

کاهش ابعاد مواد اولیه تنها دلیل خردایش نیست. مواد خالص پس از خردایش به‌طور مستقیم وارد فرایند تولید می‌شوند، درحالی که برای مواد معدنی همراه با ناخالصی، هدف از خردایش علاوه بر کاهش ابعاد مواد اولیه، جدا کردن مادهٔ مطلوب از سایر مواد نامطلوب است. مواد معدنی استخراج شده از معدن معمولاً با بعضی از کانی‌های نامطلوب همراه هستند.



الف) سنگ معدن شیلیت

ب) سنگ معدن شیلیت زیر اشعهٔ ماورای بنفش

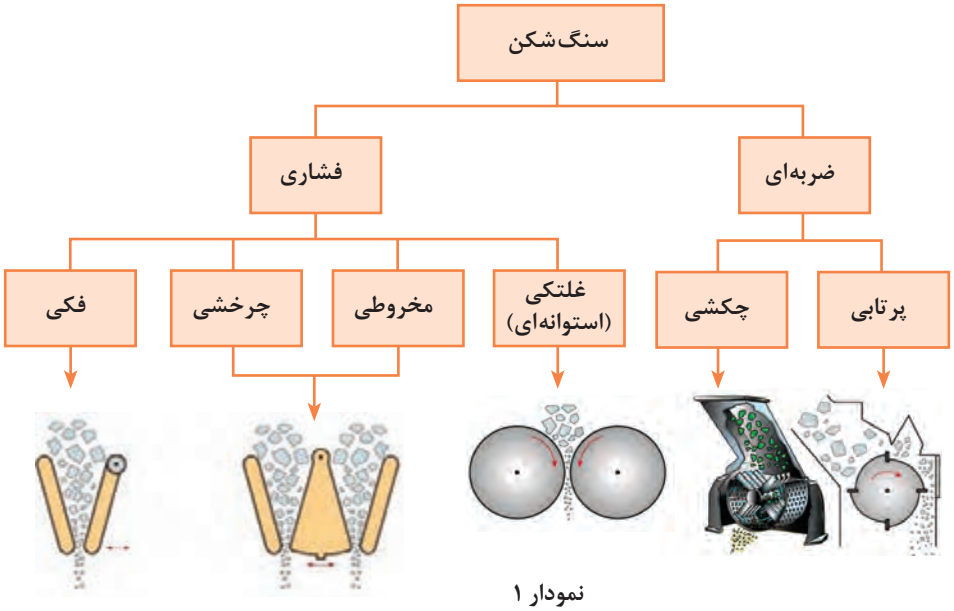
پ) کنسانترهٔ شیلیت

شکل ۱۴

به شکل‌های زیر نگاه کنید. در هرکدام از چه نیرویی برای شکستن گردو استفاده شده است؟

شکل ۱۵

عملکرد سنگ‌شکن‌ها براساس نوع نیروی اعمالی عبارت است از:



نمودار ۱

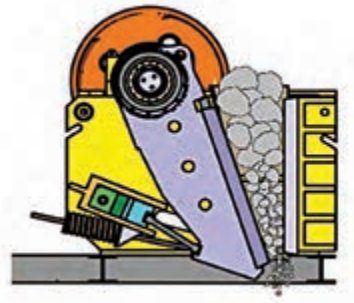
نکته

معمولاً فرایند خردایش فقط با یک دستگاه سنگ‌شکن عملی نیست. این فرایند معمولاً در دو یا چند مرحله انجام می‌شود.

انواع سنگ‌شکن

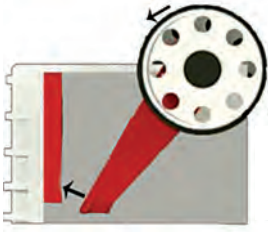
۱ـ سنگ‌شکن فکّی[1]:

سنگ‌شکن فکی یکی از رایج‌ترین سنگ‌شکن‌هاست که به‌عنوان سنگ‌شکن مقدماتی برای مرحلهٔ اول خردایش به‌کار گرفته می‌شود. سنگ‌شکن‌های فکی از دو فک تشکیل شده‌اند که معمولاً یکی از آنها ثابت و دیگری متحرک است. در برخی از این نوع سنگ‌شکن‌ها هر دو فک متحرک است. فاصلهٔ بین دو فک در قسمت فوقانی دستگاه «دهانه» و در بخش تحتانی «گلوگاه» نامیده می‌شود.



شکل ۱۶ـ سنگ‌شکن فکی

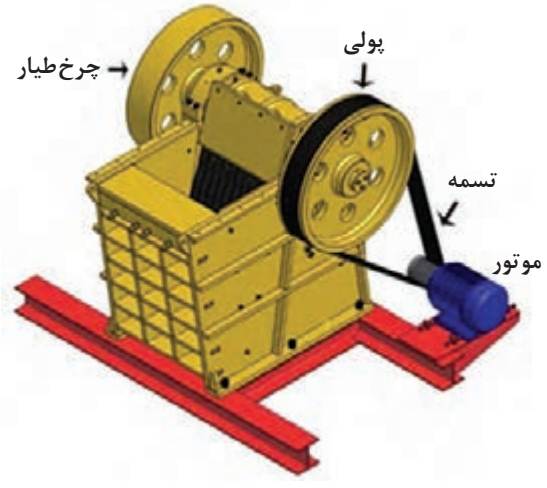
1- Jaw Crusher



فک متحرک معمولاً حرکت نوسانی دارد و به فک ثابت، دور و نزدیک می‌شود.

سنگ در اثر این عمل خرد می‌شود و به قسمت پایین دستگاه، که فاصلهٔ فک‌ها کمتر است، منتقل می‌شود. در این قسمت نیز عمل خرد شدن ادامه می‌یابد تا سنگ به صورت خرده‌سنگ از گلوگاه خارج شود.

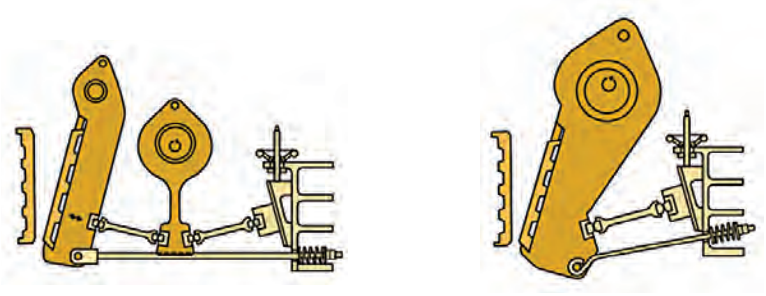
حرکت فک متحرک به روش‌های مختلفی از طریق یک شافت خارج از مرکز، که توسط تسمه و پولی به موتور وصل شده است، ایجاد می‌شود.



(۱) (۲) (۳)

شکل ۱۷ــ مراحل خردایش سنگ در سنگ‌شکن فکی

برای به حرکت درآوردن فک متحرک از دو سیستم اصلی «بازوی ساده» و «بازوی مضاعف» استفاده می‌شود. برای ایجاد حرکت یکنواخت‌تر فک متحرک، از چرخ طیار استفاده می‌کنند.



الف) بازوی ساده ب) بازوی مضاعف

شکل ۱۸

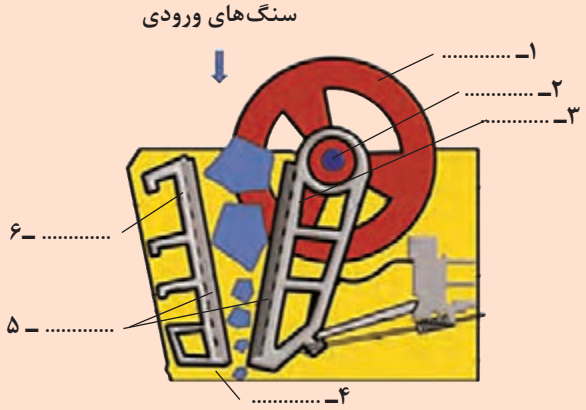
این حرکت ممکن است یک حرکت سادهٔ نوسانی حول یک محور ثابت یا حرکت‌های پیچیده‌تر باشد. فک متحرک با فک ثابت زاویهٔ حاده‌ای می‌سازد که فاصلهٔ بین آنها در حین کار دستگاه کم و زیاد می‌شود.

نکته

هدف اصلی در طراحی سنگ‌شکن فکی به‌کار بردن بیشترین نیرو در فاصلهٔ بین دو فک برای خردکردن مواد است. اِعمال نیرو در سنگ‌شکن با بازوی مضاعف بیشتر از نوع ساده است، بنابراین سنگ‌شکن فکی با بازوی مضاعف برای خردایش سنگ‌های سخت و سنگین‌تر به‌کار گرفته می‌شود.

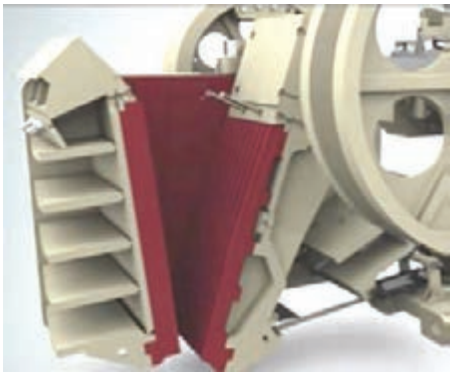
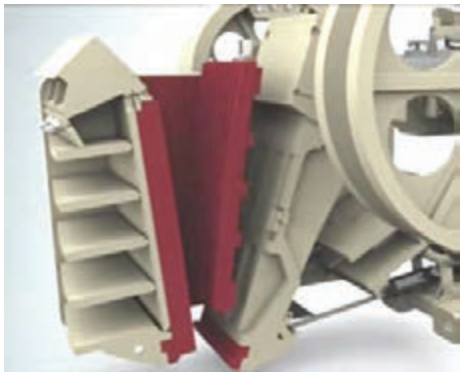
فعالیت کلاسی

در شکل زیر اجزای سنگ‌شکن فکی را مشخص کنید:



شکل ۱۹ـ اجزای سنگ‌شکن فکی

فک‌ها در سنگ‌شکن فکی از دولایه تشکیل می‌شوند که لایهٔ فوقانی (زره) از جنس فولاد سخت بوده و در صورت فرسایش، با صفحه‌ای جدید تعویض می‌شود. این کار معمولاً توسط کاربر (اپراتور) سنگ‌شکن با خاموش کردن دستگاه و باز کردن پیچ‌های اتصال بین دو لایه انجام می‌پذیرد.

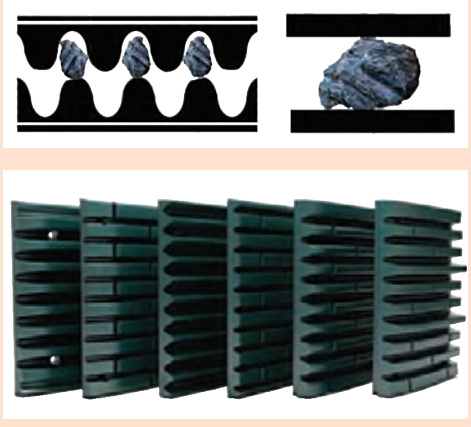
شکل ۲۰ــ تعویض زرهٔ سنگ‌شکن فکی

نکات ایمنی

هنگام تعویض زره فک‌ها علاوه بر خاموش کردن دستگاه، جریان برق نیز باید قطع شود.

فکر کنید

با توجه به شکل زیر دلیل موج‌دار یا پله‌دار کردن زره فک‌ها در این نوع سنگ‌شکن چیست؟



شکل ۲۱ــ انواع زره مخصوص سنگ‌شکن فکی

فعالیت کارگاهی

کار عملی۱: خرد کردن مادهٔ اولیه سخت با سنگ‌شکن فکی و تعیین دانه‌بندی آن

مواد و ابزار: مادهٔ اولیهٔ سخت مانند کوارتز، فلدسپات به مقدار ۴۰۰۰ گرم، سطل پلاستیکی با اندازهٔ متوسط، سنگ‌شکن فکی، الک درشت (با مش کم مانند مش ۵) و ترازو.

شرح فعالیت:

۱ ۴۰۰۰ گرم از مواد اولیه را با ترازو وزن کنید.

۲ مادهٔ اولیه را با توجه به اندازهٔ ورودی دستگاه سنگ‌شکن، داخل دستگاه بریزید (در صورت درشت بودن ابعاد مواد اولیه می‌توانید پیش خردایش را با پتک انجام دهید).

۳ مادهٔ خرد شده را بعد از انجام عملیات خردایش از الک عبور دهید و دانه‌بندی آن را بررسی کنید.

نکات ایمنی

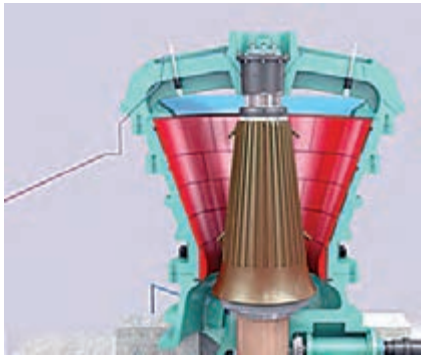
ـ مراقب گیر کردن احتمالی دست و لباس خود به اجزای دستگاه سنگ‌شکن باشید.
ـ مراقب خطرات احتمالی ناشی از برق‌گرفتگی باشید.
ـ به منظور جلوگیری از آلودگی ناشی از گردوغبار و صدای بالا در محیط، هنگام کار با دستگاه حتماً از ماسک و محافظ گوش استفاده کنید.
ـ از شوخی‌هایی مانند هل دادن هم‌کلاسی‌های خود به‌سمت دستگاه جداً خودداری کنید.
ـ از بلند کردن بارهای سنگین به تنهایی خودداری کنید.

۲ـ سنگ‌شکن چرخشی:

سنگ‌شکن نوع چرخشی یا ژیراتوری[1] نیز مانند نوع فکی برای مرحلهٔ اول خردایش به کار می‌رود. این نوع سنگ‌شکن معمولاً از یک بدنهٔ ثابت مخروطی‌شکل (جام) و یک هستهٔ میانی تشکیل شده است.
هستهٔ میانی نیز مخروطی‌شکل بوده که درون مخروط ثابت بیرونی معلق است و حرکت چرخشی دارد و از لحاظ عملکرد در مجموع مانند سنگ‌شکن فکی با اعمال فشار بر سنگ عمل می‌کند.

تحقیق کنید

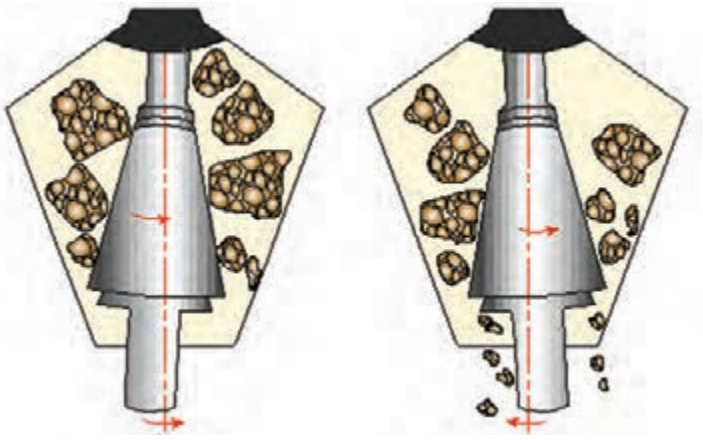
چرا سنگ‌شکن چرخشی (ژیراتوری) در خردایش مواد اولیهٔ حجیم بسیار مرسوم است؟



شکل ۲۲ـ سنگ‌شکن چرخشی (ژیراتوری)

1- Gyratory Crusher

در این نوع سنگ‌شکن مخروط مرکزی، حول محوری زاویه‌دار نسبت به خط عمود می‌چرخد. در حین چرخش، در یک‌طرف با نزدیک شدن به مخروط بیرونی موجب اعمال فشار و خردایش سنگ در فاصلهٔ بین بدنهٔ ثابت و هستهٔ متحرک می‌شود و هم زمان در قسمت مقابل، با دور شدن از مخروط بیرونی، فاصلهٔ بین بدنهٔ ثابت و هستهٔ متحرک زیاد می‌شود و مواد در آن قسمت به‌تدریج به قسمت پایین‌تر حرکت می‌کنند. بدین ترتیب عمل سنگ‌شکنی به‌طور دائم انجام می‌گیرد.



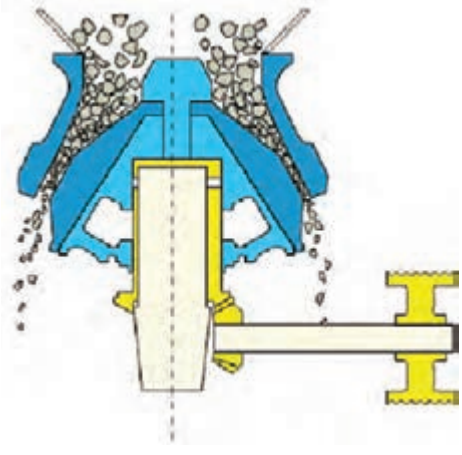
شکل ۲۳ـ حرکت چرخشی سنگ‌شکن چرخشی

نکته

کلیهٔ قطعات اصلی دستگاه، که با سنگ در تماس مستقیم هستند، از فولاد سخت ساخته شده‌اند و به‌همین دلیل مقاومت بسیار بالایی در برابر سایش دارند.

۳ـ سنگ‌شکن مخروطی[1]

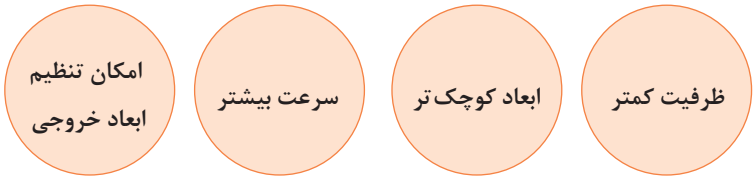
از این نوع سنگ‌شکن برای مرحلهٔ دوم خردایش استفاده می‌شود که به نام «هیدروکن»[2] نیز معروف است و تا حدودی مشابه سنگ‌شکن نوع چرخشی است.



شکل ۲۴ـ سنگ‌شکن مخروطی

1- Cone Crusher
2- Hydrocone

ویژگی‌های سنگ‌شکن مخروطی در مقایسه با چرخشی (ژیراتوری):



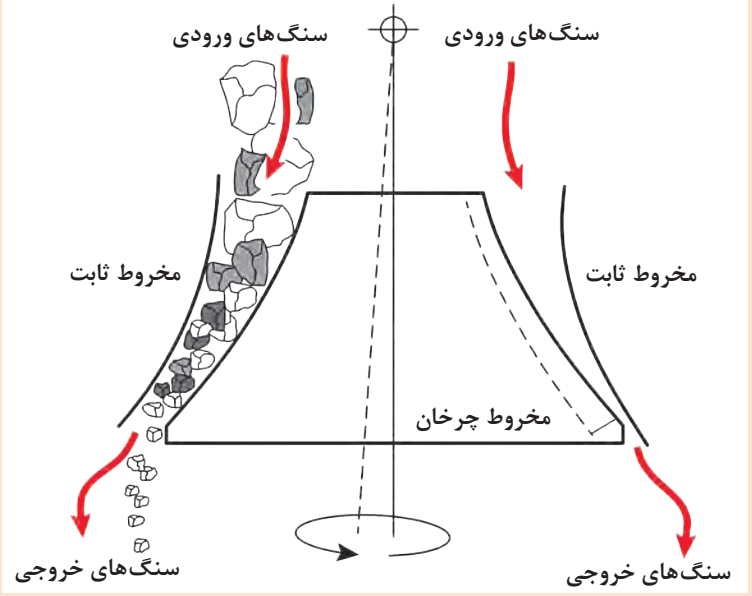
نمودار ۲

با ریختن سنگ به داخل سنگ‌شکن از قسمت بالا، سنگ بین مخروطی و دیواره فشرده شده و از قسمت پایین خارج می‌شود. سنگ‌های ورودی بین مخروطی ثابت و چرخان قرار می‌گیرند.
دهانهٔ خروجی از طریق بالا و پایین کردن مخروطی ثابت قابل‌تنظیم است که امکان خرد کردن را در اندازه‌های مختلف فراهم می‌کند.

شکل ۲۵ـ خردایش در سنگ‌شکن مخروطی

گفت‌وگو کنید

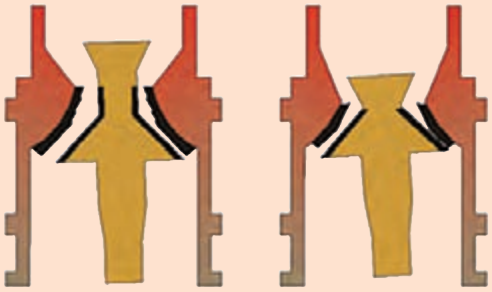
با توجه به شکل (۲۶) در مورد عملکرد سنگ‌شکن مخروطی گفت‌وگو کنید.



شکل ۲۶ـ سنگ‌شکن مخروطی

بیشتر بدانید

معمولاً در خردایش مرحلهٔ دوم از سنگ‌شکن مخروطی نوع استاندارد استفاده می‌کنند و در خردایش مرحلهٔ سوم از نوعِ با کلاهک کوتاه.



شکل ۲۷ – انواع سنگ‌شکن مخروطی

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: خرد کردن مادهٔ اولیه سخت با سنگ‌شکن مخروطی و تعیین دانه‌بندی آن

مواد و ابزار: ماده اولیهٔ سخت مانند کوارتز، فلدسپات به مقدار ۴۰۰۰ گرم، سطل پلاستیکی با اندازهٔ متوسط، سنگ‌شکن مخروطی، الک درشت (با مش کم مانند مش ۵) و ترازو.

شرح فعالیت:

۱ ۴۰۰۰ گرم از مواد اولیه را با ترازو وزن کنید.

۲ مادهٔ اولیه را با توجه به اندازهٔ ورودی دستگاه سنگ‌شکن داخل دستگاه بریزید. (در صورت درشت بودن ابعاد مواد اولیه پیش خردایش را با پتک انجام دهید.)

۳ مادهٔ خرد شده را بعد از انجام عملیات خردایش از الک عبور دهید و دانه‌بندی آن را بررسی کنید.

نکات ایمنی

ـ مراقب گیر کردن احتمالی دست و لباس خود به اجزای دستگاه سنگ‌شکن باشید.

ـ مراقب خطرات احتمالی ناشی از برق‌گرفتگی باشید.

ـ به منظور جلوگیری از آلودگی ناشی از گردوغبار و صدای بالا، در زمان کار با دستگاه، حتماً از ماسک و محافظ گوش استفاده کنید.

ـ از شوخی‌های بی‌مورد مانند هل دادن هم‌کلاسی‌های خود به‌سمت دستگاه یا پرتاب قطعات سنگ جداً خودداری کنید.

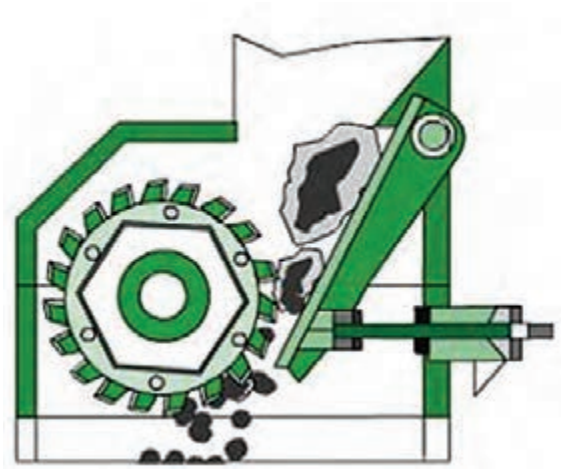
ـ از بلند کردن بارهای سنگین به تنهایی خودداری کنید.

۴ـ سنگ‌شکن استوانه‌ای:

در شکل (۲۸) سنگ‌شکن استوانه‌ای (غلتکی) [1] نشان داده شده است. عملیات خردایش در این نوع سنگ‌شکن به کمک یک یا دو استوانهٔ سنگین با سطح صاف یا آج‌دار صورت می‌گیرد.

1- Roll Crusher

ب) دوغلتکی



الف) تک غلتکی

شکل ۲۸ـ نمای سنگ‌شکن استوانه‌ای (غلتکی)

نکته

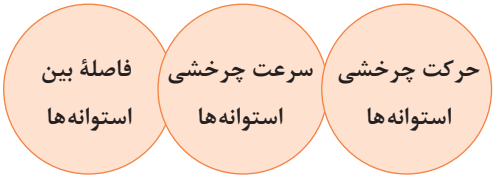
اصطکاک بین استوانه و سنگ‌ها اساس کار در سنگ‌شکن غلتکی است که با ایجاد فشار باعث خردایش سنگ‌ها می‌شود.

ب)

الف)

شکل ۲۹ـ سنگ‌شکن الف) تک‌غلتکی ب) دوغلتکی

عوامل مؤثر در فرایند خردایش با سنگ‌شکن غلتکی عبارت‌اند از:



نمودار ۳

نکته

حرکت چرخشی استوانه‌های روبه‌رو با سرعت چرخشی مساوی یا نزدیک به هم بوده و فاصلهٔ بین استوانه‌ها قابل تنظیم است.

شکل ۳۰ـ جهت چرخش استوانه‌ها در سنگ‌شکن غلتکی

شکل ۳۱ـ سنگ‌شکن غلتکی آزمایشگاهی

فکر کنید

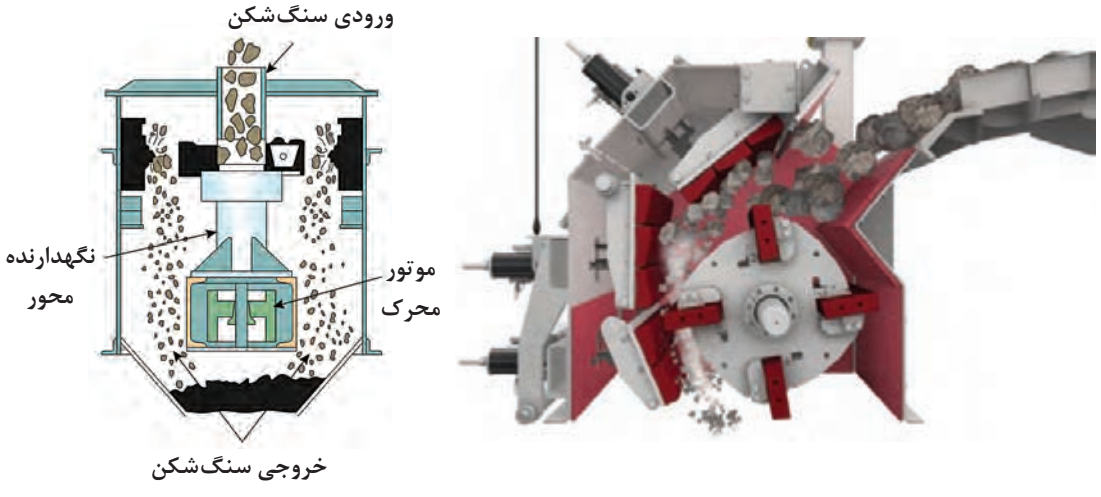
در سنگ‌شکن غلتکی اندازهٔ مواد خردشده چگونه تعیین می‌شود؟

۵ـ سنگ‌شکن‌های پرتابی:

این نوع سنگ‌شکن با اعمال ضربه منجر به شکست و خرد شدن سنگ می‌شود. سنگ‌شکن پرتابی از یک روتور دارای تعدادی پره تشکیل شده است که با سرعت بالا می‌چرخد. نقش پره‌ها پرتاب کردن قطعات ورودی

(سنگ و مواد معدنی) به‌طرف جدارهٔ داخلی سنگ‌شکن است. بر روی جدارهٔ داخلی سنگ‌شکن تعدادی صفحه با لایهٔ زرهی از جنس آلیاژهای ضدسایش وجود دارد که نقش آنها به‌عنوان مانع بوده و باعث خرد شدن قطعات پرتابی در اثر برخورد شدید با آنها می‌شود.

سنگ‌شکن پرتابی در دو نوع با محور (شافت) افقی یا عمودی وجود دارد.



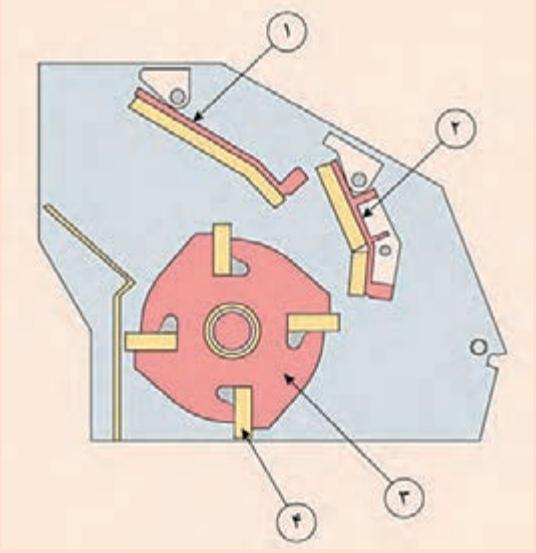
الف) با محور افقی

ب) با محور عمودی

شکل ۳۲ـ سنگ‌شکن نوع پرتابی

فعالیت کلاسی

هریک از اجزای نام برده شده مربوط به کدام شماره در شکل زیر است؟



روتور: .....

پره: .....

مانع: .....

شکل ۳۳

سنگ‌شکن چکشی

این نوع سنگ‌شکن نیز با اعمال ضربه منجر به شکست و خرد شدن سنگ می‌شود. این سنگ‌شکن از یک روتور، که دارای تعدادی چکش است، تشکیل شده که با سرعت بالا می‌چرخد. نقش چکش‌ها ضربه زدن به سنگ‌ها یا مواد معدنی و خرد کردن آنهاست.

شکل ۳۴ـ سنگ‌شکن چکشی

فعالیت کلاسی

کدام‌یک از موارد زیر در هر یک از سنگ‌شکن‌های چکشی و پرتابی تحت فرسایش هستند و به بازرسی و تعویض نیاز دارند؟

جدول ۲

نوع سنگ‌شکن	چکش	زره
سنگ‌شکن چکشی		
سنگ‌شکن پرتابی		

انتخاب روش خردایش

چه دلایلی برای تنوع در طراحی و ساخت انواع سنگ‌شکن‌ها وجود دارد؟

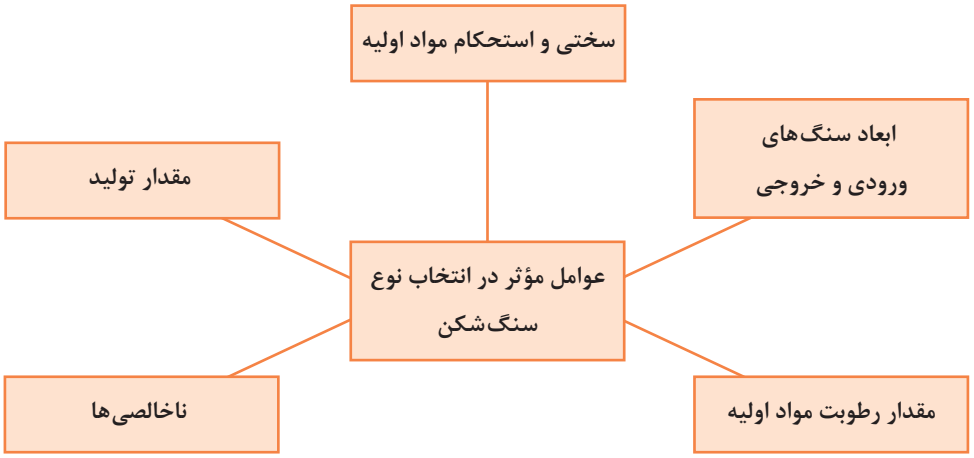
به تصاویر شکل (۳۵) توجه کنید و به سؤالات زیر پاسخ دهید.

ـ آیا برای خردکردن انواع موادغذایی در منزل از یک نوع خردکن استفاده می‌شود؟

ـ در انتخاب نوع خردکننده چه عواملی باید درنظر گرفته شود؟

شکل ۳۵

انواع سنگ‌شکن‌ها وظیفهٔ یکسانی دارند، ولی با توجه به شرایط نوع خاصی از سنگ‌شکن انتخاب می‌شود. عوامل مؤثر در انتخاب نوع سنگ‌شکن عبارت‌اند از:



نمودار ۳

نکته

با توجه به ویژگی‌های مواد اولیه، در فرایند خردایش آنها تفاوت وجود دارد.
مثلاً سختی مواد اولیه در میزان سایش و استهلاک تجهیزات خردایش مؤثر است و در طراحی و انتخاب ماشین‌آلات خردایش باید مدنظر قرار گیرد.

انتخاب نوع سنگ‌شکن با توجه به سختی مواد:

ـ **سنگ سخت**: از سنگ‌شکن با دور کم مانند فکی و چرخشی، که در آنها عامل فشار باعث خرد شدن است، استفاده می‌شود.

ـ **سنگ نیمه سخت**: معمولاً از سنگ‌شکن ضربه‌ای و چکشی استفاده می‌شود.

نکته

اتلاف انرژی در فرایند خردایش اغلب به صورت انرژی گرمایی و انرژی صوتی است.
سنگ‌شکن‌ها عموماً در عمق زمین قرار داده می‌شوند تا از آلودگی صوتی آنها کاسته شود.
عمر ماشین‌آلات خردایش به درجهٔ سختی مواد و جنس اجزای آنها وابسته است.

خردایش مرحلهٔ اول: تبدیل ذرات حجیم به ابعاد تقریباً بیشتر از ۸۰ میلی‌متر:

- سنگ شکن چرخشی (خروجی ۸۰ تا ۲۲۰ میلی‌متر)
- سنگ‌شکن فکی (خروجی ۸۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر)

خردایش مرحلهٔ دوم: کاهش ابعاد تا حدود ۳۰ تا ۶۰ میلی‌متر:

- سنگ‌شکن چکشی
- سنگ‌شکن مخروطی

خردایش مرحلهٔ سوم: کاهش ابعاد تا کوچک‌تر از ۲۰ میلی‌متر:

- سنگ‌شکن مخروطی
- سنگ‌شکن ضربه‌ای
- سنگ‌شکن غلتکی: تبدیل ذرات کمی بزرگ‌تر به حداکثر ذرات یک میلی‌متری

نکته

در خردایش مرحلهٔ اول درصورت نرم بودن سنگ‌ها، گاهی سنگ‌شکن ضربه‌ای نیز استفاده می‌شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: خرد کردن مادهٔ اولیه با درجهٔ سختی مختلف و تعیین دانه‌بندی آنها

مواد و ابزار: مادهٔ اولیه با سختی متفاوت مانند فلدسپات و کلوخه‌های گِل رس از هرکدام به مقدار ۴۰۰۰ گرم، دو عدد سطل پلاستیکی با اندازهٔ متوسط، سنگ‌شکن فکی، چکشی و یا هرنوع دیگر، الک درشت (با مش کم مانند مش ۵) و ترازو.

شرح فعالیت:

۱ ۴۰۰۰ گرم از هر کدام از مواد اولیه را با ترازو وزن کنید.

نکته: در خردایش هر دو نوع مادهٔ اولیه، زمان مورد نیاز برای خردکردن هر کدام را یادداشت کنید.

۲ هرکدام از مواد اولیه را، جداگانه با توجه به اندازهٔ ورودی دستگاه سنگ‌شکن، داخل دستگاه بریزید (درصورت درشت بودن ابعاد مواد اولیه پیش خردایش را با پتک انجام دهید).

۳ مواد خرد شده را بعد از انجام عملیات خردایش از الک عبور دهید و دانه‌بندی آنها را بررسی کنید.

۴ در کدام نوع مادهٔ اولیه خردایش آسان‌تر انجام گرفت؟

۵ دانه‌بندی دو نوع ماده را پس از انجام خردایش با هم مقایسه کنید.

نکات ایمنی

ـ مراقب گیرکردن احتمالی دست و لباس خود به اجزای دستگاه سنگ‌شکن باشید.
ـ مراقب خطرات احتمالی ناشی از برق‌گرفتگی باشید.
ـ به‌منظور جلوگیری از آلودگی ناشی از گردوغبار و صدای بالا در محیط، هنگام کار با دستگاه حتماً از ماسک و محافظ گوش استفاده کنید.
ـ از شوخی‌هایی مانند هل دادن هم‌کلاسی‌های خود به سمت دستگاه و پرتاب قطعات سنگ خودداری کنید.
ـ از بلند کردن بارهای سنگین به تنهایی خودداری کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی۴: خرد کردن مواد اولیهٔ مختلف با مقدار رطوبت متفاوت و تعیین دانه‌بندی آنها

مواد و ابزار: مواد اولیه با درصد رطوبت متفاوت از هرکدام به مقدار ۴۰۰۰ گرم، دو عدد سطل پلاستیکی با اندازهٔ متوسط، سنگ‌شکن فکی، چکشی و یا هر نوع دیگر، الک درشت (با مش کم مانند مش ۵) و ترازو.

شرح فعالیت:

۱ ۴۰۰۰ گرم از هر کدام از مواد اولیه را با ترازو وزن کنید.

نکته: در خردایش هر دو نوع مادهٔ اولیه، زمان مورد نیاز برای خردکردن هرکدام را یادداشت کنید.

۲ هرکدام از مواد اولیه را جداگانه با توجه به اندازهٔ ورودی دستگاه سنگ‌شکن داخل دستگاه بریزید. (در صورت درشت بودن ابعاد مواد اولیه پیش خردایش را با پتک انجام دهید)

۳ بعد از انجام عملیات خردایش، مواد خرد شده را از الک عبور دهید و دانه‌بندی آنها را بررسی کنید.

۴ خردایش مادهٔ اولیه با درصد رطوبت بالا راحت‌تر انجام گرفت یا با درصد رطوبت کمتر؟

۵ دانه‌بندی دو نوع ماده را پس از انجام خردایش با هم مقایسه کنید.

نکات ایمنی

ـ مراقب گیر کردن احتمالی دست و لباس خود به اجزای دستگاه سنگ‌شکن باشید.
ـ مراقب خطرات احتمالی ناشی از برق‌گرفتگی باشید.
ـ به منظور جلوگیری از آلودگی ناشی از گردوغبار و صدای بالا در محیط، هنگام کار با دستگاه حتماً از ماسک و محافظ گوش استفاده کنید.
ـ از شوخی‌هایی مانند هل دادن هم‌کلاسی‌های خود به سمت دستگاه و پرتاب قطعات سنگ جداً خودداری کنید.
ـ از بلند کردن بارهای سنگین به تنهایی خودداری کنید.

جدول ۳ ـ مقایسهٔ مزایا و معایب سنگ‌شکن‌های ضربه‌ای و فشاری

	سنگ‌شکن ضربه‌ای	سنگ‌شکن فشاری
مزایا	- قیمت کم - مصرف انرژی کم	- فرسایش کم و تعویض دیرهنگام قطعات - کنترل‌پذیری ابعاد خروجی - ورود ناخالصی‌های کمتر (حاصل از فرسایش قطعات) به مواد
معایب	- فرسایش زیاد و نیاز به تعویض زودهنگام قطعات - تولید ذرات خیلی ریز در خردایش مواد نرم و عدم‌کنترل ابعاد - تولید غبار و آلودگی زیاد	- قیمت بالا - مصرف انرژی زیاد

فعالیت کلاسی

جدول زیر را کامل کنید:

جدول ۴

سنگ‌شکن	عوامل مؤثر و نوع (فشاری یا ضربه‌ای)	تصاویر
فکی		
چرخشی		
مخروطی		
پرتابی		
چکشی		
استوانه‌ای (غلتکی)		

بازدید گروهی از بخش خردایش صنایع

نکات ایمنی

موارد تهدیدکننده در واحد خردایش عبارت‌اند از:

ـ خطر تجهیزات مکانیکی: خردشدن انگشت و دست، گیر کردن لباس به چرخ‌دنده و تسمه‌ها، امکان پرت شدن سنگ و ابزارآلات.

ـ خطر تجهیزات برقی: تابلوی برق فشار قوی، کابل‌ها و مانند آن.

ـ خطر تجهیزات مرتبط: نوار نقاله (سقوط سنگ)، سقوط از نردبان‌ها و سکوها، برخورد با ماشین‌آلات سنگین حمل سنگ، انفجار کپسول‌های اطراف.

ـ آلودگی محیطی: استنشاق غبارها و آلودگی‌های معدنی.

ـ آلودگی صوتی: ناشی از فرایند خردایش سنگ‌ها، حرکت سرند و دیگر تجهیزات خردکن.

ـ خطرات ارگونومیکی: بلند کردن بار سنگین و به صورت غیراستاندارد.

شکل ۳۶

ارزشیابی نهایی شایستگی خردایش

شرح کار:
۱ـ انتخاب دستگاه خردایش مناسب؛
۲ـ تنظیم پارامترهای دستگاه و راه‌اندازی آن؛
۳ـ دانه‌بندی مواد ورودی و خردایش آن؛
۴ـ دانه‌بندی مواد خروجی از سنگ‌شکن.

استاندارد عملکرد:
خردایش مواد اولیه بر اساس ابعاد، میزان سختی و توجه به جدول توزیع دانه‌بندی.

شاخص‌ها:
انتخاب دستگاه سنگ‌شکن بر اساس نوع مواد اولیه؛
دانه‌بندی مناسب؛
کنترل دانه‌بندی با استاندارد.

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی، سیستم تهویه و نورکافی.
ابزار و تجهیزات: انواع دستگاه سنگ‌شکن (فکی، غلتکی، ضربه‌ای)، انواع سرند، ظروف نگه‌داری مواد (انواع کیسه، سطل)، ابزار کنترل اندازه و دانه‌بندی (متر، خط‌کش و کولیس)، انواع خردکن دستی مانند پتک و چکش

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	انتخاب دستگاه خردایش	۲	
۲	خردکردن مواد اولیه	۲	
۳	دانه‌بندی مواد ورودی و خروجی	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۲

آسیاب کردن

امروزه در صنعت تنها با خُردایش به روش سنگ‌شکنی، نمی‌توان به دانه‌بندی مطلوب دست یافت. بنابراین لازم است برای تکمیل فرایند ریزکردن مواد اولیّهٔ سرامیکی از آسیاب‌کردن بهره جست. در گذشته‌های دور آسیاب کردن مواد به وسیلهٔ ابزار سادهٔ اولیه انجام می‌پذیرفت، ولی امروزه از آسیاب‌های صنعتی متنوعی استفاده می‌شود.

واحد یادگیری ۲

شایستگی آسیاب کردن

آیا تا به حال پی برده‌اید

۱ مواد اولیه پس از خردایش برای تولید بدنهٔ سرامیکی باید به ابعاد مناسب‌تری تبدیل شوند؟
۲ از چه تجهیزاتی برای آسیاب کردن مواد گوناگون در صنعت استفاده می‌شود؟
۳ به چه روش‌هایی آسیاب کردن مواد اولیه سرامیکی امکان‌پذیر است؟

هدف از این شایستگی فراگیری مفاهیم آسیاب کردن به‌روش تر و خشک است. هنرجو در این واحد یادگیری انواع روش‌ها و تجهیزات آسیاب کردن مواد را می‌آموزد و در ادامه، مهارت انتخاب، انجام محاسبات و اجرای عملیات آسیاب کردن مواد را با استفاده از آسیاب تر و خشک در مقیاس کارگاهی و آزمایشگاهی کسب می‌کند.

استانداردعملکرد

آسیاب کردن مواد اولیه مطابق با میزان سختی، اندازهٔ دانهٔ مواد ورودی، توزیع سایزبندی گلوله‌های بال‌میل و جدول‌توزیع دانه‌بندی مواد خروجی.

آسیاب کردن مواد اولیه چه اهمیتی دارد؟

به نظر شما اولین ابزار آسیاب کردن مواد که بشر استفاده کرده است چه بوده است؟

شکل ۱ـ آسیاب بشقابی (دستاس)

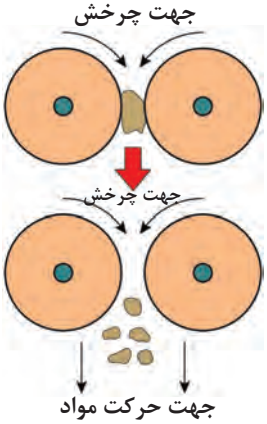
آسیاب کردن برای دستیابی به ذراتی با اندازه‌های میکرونی و همچنین برای موادی که در مراحل بعدی تولید یا فروش باید ابعاد ریز داشته باشند انجام می‌پذیرد. در این فرایند، ذرات در بین دو سطح ساینده قرار گرفته و ریز می‌شوند. در شکل (۲) یک نوع مادهٔ اولیّه با اندازهٔ ذرات مختلف نشان داده شده است. در این شکل تصاویر (پ) و (ت) مواد اولیه را پس از آسیاب کردن نشان می‌دهد.

الف) ب) پ) ت)

شکل ۲ـ یک نوع مادهٔ اولیّه با اندازهٔ ذرات مختلف

گفت‌وگو کنید

در مورد اهمیت ریزکردن ذرات مواد در فرایند تولید با هم‌کلاسی‌های خود گفت‌وگو کنید.



شکل ۳ـ آسیاب کردن

عمل ریزکردن مواد در دستگاه‌هایی به نام «آسیاب»[1] انجام می‌شود. محصول به دست آمده از سنگ‌شکن‌ها، پس ازکنترل دانه‌بندی توسط سرندها، به آسیاب‌ها وارد و تا حد مطلوب ریز می‌شود.

1- Mill

فعالیت کلاسی

با کدام‌یک از موارد شکل (۴) می‌توان راحت‌تر یک ظرف استوانه‌ای ساخت؟ چرا؟

الف)　　ب)　　پ)

شکل ۴

آسیاب‌ها چه ماشین‌هایی هستند؟

آسیاب‌ها تجهیزاتی هستند که وظیفهٔ ریزکردن مواد را برعهده دارند. آسیاب‌ها با کمک یک یا ترکیبی از نیروهای نشان داده شده در نمودار (۱)، موجب سایش و ریز شدن مواد می‌شوند.

نمودار ۱ــ نیروهای مؤثر در آسیاب کردن

گفت‌وگو کنید

با هم‌کلاسی‌های خود دربارهٔ انواع آسیاب‌هایی که تاکنون مشاهده کرده‌اید، گفت‌وگو کنید.

فعالیت کلاسی

عامل مؤثر در آسیاب کردن را در هر یک از شکل‌های زیر بنویسید.

.....

.....

.....

آسیاب‌ها انواع مختلفی دارند که تعدادی از آنها در شکل (۵) نشان داده شده است.

الف) آسیاب غلتکی

ب) آسیاب لرزشی

پ) آسیاب چکشی

ت) آسیاب گردان

ث) آسیاب بشقابی

ج) هاون

شکل ۵ـ برخی از انواع آسیاب

فعالیت کلاسی

با توجه به انواع آسیاب‌های معرفی شده در شکل (۵)، نوع هر یک از آسیاب‌های صفحه بعد را با توجه به مشخصات ظاهری آن بنویسید.

.....

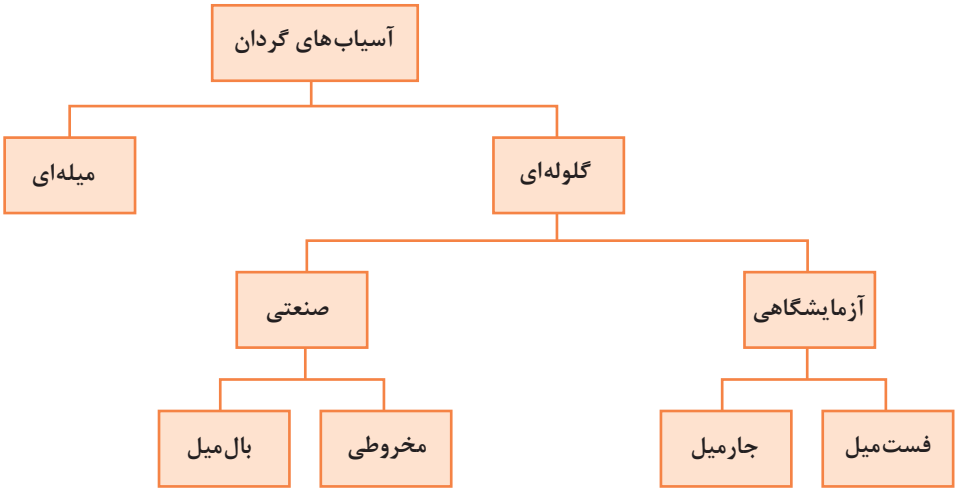
.....

.....

.....

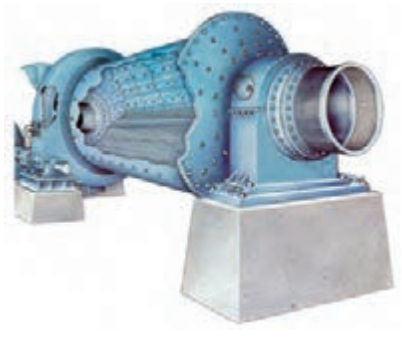
آسیاب‌های گردان

آسیاب‌هایی که به شکل استوانه یا مخروط ناقص حول محور افقی می‌چرخند «آسیاب گردان» نام دارند. در صنایع سرامیک، از این آسیاب‌ها برای ریزکردن مواد سخت و نیمه‌سخت استفاده می‌شود. همچنین از آسیاب‌های گردان در کارخانه‌های تولید مواد شیمیایی، فراوری مواد معدنی، هسته‌ای و صنایع متالورژی استفاده می‌شود. ذرات مواد در اثر گردش استوانه و عملکرد عوامل مؤثر بر آسیاب کردن، به‌کمک اجزای خردکننده (گلوله‌ها) و پوشش داخلی آسیاب ریز می‌شوند.



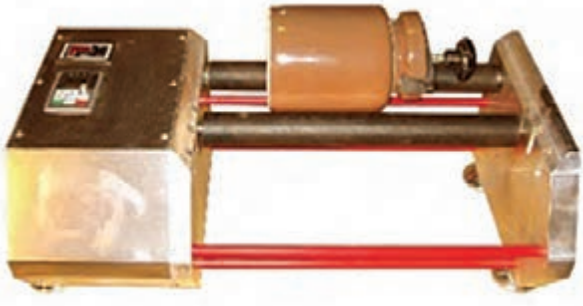
نمودار ۲ــ دسته‌بندی آسیاب‌های گردان

بال‌میل[1]



آسیاب میله‌ای[2]

آسیاب مخروطی[3]



جارمیل[4]

فست میل[5]

شکل ۶ـ چند نوع آسیاب گردان

آسیاب گلوله‌ای (بال‌میل)

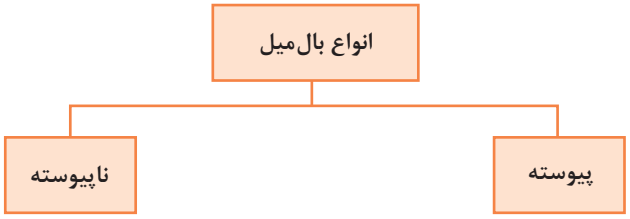
شکل ۷ـ بال‌میل

1- Ball Mill
2- Rod Mill
3- Conical Mill
4- Jar Mill
5- Fast Mill

تحقیق کنید

علت نام‌گذاری بال‌میل به این نام چه بوده است؟

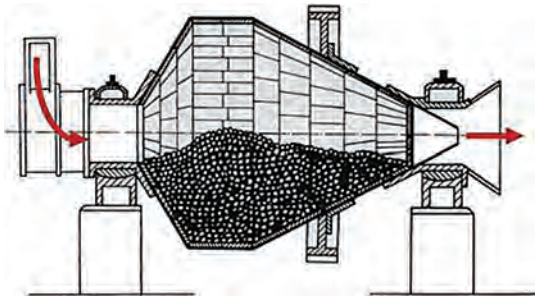
آسیاب گلوله‌ای (بال‌میل) از یک استوانه تشکیل شده است که در برخی موارد طول آن تقریباً برابر قطرش است. داخل آنها گلوله‌هایی کروی وجود دارد که وظیفهٔ آنها ساییدن ذرات مواد است. گلوله‌هایی که در آسیاب‌ها به کار می‌روند از مواد مقاوم در برابر سایش انتخاب می‌شوند.



نمودار ۳ــ انواع بال‌میل بر اساس نحوهٔ ورود و خروج مواد

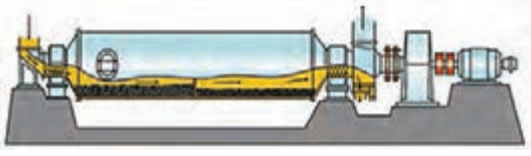
بال‌میل پیوسته[1]

مواد اولیه در بال‌میل‌های پیوسته به‌طور مداوم از یک سمت وارد بال‌میل شده و پس از ساییده شدن از طرف دیگر بال‌میل خارج می‌شوند. به همین علت نیازی به متوقف کردن بال‌میل برای بارگیری و تخلیه کردن آن نیست.



شکل ۸ــ بال‌میل پیوستهٔ یک بخشی

بال‌میل مخروطی برای بارگیری گلوله‌ها متوقف نمی‌شود و گلوله‌ها همراه مواد اولیه بارگیری می‌شوند. در شکل‌های (۸) و (۹) نمونه‌هایی از بال‌میل پیوسته مشاهده می‌شود.



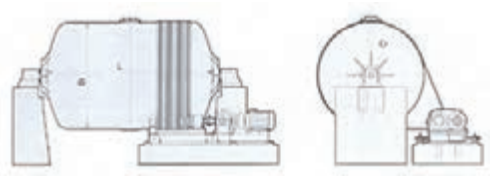
شکل ۹- بال‌میل پیوستهٔ دو بخشی

1- Continuous Ball Mill

در بال‌میل‌های طویل ۸۵ درصد از سایش مواد در ۱/۵ متر اول از طول آنها انجام می‌شود درحالی که در طول باقیمانده فقط ۱۵درصد سایش انجام می‌شود و این امر به‌دلیل آن است که در مرحلهٔ اول، اثر اصطکاک بر روی سنگ‌ها بیشتر است.

بال‌میل ناپیوسته[1]

نحوهٔ عملکرد بال‌میل‌های ناپیوسته به این صورت است که مواد اولیه را به همراه گلوله‌ها به صورت یک‌جا و به‌میزان ظرفیت بال‌میل درون آن بارگیری می‌کنند و تا زمان معینی تحت سایش قرار می‌دهند؛ سپس بال‌میل را متوقف می‌کنند و مواد ساییده شده تخلیه می‌شوند.



شکل ۱۰ـ بال‌میل ناپیوسته

در شکل زیر نمونه‌ای از بال‌میل ناپیوسته را مشاهده می‌کنید.

شکل ۱۱ـ بال‌میل ناپیوسته

فعالیت کلاسی

ویژگی‌های بال‌میل پیوسته و ناپیوسته را با هم مقایسه و جدول (۱) را تکمیل کنید.

جدول ۱

ویژگی	بال‌میل پیوسته	بال‌میل ناپیوسته
کمیت و کیفیت تولید	بیشتر	کمتر
هزینهٔ تولید		
فضای موردنیاز		
خودکار بودن فرایند		
نیاز به نیروی انسانی		
میزان مصرف انرژی		

1- Discontinuous Ball Mill

در آزمایشگاه‌ها برای بررسی و تحقیق بر روی انواع مواد اولیه، از آسیاب‌های آزمایشگاهی مانند جارمیل استفاده می‌شود. جنس جارمیل‌ها از پرسلانِ[1] سخت و تفلون است. مواد اولیه در این جارمیل‌ها ریخته می‌شوند و گلوله‌های سرامیکی در ابعاد و تعداد مناسب افزوده شده و درِ آنها بسته می‌شود. سپس به‌وسیلهٔ یک موتور الکتریکی به‌صورت دَوَرانی به حرکت درمی‌آید و پس از مدتی مواد را ریز می‌کند. مدت چرخش به دانه‌بندی موردنیاز بستگی دارد. هرچه زمان چرخش بیشتر شود، دانه‌ها به ذرات میکرونی کوچک‌تری تبدیل می‌شوند. در آزمایشگاه‌های صنایع سرامیک برای آسیاب کردن سریع مواد اولیه و تهیهٔ دوغاب از فست‌میل استفاده می‌شود.

جارمیل

فست میل

شکل ۱۲

ساختمان آسیاب گلوله‌ای

به جدارهٔ خارجی بال‌میل «بدنه» گفته می‌شود. بدنه از ورق فولادی به ضخامت ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر تشکیل شده است که به روش نورد کردن به شکل استوانه درمی‌آید و بر روی اسکلتی فولادی به نام «شاسی» نصب می‌شود.

شکل ۱۳ـ بدنهٔ بال‌میل

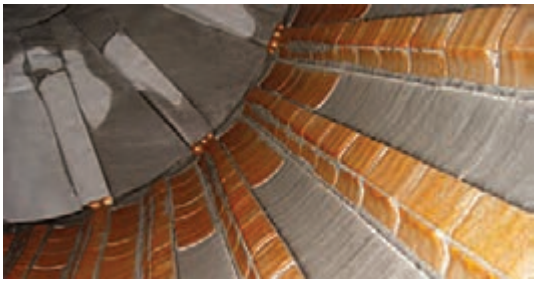
پوشش داخلی آسیاب‌ها (آستر)[2] از چیست و چه نقشی در عملکرد بال‌میل دارد؟

جدارهٔ داخلی آسیاب‌ها در معرض فرسایش شدید ناشی از اصطکاک و ضربهٔ میان مواد خردکننده و خردشونده

1- Porcelain

2- Lining

قرار دارد. در نتیجه لازم است سطح داخلی آسیاب‌های گردان با یک پوشش از جنس سخت و مقاوم در برابر سایش، فشار و ضربه محافظت شود.



شکل ۱۴ـ آستر بال‌میل

پوشش داخلی این آسیاب‌ها از جنس فلینت[1]، آلومینا[2]، چینی سخت[3]، سایلکس (نوعی سنگ سیلیسی است) یا لاستیک ضدسایش است. به استثنای آسیاب‌هایی که پوشش داخلی آنها از لاستیک است، بهتر است جنس گلوله‌ها با پوشش داخلی یکسان باشد تا جدارهٔ داخلی و گلوله‌ها کمتر دچار سایش شوند.

این پوشش‌ها از قطعات جداگانه‌ای تشکیل شده‌اند که بر روی جدارهٔ داخلی آسیاب متصل می‌شوند تا تعویض این پوشش‌ها در موقع لزوم با کمترین زمان و هزینهٔ ممکن قابل‌انجام باشد. نقش آستر در نمودار (۴) آورده شده است:

نمودار ۴ـ نقش آستر بال‌میل

شکل ۱۵ـ آستر داخلی بال‌میل

1- Flint
2- Alumina
3- Hard-paste Porcelain

انواع گلوله

گلوله‌هایی که در داخل آسیاب قرار دارند ذرات مواد را دربرگرفته و آنها را ریز می‌کنند. در آسیاب‌های گلوله‌ای از گلوله‌هایی از جنس فلینت، چینی سخت، آلومینا، استئاتیت[1] در اندازه‌های مختلف استفاده می‌شود.
در برخی از صنایع مانند سیمان، از گلوله‌های آهنی یا فولادی یا میله‌های فولادی با مقاطع دایره‌ای یا مربع نیز استفاده می‌شود.

الف) گلولهٔ سیلیکون کاربایدی

ب) گلولهٔ چینی

پ) گلولهٔ فلزی

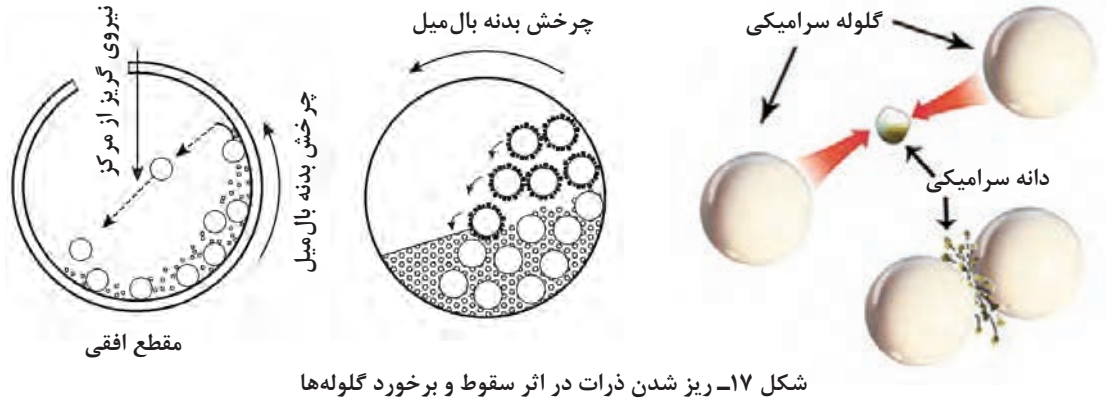
ت) گلولهٔ زیرکونیایی

ث) گلولهٔ استئاتیتی

ج) گلولهٔ فلینتی

شکل ۱۶ــ انواع گلوله‌های بال‌میل

گلوله‌ها در نتیجهٔ حرکت دورانی آسیاب و نیروی گریز از مرکز، همراه جداره بالا می‌روند. سپس بر اثر غلبهٔ نیروی وزن بر نیروی گریز از مرکز سقوط کرده و موجب ریزتر شدن ذرات می‌شوند.



شکل ۱۷ــ ریز شدن ذرات در اثر سقوط و برخورد گلوله‌ها

1- Steatite

فعالیت کلاسی

با توجه به ویژگی مواد ورودی و بال‌میل جدول زیر را کامل کنید.

جدول ۲

ویژگی	راهکار
بار ورودی درشت‌تر باشد.	قطر گلوله .....
مقدار بار ورودی بیشتر باشد.	تعداد گلوله و قطر بال‌میل .....
سختی مواد ورودی بیشتر باشد.	سختی گلوله‌ها .....

نکته

گردش گلوله‌ها در داخل آسیاب در خلاف جهت هم بوده و در نتیجه ذرات را به سمت یکدیگر هدایت می‌کنند. امروزه جهت دستیابی به مواد ریزتر و زمان سایش کمتر از گلوله‌هایی با اندازه‌های متنوع گاهی تا ۷ اندازه مختلف از ۱۳ میلی‌متر به بالا استفاده می‌شود.

سیستم تأمین و انتقال نیرو

گشتاور لازم برای دَوَران بال‌میل توسط یک موتور الکتریکی یا یک موتور دیزل تأمین می‌شود. موتور الکتریکی بال‌میل را به کمک سیستم انتقال نیروی چرخ‌دنده‌ای یا تسمه‌ای به‌حرکت درمی‌آورد.

چرخ دنده‌ای

تسمه‌ای

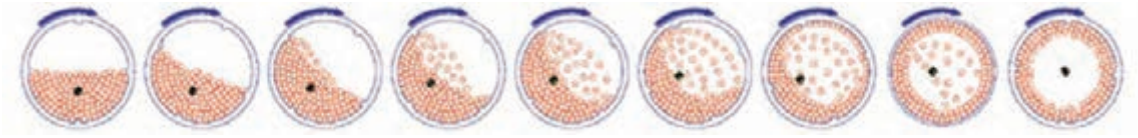
شکل ۱۸ـ انواع سیستم انتقال قدرت در بال‌میل

سرعت چرخش آسیاب

سرعت دَوَران آسیاب، بر عمل ریز کردن و همچنین مصرف انرژی تأثیر مستقیم دارد. سرعت چرخش آسیاب باید به‌گونه‌ای باشد که در آن گلوله‌ها بتوانند مقداری بالا رفته و سپس در اثر نیروی جاذبه مجدداً به سمت پایین روی یکدیگر بغلتند یا سقوط کنند.

جدول ۳

حرکت گلوله‌ها	مکانیسم آسیاب کردن مواد
غلتیدن گلوله‌ها بر روی یکدیگر	سایش
سقوط گلوله‌ها بر روی یکدیگر	ضربه



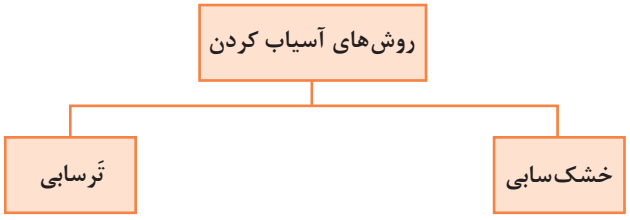
شکل ۱۹

اگر سرعت دَوَرانی آسیاب از یک حدی بیشتر شود، گلوله‌ها تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز، به جدارهٔ داخلی آسیاب می‌چسبند و عمل ریز کردن متوقف خواهد شد که به این سرعت، سرعت بحرانی گفته می‌شود. اگر سرعت آسیاب از سرعت بحرانی خیلی کمتر انتخاب شود، گلوله‌ها از ابتدا به طرف پایین سرازیر می‌شوند و ضربه به‌حداقل میزان خود می‌رسد و سایش به تنهایی، مکانیسم غالب خواهد بود. در حالی که در سرعت چرخش نزدیک به بحرانی، ضربه مکانیسم غالب در آسیاب کردن است.

آیا می‌دانید

آسیاب کردن در آماده‌سازی مواد اولیه، سهم قابل توجهی از میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد. طبق محاسبات انجام شده، بیش از ۵۰ درصد انرژی مرحلهٔ خردایش برای آسیاب کردن مصرف می‌شود.

آسیاب کردن مواد در صنعت به دو روش «خشک‌سابی» و «ترسابی» انجام می‌شود.



نمودار ۵

آسیاب کردن به روش خشک یا خشک‌سابی

در مواردی که مواد آسیاب‌شونده در آب محلول هستند یا در مواردی که لازم باشد بعد از آسیاب کردن، ذرات مواد خشک شوند، از آسیاب‌های خشک استفاده می‌شود. در ریز کردن مواد به روش خشک‌سابی،

مواد خشک مورد سایش قرار می‌گیرند. این روش دارای مشکلاتی همچون ایجاد گردوغبار، تفکیک مواد از گلوله‌ها، ظرفیت کم و مشکل تخلیهٔ آسیاب است. در عین حال در مناطقی که با مشکل کم آبی مواجه هستند روش مناسبی است.

آسیاب کردن به روش تر یا ترسابی

مواد در آسیاب کردن به روش ترسابی با حضور یک سیال به شکل دوغاب آسیاب می‌شوند.

نکته

بال‌میل‌ها معمولی‌ترین آسیاب‌هایی هستند که در هر دو روش ترسابی و خشک‌سابی استفاده می‌شوند.

در آسیاب‌هایی که به روش تر کار می‌کنند، مقدار آب قابل‌توجهی موردنیاز است. بدیهی است هر قدر ذرات ورودی درشت‌تر باشند، مقدار آب لازم کمتر خواهد بود. نقش اصلی آب، سیال کردن جریان مواد است. در نتیجه هرقدر ذرات ریزتر باشند، مقدار آب بیشتری موردنیاز خواهد بود تا مواد بتوانند راحت‌تر جریان پیدا کنند.

درصد جامد در دوغاب به صورت حجمی یا وزنی بیان می‌شود. برای مثال درصد جامد در بار آسیاب‌های تر ۵۰ تا ۸۰ درصد حجمی است و از معادلهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$X = \frac{\rho_2(\rho_1 - 1)}{\rho_1(\rho_2 - 1)} \times 100$$

که در آن

X = درصد مادهٔ جامد

ρ_1= چگالی دوغاب

ρ_2= چگالی مادهٔ معدنی (چگالی ماده خشک)

مثال:

اگر چگالی ماده‌ای $2/6 g/cm^3$ و چگالی دوغاب $1/5 g/cm^3$ باشد، درصد جامد را در دوغاب حساب کنید.

$$X = \frac{2/6(1/5 - 1)}{1/5(2/6 - 1)} \times 100 = \frac{1/3}{2/4} \times 100 = 54/16\%$$

نکته

در عمل جهت ایجاد سیالیت بیشتر و مصرف آب کمتر، متناسب با درصد مواد خشک موجود در دوغاب، مقداری روان‌ساز (کمتر از ۱ درصد) به ترکیب اضافه می‌شود.

مزایای آسیاب کردن به روش تر (ترسابی) در مقایسه با روش خشک (خشک‌سابی) عبارت‌اند از:

نمودار ۶ــ مزایای روش ترسابی نسبت به خشک‌سابی

حجم داخلی بال‌میل و جارمیل

همان‌طور که گفته شد شکل هندسی جارمیل و بال‌میل استوانه است. با داشتن ابعاد داخلی استوانه، حجم آن محاسبه می‌شود. با داشتن سطح قاعدهٔ استوانه و ارتفاع داخلی آن می‌توان حجم را محاسبه کرد. واحد حجم را می‌توان برحسب لیتر، سانتی‌مترمکعب، دسی‌مترمکعب یا مترمکعب انتخاب کرد. برای محاسبهٔ حجم یک استوانه از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود. $V = \pi r^2 h$

V = حجم استوانه

r = شعاع داخلی بال‌میل

h = ارتفاع داخلی بال‌میل

مثال: حجم استوانه‌ای را که قطر داخلی (d) آن ۱۲۰۰ میلی‌متر و دارای ارتفاع داخلی ۲۲۰ سانتی‌متر است برحسب مترمکعب و لیتر محاسبه کنید.

راه حل:

$d = ۱۲۰۰ \div ۱۰۰۰ = ۱/۲m \qquad h = ۲۲۰ \div ۱۰۰ = ۲/۲m$

$$r = \frac{d}{۲} = \frac{۱/۲}{۲} = ۰/۶m$$

$$V = \pi r^2 h = ۳/۱۴ \times (۰/۶)^2 \times ۲/۲ = ۲/۴۸m^3$$

چون هر متر مکعب ۱۰۰۰ لیتر است، پس حجم استوانه معادل ۲۴۸۰ لیتر می‌شود.

$۲/۴۸ \times ۱۰۰۰ = ۲۴۸۰lit$

مثال: اگر قطر خارجی یک بال‌میل (D) ۱۱۰سانتی‌متر، ضخامت آستر آن ۵ سانتی‌متر، ضخامت بدنهٔ ورق فلزی ۲ سانتی‌متر و ارتفاع (طول) بال‌میل ۱۵۰ سانتی‌متر باشد، حجم داخلی (مفید) بال‌میل را برحسب لیتر محاسبه کنید.

راه حل: برای محاسبهٔ حجم داخلی بال‌میل به قطر داخلی آن نیاز است.

قطر خارجی = D = ۱۱۰ سانتی‌متر

$$\text{قطر داخلی} = d = ۱۱۰ - [۲ \times (۵ + ۲)] = ۹۶ \text{ سانتی‌متر}$$

$$\text{شعاع داخلی} = \frac{d}{۲} = \frac{۹۶}{۲} = ۴۸ \text{ سانتی‌متر} = ۰/۴۸ \text{ متر}$$

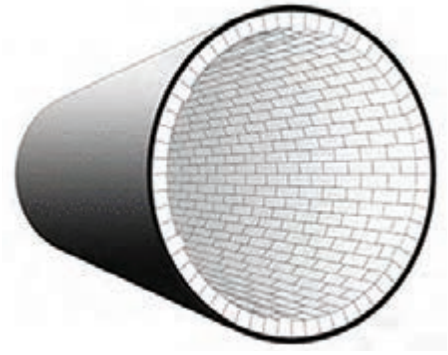
ارتفاع خارجی = H = ۱۵۰ سانتی‌متر = ۱/۵ متر

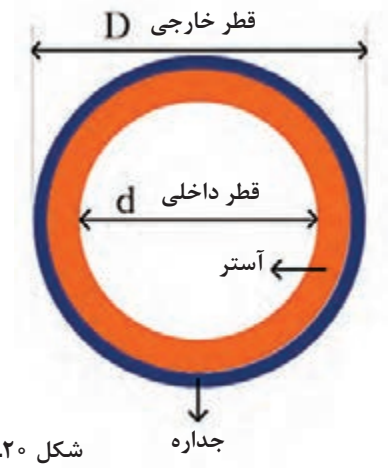
$$\text{ارتفاع داخلی} = h = ۱۵۰ - [۲ \times (۵ + ۲)] = ۱۳۶ \text{ سانتی‌متر} = ۱/۳۶ \text{ متر}$$

$$V = \pi r^۲ h \quad V = ۳/۱۴ \times (۰/۴۸)^۲ \times ۱/۳۶ = ۰/۹۸۴ \text{ متر مکعب} = ۹۸۴ \text{ لیتر}$$

نکته

برای محاسبهٔ قطر داخلی بال‌میل، چون جدارهٔ خارجی و آستر در دو طرف قاعدهٔ آسیاب وجود دارد، باید عدد ۲ در مجموع ضخامت جدارهٔ خارجی و آستر ضرب شود.
توضیح بالا در محاسبهٔ ارتفاع داخلی نیز صدق می‌کند.





شکل ۲۰ـ جدارهٔ داخلی و بدنهٔ بال‌میل

فعالیت کلاسی

۱ اگر در یک بال‌میل قطر خارجی ۳۴۰۰ میلی‌متر، ضخامت آجر به‌کار گرفته شده در پوشش داخلی ۲۰ سانتی‌متر، ارتفاع بیرونی بال‌میل ۵/۱۰ متر و ضخامت جدارهٔ فلزی خارجی ۲۰ میلی‌متر باشد، حجم مفید (حجم داخلی) این بال‌میل را بر حسب مترمکعب و لیتر حساب کنید.

۲ جارمیلی از جنس چینی سخت با حجم کل ۵ لیتر (غیرمفید) موردنظر است، اگر ارتفاع آن ۶۰سانتی‌متر و ضخامت دیواره‌اش ۲۰ میلی‌متر باشد، قطر داخلی آن را به دست آورید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: تعیین سهم وزنی اجزای داخل بال‌میل در دو حالت ترساب وخشک‌ساب

مواد و ابزار: بال‌میل، متر، ماشین‌حساب، گلولهٔ بال‌میل و مواد اولیهٔ سرامیک (فلدسپات، سیلیس، کائولن نشسته).

شرح فعالیت:

با استفاده از متر و خط‌کش، طول و قطر خارجی بال‌میل موجود را در کارگاه اندازه‌گیری و یادداشت کنید. سپس به‌کمک خط‌کش، ضخامت جدارهٔ خارجی و آستر بال‌میل را اندازه گرفته، حجم داخلی و سهم حجمی و وزنی هریک از اجزای لازم را برای بارگیری بال‌میل برای دو حالت ترسابی و خشک‌سابی محاسبه کنید.

برای محاسبهٔ سهم وزنی گلوله و مواد، چگالی گلوله و مواد موردسایش را از هنرآموز خود بپرسید.

نکات ایمنی

۱ قبل از مراجعه به بال‌میل از قطع بودن جریان برق آن اطمینان حاصل کنید.

۲ قبل از باز کردن در بال‌میل از خالی بودن آن مطمئن شوید.

۳ در هنگام اندازه‌گیری ابعاد بال‌میل از هم‌گروهی خود بخواهید مراقب باشد که هنرجویان دیگر به تابلوی راه‌اندازی بال‌میل نزدیک نشوند و یا در صورت کوچک بودن بال‌میل، هنرجویان به حرکت دادن دستی بال‌میل اقدام نکنند.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: تعیین سهم وزنی اجزای داخل جارمیل در دو حالت ترساب و خشک‌ساب

مواد و ابزار: جارمیل، خط‌کش، متر، ماشین‌حساب، گلولهٔ جارمیل، مواد اولیهٔ سرامیک (فلدسپات، سیلیس، کائولن نشسته)، آب، استوانهٔ مدرّج ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ سی‌سی و ترازوی دیجیتالی ۲۰ تا ۳۰ کیلویی.

شرح فعالیت:

با استفاده از متر و خط‌کش، طول و قطر خارجی جارمیل موجود در کارگاه را اندازه‌گیری و یادداشت کنید. سپس به‌کمک خط‌کش، ضخامت جدارهٔ جارمیل را اندازه بگیرید و با استفاده از روش و رابطهٔ موجود در متن، حجم داخلی و سهم حجمی و وزنی هریک از اجزای لازم برای بارگیری جارمیل را برای دو حالت ترسابی و خشک‌سابی محاسبه کنید. برای مقایسه، با استفاده از یک استوانهٔ مدرّج و آب، حجم جارمیل را یک بار دیگر اندازه‌گیری کنید.

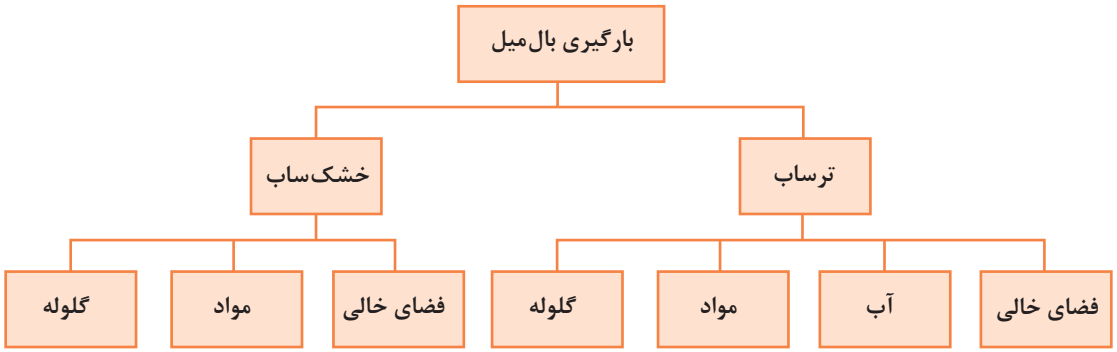
برای محاسبهٔ سهم وزنی گلوله و مواد، چگالی گلوله و مواد موردسایش را از هنرآموز خود بپرسید.

نکات ایمنی

هنگام جابه‌جایی جارمیل دقت کنید که به جارمیل ضربه وارد نشود یا از دست‌هایتان سقوط نکند.

مفهوم بارگیری بال‌میل و جارمیل

بارگیری بال‌میل و جارمیل مجموعه اقداماتی است که منجر به پر کردن مواد و راه‌اندازی بال‌میل یا جارمیل می‌شود. این عملیات شامل توزین مواد، گلوله‌ها، آب و روان‌ساز[1] و ریختن آن داخل آسیاب است. پس از ریختن مواد در داخل آسیاب، نوبت به بستن درِ آن و آماده‌سازی آسیاب برای روشن کردن است.



نمودار ۷ـ بخش‌های مختلف در بارگیری بال‌میل

بخش‌های بیان شده در نمودار (۷) شامل (آب، مواد و گلوله) فضایی را به خود اختصاص می‌دهند که جمعاً فضای اشغال شده حدود ۷۵-۶۵ درصد حجم داخلی بال‌میل است. در صورتی‌که این فضا به درستی محاسبه و اختصاص داده شود بازده آسیاب به شکل چشمگیری افزایش خواهد یافت.

برای محاسبهٔ فضای اختصاص یافته و مقدار هر یک از اجزای نام برده شده دو روش تشریح می‌شود:

روش تئوری

حجم داخلی بال میل را محاسبه و به نسبت مساوی بین اجزا تقسیم کنید. یعنی در حالت خشک‌ساب، حجم داخلی تقسیم بر سه و در حالت ترساب، حجم داخلی تقسیم بر چهار می‌شود. با داشتن حجم هر یک از اجزا و با استفاده از رابطهٔ چگالی $(\rho = \frac{m}{v})$ مقدار هر یک از اجزا محاسبه می‌شود.

مثال:

مقدار و فضای اشغال شده توسط گلوله‌ای به چگالی $3g/cm^3$، مواد اولیه با میانگین چگالی $2/5g/cm^3$ و آب با چگالی $1g/cm^3$ را برای بارگیری بال‌میلی به حجم ۲۰۰ لیتر در دو حالت خشک‌ساب و ترساب محاسبه کنید.

الف: حالت خشک ساب

حجم اشغالی توسط هریک از بخش‌ها $200 \div 3 = 66/67 lit = 66670 cm^3$

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho \times v \rightarrow m = 3 \times 66670 = 200000 g$$

وزن گلولهٔ مورد نیاز = ۲۰۰ kg

وزن مواد مصرفی $= 2/5 \times 66670 = 166675 g = 166/67 kg$

1- Deflocculant

ب: حالت ترساب

حجم اشغالی توسط هریک از بخش‌ها $۲۰۰ \div ۴ = ۵۰ lit = ۵۰۰۰۰ cm^۳$

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho \times v \rightarrow m = ۳ \times ۵۰۰۰۰ = ۱۵۰۰۰۰ g$$

وزن گلولهٔ مورد نیاز = ۱۵۰ kg

وزن مواد مصرفی = ۲/۵ × ۵۰۰۰۰ = ۱۲۵۰۰۰ g = ۱۲۵ kg

وزن آب = ۵۰۰۰۰ × ۱ = ۵۰۰۰۰ g = ۵۰kg

تحقیق کنید

چه عواملی در روش محاسبه تئوری در نظر گرفته نشده است و به‌عبارت دیگر چه مشکلی در این روش وجود دارد؟

روش کاربردی

در این روش با کسب اطلاعاتی از بال‌میل از قبیل حجم داخلی، جنس آستر و گلوله‌ها، چگالی مواد، چگالی دوغاب و ضریب کارایی بال‌میل به محاسبه و اختصاص فضای هر یک از اجزا پرداخته می‌شود. در این روش فضای اشغال شده توسط گلوله‌ها، آستر و مواد به‌شدت تحت‌تأثیر جنس و چگالی آنهاست.

بنابراین در صنعت، برای بال‌میل‌های مختلف و شرایط متفاوت، محاسبات، میزان گلوله و مواد قابل بارگیری متفاوت خواهد بود.

برای نمونه، بال‌میلی با گلوله‌های آلومینایی و در چهار اندازه را در نظر می‌گیرند و محاسبات انجام می‌شود. فرض بر این است که گلوله‌ها ۳۳ درصد، مواد اولیه ۲۲ درصد و آب ۲۰ درصد حجم داخلی بال‌میل را اشغال کنند.

نکته

گلوله‌ها ۵۵ درصد حجم ظاهری را پُر می‌کنند که از این حجم ۶۰ درصد حجم واقعی گلوله و ۴۰ درصد فضای خالی بین گلوله‌هاست که توسط مواد اشغال می‌شود. بخشی از آب نیز به فضای خالی بین مواد وارد می‌شود و آب باقی‌مانده روی مواد را خواهد گرفت که مجموع فضای پُر شده توسط این سه جزء حدود ۷۵-۷۰ درصد حجم داخلی بال‌میل خواهد شد که به آن ضریب پُرشوندگی یا ضریب کاری بال‌میل گفته می‌شود.

مثال:

حجم مفید یک بال‌میل ۱۷۲۵ لیتر است. مقدار گلوله، مواد و آب لازم برای تهیهٔ دوغاب را با شرایط زیر محاسبه کنید.

چگالی دوغاب $۱/۶ g/cm^۳$، چگالی گلوله‌ها از جنس آلومینا $۳/۶۸ g/cm^۳$، چگالی آب $۱ g/cm^۳$، حجم ظاهری اشغال شده توسط گلوله‌ها ۵۵درصد حجم داخلی بال‌میل، فضای خالی بین گلوله‌ها ۴۰درصد

این حجم و فضای اشغالی توسط آب ۲۰ درصد حجم داخلی بال‌میل است.

۱ گلوله‌ها ۵۵ درصد حجم داخلی بال‌میل را پر می‌کنند. بنابراین داریم:

حجم داخلی بال‌میل = ۱۷۲۵ × ۰/۵۵ = ۹۴۹ لیتر = حجم ظاهری گلوله‌ها

۲ اگر حجم اشغال شده توسط گلوله‌ها و مواد را ۱۰۰ در نظر بگیریم ۶۰درصد این فضا به گلوله و ۴۰درصد به مواد اختصاص پیدا می‌کند. پس داریم:

حجم ظاهری گلوله‌ها × ۰/۶۰ = ۵۶۹ لیتر = حجم واقعی گلوله‌ها

۳ با توجه به چگالی گلوله‌ها که $3/68 g/cm^3$ است و رابطهٔ چگالی $\rho = \frac{m}{v}$ داریم:

$m = \rho \times v \rightarrow 3/68 \times 569 = 2094$ کیلوگرم = وزن گلوله‌ها

۴ اگر این مقدار گلوله در چهار قطر ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ میلی‌متر بارگیری شود:

۲۰۹۴ ÷ ۴ = ۵۲۳ کیلوگرم وزن هر اندازه‌ای از گلوله

۵ مقدار مواد خشک با در نظر گرفتن ۴۰درصد فضای خالی بین گلوله‌ها برای مواد و حجم ظاهری گلوله‌ها به‌دست می‌آید:

حجم مواد خشک = ۹۴۹ × ۰/۴۰ = ۳۸۰ لیتر

۶ در این روش ۲۰درصد حجم داخلی بال‌میل به آب اختصاص می‌یابد، پس:

حجم آب = ۱۷۲۵ × ۰/۲۰ = ۳۴۵ لیتر

حجم دوغاب = حجم مواد + حجم آب ⇒ ۳۸۰ + ۳۴۵ = ۷۲۵ لیتر

۷ وزن دوغاب در تهیهٔ دوغاب با چگالی $1/6 g/cm^3$، ۶۵درصد دوغاب را مواد جامد و ۳۵درصد آن را آب تشکیل می‌دهد.

$m = \rho \times v \rightarrow m = 1/6 \times 725 = 1160$ کیلوگرم

وزن مواد خشک ۱۱۶۰ × ۰/۶۵ = ۷۵۴ کیلوگرم

وزن آب ۱۱۶۰ × ۰/۳۵ = ۴۰۶ کیلوگرم = ۴۰۶ لیتر

نکته

۱ دقت شود محاسبات انجام شده بر مبنای خاک خشک است. درحالتی که خاک‌ها، تر باشند، لازم است قبل از توزین آنها، رطوبت مواد محاسبه شود تا ضمن به دست آمدن مقدار دقیق خاک موردنیاز، میزان رطوبت همراه هر ماده، از میزان آب محاسبه شده کم شود.

۲ بر مبنای خاک خشک روان‌ساز موردنیاز، محاسبه و در بال‌میل اضافه می‌شود.

تحقیق کنید

در رابطه با مبنای تعیین اندازهٔ گلوله‌های بال‌میل و روش‌های تولید آنها تحقیق کرده و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

بارگیری بال‌میل خشک

مثال:

بال‌میلی به حجم داخلی ۲۰۰ لیتر موجود است. مقدار گلوله و مواد موردنیاز برای سایش خشک را با مشخصات زیر محاسبه کنید.

گلوله‌ها از جنس استئاتیت با چگالی $۲/۷۵ g/cm^3$

سیلیس با چگالی $۲/۵ g/cm^3$

حجم ظاهری گلوله‌ها ۵۰درصد حجم بال‌میل، تراکم گلوله‌ها (حجم واقعی) ۶۰درصد، حجم فضای خالی بین گلوله‌ها ۴۰درصد، اندازه‌بندی گلوله‌ها ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، و ۵۰ میلی‌متر.

حل:

۱ محاسبهٔ حجم ظاهری اشغال شده توسط گلوله‌ها:

لیتر ۱۰۰ = ۰/۵۰ × ۲۰۰ = حجم ظاهری ⇒ درصد حجم ظاهری اشغال شده × حجم داخلی = حجم ظاهری

۲ محاسبهٔ حجم واقعی و مقدار گلوله:

لیتر ۶۰ = ۰/۶۰ × ۱۰۰ = حجم واقعی ⇒ درصد تراکم × حجم ظاهری = حجم واقعی گلوله‌ها

کیلوگرم ۱۶۵ = ۲/۷۵ × ۶۰ = وزن گلوله‌ها ⇒ چگالی گلوله‌ها × حجم واقعی = وزن گلوله‌ها

۳ محاسبهٔ وزن گلولهٔ موردنیاز از هر اندازه (با فرض اینکه گلوله‌ها به نسبت مساوی استفاده شوند):

تعداد اندازه‌ها ÷ وزن گلوله موردنیاز = وزن گلوله‌های هم‌اندازه

کیلوگرم ۳۳ = ۵ ÷ ۱۶۵ = وزن گلوله‌های هم‌اندازه

۴ محاسبهٔ حجم مواد اولیهٔ موردنیاز:

لیتر ۴۰ = ۰/۴ × ۱۰۰ = حجم ظاهری × حجم فضای خالی بین گلوله‌ها = حجم مواد اولیه

۵ محاسبهٔ وزن مواد اولیه: کیلوگرم ۱۰۰ = ۲/۵ × ۴۰ = چگالی مواد اولیه × حجم مواد اولیه = وزن مواد اولیه

آیا می‌دانید

در صنعت برای رسیدن به بالاترین بازده و کمترین زمان سایش مواد، با در نظر گرفتن ویژگی‌های زیر، محاسبه و بارگیری بال‌میل انجام می‌شود:

۱ ابعاد، حجم داخلی و ضریب پر بودن بال‌میل؛

۲ جنس، شکل و چگالی آستر به‌کار رفته؛

۳ جنس، چگالی، میزان تراکم و تنوع سایزبندی گلوله‌ها؛

۴ ترکیب، دانه‌بندی و چگالی مواد مورد سایش.

نکات ایمنی

با توجه به آلاینده‌های نام برده شده در ابتدای این پودمان، لازم است در هنگام کار در بخش آماده‌سازی نکات زیر رعایت شوند:

۱ از لوازم ایمنی مناسب مانند: ماسک تنفسی، لباس کار، کفش کار، دستکش و محافظ گوش استفاده کنید.

۲ درصورت خیس بودن دست‌هایتان، به‌هیچ عنوان به بخش‌های حامل جریان برق مانند کلید راه‌اندازی، کابل‌های انتقال جریان و موتور دستگاه دست نزنید.
۳ قبل از روشن کردن دستگاه مطمئن شوید که درِ آسیاب، و شیر هواگیری و نمونه‌گیری بسته است.
۴ قبل از راه‌اندازی آسیاب از مرتب بودن اطراف آسیاب اطمینان حاصل کنید.
۵ پس از قرار دادن جار روی جارمیل محافظ آن را روی دستگاه قرار دهید.
۶ از نزدیک شدن به آسیاب درحال کار خودداری کنید.
۷ قبل از باز کردن درِ آسیاب و نصب شیر تخلیه، حتماً آن را هواگیری کنید. (فشار هوای داخل بال‌میل بسیار بالاست)
۸ از لمس کردن دوغاب داخل آسیاب خودداری کنید. (دوغاب داخل آسیاب داغ است.)

نکات زیست‌محیطی

در صنعت سرامیک آلاینده‌های مختلفی مانند گردوغبار، پساب، سروصدا و دود وجود دارد که سلامت کارکنان، شهروندان و محیط زیست را به مخاطره می‌اندازند و باید در طراحی خط تولید و چیدمان کارخانه‌های این صنعت، موردتوجه ویژه قرار گیرند. در مناطقی که مشکل کمبود آب وجود ندارد، روش ترسابی را ترجیح می‌دهند و برای مناطق خشک و کم آب، در مواردی که مواد در آب محلول است و باید بعد از ریز کردن مواد آنها را خشک کرد یا در فرایند بعدی تولید به‌صورت خشک کاربرد دارند، از آسیاب‌های خشک استفاده کرد.
آسیاب‌های تر، چون با ذرات مرطوب سروکار دارند، گرد و خاک کمتری داشته و برای حفظ سلامتی کارگران مطلوب‌تر هستند، از طرف دیگر، ظرفیت آنها برحسب واحد حجم یا وزن بیشتر است، ولی هزینه‌های بعدی افزایش می‌یابد.

تحقیق کنید

با مراجعه به اینترنت یا مشورت با یک پزشک، بیماری‌های ناشی از کار کردن یا زندگی در محیط‌های پر گردوغبار را شناسایی و در کلاس ارائه دهید.

فعالیت کلاسی

هریک از وسایل و تجهیزات جدول زیر، برای کاهش کدام‌یک از آلاینده‌ها یا رعایت کدام مورد ایمنی مناسب است؟ پاسخ خود را در جدول (۴)، زیر هر شکل بنویسید.

جدول ۴ـ برخی از وسایل و تجهیزات ایمنی و بهداشتی

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

فعالیت کلاسی

لوازم و تجهیزات ایمنی، بهداشتی و کاهش خطرات زیست‌محیطی موجود در کارگاه‌های هنرستان خود را شناسایی کرده و جدول زیر را کامل کنید.

جدول ۵ـ وسایل و تجهیزات ایمنی و بهداشتی کارگاه‌های هنرستان

ردیف	نام وسیله یا تجهیزات	کاربرد
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		
۶		
۷		
۸		
۹		

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: بارگیری و انجام عملیات سایش در دو حالت ترسابی و خشک‌سابی در بال‌میل

مواد و ابزار: بال‌میل، ترازوی دیجیتالی (۲۰ تا ۳۰ کیلویی)، پیمانهٔ آب، گلولهٔ بال‌میل (حداقل در سه اندازه)، مواد اولیهٔ سخت (سیلیس، فلدسپات یا رس‌های سخت)، سرتاس، سطل (۵ تا ۱۰ کیلویی)، آب.

شرح فعالیت:

با توجه به محاسبات انجام شده در کار عملی شمارهٔ ۱ و با رعایت نکات فنی و ایمنی، بال‌میل کارگاه خود را بارگیری کنید. پس از بارگیری اجزای داخل بال‌میل، درِ آن را به‌خوبی ببندید و پس از بررسی نکات ایمنی، موتور آن را روشن کنید. زمان شروع به کار بال‌میل را یادداشت کنید. در زمان‌های ۴ و ۸ ساعت پس از سایش، ضمن رعایت نکات ایمنی، بال‌میل را متوقف کنید. پس از هواگیری، برای انجام کارهای عملی بعدی از ترکیب داخل بال‌میل نمونه‌برداری کنید.

کار عملی فوق را یک بار دیگر در حالت خشک تکرار کنید.

نکات ایمنی

۱ قبل از مراجعه به بال‌میل از قطع بودن جریان برق آن اطمینان حاصل کنید.

۲ در هنگام بارگیری بال‌میل از هم‌گروهی خود بخواهید مراقب باشد که هنرجویان دیگر به تابلوی راه‌اندازی بال‌میل نزدیک نشوند و یا درصورت کوچک بودن بال‌میل، هنرجویان اقدام به حرکت دادن دستی آن نکنند.

۳ قبل از روشن کردن بال‌میل از بسته بودن درِ آن اطمینان حاصل کنید.

۴ در هنگام روشن کردن بال‌میل به دستورالعملِ راه‌اندازی دستگاه توجه کنید.

۵ هنگام توزین و بارگیری مواد اولیه در بال‌میل، حتماً از ماسک تنفسی و دستکش کار استفاده کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: بارگیری و انجام عملیات سایش در دوحالت ترسابی و خشک‌سابی در جارمیل

مواد و ابزار: جارمیل (۲ تا ۱۰ لیتری)، ترازوی دیجیتالی (۲۰ تا ۳۰ کیلویی)، پیمانهٔ آب، گلولهٔ جارمیل (حداقل در سه اندازه)، مواد اولیهٔ سخت (سیلیس، فلدسپات یا رس‌های سخت)، سرتاس، سطل (۵ الی ۱۰ کیلویی)، آب.

شرح فعالیت:

با توجه به محاسبات انجام شده در کار عملی شمارهٔ ۲ و با رعایت نکات فنی و ایمنی، جارمیل کارگاه خود را بارگیری کنید. پس از بارگیری اجزای داخل جارمیل، درِ آن را به‌خوبی ببندید و پس از بررسی نکات ایمنی، جار را بر روی دستگاه جارمیل قرار داده و محافظ جار را در جای خود قرار دهید. در ادامه موتور جارمیل را روشن کنید. زمان شروع به‌کار جارمیل را یادداشت نموده و در زمان‌های ۴ و ۸ ساعت پس از سایش، ضمن رعایت نکات ایمنی، جارمیل را متوقف کنید. پس از هواگیری از ترکیب داخل جارمیل برای انجام کارهای عملی بعدی نمونه‌برداری کنید.

نکات ایمنی

۱ هنگام حمل‌ونقل جارمیل دقت کنید که به جارمیل ضربه وارد نشود و یا از دستتان سقوط نکند.
۲ هنگام بستن درِ جارمیل دقت کنید تا واشر آب‌بندی آن درجای مناسب قرار بگیرد و درِ جارمیل به خوبی بسته شود.
۳ از قرار دادن جار بر روی جارمیل روشن خودداری کنید.
۴ پس از قرار دادن جار بر روی جارمیل، محافظ جار را در جای خود محکم کنید.
۵ در هنگام روشن کردن جارمیل به دستورالعمل راه‌اندازی دستگاه توجه کنید.
۶ هنگام توزین و بارگیری مواد اولیه در جارمیل حتماً از ماسک تنفسی و دستکش کار استفاده کنید.

آسیاب‌های آبی

مسلمانان اولین کسانی بودند که از آسیاب‌های آبی برای خرد کردن سنگهای معدنی استفاده کردند و سپس کشورهای اروپایی این شیوه را از آنها آموختند. این آسیاب‌ها با نیروی آب حرکت می‌کردند و به‌وسیلهٔ چرخ آبی، که به آن متصل بود، به سنگ ضربه وارد می‌کردند تا آسیاب شوند.
ایرانیان در قرن دهم آسیاب‌های آبی را برای خرد کردن سنگ‌های معدنی مانند سنگ طلا به‌کار می‌بردند. در گذشته تقریباً در هر شهر ایران آسیاب آبی وجود داشته است. آسیاب شوشتر، دزفول، بجنورد، یزد و آسیاب‌های آبی بسیار قدیمی مانند زیبد از جمله این آسیاب‌ها هستند.

شکل ۲۱ــ سازه‌های آبی شوشتر

پرسش

۱ به نظر شما آسیاب‌های آبی مشابه کدام‌یک از آسیاب‌های ذکر شده در این پودمان است؟
۲ برای خردایش چه موادی از این آسیاب‌ها می‌توان استفاده کرد؟

ارزشیابی نهایی شایستگی آسیاب کردن

شرح کار:
۱- آماده‌سازی دستگاه آسیاب؛
۲- بارگیری آسیاب؛
۳- محاسبهٔ پارامترهای آسیاب، سرعت چرخش، زمان آسیاب، نسبت پودر به گلوله، محاسبه اندازهٔ قطر گلوله؛
۴- آسیاب کردن مواد.

استاندارد عملکرد:
آسیاب کردن مواد اولیه مطابق با میزان سختی، اندازهٔ مواد ورودی، توزیع سایزبندی گلوله‌های بال‌میل و جدول توزیع دانه‌بندی مواد خروجی.

شاخص‌ها:
روشن شدن دستگاه و تمیز بودن دریچهٔ دستگاه و اجزای آن؛
وزن کردن و بارگیری مواد و گلوله‌ها؛
انتخاب سرعت چرخش و زمان مناسب بر اساس وزن مواد اولیه؛
انتخاب گلولهٔ مناسب از لحاظ قطر و تعداد.

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی، سیستم تهویه و نورکافی.
ابزار و تجهیزات: انواع دستگاه آسیاب، (بال‌میل، جارمیل و فست میل)، مواد اولیه، انواع الک، ترازو با دقت بالا، انواع گلوله در اندازه‌های مختلف.

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	آماده‌سازی دستگاه آسیاب	۱	
۲	آسیاب کردن به روش تر و خشک	۲	
۳	کنترل نهایی	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشتی، توجهات زیست‌محیطی و نگرشی شامل: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب.	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۳

تعیین رطوبت و دانه‌بندی

ویژگی‌های مواد اولیه تأثیر بسیار زیادی بر خواص نهایی بدنه‌های سرامیکی دارد. قبل از فرایند تولید محصولات سرامیکی لازم است مواد اولیهٔ ورودی کنترل و بررسی شوند. از جمله مواردی که باید درنظر گرفته شود، رطوبت و بررسی خواص ظاهری مانند دانه‌بندی و اندازهٔ ذرات است.

واحد یادگیری ۳

شایستگی تعیین رطوبت و دانه‌بندی

آیا تا به حال پی برده‌اید

۱ وجود رطوبت در مواد چه اهمیتی دارد؟
۲ چگونه می‌توان رطوبت مواد را سنجید؟
۳ آیا اندازه ذرات تشکیل‌دهندهٔ یک پودر قابل اندازه‌گیری است؟

هدف از این شایستگی درک اهمیت رطوبت مواد اولیه، روش‌های اندازه‌گیری و گزارش آن است. سپس هنرجو با روش‌ها و تجهیزات دانه‌بندی آشنا می‌شود و شرایط دانه‌بندی مناسب برای ساخت قطعه را فرا می‌گیرد. به‌منظور کسب مهارت، فعالیت‌های کارگاهی برای اندازه‌گیری میزان رطوبت و آنالیز الک در نظر گرفته شده است که با رعایت اصول ایمنی باید انجام پذیرد.

استانداردعملکرد

تعیین درصد رطوبت و توزیع دانه‌بندی مواد اولیه مطابق با فرمول بدنه.

اهمیت رطوبت

به نظر شما وجود رطوبت در اتو کردن لباس‌ها چه اهمیتی دارد؟ دلیل خشک شدن نان به مرور زمان چیست؟

شکل ۱

تا به حال در خرید برخی وسایل مانند کیف، کفش و دارو، متوجه وجود سیلیکاژل[1] در بسته‌بندی آن‌ها شده‌اید؟

آیا در محیط آزمایشگاه از دسیکاتور استفاده کرده‌اید؟ کاربرد و اهمیت آن در چیست؟

تحقیق کنید

در مورد انواع رنگ سیلیکاژل و دلیل تغییر رنگ آن تحقیق کنید.

الف) بستهٔ سیلیکاژل

ب) دسیکاتور

شکل ۲

۱ـ سیلیکاژل دانه‌های شفاف و متخلخل سیلیسیم دی اکسید است، که معمولاً در بسته‌های چند سانتی‌متری، در بسته‌بندی برخی وسایل برای جلوگیری از تأثیر مخرب رطوبت به کار می‌رود.

همان‌گونه که مشاهده کردید، گاهی نیاز به وجود رطوبت و گاهی نیاز به حذف آن است. تمامی این موارد بیانگر اهمیت مقدار رطوبت و کنترل آن است.

تحقیق کنید

در مورد دسیکاتور و کاربرد آن مطالعه کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

رطوبت در خاک

به شکل‌های زیر نگاه کنید و اثر رطوبت در خاک را توضیح دهید.

الف) خاک با رطوبت زیاد

ب) خاک بدون رطوبت

شکل ۳

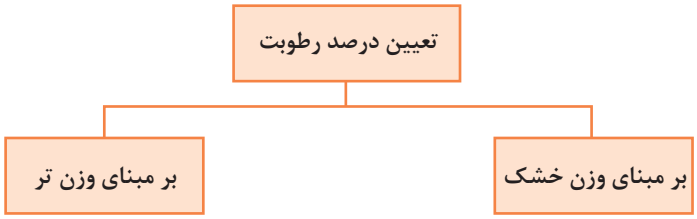
در شکل‌دهی بیشتر بدنه‌های سرامیکی، از ترکیب مواداولیه با آب استفاده می‌شود. مقدار رطوبت بر اساس روش ساخت می‌تواند کم یا زیاد باشد. با توجه به اینکه مواد اولیه سرامیکی در فضای باز نگهداری می‌شوند، ممکن است در روزهای بارانی، رطوبت گرفته یا رطوبت خود را در روزهای آفتابی، از دست بدهند. بنابراین لازم است رطوبت مواد اولیه و آمیز اندازه‌گیری شود.

نکته

مایع مورد استفاده در ترکیب آمیز سرامیکی، فقط آب نیست و گاهی از مایعات دیگر نیز استفاده می‌شود. گاهی به غیر از آب از مایعات دیگر در ترکیب آمیز سرامیکی استفاده می‌شود.

اندازه‌گیری میزان رطوبت

مقدار رطوبت در مواداولیه و بدنه‌های سرامیکی اهمیت بسیاری دارد. در صنعت، روش‌ها و تجهیزات متنوعی برای اندازه‌گیری و کنترل مقدار رطوبت به‌کار می‌رود.
مقدار رطوبت بر اساس درصد گزارش می‌شود و محاسبهٔ آن بر دو مبنای خشک و تر انجام می‌شود.



نمودار ۱

اندازه‌گیری میزان رطوبت مطابق مراحل زیر انجام می‌شود:

۱ ریختن مقداری از پودر آمیز بر روی فویل آلومینیومی یا بوتهٔ سرامیکی از قبل وزن شده (برای سهولت کار و حفظ نمونه) و اندازه‌گیری وزن تر آن (m_w).

۲ قرار دادن نمونهٔ وزن شده درون خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲ ساعت و اندازه‌گیری وزن خشک آن (m_d).

نکته

قرار دادن نمونه در داخل خشک‌کن، به منظور رسیدن به وزن ثابت است و مدت زمان آن می‌تواند متغیر باشد.

۳ محاسبهٔ رطوبت طبق رابطه‌های زیر انجام می‌شود:

$$\text{میزان رطوبت بر مبنای وزن خشک (٪)} = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن خشک}} \times ۱۰۰ = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times ۱۰۰$$

$$\text{میزان رطوبت بر مبنای وزن تر (٪)} = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن تر}} \times ۱۰۰ = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times ۱۰۰$$

نکات ایمنی

استفاده از انبر و دستکش هنگام کار با خشک‌کن الزامی است.

نکته

لازم است هنگام گزارش درصد رطوبت، مبنای محاسبات (تر یا خشک) نیز گزارش شود.

گفت‌وگو کنید

به نظر شما گزارش نکردن مبنای محاسبات رطوبت باعث چه مشکلی خواهد شد؟

مثال‌هایی از نحوهٔ گزارش درصد رطوبت بر اساس مبنای تر یا خشک، که در صنایع مختلف معمول است، در شکل (۴) آمده است.

دیرگدازها و سرامیک‌های مهندسی

معمولاً استفاده از مبنای وزنی خشک

آجر

معمولاً استفاده از مبنای وزنی تر

چینی بهداشتی

معمولاً استفاده از مبنای وزنی تر

شکل ۴

نکته

در آزمون روان‌سازی از مبنای خشک و در دوغاب‌سازی از مبنای تر برای محاسبهٔ درصد رطوبت استفاده می‌شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: اندازه‌گیری میزان رطوبت

مواد و ابزار: بوتهٔ سرامیکی یا ورق آلومینیوم، ترازو (با دقت ۰/۱ یا ۰/۰۱ گرم)، خشک‌کن، دسیکاتور، مادهٔ اولیهٔ سرامیکی و وسایل ایمنی (دستکش و انبر).

شرح فعالیت:

۱ مقداری از پودر آمیز را بر روی ورق آلومینیومی یا داخل بوتهٔ از قبل وزن شده بریزید.

۲ وزن آن (m_w) را اندازه‌گیری و در جدول یادداشت کنید.

۳ نمونهٔ وزن شده را درون خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲ ساعت (برای رسیدن به وزن ثابت) قرار دهید.

۴ نمونه را از خشک‌کن به دسیکاتور انتقال دهید تا سرد شود.

۵ وزن خشک (m_d) آن را اندازه‌گیری و در جدول یادداشت کنید.

۶ طبق رابطه‌های ارائه شده درصد رطوبت را محاسبه و جدول را تکمیل کنید.

۷ نتایج خود را با گروه‌های دیگر مقایسه کنید.

۸ آیا میزان رطوبت بر مبنای وزنی خشک و تر با هم متفاوت است؟

۹ چه دلیلی بر لزوم ذکر نوع مبنای محاسبهٔ رطوبت وجود دارد؟

نکته: در هر مورد لازم است وزن بوته یا هر وسیلهٔ استفاده شده را از وزن اندازه‌گیری شده کم کنید.

جدول ۱

وزن بوته یا فویل آلومینیوم	وزن تر (m_w)	وزن خشک (m_d)	درصد رطوبت	
			بر مبنای خشک	بر مبنای تر

نکات ایمنی

۱ در محیط کارگاه از لباس کار و دستکش استفاده کنید.
۲ هنگام خارج کردن بوته یا فویل از انبر و دستکش استفاده کنید.
۳ قبل از کار با تجهیزات کارگاهی، با هنرآموز خود هماهنگ کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی۲: تعیین آب بر مبنای تر و خشک

مواد و ابزار: خاک کائولن، بوته یا فویل آلومینیومی، هاون، ترازو (با دقت ۰/۱ یا ۰/۰۱ گرم)، خشک‌کن و دو عدد ظرف.

شرح فعالیت:

۱ مقداری خاک کائولن را در بوته یا فویل آلومینیومی ریخته و به مدت ۲ ساعت در خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید.
۲ خاک کائولن خشک شده را درهاون پودر کنید.
۳ داخل هر ظرف به مقدار ۱۰۰ گرم خاک کائولن بریزید.
۴ مقدار آب موردنیاز برای پودر خاک کائولن با ۳۰ درصد رطوبت را بر مبنای خشک محاسبه و به یکی از ظروف اضافه کنید.
۵ مقدار آب مورد نیاز برای پودر خاک کائولن با ۳۰ درصد رطوبت را بر مبنای تر محاسبه و به ظرف دیگر اضافه کنید.
۶ جدول زیر را کامل و نتایج دو مبنای محاسباتی را با یکدیگر مقایسه کنید.

جدول ۲

مبنای محاسبهٔ رطوبت	وزن خاک کائولن خشک (گرم)	میزان آب موردنیاز (گرم)	درصد رطوبت
بر مبنای خشک	۱۰۰		۳۰
بر مبنای تر	۱۰۰		۳۰

یکی از مزایای مهم شکل‌دهی به روش پرس پودر، چگالی بالای قطعه است. در روش پرس پودر، به دلیل درصد رطوبت کم نسبت به روش‌های دیگر مانند اکسترود گل پلاستیک یا ریخته‌گری دوغابی، قطعه چگالی بالاتری دارد و این امر می‌تواند در افزایش استحکام خام، خشک و استحکام پس از پخت آن مؤثر باشد.
در جدول شماره (۳) محدودهٔ تقریبی مقدار رطوبت در محصولات خام سرامیکی (مبنای درصد وزنی خشک) آمده است.

جدول ۳

محصول	درصد رطوبت برای شکل‌دهی
سرامیک مهندسی	کمتر از ۵
دیرگدازها	۴-۸
چینی مظروف	۹-۱۶
چینی بهداشتی	۱۲-۱۶

تجهیزات اندازه‌گیری رطوبت

امروزه به منظور تسریع در رطوبت‌سنجی مواد، تجهیزات آزمایشگاهی متنوعی وجود دارد.

رطوبت‌سنجی با واکنش‌گر کلسیم کارباید

از طریق فشار گاز استیلن حاصل از واکنش پودر کلسیم کارباید با رطوبت موجود در خاک، میزان رطوبت مواد را اندازه‌گیری می‌کند.

رطوبت‌سنجی الکتریکی

بر اساس اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی ماده کار می‌کند. هرچه درصد رطوبت بالاتر باشد مقاومت الکتریکی ماده کمتر است.

رطوبت‌سنجی وزنی

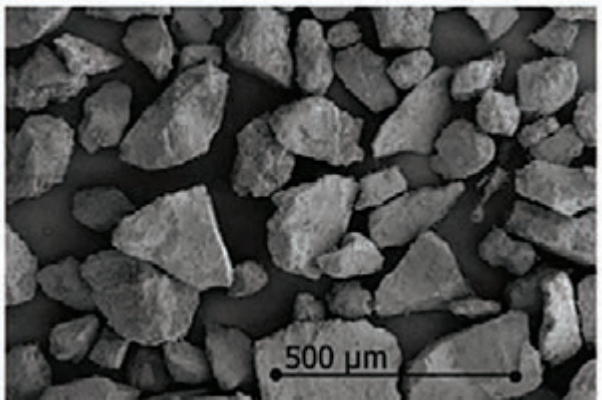
میزان رطوبت را بر اساس وزن کردن هم‌زمان ماده و حرارت دادن آن محاسبه و گزارش می‌کند.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: درصد رطوبت خاک کائولن اندازه‌گیری شده در کار عملی ۱ را با یکی از تجهیزات موجود و در دسترس اندازه‌گیری و مقایسه کنید.

دانه‌بندی

پودر یا ماسه از مجموعه‌ای از دانه‌ها یا ذرات تشکیل شده است. با توجه به نوع مواداولیه، اندازهٔ هر ذره می‌تواند از چند نانومتر تا چند میکرومتر یا حتی چند میلی‌متر تغییر کند.
برای مثال، ذرات مواد رسی مانند کائولن، ابعادی کوچک‌تر از ۰/۵ میلی‌متر دارند که با چشم قابل‌رؤیت نیستند.



شکل ۵ـ ذرات رس قابل مشاهده زیر میکروسکوپ

ولی ذرات سیلیس می‌تواند از چند میکرومتر تا چند میلی‌متر و حتی بزرگ‌تر نیز وجود داشته باشد.

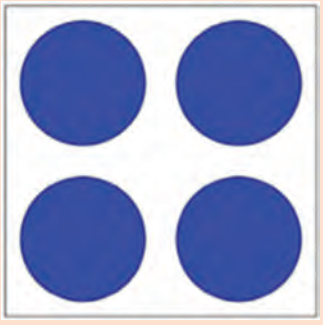
شکل ۶ـ دانه‌های ماسهٔ سیلیسی قابل‌رؤیت با چشم

توزیع اندازهٔ ذرات

یک پودر معمولاً ذراتی با ابعاد و اندازه‌های متفاوت دارد. به تنوع در اندازهٔ ذرات، از کوچک‌ترین تا بزرگ‌ترین ذرهٔ ماده، «توزیع اندازهٔ ذرات» یا «گسترهٔ دانه‌بندی» می‌گویند. هرچه این تنوع بیشتر باشد، توزیع دانه‌بندی آن مادهٔ اولیه یا پودر گسترده‌تر است.

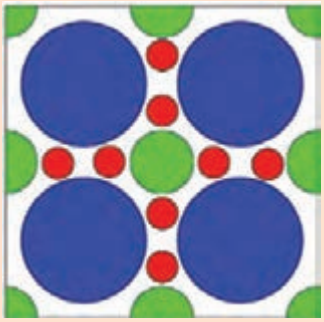
فعالیت کلاسی

در شکل‌های زیر اضلاع مربع ۵ سانتی‌متر، قطر دایره‌های آبی ۲ سانتی‌متر، قطر دایره‌های سبز ۱سانتی‌متر و قطر دایره‌های قرمز ۰/۵ سانتی‌متر است.
مساحت سطح سفید را در هر یک از شکل‌های ۱، ۲ و ۳ محاسبه و جداول را مطابق نمونه‌ها پر کنید.



۱

۲



۳

جدول ۴

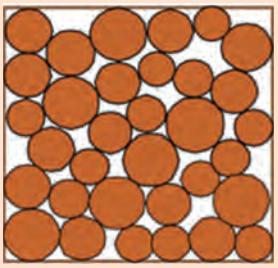
شمارهٔ شکل	توزیع اندازهٔ دایره‌ها	تعداد دایره‌ها		
		آبی	سبز	قرمز
۱				
۲	۱ تا ۲ سانتی‌متر	۴	۴	۰
۳				

شمارهٔ شکل	مساحت			مساحت سفید	درصد مساحت سفیدرنگ
	آبی	سبز	قرمز		
۱	۱۲/۵۶	۰	۰	۲۵-۱۲/۵۶=۱۲/۴۴	۴۹/۷۶
۲					
۳					

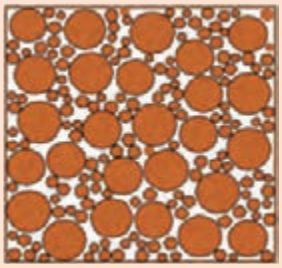
با فرض اینکه دایره‌های رنگی همان دانه‌های پودر باشند، مفهوم درصد مساحت سفیدرنگ چه خواهد بود؟
چگونه می‌توان مساحت قسمت سفیدرنگ را کمتر کرد؟

فعالیت کلاسی

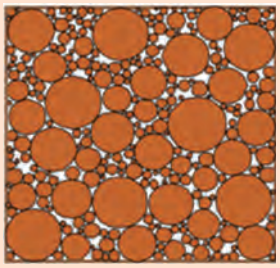
دانه‌های سه نوع پودر در یک واحد سطح به صورت شکل‌های زیر مشاهده می‌شود. با توجه به شکل‌ها، جاهای خالی را با کلمات مناسب پر کنید.



پودر ۱



پودر ۲



پودر ۳

گسترده‌ترین توزیع اندازهٔ ذرات را ..... دارد و باریک‌ترین توزیع اندازهٔ ذرات را .....دارد. بیشترین تعداد ذرات در واحد سطح در ..... است و بیشترین فضای خالی بین ذرات در ..... است. بنابراین قطعهٔ ساخته شده از ..... بیشترین تراکم را خواهد داشت.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: بررسی توزیع اندازهٔ ذرات

مواد و ابزار: ظرف شفاف، مواد با اندازه‌های متفاوت برای پر کردن ظرف شیشه‌ای (مانند: گردو، نخود، عدس یا گلوله‌های بال‌میل در سه ابعاد کوچک، متوسط و بزرگ).

شرح فعالیت:

۱ ابعاد مواد را اندازه‌گیری و یادداشت کنید.

۲ مواد با بزرگ‌ترین ابعاد را در ظرف شمارهٔ ۱ بریزید تا ظرف پر شود.

۳ در ظرف شمارهٔ ۲ بزرگ‌ترین مواد را با کوچک‌ترین مواد مخلوط کنید و در ظرف بریزید.

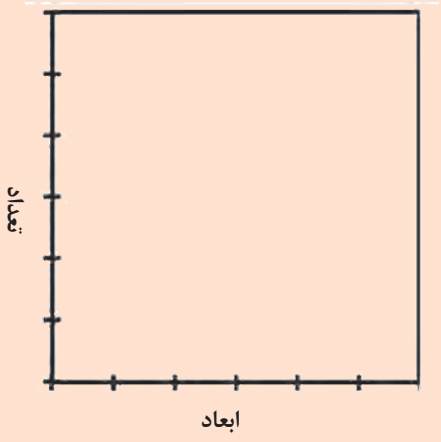
۴ در ظرف شمارهٔ ۳ از مخلوط تمام مواد در اندازه‌های مختلف برای پر کردن ظرف استفاده کنید.

۵ ظروف را از لحاظ وجود جاهای خالی با دقت مشاهده و بررسی کنید.

۶ جدول زیر را تکمیل و نمودار را، مطابق ظرفی که کمترین جای خالی را دارد، پر کنید.

جدول ۵

	بزرگ	متوسط	کوچک
ابعاد (میلی‌متر)			
شمارهٔ ظرف	**تعداد**		
	بزرگ	**متوسط**	**کوچک**
۱			
۲			
۳			

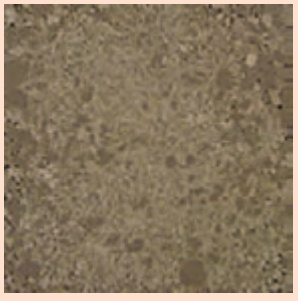


گفت‌وگو کنید

طبق کارهای عملی انجام شده، برای رسیدن به حداکثر تراکم در بدنه با استفاده از پودرها، لازم است پودر، توزیع گسترده‌ای از اندازهٔ ذرات داشته باشد. دربارهٔ علت این اصل با هم در کلاس گفت‌وگو کنید.

فعالیت کلاسی

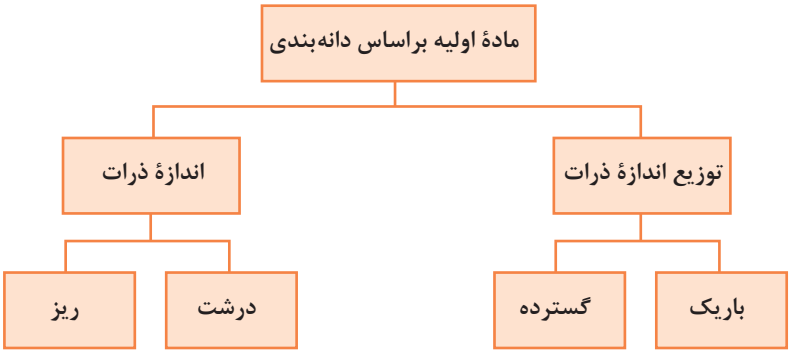
دو قطعهٔ کاشی دیوار که با دو نوع پودر متفاوت پرس شده، در زیر نشان داده شده است. به این تصاویر نگاه کنید و به سؤالات پاسخ دهید.



قطعه ۱

قطعه ۲

۱ کدام قطعه یکنواخت‌تر به نظر می‌رسد؟
۲ تخلخل و فضای خالی در کدام قطعه بیشتر است؟
۳ استحکام کدام قطعه می‌تواند بیشتر باشد؟
۴ دانه‌بندی پودر کدام قطعه مناسب‌تر بوده است؟



نمودار ۲

فعالیت کلاسی

با توجه به شکل‌های زیر جاهای خالی را پر کنید.

۰/۴ تا ۰/۸ میلی‌متر	۰/۳ تا ۰/۵ میلی‌متر	۰/۲ تا ۰/۴ میلی‌متر	۰/۱ تا ۰/۲ میلی‌متر
۳ تا ۳/۴ میلی‌متر	۱/۲ تا ۳ میلی‌متر	۰/۸ تا ۱/۷ میلی‌متر	۰/۵ تا ۱/۲ میلی‌متر

ریزترین اندازهٔ ذرات ..... باریک‌ترین توزیع اندازهٔ ذرات .....

درشت‌ترین اندازهٔ ذرات ..... گسترده‌ترین توزیع اندازهٔ ذرات .....

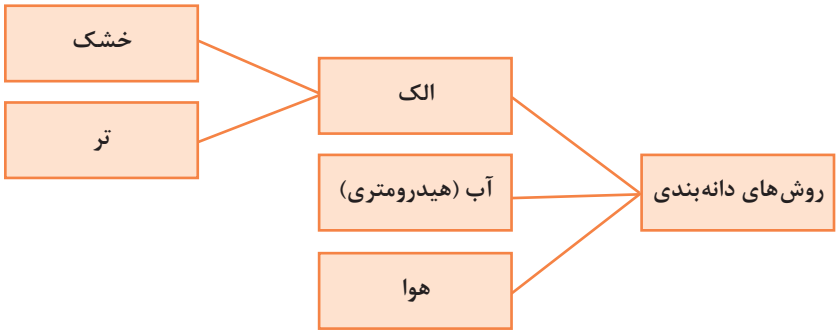
آمیز باید قبل از شکل‌دهی و بعد از مرحلهٔ آسیاب کردن، دانه‌بندی و اندازهٔ ذرات و توزیع آن‌ها تعیین و کنترل شود. اندازهٔ ذرات و توزیع آن‌ها با توجه به روش شکل‌دهی و کاربرد موردنظر انتخاب می‌شود. ابعاد ذرات نباید از حد مجاز بزرگ‌تر یا کوچک‌تر باشد.

نکته

توزیع اندازهٔ ذرات متناسب با روش و تجهیزات شکل‌دهی به گونه‌ای تغییر می‌کند که بتوان به حداکثر تراکم و یکنواختی در قطعه دست یافت.

روش‌های دانه‌بندی

مهم‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌های دانه‌بندی را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

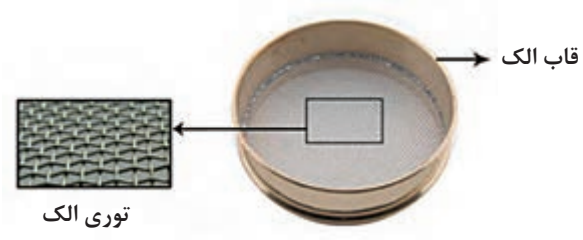


نمودار ۳

از میان انواع روش‌های دانه‌بندی، روش «الک کردن» به دلیل اهمیت داشتن و متداول بودن، موردبررسی و مطالعهٔ دقیق‌تر قرار می‌گیرد.

دانه‌بندی با استفاده از الک

استفاده از الک یکی از متداول‌ترین روش‌های دانه‌بندی ذرات است. اساس الک کردن، امکان یا عدم‌امکان عبور ذرات از میان منافذ با اندازهٔ مشخص است که با تکان دادن (به صورت افقی یا عمودی) و حرکت لرزشی الک انجام می‌شود. الک شامل یک قاب و توری (شبکهٔ بافته شدهٔ سیمی) در کف است که در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۷

پودر بر روی یک الک یا یک سری از الک‌ها با روزنه‌هایی با اندازهٔ معین ریخته می‌شود. در سری الک‌ها، الکی که بزرگ‌ترین روزنه‌ها را داشته باشد در قسمت بالایی و الکی که کوچک‌ترین روزنه‌ها را دارد در قسمت پایین قرار می‌گیرد. یک زیرالک نیز در زیرسری الک‌ها (در زیر آخرین الک) برای جمع‌آوری ریزترین ذرات قرار می‌گیرد.

نکته

در مقیاس صنعتی حرکت لرزشی الک‌ها با کمک موتور الکتریکی یا مغناطیسی انجام می‌گیرد که باعث سهولت در عبور مواد و افزایش بازدهی و سرعت می‌شود که نوع آزمایشگاهی آن نیز کاربرد زیادی دارد. بدین منظور از دستگاه لرزاننده استفاده می‌شود که به صورت ساده یا دیجیتالی وجود دارد.

الف) الک‌های چیده شده

ب) الک‌ها روی دستگاه لرزاننده

شکل ۸

شکل ۹ ـ حرکت چرخشی الک

نحوهٔ کار با دستگاه لرزاننده

دستگاه لرزانندهٔ الک دارای مدل‌های متنوعی است. برای کار با دستگاه لرزاننده، بعد از چینش مجموعهٔ الک‌ها به ترتیب شمارهٔ مش یا اندازهٔ روزنهٔ توری، نمونهٔ پودر یا ماسه در بالاترین الک ریخته می‌شود و پس از گذاشتن درِ الک و محکم کردن گیره‌ها و اتصالات، دستگاه روشن می‌شود. هدف از قراردادن درِ الک و محکم کردن اتصالات آن جلوگیری از پاشیدن مواد به بیرون است.

مدت زمان موردنیاز برای الک کردن، به کمک کلید مربوطه تنظیم می‌شود. در برخی از نمونه‌های دستگاه لرزاننده علاوه بر مدت زمان کل کار دستگاه، مدت زمان هر نوبت‌کاری، شدت کار لرزاننده و سرعت آن نیز قابل‌تنظیم است.

شکل ۱۰ـ دستگاه لرزاننده در اشکال و ابعاد مختلف

تحقیق کنید

از چه موادی برای ساخت توری الک استفاده می‌شود؟

شمارهٔ الک‌ها

مهم‌ترین موضوع در الک‌ها ابعاد منافذ یا روزنه‌های الک است.
شمارهٔ الک‌ها مطابق با تعداد روزنه‌ها در هر اینچ خطی مشخص و طبقه‌بندی می‌شود که به آن مش الک گفته می‌شود. مثلاً الک مش ۲۰، دارای ۲۰ سوراخ یکسان به صورت خطی در هر اینچ است.

گفت‌وگو کنید

آیا تعداد منافذ در یک اینچ دقیقاً می‌تواند قطر روزنه‌ها را تعیین کند؟ با هم‌کلاسی‌های خود در این مورد گفت‌وگو کنید.

نکته

استانداردهای مختلفی برای شماره‌های الک وجود دارد. در جدول زیر مهم‌ترین مش‌بندی الک‌ها آورده شده است.

جدول ۶

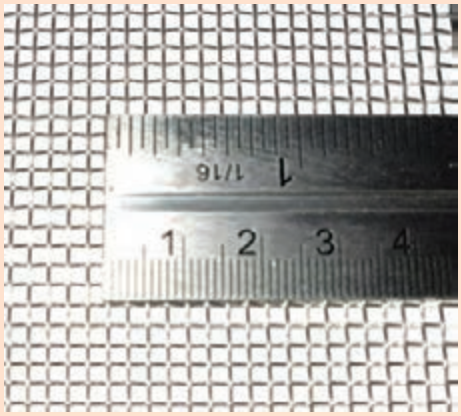
مش الک	تعداد روزنه در هر اینچ	ابعاد روزنه (میلی‌متر)
۵	۵	۴/۰۰
۱۰	۱۰	۲/۰۰
۲۰	۲۰	۰/۸۵
۳۰	۳۰	۰/۶۰
۴۰	۴۰	۰/۴۲
۵۰	۵۰	۰/۳۰
۶۰	۶۰	۰/۲۵
۸۰	۸۰	۰/۱۸
۱۰۰	۱۰۰	۰/۱۵
۱۲۰	۱۲۰	۰/۱۲

تحقیق کنید

چه استانداردهایی برای مش‌بندی الک‌ها کاربرد بیشتری دارد؟

فعالیت کلاسی

شمارهٔ الک یا عدد مش توری زیر را تعیین کنید.
ابعاد روزنهٔ این توری چند است؟
نتایج خود را با جدول مربوط به استاندارد الک‌ها مقایسه کنید.



شکل ۱۱

بر روی قاب الک‌های استاندارد یک پلاک چسبانده می‌شود که مشخصات الک آزمایشگاهی روی آن درج شده است. در شکل (۱۲) یک نمونه الک نشان داده شده است.

شکل ۱۲

رابطهٔ شماره مش الک با اندازهٔ ذرات

فعالیت کلاسی

۶ عدد الک با یک زیرالک به صورت سری مطابق شکل (۱۳) بر روی یکدیگر چیده شده‌اند. جاهای خالی را با کلمات افزایش یا کاهش پر کنید.

شکل ۱۳

جدایش ذرات در الک‌ها

ذرات بر اساس محدودهٔ اندازهٔ آن‌ها از یکدیگر جدا می‌شود. با لرزش الک یا مجموعهٔ الک‌ها، ذرات بزرگ‌تر از روزنه‌های الک، روی الک باقی می‌مانند و ذرات کوچک‌تر تا رسیدن به الک با سوراخ‌های کوچک‌تر، از روزنه‌های الک‌ها عبور می‌کنند.

نکته

به ذراتی که روی الک باقی می‌ماند، ذرات روی الکی یا مانده گفته می‌شود.

درصد باقی‌ماندهٔ روی الک را به کمک رابطهٔ زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$\text{درصد ذرات باقی‌ماندهٔ روی الک} = \frac{\text{(وزن ذرات باقی‌ماندهٔ روی الک با اندازهٔ مشخص)}}{\text{(وزن کل مادهٔ اولیهٔ ریخته شده روی الک‌ها)}} \times ۱۰۰$$

درصد ذرات باقی‌ماندهٔ روی هر الک به صورت تجمعی:
این عدد از جمع کردن درصد دانه‌های باقی‌مانده روی هر الک با درصد ذرات باقی‌مانده روی الک‌های قبلی به دست می‌آید.

فکر کنید

چگونه می‌توان درصد عبوری از هر الک را به دست آورد؟

شکل ۱۴ــ الک‌های آزمایشگاهی

برای به دست آوردن درصد عبوری از هر الک، ابتدا لازم است درصد تجمعی باقی‌مانده روی هر الک را به‌دست آورد. درصد تجمعی ذرات عبوری از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

درصد تجمعی عبوری = ۱۰۰ − درصد تجمعی باقی‌مانده

فکر کنید

آیا الک کردن تنها برای مواد خشک و پودر به کار می‌رود؟ در زندگی روزمره در چه مواردی از الک کردن استفاده می‌شود؟

شکل ۱۵

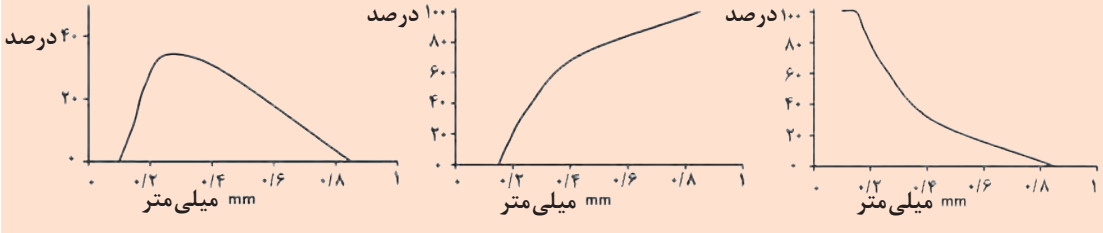
فعالیت کلاسی

نتایج آزمون دانه‌بندی مادهٔ اولیه‌ای به صورت جدول زیر است. جدول را تکمیل کنید.

جدول ۷

مش الک	اندازهٔ ذرات (میلی‌متر)	مقدار ماده (گرم)	درصد روی الک	درصد تجمعی روی الک	درصد عبوری از الک
۲۰		۰			
۴۰		۲۸			
۶۰		۳۲			
۸۰		۲۲			
۱۰۰		۱۲			
زیر الک		۰			
مجموع					

هر یک از نمودارهای زیر مربوط به کدام ستون از جدول بالاست.



الک کردن می‌تواند به صورت خشک یا تر (ذرات معلق در یک سیال) انجام شود.

الک خشک: در روش الک خشک، خاک خشک در بالاترین الک (کوچک‌ترین مش) از مجموعهٔ الک‌ها قرار داده می‌شود. با لرزش الک‌ها و جدا شدن ذرات، درصد مقادیر باقی‌مانده روی هر الک مشخص و نمودار دانه‌بندی برای درصد عبوری از هر الک بر حسب اندازهٔ الک رسم می‌شود.

الک تر: در الک تر ذرات ریزدانه یا دوغاب را روی الک می‌ریزند و با فشار آب ذرات را از الک عبور می‌دهند. سپس مواد عبوری و مانده روی الک به صورت مجزا خشک و توزین می‌شوند.

اغلب برای ذرات درشت‌تر مؤثرتر و سریعتر از ذرات ریز است.	زیرا ذرات ریز (مش بیشتر) تمایل به چسبیدن به یکدیگر داشته و کلوخه‌های آن، منافذ الک را مسدود می‌کند.
برای ذرات با جریان‌یابی زیاد، الک خشک می‌تواند روش معمولی برای دانه‌بندی باشد.	زیرا جریان‌یابی به جابه‌جایی ذرات و عبور آن‌ها از منافذ کمک می‌کند.
برای پودرهای بسیار ریز سودمند است.	زیرا از کلوخه شدن آن جلوگیری می‌کند.
الک تر می‌تواند به عنوان مرحلهٔ کنترل کیفیت در حین فرایند تولید استفاده شود.	زیرا سریع‌تر است.

دانه‌بندی با الک به صورت خشک

دانه‌بندی با الک به صورت تر

فعالیت کلاسی

جدول زیر را تکمیل کنید.

جدول ۸

مشکلات	اثرات	راه حل پیشنهادی
پارگی توری الک	منجر به عبور ذرات از توری می‌شود.	.....
کلوخه شدن پودر	.....	روش الک تر
آلودگی هوا حین الک کردن	.....	.....

آیا می‌دانید

اندازهٔ ذرات کوچک و تخلخل کم به ایجاد بدنهٔ با استحکام بالا کمک می‌کند، ولی در برخی از موارد کاربردی مانند عایق‌های دیرگداز، استحکام معیار اصلی نیست. در عایق‌ها، تخلخل زیاد باعث خواص مطلوب مثل هدایت حرارتی پایین و مقاومت به شوک حرارتی بالا می‌شود.

ذرات زیرالکی

ریزترین الک که به طور معمول استفاده می‌شود، الک با مش ۳۲۵ است که دارای منافذ ۴۴ میکرومتری (۰/۰۴۴ میلی‌متر) است. بنابراین ذراتی که از الک مش ۳۲۵ عبور می‌کنند، از ۴۴ میکرومتر کوچک‌تر هستند که به آن‌ها ذرات زیرالکی گفته می‌شود.

گفت‌وگو کنید

آیا ذرات زیرالکی دارای اهمیت هستند؟ دربارهٔ اهمیت ذرات زیرالکی با هم‌کلاسی‌های خود گفت‌وگو کنید.

نگه‌داری و تمیز کردن الک آزمایشگاهی

نگه‌داری صحیح از الک‌های آزمایشگاهی باعث افزایش عمر الک‌ها و همچنین کاهش خطا در نتایج می‌شود. همیشه بعد از استفاده از الک، بهتر است الک با برس‌های مخصوص یا فشار باد تمیز شود تا روزنه‌های آن تمیز و بدون گرفتگی باشد. در صورت عدم‌رعایت این نکات، عمر الک بسیار کم شده و از دقت و کارایی آن کاسته می‌شود.

الف) نمونه‌ای از برس برای تمیزکاری الک

ب) تمیزکاری الک

شکل ۱۶

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: تعیین دانه‌بندی با الک به روش خشک

مواد و ابزار: ترازو، الک در مش‌های مختلف (۱۲، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۲۰)، زیرالک (سینی)، دستگاه لرزاننده، ماده اولیهٔ سرامیکی.

شرح فعالیت:

۱ مادهٔ اولیه را ابتدا در خشک‌کن به مدت ۲ ساعت خشک کرده و سپس وزن کنید.

نکته: اگر ذرات مادهٔ اولیه به صورت کلوخه در آمده است آن‌ها را با هاون خرد کنید.

۲ کل مادهٔ وزن شده را روی مجموعهٔ الک‌ها بریزید. الک با سوراخ‌های بزرگ‌تر (شماره‌های کوچک‌تر) بالاتر از الک‌های با سوراخ‌های ریزتر (شماره‌های بزرگ‌تر) قرار خواهند گرفت. در زیر، ریزترین الک (در

اینجا ۲۰۰ مش) زیرالک یا سینی قرار می‌گیرد.

نکته: دقت کنید که الک‌های مورداستفاده خشک و تمیز باشند. الک‌ها و سینی را می‌توانید قبل از استفاده وزن و یادداشت کنید. به نظر شما این کار چه کمکی به شما خواهد کرد؟

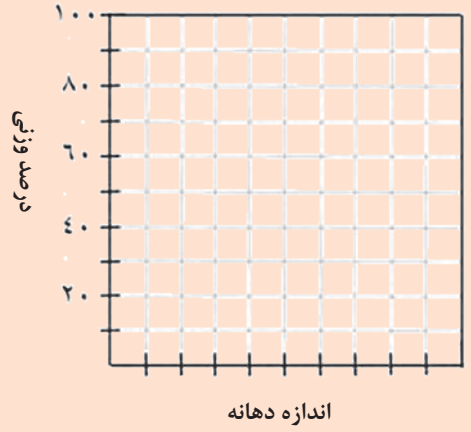
دستگاه الک را به مدت ۱۰ دقیقه روشن کنید. در صورت عدم‌دسترسی به لرزانندهٔ مکانیکی مراحل را به‌صورت دستی انجام دهید.

جدول را تکمیل کنید.

جدول ۹

الک	روزنهٔ الک (میلی‌متر)	وزن باقی‌مانده (گرم)	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری	درصد تجمعی
۱۲					
۲۰					
۳۰					
۵۰					
۱۰۰					
۱۲۰					
کف الک					
مجموع					

نمودار درصد عبوری از هر الک را برحسب اندازهٔ منفذ الک رسم کنید.



فعالیت کارگاهی

کار عملی ۶: تعیین دانه‌بندی با الک به روش تر

مواد و ابزار: هاون، ترازو، الک با مش‌های مختلف، دستگاه خشک‌کن، سطل یا ظرف مناسب و دوغاب.

شرح فعالیت:

دوغاب آماده شده را روی مجموعهٔ الک‌ها بریزید. الک با سوراخ‌های بزرگ‌تر (مش‌های کوچک‌تر) بالاتر از الک‌های با سوراخ‌های ریزتر (مش‌های بزرگ‌تر) قرار خواهند گرفت. به جای سینی الک از سطل با حجم مناسب استفاده شود.

نکته:

۱ بهتر است سطح الک را قبل از استفاده تَر کنید.

۲ بر روی ظروف و الکِ حاوی مواد گروه خود برچسب بزنید.

۳ از مقداری آب برای شست‌وشوی الک و اطمینان از شست‌وشوی تمام ذرات کوچک (کلوئیدها) استفاده کنید.

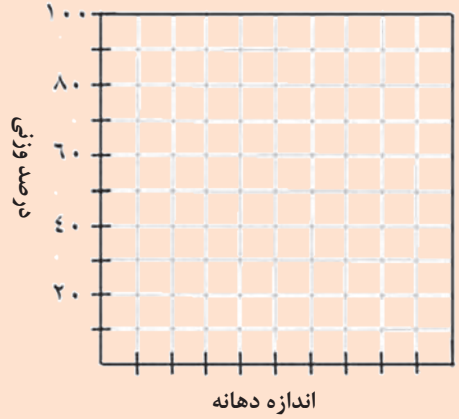
۴ الک‌های حاوی مواد باقی‌مانده را داخل خشک‌کن قرار دهید.

۵ مقدار مادهٔ خشک شده روی هر الک را وزن کرده و جدول زیر را تکمیل کنید.

جدول ۱۰

الک	سوراخ الک (میلی‌متر)	وزن باقی‌مانده (گرم)	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری	درصد تجمعی	مجموع
۱۲						
۲۰						
۳۰						
۵۰						
۱۰۰						
۱۲۰						

نمودار درصد عبوری از هر الک را برحسب اندازهٔ منفذ الک رسم کنید.



به نکات زیر توجه کنید:

۱ الک‌های با مش بالاتر از ۱۰۰ دارای سیم‌های نازک بوده و آسیب‌پذیر هستند. بنابراین نیاز به دقت بالایی در هنگام کار وجود دارد.

۲ در هنگام استفاده از الک‌های با مش بالاتر مانند ۳۲۵، استفاده از آب و گاهی برس به عبور ذرات از الک کمک می‌کند.

۳ دقت کنید الک‌های آزمایشگاهی با توجه به قدرت توری و قاب، توان تحمل وزن محدودی را دارند؛ برای مثال الک آزمایشگاهی مش ۲۰۰ به علت ظرافت توری، از نظر وزنی تحمل کمتری را در برابر الکی با مش ۱۸ دارد.

۴ در برخی از الک‌ها، قاب و توری الک با کمک چسب به هم متصل شده‌اند. در این مواقع از قرار دادن الک در داخل خشک‌کن خودداری شود، زیرا ممکن است سبب جداشدن توری از قاب الک شود.

آیا می‌دانید

آزمون ته‌نشینی (روش آندریازن)

جداسازی و دانه‌بندی در آزمون ته‌نشینی یا هیدرومتری توسط مایع انجام می‌شود. در این روش که برای به دست آوردن توزیع ذرات خیلی ریز، که به کمک الک نمی‌توان مقدار آن‌ها را مشخص کرد، به کار می‌رود، پودر با آب یا مایع دیگر همراه عامل ترکننده مخلوط می‌شود.

این روش بر این اساس پایه‌گذاری شده که در یک مایع زمان سقوط ذرات با اندازه‌های مختلف متفاوت است. همچنین سقوط ذرات در مایعات به عوامل مختلفی مانند چگالی مواد موجود در سوسپانسیون و گرانروی مایع بستگی دارد. بنابراین به کمک روابطی بین ارتفاع سقوط ذرات، کوچک‌ترین قطر ذره بر اساس زمان سقوط آن در مایع محاسبه می‌شود.

آیا می‌دانید

جداسازی با هوا

جداسازی ذرات توسط هوا برای تفکیک ذرات ریز و درشت پودرهای سرامیکی خشک به کار می‌رود. در این روش از جریان هوا و نیروی گریزازمرکز استفاده می‌شود. این روش اغلب برای جداسازی ذرات در محدودهٔ بین ۱ تا ۳۰۰ میکرون به کار گرفته می‌شود و عملکرد آن بر اساس تفاوت بین نیروی وارده بر ذرات با ابعاد مختلف توسط هواست.

نکته: این روش دانه‌بندی در صنایع آماده‌سازی پودرهای معدنی برای دانه‌بندی ذرات ریز با اندازهٔ دقیق کاربرد گسترده‌ای دارد و گاهی در صنایع سرامیک نیز به عنوان فیلتر برای خارج کردن غبار و ذرات ریز نامطلوب به‌کار می‌رود.

آیا می‌دانید

دستگاه بلین[1]

دستگاه بلین برای انجام آزمون اندازهٔ ذرات پودر به کار گرفته می‌شود. کارکرد دستگاه بلین بر اساس مکش و عبور یک مقدار معینی هوا از میان یک بستر پودر مانند سیمان با تخلخل معین است. اندازهٔ

1- Blaine

حفره‌ها در بستر سیمان با تخلخل معین با اندازهٔ دانه‌های سیمان رابطه دارد و تعیین‌کنندهٔ میزان جریان‌پذیری هوا از داخل بستر است. هر چه پودر ریزتر باشد، مقاومت بیشتری در برابر جریان هوا خواهد داشت.

شکل ۱۷

ارزشیابی نهایی شایستگی تعیین رطوبت و دانه‌بندی

شرح کار:

۱ـ آماده‌سازی، تمیزکاری و تنظیم تجهیزات تعیین رطوبت و دانه‌بندی؛
۲ـ تعیین انواع رطوبت و وزن‌کردن مواد موردبررسی؛
۳ـ خشک‌کردن انواع مواد جهت رطوبت‌سنجی؛
۴ـ الک کردن به روش دستی و دستگاهی؛
۵ـ وزن‌کردن مواد.

استاندارد عملکرد:

تعیین درصد رطوبت و توزیع دانه‌بندی مواد اولیه مطابق با فرمول بدنه.

شاخص‌ها:

ـ وزن‌کردن صحیح و با دقت مواد به مقدار مناسب؛
ـ تمیز بودن ابزارآلات و زدودن گردوغبار، بازبودن منافذ الک‌ها، انتخاب صحیح الک‌های مورد نیاز؛
ـ ترتیب قراردادن الک‌ها با توجه به مش آن‌ها، حرکت لرزشی صحیح هنگام الک کردن دستی؛
ـ کالیبره بودن ترازو، خشک شدن کامل پودر و قرار دادن آن در دسیکاتور و شستن به اندازهٔ کافی.

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی، سیستم تهویه و نورکافی.
ابزار و تجهیزات: خشک‌کن استاندارد با سرعت خشک کردن مناسب، ترازو با استاندارد دقت بالا، کف الک، دستگاه شیکر استاندارد، الک استاندارد، ترازو استاندارد و کالیبره شده.

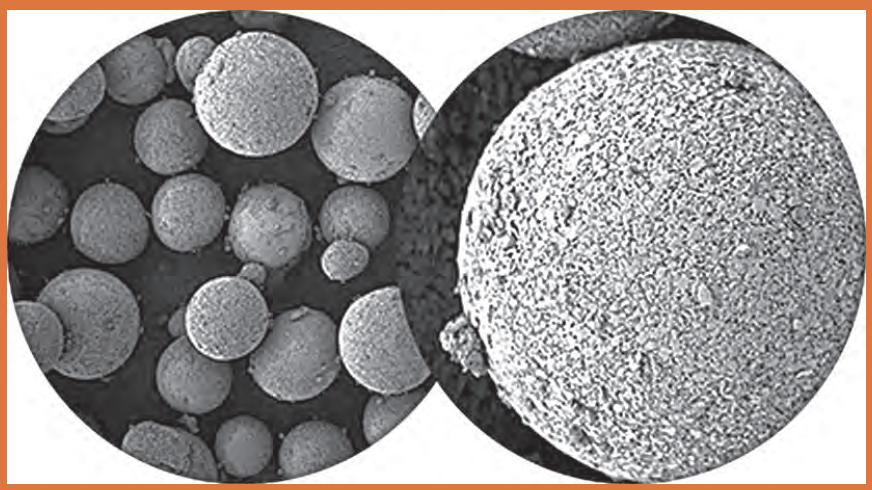
معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده‌سازی مواد	۱	
۲	الک‌کردن و وزن‌کردن مواد	۱	
۳	تعیین مقدار رطوبت	۲	
۴	خشک کردن	۱	
۵	تعیین دانه بندی	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۴

گرانول‌سازی



با اتصال ذرات ریز پودر به یکدیگر تحت شرایط کنترل شده و تبدیل آن به گرانول می‌توان بدنه‌های پرس شده با خواص مطلوب تولید کرد. گرانول‌ها دارای ویژگی‌های بسیاری هستند که شامل مواردی نظیر جریان‌یابی مناسب و ترکیب یکنواخت از آمیز می‌شود. این ویژگی‌ها باعث کاربرد گستردهٔ آن‌ها در صنعت سرامیک شده است.

واحد یادگیری ۴

شایستگی گرانول‌سازی

آیا تا به حال پی برده‌اید

۱ گرانول چیست و چه کاربردی در صنعت سرامیک دارد؟
۲ روش‌های تهیه گرانول چگونه است؟
۳ ویژگی‌های گرانول چه تأثیری بر روی بدنه سرامیکی دارد؟

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت گرانول‌سازی است که در تولید سرامیک‌ها به روش پرس پودر مورد توجه قرار دارد. بررسی عوامل مؤثر بر گرانول‌سازی و روش‌های متنوع و متداول تولید گرانول، که شامل دو نوع تر و خشک است، در این پودمان در نظر گرفته شده است. شناخت روش و آشنایی با تجهیزات برای تولید گرانول با ویژگی مطلوب دارای اهمیت است.

استانداردعملکرد

گرانول‌سازی بر اساس ابعاد، شکل، رطوبت و دانه‌بندی موردنیاز تولید قطعهٔ سرامیکی.

به نظر شما شکل ذرات در کارکرد ساعت شنی چه اهمیتی دارد؟

شکل ۱

با جابه‌جایی کدام‌یک از خاک‌های شکل (۲) از ظرفی به ظرف دیگر، گرد و غبار کمتری ایجاد می‌شود؟

ب الف

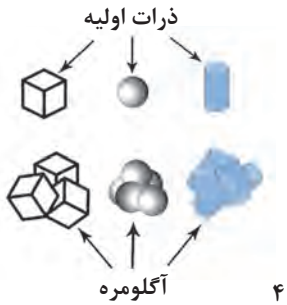
شکل ۲

کدام پودر برای تولید یک محصول سرامیکی به روش پرس مناسب‌تر است؟

ب الف

شکل ۳

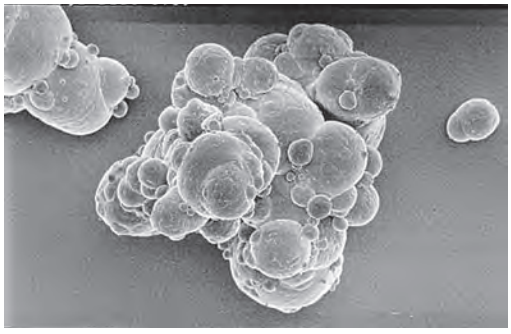
پودر از اجزای کوچک‌تری به نام ذره[1] تشکیل شده است.



شکل ۴

1- Particle

ذرات در اثر نیروهای سطحی به یکدیگر متصل می‌شوند و یک تودهٔ نامنظم متخلخل را تشکیل می‌دهند که به آن آگلومره[1] گفته می‌شود.



شکل ۵ــ آگلومرهٔ متخلخل با شکل نامنظم و ابعاد حدود ۳۰۰ میکرومتر

وجود آگلومره‌ها با شکل‌های نامنظم و متخلخل، مشکلات بسیاری در فرایند تولید محصولات ایجاد می‌کند.

تحقیق کنید

آگلومره‌های متخلخل با شکل‌های نامنظم چه اثری بر روی ویژگی‌های مواد و فرایند تولید سرامیک‌ها در جدول (۱) ایجاد می‌کنند؟

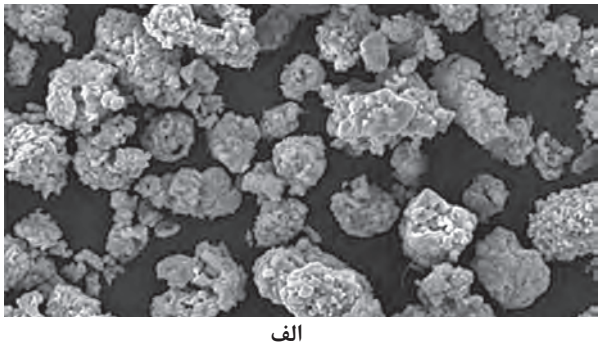
جدول ۱

ویژگی	جریان‌یابی مواد	یکنواختی چگالی محصول	تخلخل محصول
تأثیر			

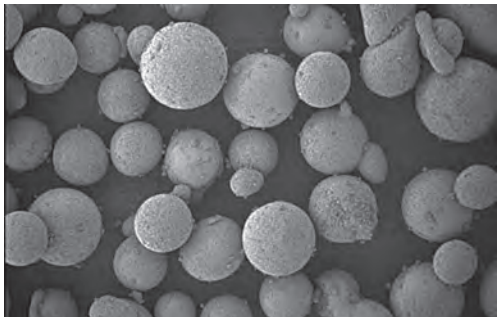
به تصاویر شکل (۶) نگاه کنید:

ـ چه تفاوت‌هایی در شکل‌های زیر مشاهده می‌شود؟

ـ به نظر شما کدام‌یک در فرایند شکل‌دهی سرامیک‌ها مناسب‌تر است؟



الف



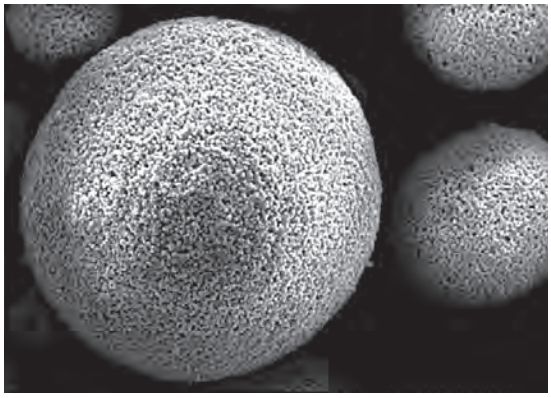
ب

شکل ۶

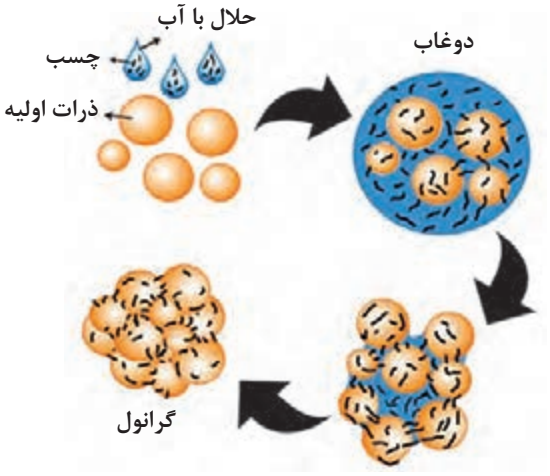
1- Agglomerate

گرانول و گرانول‌سازی

آگلومره‌های کروی‌شکل و دارای تخلخل کم را «گرانول» و فرایند تولید آن را به صورت کنترل شده «گرانول‌سازی» گویند.
در شکل (۷) مراحل و چگونگی تشکیل گرانول نشان داده شده است. در تشکیل گرانول‌ها، معمولاً با کاهش کنترل شدهٔ میزان رطوبت، ذرات نزدیک‌تر شده و به یکدیگر می‌چسبند.



الف) یک گرانول کروی‌شکل با قطر حدود ۱۰۰ میکرومتر

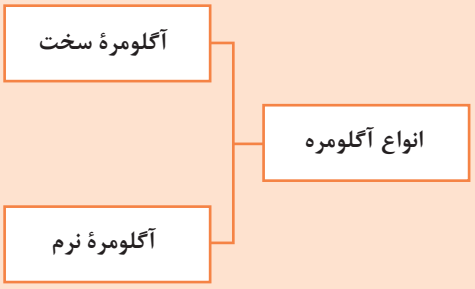


ب) مراحل و چگونگی تشکیل گرانول

شکل ۷

آیا می‌دانید

آگلومره را می‌توان به دو دستهٔ نرم و سخت تقسیم کرد:

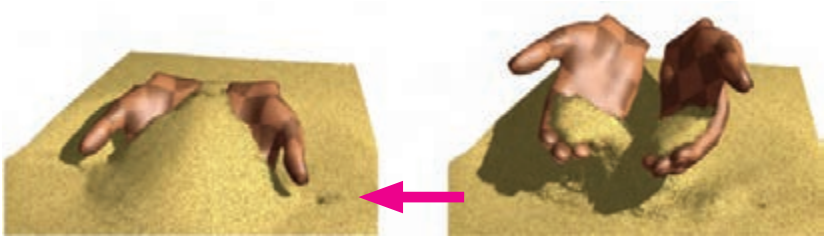


نمودار ۱ـ انواع آگلومره

۱ نیروی بین ذرات در آگلومره‌های سخت در مقایسه با آگلومره‌های نرم قوی‌تر است.
۲ شکستن آگلومره‌های سخت مشکل‌تر از نوع نرم است.
۳ وجود آگلومره‌های سخت در آمیز، مشکلات زیادی در فرایند تولید و ویژگی‌های قطعهٔ نهایی ایجاد می‌کند.

اهداف تهیهٔ گرانول در شکل‌دهی به روش پرس پودر عبارت‌اند از:

۱ـ بهبود جریان‌یابی مواد

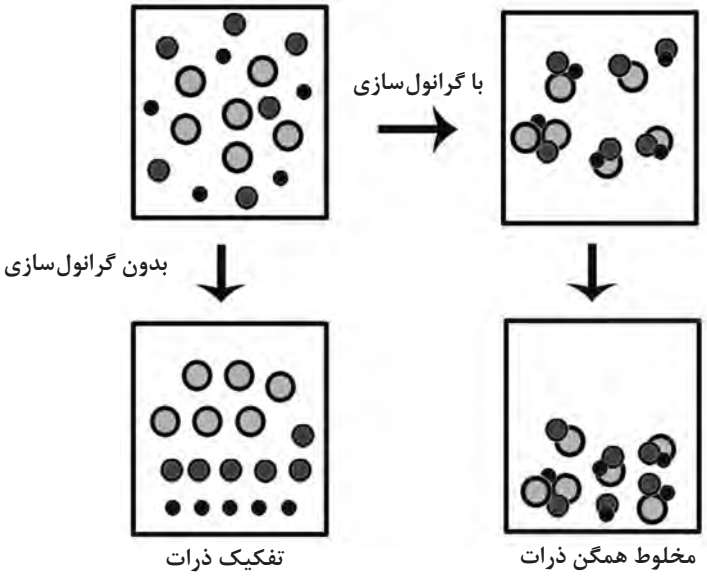


شکل ۸ـ گرانول با جریان‌یابی مناسب

۲ـ جلوگیری از ایجاد گردوغبار

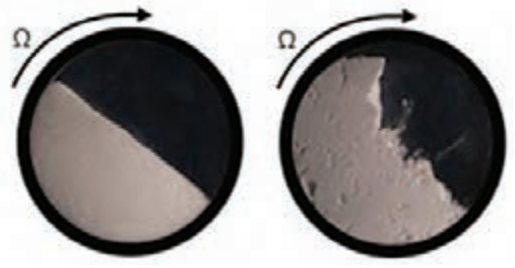
شکل ۹ـ گردوغبار حاصل از مواد پودری

۳ـ تولید ترکیب یکنواخت و جلوگیری از جدایش ذرات مختلف در آمیز



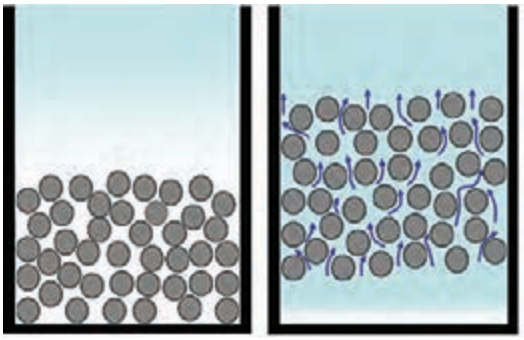
شکل ۱۰ـ جلوگیری از جدایش ذرات آمیز

۴ـ انتقال آسان‌تر آمیز در لوله‌ها و مجاری دستگاه‌های اتوماتیک و نیمه اتوماتیک



شکل ۱۱ـ بهبود جریان‌یابی

۵ـ تسهیل در خروج هوا از بین ذرات و افزایش تراکم در مرحلهٔ پرس



شکل ۱۲ـ خروج هوا از بین گرانول‌ها

جهت دستیابی به قطعاتی با ویژگی‌های مناسب مانند تراکم بالا، گرانول تولیدشده باید دارای ویژگی‌هایی باشد که برخی از این ویژگی‌ها را در شکل (۱۳) ملاحظه می‌کنید:

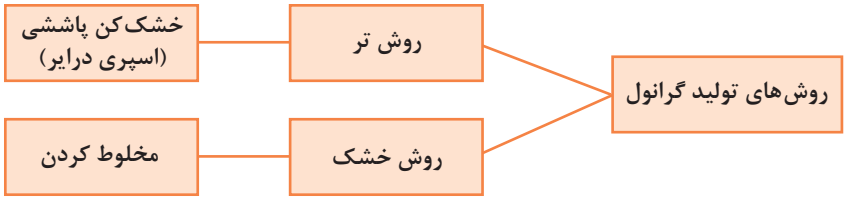
شکل ۱۳ـ ویژگی‌های گرانول

تحقیق کنید

اثر هر یک از ویژگی‌های گرانول را در فرایند شکل‌دهی به روش پرس بررسی کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

روش‌های تولید گرانول

بر اساس میزان آب مصرفی در فرایند تولید گرانول، روش‌های متنوعی در صنعت وجود دارد که آن‌ها را در نمودار زیر ملاحظه می‌کنید:



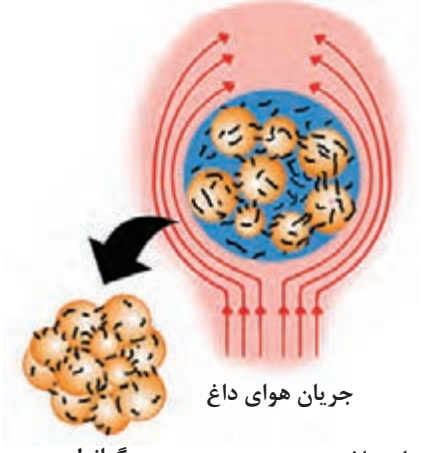
نمودار ۲

گرانول‌ها جهت تولید محصولات متنوع از قبیل کاشی، پرسلان‌ها، ظروف غذاخوری، تهیهٔ رنگ‌ها و لعاب‌ها کاربرد دارند.

شکل ۱۴ــ گرانول‌های رنگ

روش تر (خشک‌کن پاششی (اسپری درایر)[1])

گرانول می‌تواند با کاهش میزان رطوبت قطرات دوغاب یا محلول تولید شود. اسپری درایر نوعی خشک‌کن است که این فرایند را به واسطهٔ اسپری‌کردن دوغاب در جریانی از هوای داغ انجام می‌دهد. در شکل (۱۵) تبدیل قطره‌ای از یک دوغاب آمیز در مجاورت جریانی از هوای داغ نشان داده شده است.



شکل ۱۵ــ تبدیل قطره به گرانول در تماس با هوای داغ

1- Spray Dryer

اسپری درایر توانایی تولید گرانول‌هایی را با اندازه‌های مختلف و مقدار رطوبت مشخص دارد.

نکته

اسپری درایر علاوه بر تولید گرانول‌های سرامیکی، در تولید پودرهای شوینده، صنایع غذایی و دارویی نیز کاربرد دارد.

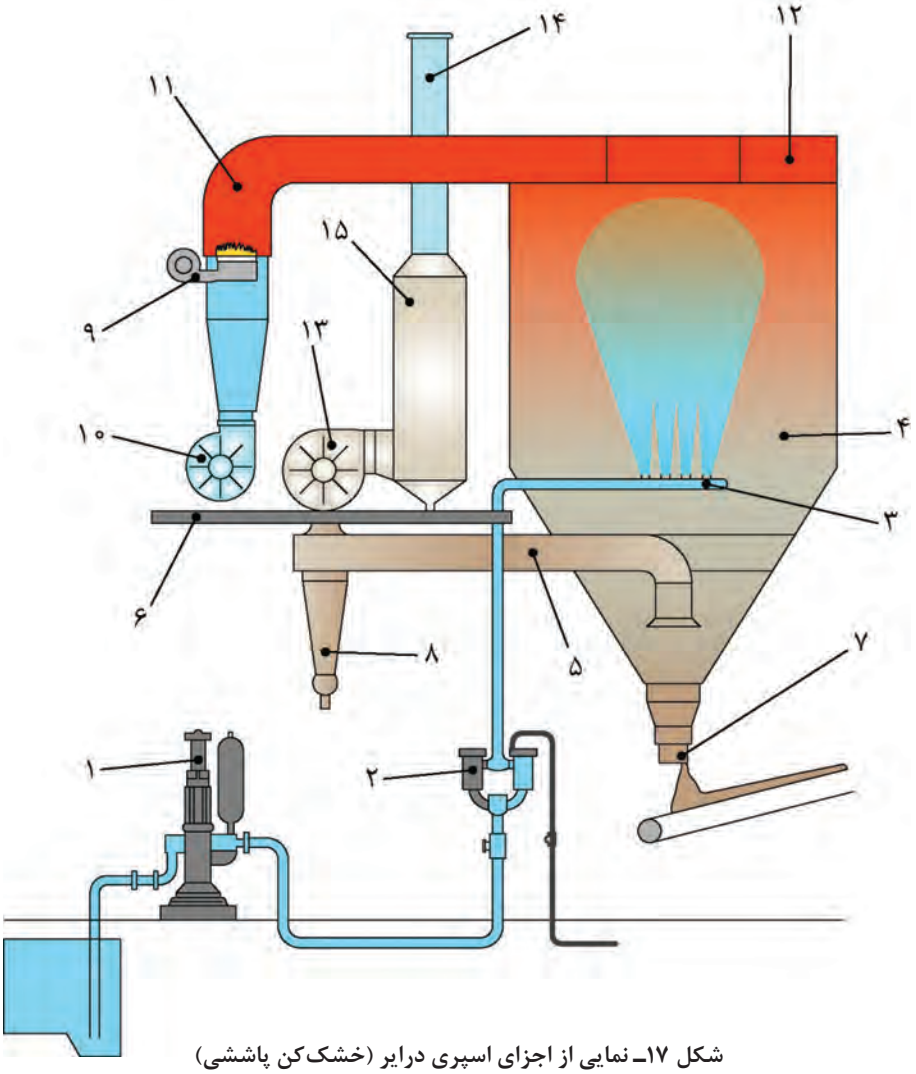
شکل ۱۶ـ گرانول پودر لباس‌شویی

مزایای اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)

این دستگاه مزایای زیادی دارد که در نمودار زیر به آنها اشاره شده است.

نمودار ۳

در شکل (۱۷) نمایی از اجزای اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) نشان داده شده است.

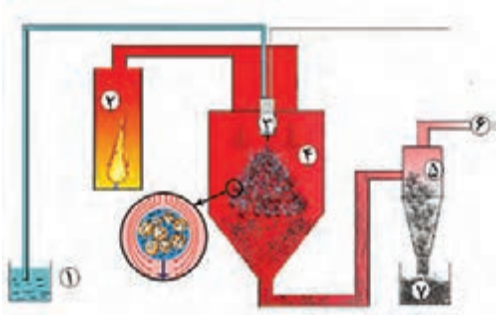


شکل ۱۷ــ نمایی از اجزای اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)

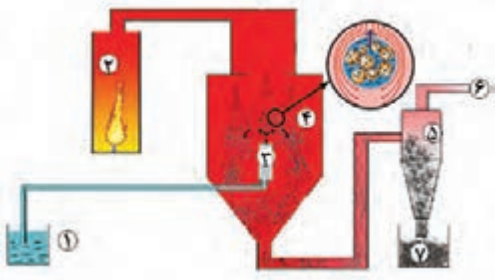
جدول ۲ــ اجزای دستگاه اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)

۱ــ پمپ اِعمال دوغاب	۸ــ سیکلون
۲ــ فیلترها و لولهٔ انتقال دوغاب	۹ــ مشعل
۳ــ نگه‌دارندهٔ افشانک	۱۰ــ دمنده
۴ــ محفظهٔ خشک‌کن	۱۱ــ خطوط انتقال هوای داغ
۵ــ لوله‌های انتقال هوای خروجی	۱۲ــ پخش‌کنندهٔ هوای داغ
۶ــ محل استقرار جهت سرویس	۱۳ــ مکنده
۷ــ شیر تخلیهٔ پودر	۱۴ــ دودکش
	۱۵ــ فیلتر

اسپری درایرها (خشک‌کن‌های پاششی) بر اساس جهت برخورد قطرات دوغاب با هوای داغ به دو نوع همسو و ناهمسو تقسیم می‌شوند. اسپری درایرها (خشک‌کن‌های پاششی) با جریان ناهمسو در مقایسه با نوع همسو دارای تبخیر سریع‌تر و کارایی بالاتری هستند.



شکل ۱۸ـ اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) از نوع همسو



شکل ۱۹ـ اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) از نوع ناهمسو

فعالیت کلاسی

اجزای مشخص شده را در شکل‌های (۱۸) و (۱۹) بنویسید:

۱ـ ..... ۲ـ ..... ۳ـ ..... ۴ـ .....

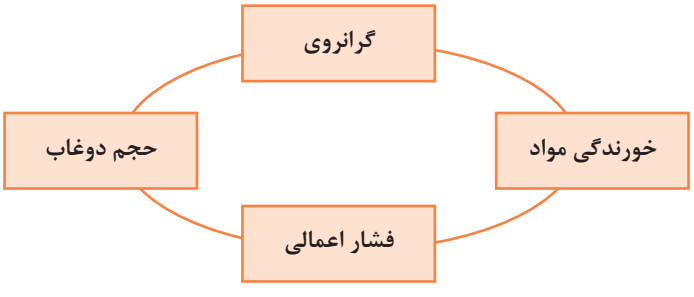
۵ـ ..... ۶ـ ..... ۷ـ .....

نکته

آمیز دوغاب برای اسپری‌کردن غلیظ بوده و برای انتقال دادن آن نیاز به پمپ‌های قوی است.

پمپ

پمپ‌های مورداستفاده در اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) باید قدرت بالایی داشته باشند. عوامل تأثیرگذار بر روی انتخاب پمپ عبارت‌اند از:



نمودار ۴ـ عوامل مؤثر بر روی انتخاب پمپ

به‌طور معمول در اسپری درایرها (خشک‌کن‌های پاششی) از پمپ‌های دیافراگمی و پیستونی استفاده می‌شود (شکل ۲۰)

پمپ دیافراگمی

پمپ پیستونی

شکل ۲۰

فکر کنید

افزایش یا کاهش چگالی دوغاب چه تأثیری بر موارد ذکر شده در جدول زیر دارد؟

جدول ۳

	گرانروی دوغاب	اندازه گرانول	فرسایش پمپ	گرفتگی افشانک
افزایش چگالی دوغاب				
کاهش چگالی دوغاب				

تأمین‌کنندهٔ هوای داغ

در دستگاه اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)، هوای داغ تأمین شده توسط مشعل می‌تواند به صورت مستقیم وارد محفظه شود یا توسط مبدّل‌های حرارتی به صورت غیرمستقیم جدارهٔ محفظه را گرم کند. در صنعت سرامیک هوای داغ با دمای بین ۴۵۰ تا ۸۰۰ درجهٔ سلسیوس به صورت مستقیم تأمین می‌شود. از مکانیزم تأمین هوای داغ به‌صورت غیرمستقیم برای مواد حساس به حرارت مانند مواد غذایی، دارویی، رنگ‌ها و دیگر مواد افزودنی استفاده می‌شود.

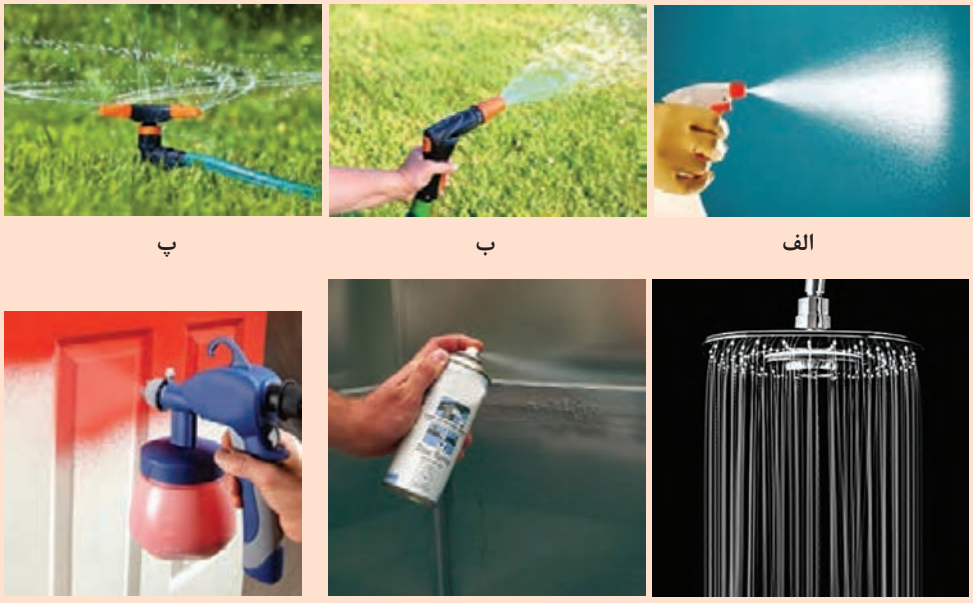
شکل ۲۱ــ تأمین‌کنندهٔ هوای داغ

افشانک[1]

مجموعهٔ اسپری‌کننده شامل یک یا چند افشانک است که برای تبدیل دوغاب به قطرات کوچک استفاده می‌شود.

فکر کنید

در هر یک از تصاویر زیر از چه روشی برای پخش کردن قطرات استفاده شده است؟

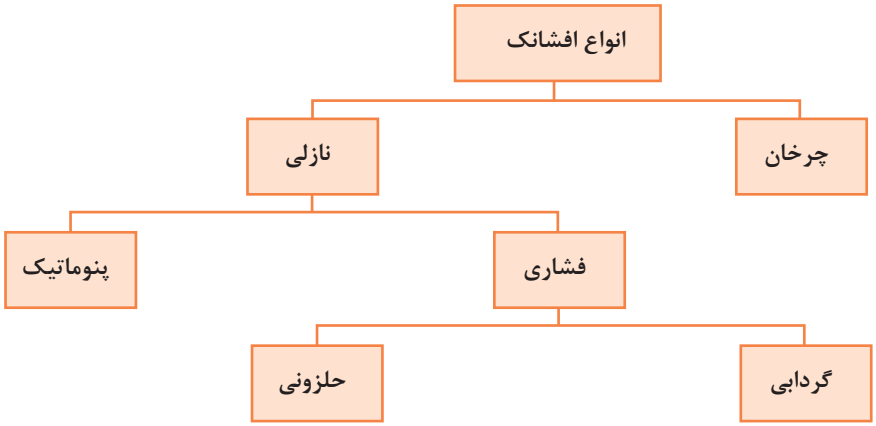


الف ب پ

ت ث ج

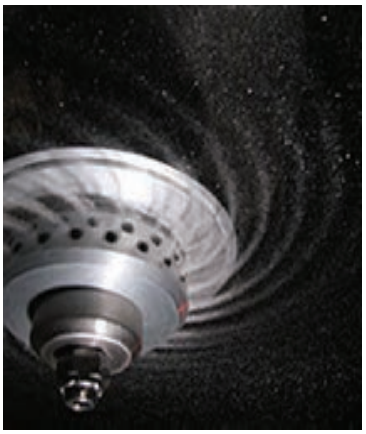
شکل ۲۲

انواع افشانک به دو دستهٔ کلی چرخان و نازلی تقسیم می‌شوند. در نوع چرخان، دوغاب از دریچه‌های یک محفظهٔ در حال چرخش، در اثر نیروی گریز از مرکز به بیرون پخش می‌شود در حالی که دوغاب در نوع نازلی آن، تحت فشار، از یک روزنه به بیرون پخش می‌شود.



نمودار ۵ـ انواع افشانک‌ها

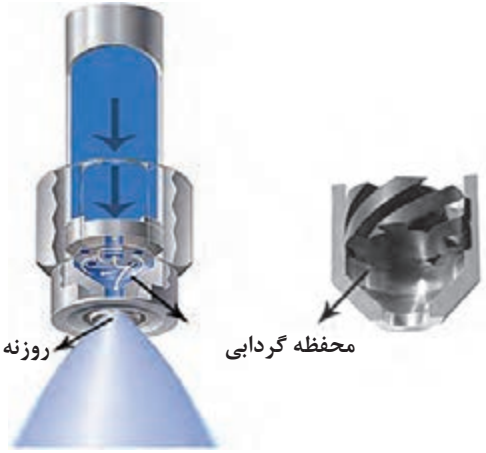
1- Atomizer



شکل ۲۳ـ افشانک چرخان

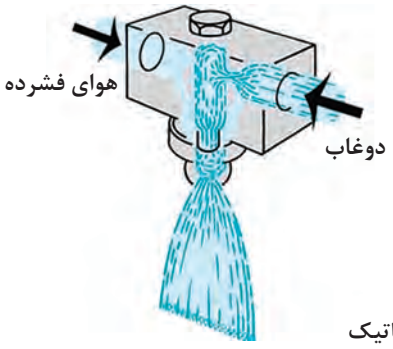
دوغاب در افشانک‌های نازلی از نوع فشاری، تحت فشار بالا از روزنهٔ نازل اسپری می‌شود، در حالی که در افشانک‌های نوع پنوماتیک، به کمک هوای فشرده اسپری می‌شود. تأمین فشار بالای دوغاب در افشانک‌های نوع نازلی با کمک پمپ‌های بسیار قوی مقدور است که هزینهٔ تعمیر و نگه‌داری زیادی دارد.

شکل ۲۴ـ افشانک نازلی نوع حلزونی



شکل ۲۵ـ افشانک نازلی نوع گردابی

انتخاب نوع افشانک بر اساس خصوصیات دوغاب، خواص گرانول موردنظر، ابعاد و نوع خشک‌کن و میزان انرژی مصرفی صورت می‌پذیرد.



شکل ۲۶ـ افشانک نازلی نوع پنوماتیک

مزایا و معایب مربوط به انواع افشانک‌های چرخان و نازلی به طور کلی به‌صورت زیر است:

جدول ۴

افشانک	مزایا	معایب
چرخان	فشار کم انسداد و گرفتگی کم خوردگی و فرسایش کم مناسب برای دوغاب‌های با گرانروی بالا	توزیع اندازهٔ گرانول گسترده نیاز به محفظهٔ خشک‌کن با قطر زیاد
نازلی	توزیع اندازهٔ گرانول باریک مناسب برای دوغاب‌های با چگالی کم	هزینهٔ تعمیر و نگه‌داری بالا انسداد زیاد نیاز به محفظهٔ خشک‌کن با ارتفاع زیاد

فکر کنید

چه نوع افشانکی در اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) با جریان ناهمسو مناسب‌تر است؟ چرا؟

فعالیت کلاسی

در هر یک از انواع افشانک‌ها، افزایش هر یک از عوامل مؤثر چه تأثیری بر اندازهٔ گرانول دارد؟

جدول ۵

افشانک	افزایش عوامل مؤثر	اندازهٔ گرانول
چرخان	سرعت چرخش	
	اندازهٔ دریچه‌ها	
نازلی	فشار دوغاب یا هوا	
	قطر نازل یا حلزونی	

افشانک‌های نازلی متداول‌ترین نوع افشانک در اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) است. به طور کلی این افشانک‌ها در مقایسه با افشانک‌های چرخان، گرانول ریز با توزیع اندازهٔ باریک‌تر و جریان‌یابی مناسب‌تر تولید می‌کند.

نکته

برای افزایش ظرفیت تولید دستگاه اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) از چندین نازل به صورت حلقه‌ای در کنار هم استفاده می‌شود.

شکل ۲۷ـ چیدمان چندین افشانک نازلی در یک اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)

نکته

از افشانک‌های نازلی بیشتر در صنعت سرامیک استفاده می‌شود، در حالی که افشانک‌های چرخان، در صنعت داروسازی کاربرد بیشتری دارند.

محفظهٔ خشک کن

فرایند اسپری کردن، خشک شدن قطرات دوغاب و تبدیل شدن به گرانول در محفظهٔ اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) انجام می‌شود.

شکل ۲۸ـ محفظهٔ اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)

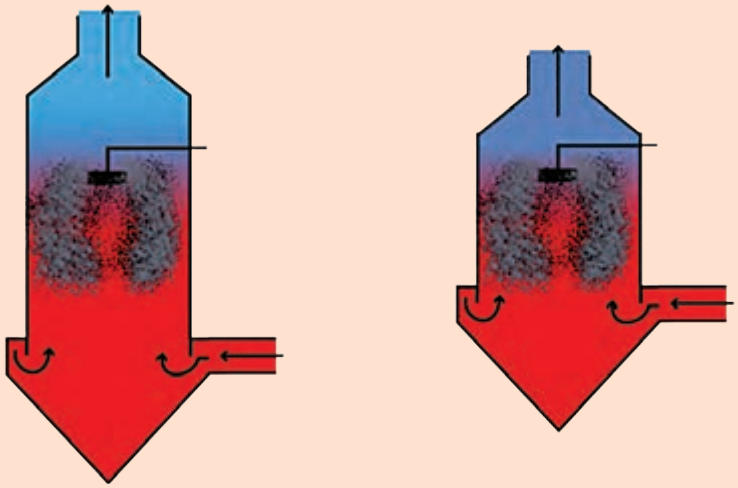
تعیین قطر و ارتفاع محفظهٔ خشک‌کن بر اساس دو معیار است:

۱ محفظه باید فضای مناسب را برای تأمین زمان تماس کافی بین قطرات دوغاب و هوای داغ داشته باشد.

۲ تمام قطرات باید قبل از اینکه با سطح محفظهٔ خشک کن تماس یابند، به اندازهٔ کافی خشک شده باشند.

فکر کنید

با درنظر گرفتن ارتفاع محفظهٔ خشک‌کن درصد رطوبت گرانول‌های به دست آمده را در دو حالت زیر مقایسه کنید.

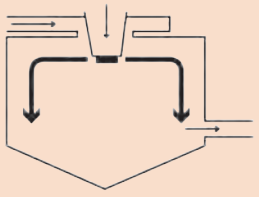


الف ب

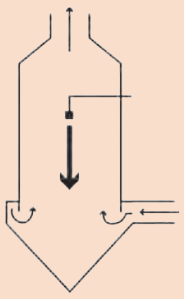
شکل ۲۹

نکته

در افشانک‌های چرخان، محفظهٔ خشک‌کن باید قطر بزرگ‌تر و ارتفاع کمتری داشته باشد، درحالی که در افشانک نازلی به‌شرایطی خلاف این حالت نیاز است.



شکل ۳۰ـ اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) با افشانک چرخان

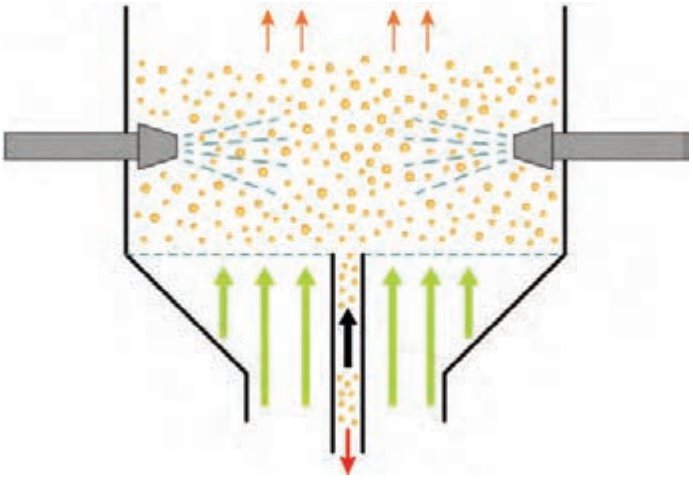


شکل ۳۱ اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) با افشانک نازلی

فکر کنید

چرا در صورت استفاده از افشانک‌های چرخان باید از محفظه‌ای با قطر زیاد و ارتفاع کم استفاده کرد؟

محفظهٔ خشک‌کن در اسپری درایرها (خشک‌کن‌های پاششی) معمولاً عمودی است. افشانک‌ها و محل ورودی هوای داغ نیز می‌تواند بالا یا پایین و حتی از اطراف محفظه باشد.

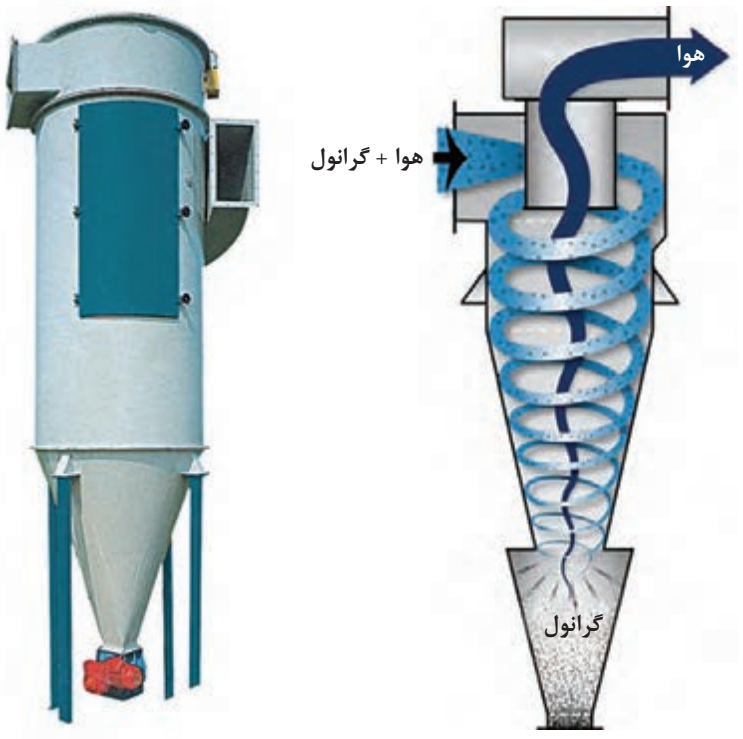


شکل ۳۲

سیکلون

هوای گرم خارج شده از اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) حاوی برخی از ذرات ریز خشک شده است که باید جدا شوند.

برای دستیابی به این هدف از سیستم سیکلون، که نحوهٔ کارکرد آن بر اساس نیروی گریز از مرکز است، استفاده می‌شود.



شکل ۳۳ـ سیکلون برای تفکیک گرانول و ذرات معلق در هوا

بازده کاری سیکلون‌ها به مخلوط ورودی (پودر و هوا) و ابعاد ذرات بستگی دارد و می‌تواند تا حدود ۹۵ درصد ذرات را از هوا تفکیک کند.
سیستم تولید گرانول با رطوبت زیر ۱۰ درصد ساده‌ترین‌نوع اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)، در یک مرحله است.

آیا می‌دانید

در برخی مواد حساس به دما، می‌توان از دو مرحله برای خشک کردن استفاده کرد. بدین ترتیب که درصد رطوبت گرانول خروجی از اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) بیشتر از ۱۰ درصد بوده و کاهش آن در خشک‌کن‌های دیگر و در مدت زمان‌های طولانی‌تر انجام می‌پذیرد.

عوامل مؤثر بر اندازهٔ گرانول

عوامل مختلفی باعث تغییر کیفیت و تغییر اندازهٔ گرانول‌ها می‌شود. در زیر مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی اندازهٔ گرانول‌ها ذکر شده است.

نمودار ۶ـ عوامل مؤثر بر اندازه گرانول‌ها

نکات مهم در فرایند گرانول‌سازی

۱ بهتر است دوغابی که به مدت ۲۴ ساعت کهنه شده است توسط پمپ به اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) فرستاده شود.
۲ دوغاب توسط لوله‌هایی به افشانک‌ها منتقل می‌شود که دارای ۶ ، ۸ یا ۱۲ لنس است.
۳ دمای هوای داغ ورودی به اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) ۴۰۰ تا ۷۰۰ درجهٔ سلسیوس است.
۴ باید دقت کرد شیر فلکهٔ لنس‌ها هنگام روشن‌کردن اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) به‌طور متقارن باز شوند.
۵ دمای هوای خروجی ۱۲۰ـ۱۱۵ درجهٔ سلسیوس است.

شکل ۳۴ـ لنس‌های متصل به لوله‌های اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)

تحقیق کنید

کاهش یا افزایش دمای هوای خروجی اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) نشان‌دهندهٔ چیست؟

راه‌اندازی اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)

در زیر دستورالعمل کلی برای راه‌اندازی اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) به‌صورت شماتیک شرح داده شده است:

مرحلهٔ اول
بستن تمام لنس‌ها و روشن‌کردن اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) در حالت اتوماتیک.

مرحلهٔ دوم
تمیزکردن محفظه اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) به مدت ۴ـ۳ دقیقه.

مرحلهٔ سوم
روشن‌کردن مشعل به مدت ۴۰ـ۳۰ دقیقه تا رسیدن دمای محفظه خشک‌کن به ۷۰۰ـ۴۰۰ درجهٔ سلسیوس

مرحلهٔ چهارم
روشن‌کردن پمپ و بازکردن ۴ نازل (به‌صورت متقارن) تا رسیدن دمای هوای خروجی به ۱۲۰ـ ۱۱۵ درجهٔ سلسیوس و سپس بازکردن بقیهٔ نازل‌ها.

نمودار ۷

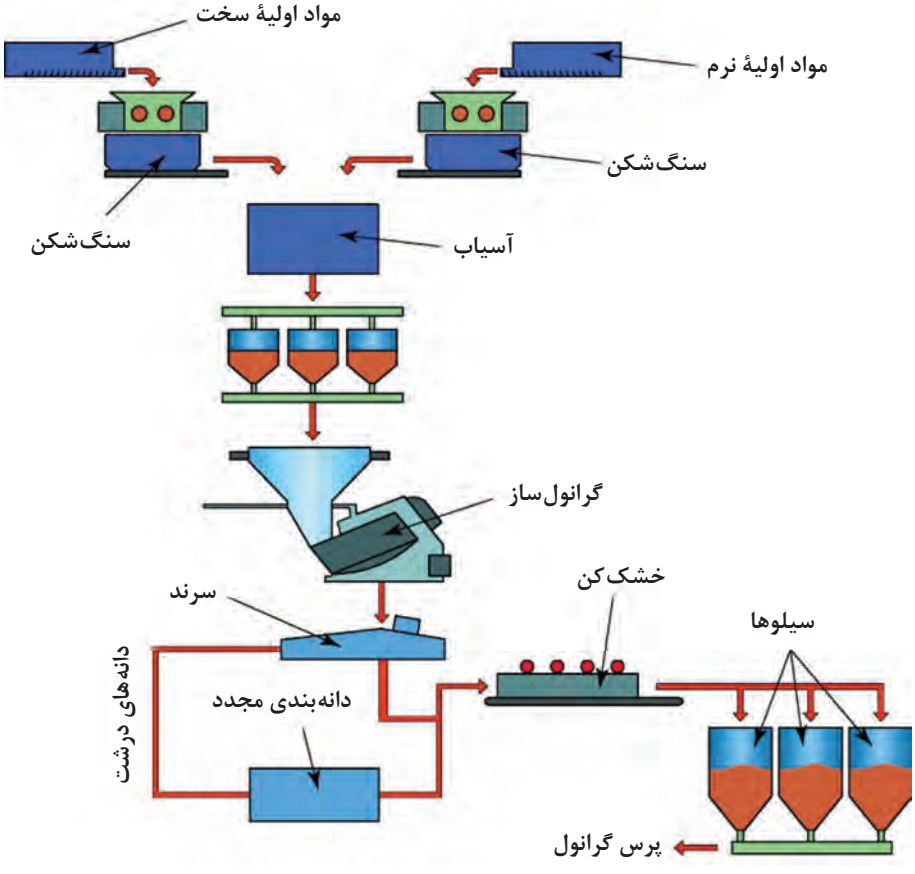
نحوهٔ خاموش‌کردن اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)

برای خاموش‌کردن اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) نیز نکاتی را باید مدنظر داشت که عبارت‌اند از:

نمودار ۸

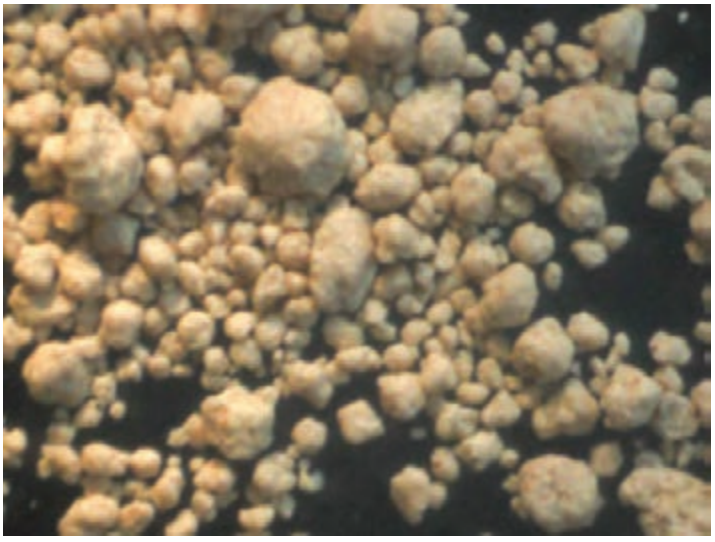
گرانول‌سازی به روش خشک

با توجه به بحران آب و مسائل زیست‌محیطی، گرانول‌سازی به روش خشک توسعه یافته است. در این روش، گرانول با افزودن رطوبت به آمیز تولید می‌شود. گرانول‌سازی به روش خشک به‌طور شماتیک در شکل (۳۵) نشان داده شده است.



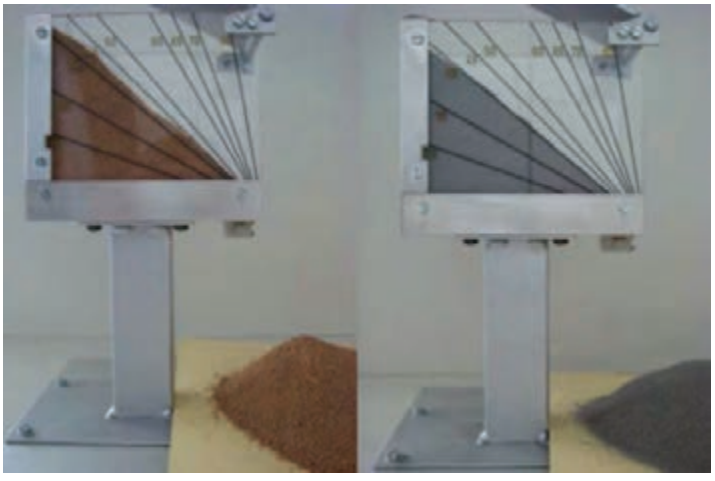
شکل ۳۵ـ گرانول‌سازی به روش خشک

گرانول‌های به‌دست آمده از روش خشک، ویژگی‌هایی مشابه با گرانول‌های به دست آمده از روشِ تر دارند. همان‌طور که در شکل (۳۶) مشاهده می‌کنید، گرانول‌های تولید شده با این روش تقریباً کروی شکل هستند.



شکل ۳۶ـ گرانول‌های تهیه شده به روش خشک

همچنین گرانول‌های تولید شده با این روش از نظر رفتار جریان‌یابی نیز شبیه به گرانول‌های تهیه شده به روش تر هستند.



شکل ۳۷ـ شکل رفتار جریان‌یابی گرانول‌های خشک (سمت چپ) و تر (سمت راست)

مقایسهٔ انرژی و آب مصرفی در گرانول‌سازی به روش خشک و تر

کاهش قابل ملاحظهٔ آب و انرژی مصرفی مهم‌ترین مزیت گرانول‌سازی به روشِ خشک در مقایسه با روشِ تر است.

آیا می‌دانید

در جدول زیر این دو روش از نظر انرژی و مصرف آب با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

جدول ۶

	روش خشک	روش تر	واحد
انرژی مورد استفاده جهت آسیاب	۲۲	۲۵	کیلووات ساعت بر تن
انرژی مورد استفاده جهت خشک‌کردن	۱۱۶	۴۰۶	کیلووات ساعت بر تن
انرژی مورد استفاده برای گرانوله کردن	۱۹	-	کیلووات ساعت بر تن
مصرف انرژی کل	۱۵۷	۴۳۱	کیلووات ساعت بر تن
آب مصرفی	۹۵	۳۸۸	لیتر

ارزیابی گرانول تولید شده

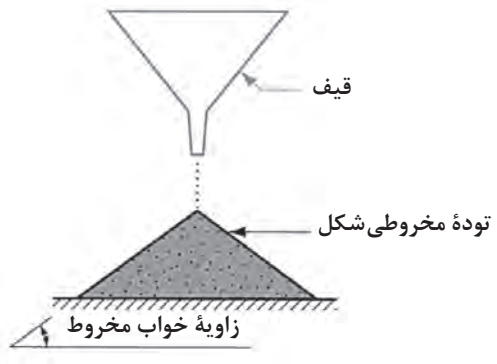
به‌طور معمول چهار آزمایش جهت بررسی کیفیت گرانول انجام می‌گیرد که عبارت‌اند از:

۱ـ درصد رطوبت: قابل محاسبه با وزن خشک و تر و یا با تجهیزات رطوبت‌سنجی است.

۲ـ چگالی: چگالی و چگالی انباشتگی گرانول‌ها تعیین می‌شود.

۳ـ توزیع اندازهٔ ذرات: قابل ارزیابی با آزمون الک.

۴ـ جریان‌یابی: با ریختن مقدار مشخصی از پودر بر یک سطح صاف، توده‌ای مخروطی‌شکل تشکیل می‌شود. زاویهٔ شیب سطح خارجی مخروط نسبت به سطح افق، به عنوان معیاری برای جریان‌یابی آن پودر در نظر گرفته می‌شود. این زاویه با عنوان زاویهٔ خواب[1] مخروط نام برده می‌شود و هرچه جریان‌یابی پودر بیشتر باشد، ذرات به سمت پایین جریان می‌یابند و زاویهٔ خواب کمتر می‌شود.



شکل ۳۸ـ آزمون مخروط برای مقایسهٔ جریان‌یابی پودر

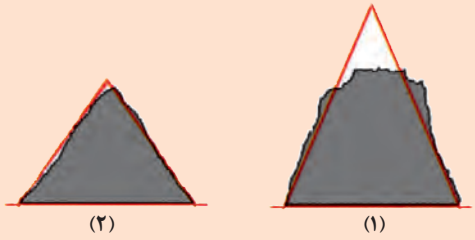
1- Angle of repose

جدول ۷ـ رابطهٔ زاویهٔ خواب مخروط با جریان‌یابی

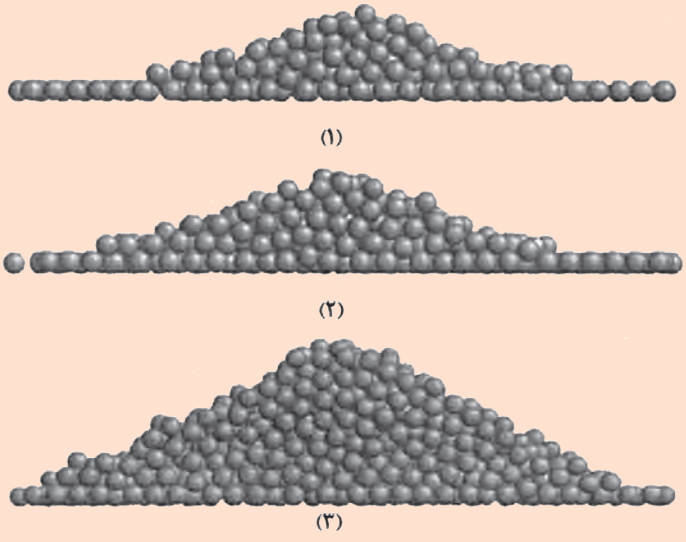
جریان‌یابی گرانول	زاویهٔ خواب مخروط
بسیار زیاد	۲۵ ـ۳۰
خوب	۳۱ـ۳۵
متوسط	۳۶ ـ۴۰
قابل‌عبور از مجراها	۴۱ـ۵۵
ضعیف (نیاز به ویبره برای عبور یا تخلیه شدن)	>۵۵

فعالیت کلاسی

در شکل‌های ۳۹ـ الف و ب، کدام‌یک از مواد جریان‌یابی بهتری دارند؟



الف



ب

شکل ۳۹

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: گرانول‌سازی دستی

مواد و ابزار: مواد فرمولهٔ آماده و خشک ۵ کیلوگرم، آب شهری، آب‌فشان، سینی بزرگ، هاون بزرگ، سرتاس، الک مش‌های ۴۰ و ۶۰، سطل پلاستیکی دردار (یا کیسهٔ پلاستیک ضخیم)، ترازو، کاردک، سفرهٔ یک بار مصرف، دستکش کار و ماسک تنفسی.

شرح فعالیت:

در این کار عملی هدف تهیهٔ گرانول از مواد فرمولهٔ آماده با رطوبت ۱۰ درصد است.

۱ مقدار ۱ کیلوگرم آمیز خشک شده را در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس وزن کنید.

۲ آب تقریبی مورد نیاز را برای افزودن به مواد به منظور رسیدن به رطوبت حدود ۱۰ درصد محاسبه و وزن کنید.

۳ مواد را روی سینی یا یک سطح تمیز با ضخامت کم (۱۰ـ ۵ میلی‌متر) پهن کنید.

۴ آب وزن شده را با کمک آب‌فشان روی مواد خشک اسپری کنید.

۵ هنگام اسپری آب، مرتب مواد را با کاردک مخلوط و دوباره پهن کنید و هم‌زمان آب را روی آن اسپری کنید تا آب تمام شود. (بهتر است اسپری آب به آرامی و با فرصت دادن جهت جذب توسط مواد انجام شود.)

۶ روی مواد را با استفاده از یک پلاستیک بپوشانید و حدود دو ساعت به آن فرصت استراحت و جذب آب بدهید.

۷ بعد از گذشت زمان جذب آب اولیه، مواد را به ترتیب از الک‌های با مش ۴۰ و ۶۰ عبور دهید و با فشار آرام دست کمک کنید تا تمام کلوخه‌های به وجود آمده از الک عبور کنند. این عمل را برای بار دوم تکرار کنید.

۸ گرانول‌های تهیه شده را برای یکنواخت شدن رطوبت و همچنین کار عملی بعدی درون سطل دردار ریخته و درِ آن را ببندید و حداقل ۲۴ ساعت در محلی دور از نور آفتاب قرار دهید. (برای این بخش از کیسهٔ پلاستیک هم می‌توان استفاده کرد.)

نکات بهداشتی و ایمنی

۱ در هنگام کار از ماسک تنفسی و دستکش استفاده کنید.

۲ دقت کنید هنگام خرد کردن مواد خشک و الک کردن آن‌ها گردوغبار ایجاد نکنید.

۳ سعی کنید مرحلهٔ نرم کردن و الک کردن مواد را زیر هواکش هود با فیلتر مناسب انجام دهید.

۴ به‌هیچ عنوان برای عبور دادن مواد تر از الک، از ابزار نوک‌تیز و یا فلزی استفاده نکنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: گرانول سازی دستی آلومینا

مواد و ابزار: آلومینا ۵ کیلوگرم، محلول آب حاوی ۵ درصد چسب، آب‌فشان، سینی بزرگ، هاون بزرگ، سرتاس، الک مش‌های ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰، سطل پلاستیکی دردار (یا کیسهٔ پلاستیک ضخیم)، ترازو، کاردک، سفرهٔ یک بار مصرف، دستکش کار و ماسک تنفسی.

شرح فعالیت:

هدف در این کار عملی تهیهٔ گرانول آلومینا با رطوبت ۱۰ درصد است.

۱ ابتدا آگلومره‌های مواد را با استفاده از هاون خرد کنید و از الک مش ۶۰ یا ۸۰ عبور دهید. خرد کردن مواد را تا عبور همهٔ مواد از الک ادامه دهید.

۲ محلول آب حاوی ۵ درصد چسب موردنیاز را به منظور رسیدن به رطوبت حدود ۱۰ درصد محاسبه و وزن کنید.

۳ مواد را روی سینی یا یک سطح تمیز با ضخامت کم (۱۰-۵ میلی‌متر) پهن کنید.

۴ آب وزن شده را با کمک آب‌فشان، روی مواد خشک اسپری کنید.

۵ در حین اسپری آب، به طور مرتب مواد را با کاردک مخلوط و دوباره پهن و هم‌زمان آب را روی آن‌ها اسپری کنید تا آب تمام شود (بهتر است اسپری آب به آرامی و با فرصت دادن جهت جذب توسط مواد انجام شود.)

۶ روی مواد را با استفاده از یک پلاستیک پوشانده و یک تا دو ساعت به آن فرصت دهید تا رطوبت آن جذب شود.

۷ بعد از گذشت زمان اولیهٔ جذب آب، مواد را به ترتیب از الک‌های درشت تا ریز (مش ۲۰، ۳۰ و ۴۰) عبور دهید و با فشار آرام دست کمک کنید تا تمام کلوخه‌های به وجود آمده از الک عبور کنند. این عمل را برای بار دوم و سوم تکرار کنید به طوری که گرانول‌هایی در سه دانه‌بندی به‌دست آید.

۸ گرانول‌های تهیه شده را برای یکنواخت شدن رطوبت در سطل دَردار بریزد و درِ آن را ببندید و حداقل ۲۴ ساعت در محلی دور از نور آفتاب قرار دهید. (برای این بخش از کیسهٔ پلاستیک هم می‌توان استفاده کرد.)

۹ بعد از طی زمان یکنواخت‌سازی رطوبت، درِ سطل را باز و گرانول‌ها را بررسی کنید در صورت آگلومره شدن یک بار دیگر از الک عبور دهید.

۱۰ چگالی انباشتگی گرانول را اندازه‌گیری کنید.

۱۱ ۱۰۰ گرم از گرانول را در یک دقیقه و از ارتفاع حدود ۱۵ سانتی‌متری بر روی سطحی صاف بریزید. زاویهٔ خواب مخروط حاصل را اندازه‌گیری و با جدول مقایسه کنید.

۱۲ به کمک پرس موجود در کارگاه، چند قطعه نمونه از گرانول‌های تولیدی تهیه کنید.

نکات بهداشتی و ایمنی

۱ در هنگام کار از ماسک تنفسی و دستکش استفاده کنید.

۲ دقت کنید هنگام خرد کردن مواد خشک و الک کردن آن گردوغبار ایجاد نکنید.

۳ سعی کنید مرحلهٔ نرم کردن و الک کردن مواد را در زیرهواکش (هود) با فیلتر مناسب انجام دهید.

۴ برای عبور دادن موادِ تَر از الک، از ابزار نوک‌تیز و یا فلزی استفاده نکنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: آزمایش مخروط برای تعیین جریان‌یابی پودر گرانول دستی

مواد و ابزار: گرانول آماده، دستکش کار، ماسک تنفسی، ترازو و قیف.

شرح فعالیت:

۱ گرانول تولید شدهٔ دستی در کار عملی ۱ را، که درون سطل سرپوشیده نگه‌داری می‌شود، بررسی کنید و در صورت آگلومره شدن یک بار دیگر آن‌ها را از الک عبور دهید.

۲ ۱۰۰ گرم گرانول را در یک قیف ریخته و از ارتفاع حدود ۱۵ سانتی‌متری بر روی سطحی صاف بریزید. زاویهٔ خواب مخروط حاصل را اندازه‌گیری کرده و با جدول مقایسه کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: تعیین درصد رطوبت پودر گرانول دستی

مواد و ابزار: گرانول آماده، دستکش کار، ماسک تنفسی، ترازو، بوته و دسیکاتور.

شرح فعالیت:

۱ گرانول تولید شدهٔ دستی در کار عملی ۱ را، که درون سطل سرپوشیده نگه‌داری می‌شود، بررسی کنید و در صورت آگلومره شدن یک بار دیگر آن‌ها را از الک عبور دهید.

۲ بوته‌ای را انتخاب و وزن خالی آن را با ترازو به‌دست آورید.

۳ ۱۰۰ گرم گرانول دستی تهیه شده را درون بوته ریخته و درون خشک‌کن قرار دهید.

۴ بعد از رسیدن به وزن ثابت، بوته را از خشک‌کن بیرون آورید و درون دسیکاتور قرار دهید تا سرد شود.

۵ بوته را وزن کرده و با کسر وزن بوته، وزن پودر خشک شده را یادداشت کنید.

۶ به کمک رابطهٔ زیر، مقدار دقیق درصد رطوبت داخل گرانول را به دست آورید.

$$\text{درصد رطوبت گرانول} = \frac{\text{وزن خشک} - \text{وزن تر}}{\text{وزن تر}} \times ۱۰۰$$

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: تعیین چگالی انباشتگی پودر گرانول دستی

مواد و ابزار: گرانول آماده، دستکش کار، ماسک تنفسی، ترازو، پیکنومتر، خط‌کش و بِشِر.

شرح فعالیت:

۱ گرانول تولید شدهٔ دستی در کار عملی ۱ را، که درون سطل سرپوشیده نگه‌داری می‌شود، بررسی کنید و در صورت آگلومره شدن یک بار دیگر آن‌ها را از الک عبور دهید.

۲ پیکنومتر فلزی خشک را وزن کرده و مقدار آن را یادداشت کنید.

۳ پودر گرانول را درون پیکنومتر بریزید و بعد از پر شدن پیکنومتر سطح گرانول درون آن را با خط‌کش صاف کنید.

۴ پیکنومتر حاوی پودر گرانول را وزن کنید. با کسر کردن وزن پیکنومتر فلزی خالی از وزن به دست آمده، وزن پودر به دست می‌آید.

۵ برای محاسبهٔ چگالی انباشتگی، وزن ماده را بر حجم پیکنومتر تقسیم و با چگالی پودر گرانول صنعتی مقایسه کنید.

فعالیت کارگاهی

کارعملی ۶: تعیین دانه‌بندی با الک به روش خشک

مواد و ابزار: ترازو، الک در مش‌های مختلف (۳۰، ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰)، زیرالک (سینی)، دستگاه لرزاننده شیکر و گرانول دستی.

شرح فعالیت:

۱ ابتدا گرانول را به مدت ۲ساعت درخشک‌کن قرار دهید.

۲ الک‌ها را با رعایت نکات ذکرشده روی یکدیگر بچینید. ۱۰۰ گرم گرانول وزن کنید و روی مجموعهٔ الک‌ها بریزید. در زیر ریزترین الک، زیرالک یا سینی قرار می‌گیرد.

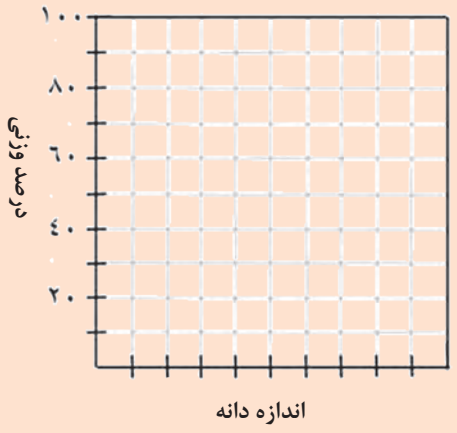
نکته: دقت کنید که الک‌های مورداستفاده خشک و تمیز باشند. وزن الک‌ها و سینی را قبل از استفاده یادداشت کنید. به نظر شما این کار چه کمکی به شما خواهد کرد؟

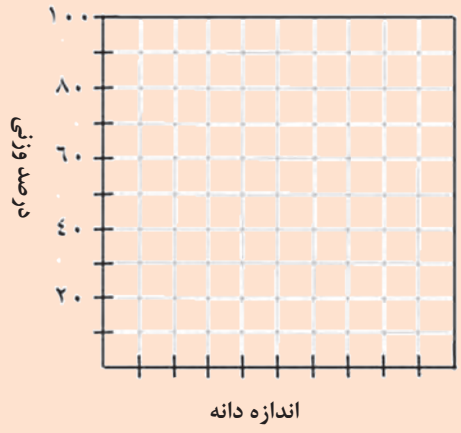
۳ دستگاه الک را به مدت ۱۰ دقیقه روشن کنید. در صورت عدم‌دسترسی به لرزانندهٔ مکانیکی مراحل را به صورت دستی انجام دهید و جدول را تکمیل کنید.

جدول ۸

الک	روزنهٔ الک	وزن باقی‌مانده	درصد باقی‌مانده	درصد عبوری	درصد تجمعی
۱۲					
۲۰					
۳۰					
۵۰					
۱۰۰					
۱۲۰					
کف الک					

نمودار درصد باقی‌مانده و درصد عبوری از هر الک را برحسب اندازه منفذ الک رسم کنید.





فعالیت کارگاهی

کار عملی ۷: تعیین چگالی انباشتگی پودر گرانول تولید شده با دستگاه اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)

مواد و ابزار: گرانول ۲۰۰ گرم، دستکش کار، ماسک تنفسی، ترازو، پیکنومتر، خط‌کش و بِشِر.

شرح فعالیت:

۱ وزن پیکنومتر فلزی خشک را یادداشت کنید.

۲ پودر گرانول را درون پیکنومتر بریزید و بعد از پر شدن پیکنومتر سطح گرانول درون آن را با خط‌کش صاف کنید.

۳ پیکنومتر حاوی پودر گرانول را وزن کنید. با کسر کردن وزن پیکنومتر فلزی خالی از وزن به دست آمده، وزن پودر به دست می‌آید.

۴ برای محاسبهٔ چگالی انباشتگی، وزن مادهٔ موردنظر را بر حجم پیکنومتر تقسیم کنید و نتیجه را با چگالی پودر گرانول صنعتی و گرانول دستی مقایسه کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۸: مشاهدهٔ شکل گرانول زیر میکروسکوپ چشمی

مواد و ابزار: گرانول دستی و گرانول تولیده شده با دستگاه اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)، دستکش کار، ماسک تنفسی و میکروسکوپ چشمی.

شرح فعالیت:

۱ مقداری گرانول دستی را روی یک کاغذ سفید بریزید و زیر لنز میکروسکوپ قرار دهید. شکل گرانول با تاباندن نور لامپ از کنار و تنظیم دوربین چشمی قابل‌دیدن است.

۲ مقداری گرانول تولید شده را با دستگاه اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) روی یک کاغذ سفید بریزید و زیر لنز میکروسکوپ قرار دهید. شکل گرانول با تاباندن نور لامپ از کنار و تنظیم دوربین چشمی قابل دیدن است.

۳ به کمک دوربین از تصاویر عکس‌برداری کنید.

ارزشیابی نهایی شایستگی گرانول‌سازی

شرح کار:
۱ـ آماده‌سازی اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)؛
۲ـ تغذیهٔ مواد؛
۳ـ کنترل مشعل و نازل و سیستم پمپاژ؛
۴ـ تهیه و جمع‌آوری گرانول؛
۵ـ کنترل دانه‌بندی گرانول.

استاندارد عملکرد:
گرانول‌سازی بر اساس ابعاد، شکل، رطوبت و دانه‌بندی موردنیاز تولید قطعه سرامیکی.

شاخص‌ها:
ـ آماده‌سازی اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)؛
ـ تولید گرانول مناسب با توجه به ملاک‌های موردنظر از لحاظ دانه‌بندی، توزیع دانه و درصد رطوبت.
ـ کنترل دانه‌بندی گرانول از لحاظ توزیع اندازهٔ دانه، شکل ذرات و آگلومره بودن پودرها.

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان : کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی، سیستم تهویه و نورکافی.
ابزار و تجهیزات: دستگاه اسپری درایر (خشک‌کن پاششی)؛، انواع نازل، هیدروسیکلون، انواع الک، دستگاه خشک‌کن.

معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	آماده‌سازی اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) و تغذیه مواد	۲	
۲	تولید و جمع‌آوری گرانول	۱	
۳	دانه‌بندی و کنترل گرانول تولیدی از لحاظ ابعاد، شکل و رطوبت	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۵

پرس پودر

پرس پودر یکی از روش‌های شکل‌دهی محصولات سرامیکی است. مهم‌ترین ویژگی بدنه‌های سرامیکی پرس شده شامل دقت ابعادی، استحکام و چگالی بالا است.
سرعت تولید زیاد و کاهش هزینه‌ها باعث کاربرد گستردهٔ این روش در صنایع سرامیک شده است.

واحد یادگیری ۵

شایستگی پرس پودر

آیا تا به حال پی برده‌اید

۱ قرص‌های خوراکی و دارویی چگونه شکل داده می‌شوند؟
۲ چگونه می‌توان مواد اولیه به شکل گرانول را به قطعه تبدیل کرد؟
۳ چه عواملی بر تولید قطعه به روش پرس مؤثر است؟

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت به‌کارگیری تجهیزات پرس برای ساخت محصولات سرامیکی است. همچنین آشنایی با مراحل فرایند پرس، عیوب و عوامل تأثیرگذار بر کیفیت محصول در این واحد درنظر گرفته شده است.

استانداردعملکرد

تولید قطعه به روش پرس پودر با استفاده از پرس‌های دستی و نیمه اتوماتیک مطابق با ابعاد، چگالی و ظاهر موردنظر.

پرس پودر

آیا می‌دانید قرص‌های دارویی و قندهای حبه به چه روشی شکل‌دهی می‌شوند؟

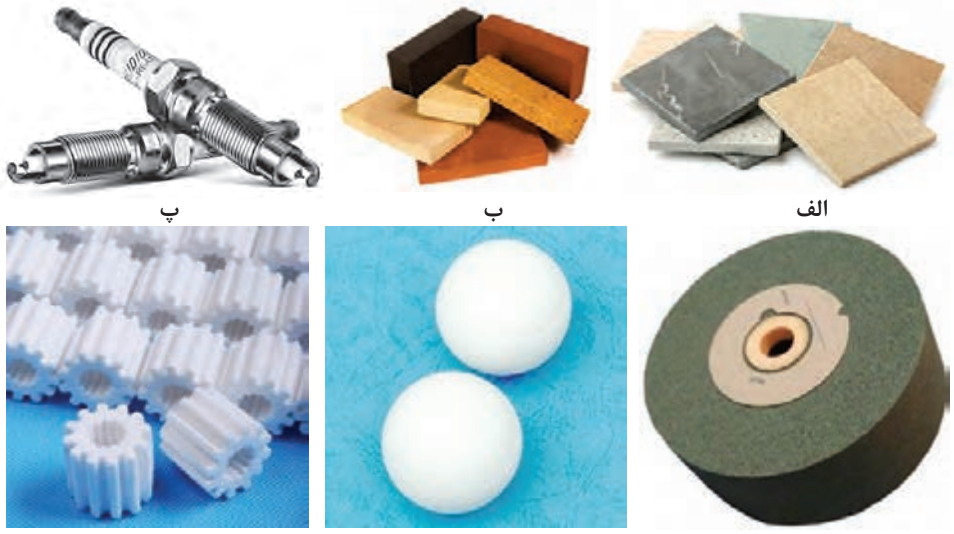
شکل ۱

آیا می‌توان بدنه‌های سرامیکی را با استفاده از مخلوط مواد اولیه به‌صورت پودر و با رطوبت کم، شکل‌دهی کرد؟ می‌دانید که پلاستیسیته یکی از عوامل مهم در شکل‌دهی برخی از بدنه‌های سرامیکی است. اگر مقدار رطوبتِ‌آمیز کمتر از محدودهٔ پلاستیک باشد، آمیز حاصل به سادگی شکل‌پذیر نخواهد بود.

فکر کنید

راهکار مناسبی برای شکل‌دهی آمیزی، که دارای رطوبت کمتر از محدودهٔ پلاستیک است، ارائه کنید.

به تصاویر شکل (۲) نگاه کنید. این بدنه‌های سرامیکی با یکی از روش‌های رایج شکل‌دهی سرامیک به نام «پرس پودر» شکل داده شده‌اند. در این روش شکل‌دهی، پودر درون یک قالب با شکل مشخص ریخته می‌شود سپس با اعمال فشار متراکم شده و شکل قالب را به خود می‌گیرد.



الف ب پ

ت ث ج

شکل ۲ـ بدنه‌های سرامیکی شکل داده شده به روش پرس پودر

بسیاری از قطعات سرامیکی مانند کاشی‌ها، آجرهای دیرگداز، دیسک ساینده، چینی شمع اتومبیل، گلولهٔ سرامیکی و کاتالیست‌های موردمصرف در صنایع نفت و گاز با روش پرس پودر تولید می‌شوند.
علاوه بر صنعت سرامیک، در صنایع چوب برای تولید ورق نئوپان و در صنعت متالورژی برای ساخت چرخ‌دندهٔ ساعت نیز از پرس پودر برای شکل‌دهی استفاده می‌شود.

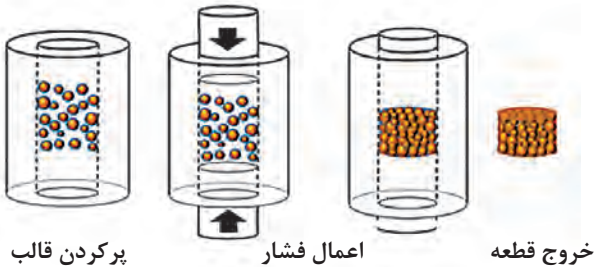
الف) ورق نئوپان ب) چرخ دندهٔ ساعت

شکل ۳

نکته

ابعاد قطعات سرامیکی، که به‌روش پرس پودر تولید می‌شوند، از قطر چند میلی‌متر برای قطعات الکترونیکی تا قطر ۲ متر برای دیسک‌های ساینده سیلیکون کاربایدی متغیر است.

فرایند شکل‌دهی قطعات سرامیکی با روش پرس را می‌توان به طور کلی به سه مرحله تقسیم کرد:



پرکردن قالب اعمال فشار خروج قطعه

شکل ۴ــ مراحل شکل‌دهی به‌روش پرس پودر

آماده‌سازی مواد اولیه برای پرس

آماده‌سازی مواد اولیه برای پرس، با توجه به نوع محصولات، متفاوت بوده و به دو صورت زیر انجام می‌شود:

۱ تهیهٔ گرانول توسط اسپری درایر (خشک‌کن پاششی) یا دیگر تجهیزات گرانول‌سازی؛

۲ تهیهٔ مخلوطی از مواد اولیه با اندازهٔ ذرات درشت، متوسط و ریز همراه با افزودنی‌ها توسط میکسر.

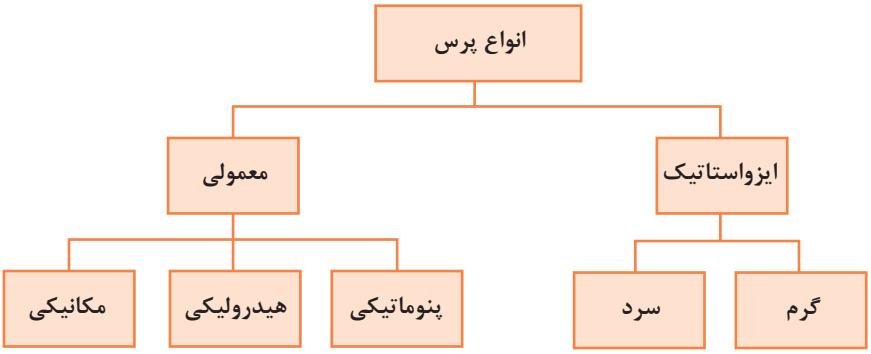
در شکل (۵) چند محصول سرامیکی بر اساس روش آماده‌سازی مواد اولیه نشان داده شده است.

شکل ۵ـ محصولات سرامیکی

نکته

اندازهٔ ذرات یا گرانول ورودی پرس، از چند میکرون تا چند میلی‌متر می‌تواند متغیر باشد.

تقسیم‌بندی انواع پرس



نمودار ۱

پرس معمولی

در این نوع پرس، معمولاً از یک یا دو جهت به‌آمیز در داخل قالب نیرو وارد می‌شود تا به شکل موردنظر متراکم شود.

نیروی اعمالی می‌تواند به‌صورت مکانیکی (دستی یا موتور الکتریکی)، هیدرولیکی (روغن هیدرولیک) یا پنوماتیکی (هوای فشرده) تأمین شود.

پرس‌های معمولی انواع متنوعی دارند که شامل دو دستهٔ اصطکاکی و ضربه‌ای هستند.

آیا می‌دانید

پرس اصطکاکی

پرس اصطکاکی یکی از قدیمی‌ترین روش‌های پرس پودر از نوع مکانیکی است. این پرس از یک پیچ بزرگ و یک چرخ اصطکاکی تشکیل شده است. در اثر اصطکاک بین چرخ و دیسک‌ها، پیچ به سمت پایین یا بالا حرکت می‌کند و عمل پرس‌کاری انجام می‌شود. این روش برای تولید موزائیک، آجر نما و دیرگداز به کار می‌رود.

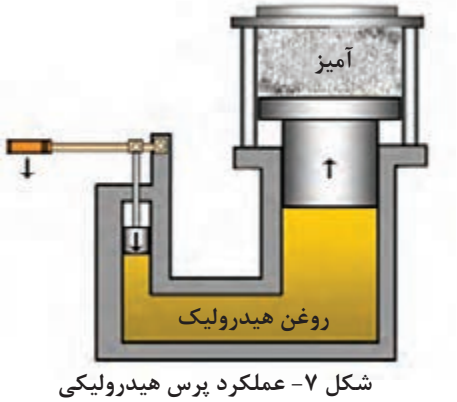
شکل ۶ـ پرس اصطکاکی

پرس ضربه‌ای

این پرس‌ها پنوماتیک بوده و برای شکل‌دهی قطعات کوچک مانند جرقه‌زن لوازم گازسوز استفاده می‌شود و سرعت تولید بالایی دارد.

پرس هیدرولیک

در پرس‌های هیدرولیک فشار توسط یک پمپ به روغن هیدرولیک اعمال شده و سپس از روغن به پیستون منتقل می‌شود. در نهایت سنبهٔ متصل به پیستون، پودر یا آمیزِ داخل قالب را متراکم می‌کند.



شکل ۷- عملکرد پرس هیدرولیکی

تحقیق کنید

دمای محیط بر عملکرد پرس هیدرولیکی چه اثری دارد؟

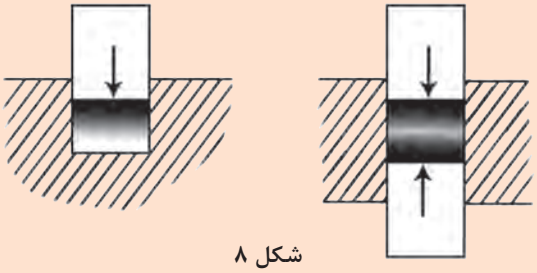
پرس هیدرولیک به دو صورت تک‌محور و دومحور وجود دارد.

پرس هیدرولیک

- **تک‌محور**: در این نوع پرس نیروی فشاری فقط از سنبهٔ بالا به آمیز وارد می‌شود و سنبهٔ پایین (پران یا جک) فقط برای خارج کردن قطعه از قالب استفاده می‌شود. معمولاً برای شکل‌دهی سرامیک‌های با ضخامت کم مانند کاشی به‌کار می‌رود.
- **دومحور**: در این نوع پرس فشار به آمیز از هردو سنبهٔ بالا و پایین وارد می‌شود. معمولاً در دیرگدازها و آسترهای آلومینایی بال‌میل، که ضخامت قطعه زیاد است، پرس‌های هیدرولیک دومحور استفاده می‌شود.

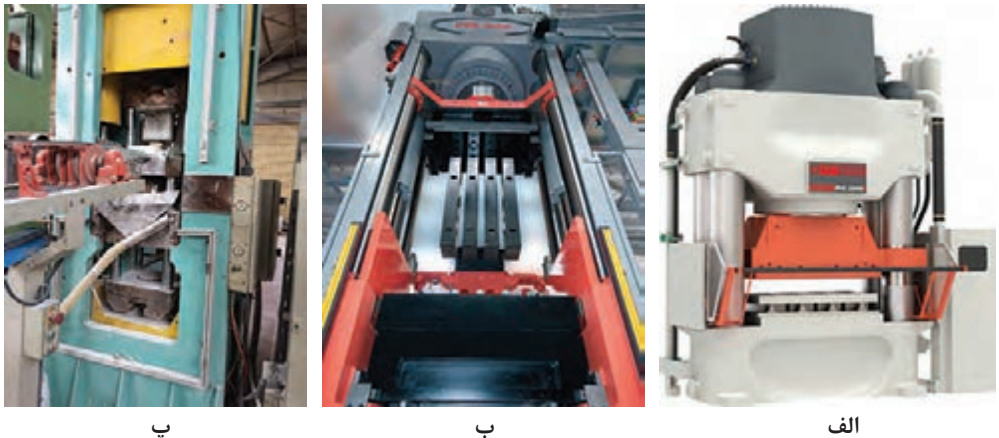
فعالیت کلاسی

۱ـ کدام‌یک از پرس‌های زیر تک‌محور و کدام‌یک دومحور است؟



شکل ۸

۲ـ مزیت پرس دومحور نسبت به تک‌محور چیست؟



الف ب پ

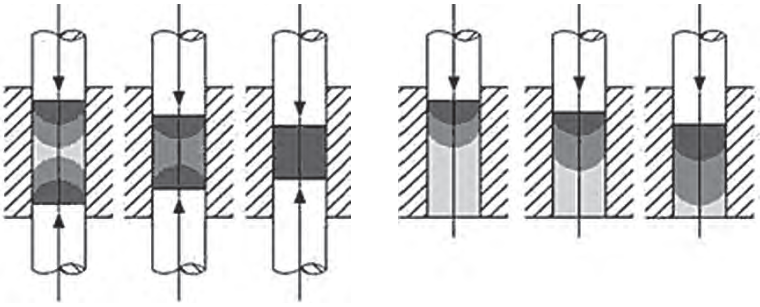
شکل ۹ـ الف) پرس هیدرولیک تک‌محور مورد استفاده در صنعت کاشی و سرامیک ب) پرس هیدرولیک تک‌محور برای تولید آجرهای دیرگداز پ) پرس هیدرولیک دومحور برای تولید آسترآلومینایی

بیشترین فاصله‌ای را که پیستون یا سنبه می‌تواند جابه‌جا شود کورس[1] پرس می‌گویند.

نکته

پرس‌های صنعت تولید کاشی به‌دلیل ضخامت کم محصولات از کورس کوتاهی برخوردارند، درحالی‌که پرس‌های صنعت دیرگداز به دلیل ضخامت زیاد محصولات، کورس بلندتری دارند.

در پرس تک‌محور، تراکم یا چگالی در لایه‌های زیرین قطعه، کمتر از لایه‌های بالایی است. یکنواختی تراکم قطعات در پرس دومحور افزایش می‌یابد.



الف) پرس تک‌محور ب) پرس دومحور

شکل ۱۰ــ تفاوت تراکم در راستای پرس تک‌محور و دومحور

نکته

مقدار نیرو در پرس هیدرولیک از چند کیلوگرم نیرو تا ده هزار تن نیرو متغیر است. یک کیلوگرم نیرو معادل ۱۰ نیوتن است.

فعالیت کلاسی

در جدول (۱) فشار و نیروی پرس‌کاری چند قطعهٔ سرامیکی مقایسه شده است. طبق مثال حل شده مقدار نیرو را محاسبه و جدول را تکمیل کنید.

جدول ۱ــ مقایسهٔ فشار و نیروی پرس‌کاری چند قطعهٔ سرامیکی

	ابعاد قطعه خام (cm)	تعداد حفره*	فشار پرسکاری (kgf/cm^2)	کیلوگرم نیرو (kgf)	تن نیرو (tonf)
کاشی دیوار	۳۰×۶۰	۴	۲۵۰		
پرسلان	۴۳×۸۶	۲	۴۰۰		
آجر دیرگداز سیلیکون کاربید	۲۵×۳۷/۵	۱	۲۰۰۰		
آجر دیرگدازمنیزیت- کرومیت	۲۰×۲۲	۲	۱۰۰۰		
آستر آلومینایی بال میل	۱۸×۱۲	۲	۷۰۰	۳۰۲۴۰۰	۳۰۲/۴

* حفره: معمولاً برای افزایش میزان تولید قطعه در هر ضربهٔ پرس، در یک قالب یک یا چند حفره طراحی می‌شود.

1- Stroke Plunger

شکل ۱۱- پرس با قالب حاوی ۸ حفره

مثال: برای رسیدن به خواص مطلوب در آستر آلومینایی لازم است فشاری معادل ۷۰۰ kgf/cm^2 بر قطعه وارد شود. اگر ابعاد خام قطعه ۱۲×۱۸ سانتی‌متر باشد و در هر مرحله پرس‌کاری ۲ قطعه پرس شود، مقدار نیروی موردنیاز را محاسبه کنید.

راه حل:

مساحت سطح یک قطعه $\Rightarrow$ $۱۲ \times ۱۸ = ۲۱۶\ cm^2$

$۲۱۶ \times ۷۰۰ \times ۲ = ۳۰۲۴۰۰ kgf = ۳۰۲/۴ tonf$

آیا می‌دانید

مشخصات یک پرس ۷۵۰۰ تن نیرو که در صنعت کاشی استفاده می‌شود:

جدول ۲- مشخصات پرس هیدرولیک

بیشترین نیروی پرس‌کاری (پیستون بالا)	۷۵۰۰ تن نیرو
بیشترین نیروی خارج‌سازی قطعهٔ پیستون پایین	۱۵ تن نیرو
بیشترین تعداد سیکل در دقیقه (در عمل کمتر است)	۱۵
وزن پرس	۱۷۵ تن
قدرت موتور	۲۱۲ کیلووات

با این پرس می‌توان سرامیک‌های پرسلانی با ابعاد ۱۶۰×۸۰ سانتی‌متر با فشار پرس‌کاری ۴۰۰ kgf/cm^2 تولید کرد.

فعالیت کلاسی

اگر بازده یک پرس هیدرولیک ۷۵۰۰ تن ـ نیرو ۹۰ درصد باشد، بزرگ‌ترین قطعهٔ خام مربعی شکلی که بتوان در قالب تک‌حفره‌ای تولید کرد چقدر است؟ فشار پرس‌کاری را ۴۰۰ kgf/cm^2 فرض کنید. این مسئله را در مورد یک قالب دو حفره‌ای حل کنید.

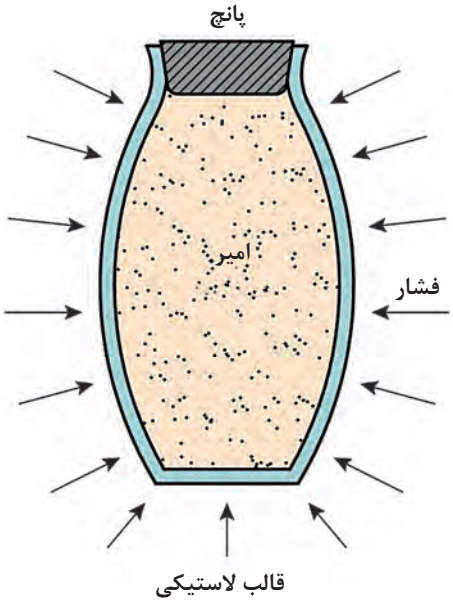
فکر کنید

برای افزایش یکنواختی تراکم قطعه در تمامی جهات چه پیشنهادی دارید؟

پرس ایزواستاتیک

طبق قانون پاسکال، اگر به‌یک سیال نیرو وارد شود آن سیال نیرو را در همهٔ جهات به‌طور یکسان منتقل می‌کند. از این قانون در پرس ایزواستاتیک استفاده می‌شود تا با اعمال نیروی فشاری یکنواخت، تراکم پودر در تمامی جهات یکسان شود.

این نوع پرس به‌صورت سرد یا گرم انجام می‌شود.



شکل ۱۲ـ مبنای کار پرس ایزواستاتیک

پرس ایزواستاتیک سرد[1]

در پرس ایزواستاتیک که فشار اعمالی از نوع هیدرواستاتیک است، به جای سنبه و قالب فلزی از قالبی با خاصیت الاستیک استفاده می‌شود. ابتدا قالب با آمیز پر و سپس داخل محفظه‌ای توسط یک سیال تحت‌فشار قرار داده می‌شود.

برای مثال در تولید گلوله‌های آلومینایی لازم است که فشار در تمامی جهات و به یک میزان اعمال شود و به‌همین دلیل از پرس ایزواستاتیک استفاده می‌شود. در غیر این‌صورت گلوله در حین کارکرد به‌طور غیریکنواخت ساییده می‌شود و راندمان آسیاب کاهش می‌یابد.

1- Cold Isostatic Pressing: (CIP)

شکل ۱۳ـ پرس ایزواستاتیک گلولهٔ آلومینایی

در پرس‌های ایزواستاتیک یک محفظهٔ فشار از جنس فولاد آلیاژی وجود دارد که داخل آن یک توری استیل قرار دارد و قالب‌های لاستیکی معمولاً از جنس پلی‌یورتان در داخل توری قرار می‌گیرد.

شکل ۱۴ـ قالب و پانچ پلی‌یورتانی جهت تولید گلوله

آب ارزان‌ترین سیال برای پرس ایزواستاتیک سرد است که برای جلوگیری از خوردگی تجهیزات به آن روغن‌های حل‌شونده و عوامل ضدفساد اضافه می‌کنند.
سیال با فشار معین از تمام جهات به قالب‌های لاستیکی نیرو وارد می‌کند و پودر داخل قالب به‌طور یکنواخت متراکم می‌شود. با حذف فشار ایزواستاتیک، قالب به‌حالت اولیه خود برمی‌گردد و قطعهٔ پرس شده از قالب خارج می‌شود.

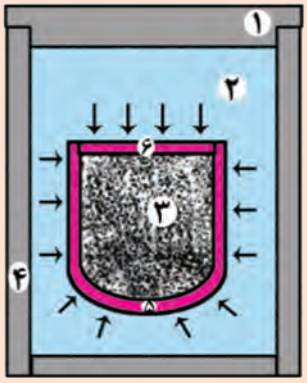
انواع پرس ایزواستاتیک سرد

دستی[1]

قالب‌ها در محفظهٔ فشار غوطه‌ور و رها هستند که پس از انجام فرایند پرس باید درپوش محفظه باز و قالب از داخل آب خارج شود.

سرعت تولید کم است.

کاربرد: قطعات بزرگ مانند دیرگدازها



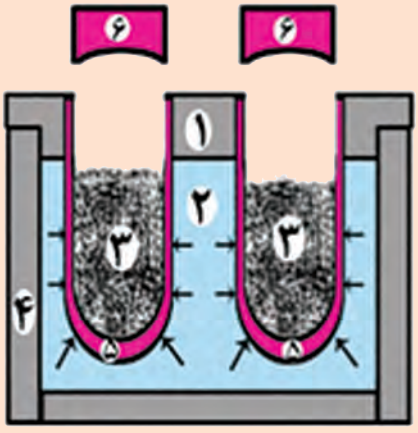
۱- درپوش محفظهٔ فشار
۲- آب
۳- آمیز
۴- محفظهٔ فشار
۵- قالب الاستیکی
۶- پانچ بالا

اتوماتیک[2]

در این نوع از پرس، قالب‌ها در محفظهٔ فشار جاسازی شده‌اند که پس از انجام پرس نیازی به خارج کردن قالب از محفظه نیست.

به‌صورت مکانیزه و اتوماتیک انجام می‌شود.

کاربرد: گلولهٔ آلومینا و شمع ماشین



جدول ۳ـ مقدار فشار پرس چند محصول در پرس ایزواستاتیک سرد

نوع ماده یا محصول	مقدار فشار (kgf/cm^2)
پودر فلزی	۶۰۰۰-۷۰۰۰
پودر سرامیکی	۲۰۰۰-۳۰۰۰
گلولهٔ آلومینایی	۶۰۰

نکته

یک پرس ایزواستاتیک ۲۰۰ تن ـ نیرو در هر مرحله از پرس می‌تواند ۴ گلولهٔ آلومینایی اندازهٔ ۶۰ میلی‌متر یا ۸ گلولهٔ آلومینایی اندازهٔ ۴۰ میلی‌متر پرس کند. در هر دقیقه ۸ گلولهٔ اندازهٔ ۶۰ یا ۱۶ عدد گلولهٔ اندازهٔ ۴۰ پرس می‌شود.

1- wetbag
2- drybag

آیا می‌دانید

روش‌های ویژهٔ پرس

۱ـ پرس گرم

در این فرایند شکل‌دهی و پخت هم‌زمان انجام می‌شود. در اطراف قالب المان‌های حرارتی تعبیه شده است تا فرایند پرس‌کاری در دمای بالا انجام شود. در این روش دمای پخت کاهش می‌یابد و قطعه پس از پرس نیازی به پخت اضافی ندارد.

تراکم زیاد و تخلخل کمتر از مزایای این روش است.

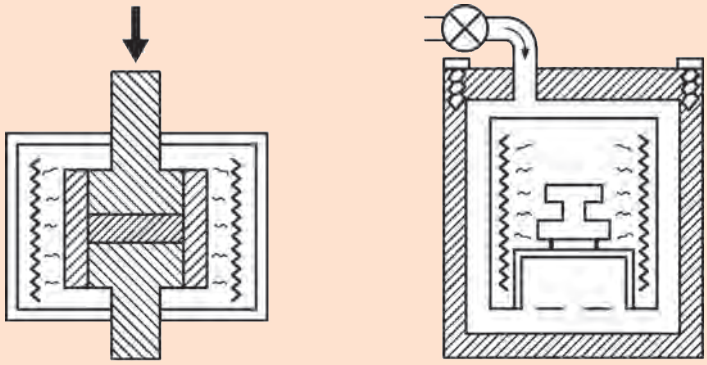
۲ـ پرس ایزواستاتیک گرم[1]

در این روش پرس، قطعهٔ پیش‌شکل داده شده را در محفظه‌ای تحت فشار و دمای بالا، که به‌طور هم‌زمان و یکنواخت بر سطوح قطعه اعمال می‌شود، قرار می‌دهیم.

فشار بالا توسط یک گاز خنثی نظیر ارگون یا هلیوم اعمال می‌شود. فشار گاز با کمپرسور و به‌کمک انبساط حرارتی قابل کنترل است. دمای موردنیاز برای پرس ایزواستاتیک گرم با استفاده از المنت‌های الکتریکی تأمین می‌شود.

جدول ۴ـ محدودهٔ دما و فشار در پرس ایزواستاتیک گرم

دما	۵۰۰ تا ۲۲۰۰ درجه سلسیوس
فشار	تا ۲۰۰۰ kgf/cm^2



الف) پرس ایزواستاتیک گرم

ب) پرس گرم

شکل ۱۵

جنس سنبه (پانچ) و قالب

جنس قالب و سنبه با توجه به‌میزان سختی آمیز متغیر است.

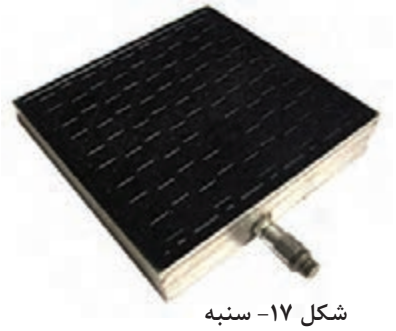
در صنعت دیرگداز از سنبه و قالب‌هایی استفاده می‌شود که از فولاد آلیاژی ساخته شده‌اند و اگر مواد

1- Hot Isostatic Pressing (HIP)

مصرفی، آلومینا یا سیلیکون کارباید باشد، برای افزایش سختی قالب، پوششی از جنس سخت مانند تنگستن کارباید[1] روی سطح داخلی قالب‌ها اِعمال می‌شود.

در صنعت کاشی و سرامیک، قالب و سنبه از جنس آلیاژ مخصوص است و سنبه‌ها دارای آستری از جنس رزین بوده تا از چسبیدن آمیز به‌سطح سنبه جلوگیری کند. سنبه‌ها را تا دمای تقریبی ۴۰ تا ۵۰ درجهٔ سلسیوس گرم می‌کنند تا چسبندگی گرانول به سنبه کاهش یابد. (شکل ۱۶ و ۱۷)

شکل ۱۶- قالب کاشی



شکل ۱۷- سنبه

فکر کنید

برای پرس کاشی‌های با ابعاد بزرگ، جهت افزایش یکنواختی پرس چه راهکاری وجود دارد؟

تحقیق کنید

سایش سطوح داخلی قالب باعث ایجاد چه مشکلاتی می‌شود؟

آیا می‌دانید

روش چکش بادی

این روش برای تولید قطعات با اندازهٔ بزرگ یا قطعاتی با تعداد کم به‌کار می‌رود و به‌همین دلیل سرعت تولید آن کم است. با استفاده از چکش بادی، دیرگدازها با اشکال ویژه (بلوک مشعل کوره) شکل داده می‌شوند. همچنین دیرگدازهای (جرم) مصرفی در کورهٔ دوّار فریت‌سازی و کوره‌های القایی (ذوب چدن) با چکش بادی کوبیده می‌شوند.

شکل ۱۸ــ چکش بادی و کوبه

1- WC

رطوبت در آمیز پرس

در فرایند پرس مواد سرامیکی، مقدار رطوبت با توجه به روش پرس‌کاری متغیر است:

پرس تر

- در این روش آب موجود در گل مصرفی ۱۸ـ۱۲ درصد است.
- برای شکل‌های ساده مانند سفال‌های سقف، ظروف، مقرهٔ بشقابی به‌کار می‌رود.
- جنس قالب این پرس‌ها ممکن است فولادی یا گچی باشد.

پرس نیمه‌خشک

- مقدار رطوبت موجود در آمیز ۹ـ۴ درصد است.
- برای شکل‌دهی بدنه‌هایی که در آمیز آن‌ها مقدار زیادی مواد رسی وجود دارد به‌کار می‌رود.
- ابتدا مواد اولیهٔ مصرفی به شکل دوغاب و سپس به گرانول تبدیل می‌شود.
- این روش برای تولید قطعات با شکل ساده از قبیل دیرگدازها، سرامیک‌های الکتریکی، کاشی دیوار و کف به‌کار می‌رود.

پرس خشک

- مقدار رطوبت موجود در آمیز ۴ـ۰ درصد است.
- برای شکل‌دهی قطعاتی که در آن‌ها مواد رسی وجود ندارد یا به مقدار بسیار کم وجود دارد، به‌کار می‌رود. بنابراین استفاده از چسب‌های آلی برای ایجاد استحکام در بدنهٔ خام لازم است.
- آمیز مصرفی نیاز به آماده‌سازی و ساخت گرانول دارد.

مزایا و معایب روش پرس خشک

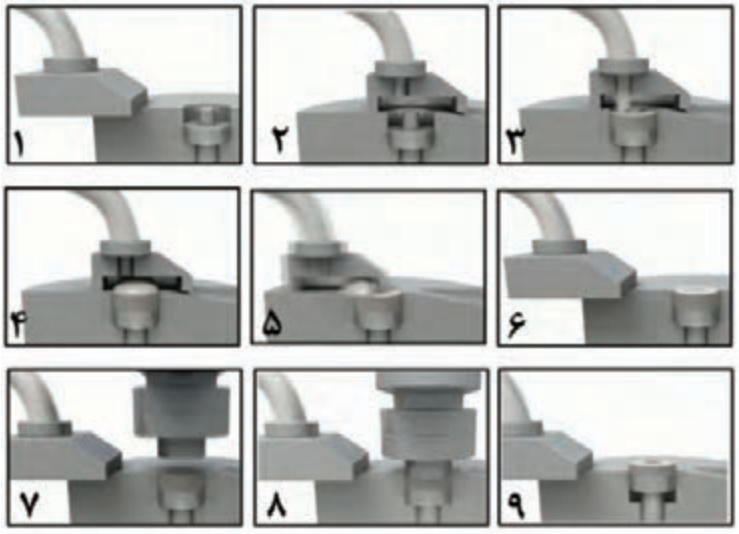
جدول ۵

پرس خشک	مزایا	با توجه به قابلیت اتوماتیک شدن و سرعت تولید بالا، برای تولید انبوه قطعات دارای صرفه اقتصادی است.
		با توجه به رطوبت ناچیز، انقباض خشک قطعات بسیار کم است، بنابراین دقت ابعادی زیاد خواهد بود.
		در این روش، آمیز با پلاستیسیتهٔ کم هم قابلیت تولید دارد.
	معایب	با توجه به سایش قالب ناشی از آمیز خشک، هزینهٔ تعمیرات و نگه‌داری قالب بالا است.

مراحل پرس قطعه

جدول ۶

مرحله	عنوان
۱	حرکت کشویی به‌جلو
۲	قرار گرفتن کشویی بر روی قالب
۳	پر شدن کشویی
۴	پر شدن قالب
۵	برگشت کشویی به‌عقب
۶	صاف شدن سطح پودر در قالب
۷	پایین آمدن سنبه
۸	فشردن پودر در قالب
۹	خروج قطعه



اعمال نیرو و افزایش تراکم آمیز قالب چندمرحله انجام می‌شود که در هریک از آن‌ها فشار پرس به تدریج افزایش داده می‌شود. این مراحل شامل موارد زیر است:

۱ هواگیری برای خارج کردن هوای بین گرانول یا ذرات آمیز؛

۲ تغییر شکل گرانول یا ذرات آمیز؛

۳ شکستن و خرد شدن ذرات آمیز برای افزایش تراکم.

فکر کنید

اگر عمل هواگیری به‌درستی انجام نشود چه مشکلاتی در قطعه ایجاد می‌شود؟

نکته

برای تولید نسل جدید سرامیک‌ها و پانل‌های پرسلانی در ابعاد بزرگ ۳۲۰۰×۱۶۰۰mm برای اِعمال فشار، به‌جای پرس هیدرولیک از غلتک‌ها استفاده می‌شود که به‌صورت پیوسته کار می‌کنند.

تراکم‌پذیری پودر از پارامترهای مهمی است که در فرایند پرس‌کاری باید درنظر گرفت.

$$\text{تراکم‌پذیری پودر} = \frac{\text{حجم مواد ریخته شده در قالب}}{\text{حجم قطعه}} = \frac{\text{ارتفاع مواد ریخته شده در قالب}}{\text{ضخامت قطعه}}$$

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: اندازه‌گیری تراکم‌پذیری گرانول

مواد و ابزار: گرانول، قالب، پرس، کولیس

شرح فعالیت:

۱ مقداری گرانول کاشی با رطوبت ۶ درصد و مقداری گرانول کاملاً خشک تهیه کنید.

۲ هریک از آمیزها را به‌صورت مجزا تا ارتفاع معینی در داخل قالب ریخته و با فشار $۲۵۰ kg/cm^۲$ پرس کنید.

۳ با اندازه‌گیری ارتفاع قطعه بعد از پرس، تراکم‌پذیری گرانول را محاسبه کنید.

۴ تراکم‌پذیری گرانول مرطوب و خشک را با هم مقایسه و بحث کنید.

نکته

پارامتر تراکم‌پذیری در طراحی قالب دارای اهمیت است. این عدد برای گرانول آلومینایی و در صنعت دیرگداز تقریباً ۲ است. برای مثال لازم است ارتفاع قالب برای یک آجر دیرگداز به‌ضخامت ۷۶ میلی‌متر، حداقل ۱۵۲ میلی‌متر باشد.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: اثر توزیع دانه‌بندی بر تراکم قطعه

مواد و ابزار: منیزیت تکلیس شده، منیزیم کلرید، الک، قالب، پرس، خشک‌کن، نفت یا گازوئیل.

شرح فعالیت:

۱ منیزیت کاملاً تکلیس شده را با توزیع دانه‌بندی اشاره شده در جدول (۴) در گروه‌های مختلف، با ۳ درصد کلریدمنیزیم مخلوط کنید.

۲ آمیز به‌دست آمده را با فشار $۵۰۰ kg/cm^۲$ پرس کنید.

۳ قرص‌های پرس شده را در داخل خشک کن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس خشک کرده و تخلخل و چگالی خام نمونه‌های مختلف را در نفت یا گازوئیل اندازه‌گیری کنید.

نکته: برای جلوگیری از متلاشی شدن قطعه در هنگام اندازه‌گیری چگالی و تخلخل، به جای آب می‌توان از نفت یا گازوئیل استفاده کرد.

۴ کمترین تخلخل و بیشترین چگالی خام مربوط به‌کدام دانه‌بندی است؟

۵ بیشترین تخلخل و کمترین چگالی خام مربوط به‌کدام دانه‌بندی است؟

جدول ۷ـ توزیع دانه‌بندی‌های مختلف

منیزیت	گروه۱	گروه۲	گروه۳	گروه۴	گروه ۵
جزءدرشت ۱-۴mm	۵۰	۴۶	۴۳	۳۸	۳۴
جزءمتوسط ۷۵μm-۱mm	۳۶	۳۶	۳۵	۳۵	۳۳
جزءپودر ۰-۷۵μm	۱۴	۱۸	۲۲	۲۷	۳۳
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
تخلخل باز (٪)					
چگالی خام ($g/cm^۳$)					

مواد لغزان‌ساز[1]

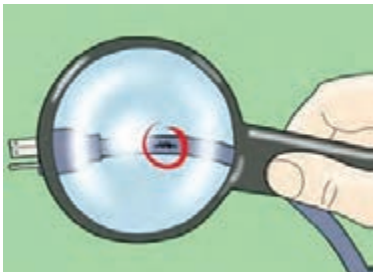
به‌منظور کاهش اصطکاک بین اجزا (آمیز و قالب) از مواد لغزان‌ساز در پرس‌کردن آمیز محصولات سرامیکی استفاده می‌شود.

جدول ۸ــ لغزان‌سازها

پارافین	اولئیک‌اسید
آلومینیوم استئارات	روی استئارات
منیزیم استئارات	پلی اتیلن گلیلول
سدیم استئارات	تالک
استئاریک اسید	گرافیت

عیوب در قطعات پرس شده

به نظر شما قطعات زیر چه مشکلات و خطراتی را در هنگام مصرف به‌همراه خواهند داشت؟



الف) پارگی پوشش سیم تغذیه

ب) خوردگی دنده‌های پیچ

پ) ترک

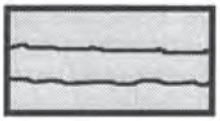
شکل ۱۹

تمامی محصولات با توجه به ماهیت، شکل و روش تولید عیوب خاص خود را دارند. تشخیص عیوب در محصولات، پیش از ارائه به بازار مصرف، دارای اهمیت زیادی است، زیرا خطرات و مشکلاتی را برای مصرف‌کننده به‌همراه دارد و در نتیجه اعتماد مصرف‌کنندگان را به شرکت تولیدی از بین خواهد برد. محصولات سرامیکی نیز از این قاعده پیروی می‌کنند.

عیوبی که در قطعات تولید شده با روش پرس پودر می‌تواند ایجاد شود در جدول (۹) ارائه شده است. چه راه‌حل‌هایی برای رفع این عیوب پیشنهاد می‌کنید؟

1- lubricant

جدول ۹ـ عیوب پرس

نوع عیب		علت ایجاد عیب	راه‌حل
ترک‌های عمودی در راستای پرس Vertical crack		بازگشت فنری غیریکنواخت در آمیز با تراکم‌پذیری بالا	
لایه‌ای یا پوسته‌ای شدن Lamination		دانه‌بندی و رطوبت نامناسب گرانول وجود دانه‌های بسیار ریز در گرانول فشار بالا و هواگیری نامناسب	
پریدگی لبه Ring capping		عدم امکان خروج هوای اضافی از لبه‌های قالب به دلیل نبودن درز کافی	
کندگی End capping		استحکام خام پایین قطعه چسبندگی قسمت فوقانی به سنبه	
غیریکنواختی چگالی Density Gradient		جریان‌یابی کم گرانول اصطکاک و چسبندگی بین دانه‌های گرانول پر نشدن یکنواخت قالب اصطکاک بالا بین جدارهٔ قالب و گرانول تفکیک شدن گرانول‌های درشت از گرانول‌های ریز	در مرحلهٔ گرانول‌سازی رطوبت، اندازه و شکل دانه‌ها کنترل شود. استفاده از لغزان‌سازها
قائمه نبودن squarness		تنظیم نبودن قالب عدم‌یکنواختی چگالی	
سطوح ناصاف Surface defects		کثیف بودن سنبه فرسودگی و خوردگی سطحی در قالب	
عیب ابعادی Dimensional defects		تنظیم نبودن قالب تغییر ابعاد قالب	

گفت‌وگو کنید

به‌نظر شما کدام یک از عیوب به‌راحتی قابل مشاهده نیست؟

فکر کنید

برای بررسی یکنواختی چگالی در قطعات زیر چه روش‌هایی پیشنهاد می‌کنید؟

صفحات سرامیکی

میلهٔ سرامیکی

آجر دیرگداز

یکنواختی چگالی در قطعات مسطح و قطعات ضخیم باید کنترل شود. یکنواختی چگالی در یک قطعه، با برش آن و تقسیم کردن یک قطعه به قسمت‌های متعدد و اندازه‌گیری چگالی هر قسمت قابل بررسی است. در سرامیک‌های نازک مانند کاشی و صفحات دیرگداز می‌توان از نفوذسنج[1] نیز استفاده کرد. این دستگاه با اعمال فشار برروی یک سوزن نافذ، میزان تراکم و نفوذپذیری قطعه را می‌سنجد و به‌عنوان روشی سریع برای تشخیص این عیب به‌کار گرفته می‌شود.

شکل ۲۰ـ نفوذسنج

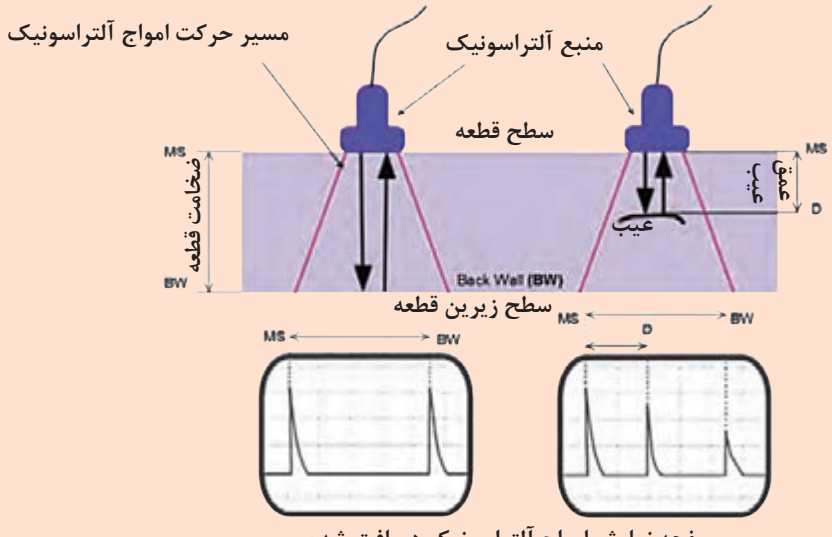
آیا می‌دانید

روش تشخیص عیوب غیرقابل مشاهده در عمق قطعات چگونه است؟

عیوب داخل قطعه مانند ترک‌ها و حفره‌های بزرگ را، که عمدتاً در بلوک‌های بزرگ سرامیکی ایجاد می‌شوند، می‌توان با روش‌های مخرب و غیرمخرب تشخیص داد. در یک روش غیرمخرب سنتی با ضربه زدن یا کشاندن یک قطعه سخت و زبر، مانند یک قطعهٔ سیلیکون کارباید بر روی سطح قطعه و ایجاد صدا، می‌توان دریافت که قسمتی از قطعه دارای حفره یا ترک زیرسطحی است.

همچنین تجهیزات الکترونیکی مانند آلتراسونیک نیز امروزه در صنعت برای تشخیص ترک‌های عمقی به‌کار گرفته می‌شوند.

1- Penetrometer



شکل ۲۱

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: بررسی یکنواختی در کاشی پرس شده

مواد و ابزار: کاشی، ابزار برش، لوازم اندازه‌گیری چگالی با غوطه‌وری.

شرح فعالیت

۱ در گروه‌های مختلف ابتدا کاشی را از نظر عیوب ظاهری بررسی کنند و سپس آن را به ۴ قسمت مساوی برش دهید.

۲ قطعات را شماره‌گذاری کنید.

۳ سپس هر گروه، چگالی هر یک از قسمت‌ها را با روش ارشمیدس اندازه‌گیری کند.

۴ با تکمیل جدول، نتایج خود را با گروه‌های دیگر مقایسه کنید.

آیا چگالی در تمام قسمت‌های کاشی مساوی است؟

جدول ۱۰

جدول چگالی			
شمارهٔ قطعه	وزن (گرم)	وزن غوطه‌وری (گرم)	چگالی(g/cm^3)
۱			
۲			
۳			
۴			

به نظر شما از قطعات برش خوردهٔ کاشی برای چه مصارف دیگری می‌توان استفاده کرد؟

نکات ایمنی

درهنگام برش قطعات از تجهیزات ایمنی کامل مانند کلاه، عینک و ماسک استفاده کنید. درصورت استفاده از سایر انواع قطعات سرامیکی، با پوشیدن دستکش و روپوش از تماس پوست با قطعات حاوی مواد شیمیایی مسموم‌کننده و حساسیت‌زا خودداری کنید.

نکته زیست‌محیطی

درصورت استفاده از سایر قطعات سرامیکی حاوی مواد شیمیایی مسموم‌کننده و حساسیت‌زا، از ریختن این قطعات در محیط‌زیست خودداری کنید.

تغییر چگالی محصول در زمان‌های مختلف

ممکن است به دلایل فنی و مکانیکی مربوط به تجهیزات پرس یا تغییر شرایط محیطی مانند دما و رطوبت، فشار پرس و تراکم‌پذیری مواد در گذر زمان تغییر کند. این مشکل به ویژه با تغییر فصل محسوس‌تر می‌شود، چرا که در فصول گرم و یا شرایط جوّی خشک، مواد زودتر از فصول سرد و یا شرایط جوّی مرطوب خشک می‌شوند.

فعالیت کلاسی

به‌نظر شما یکنواخت نبودن چگالی در یک قطعه و همچنین بین قطعات مختلف از محصولات جدول زیر، چه مشکلاتی در مراحل تولید و مصرف آن محصول به‌همراه دارد؟ در تکمیل جدول به مثال‌ها دقت کنید.

جدول ۱۱

محصول	مشکلات در مرحلهٔ تولید	مشکلات در مرحله مصرف
کاشی و سرامیک ساختمانی	در یک قطعه باعث شکست قطعه در حین پخت و افزایش ضایعات می‌شود.	بین قطعات مختلف منجر به تفاوت ابعادی و چیدمان ناسازگار می‌شود. پشت‌نمایی (تغییر رنگ)
آجر دیرگداز	در یک قطعه.....	در یک قطعه منجر به تفاوت در ضریب انبساط حرارتی و شکست آن در دمای بالا می‌شود. بین قطعات مختلف .....

 انواع راه‌گاه‌های مذاب فلزها (با اتصالات)	در یک قطعه	در یک قطعه..... بین قطعات مختلف منجر به غیرهمخوانی اتصالات و ایجاد درز و خروج مذاب فلز می‌شود.
 مبلمان کوره (ساگارها، صفحات و پایه‌ها)	در یک قطعه.....	در یک قطعه..... بین قطعات مختلف منجر به کج شدن صفحات و احتمال ریزش مبلمان در کوره می‌شود.

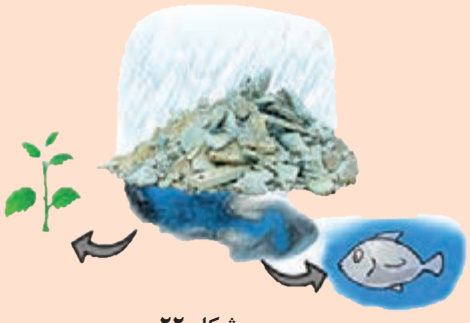
بیشتر بدانید

۱۱ عنصر مرگ آفرین خطرناک

عناصر خطرناک دارای ویژگی‌هایی مانند: سمی بودن، رادیواکتیو بودن و واکنش‌گر بودن (فعالیت شیمیایی) هستند. خطرناک‌ترین عناصر در این میان عبارت‌اند از:

کروم با ظرفیت ۶ (Cr(VI))، سرب (Pb)، هیدروژن (H)، برلیم (Be)، فلورین (F)، جیوه (Hg)، آرسنیک (As)، سزیم (Cs)، پولونیم (Po) و پولوتونیم (Pu) و بور (B).

در میان این عناصر، کروم در برخی محصولات دیرگداز و سرب در برخی از لعاب‌ها و ظروف شیشه‌ای تزیینی وجود دارد. لذا ایمنی لازم را درصورت مصرف و تماس با این‌گونه از محصولات رعایت کنید. همچنین رعایت نکات زیست‌محیطی در دور ریختن آن‌ها الزامی است.



شکل ۲۲

با توجه به تصویر فوق خطرات ناشی از دورریز مواد سمی و زیان‌آور را توضیح دهید.
چه راه‌هایی برای جلوگیری از ورود این عناصر به طبیعت پیشنهاد می‌کنید؟

ارزشیابی نهایی شایستگی پرس پودر

شرح کار:
۱ـ آماده‌سازی قالب و دستگاه پرس (کنترل دما و فشار، تمیزکاری و روان‌کاری)؛
۲ـ شکل‌دهی و پرس گرانول یا مخلوط مواد اولیه؛
۳ـ خارج کردن قطعه پرس شده از قالب؛
۴ـ پرداخت و کنترل قطعات از لحاظ وجود عیب در قطعه.

استاندارد عملکرد:
تولید قطعه به روش پرس پودر با استفاده از پرس‌های دستی و نیمه‌خودکار مطابق با ابعاد، چگالی و ظاهر موردنظر.

شاخص‌ها:
ـ تمیزکاری قالب و راه‌اندازی دستگاه پرس و تنظیم آن؛
ـ تولید قطعهٔ پرس شده با ابعاد، چگالی، ظاهر مناسب و سطوح صاف و تمیز.

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی، سیستم تهویه و نورکافی.
ابزار و تجهیزات: انواع دستگاه پرس و قالب پرس، ابزارهای تمیزکاری، مخلوط پودری از مواد اولیه و گرانول، مواد روان‌کاری.

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده کردن دستگاه پرس	۱	
۲	تمیزکاری و روان‌کاری قالب پرس	۱	
۳	شکل‌دهی با پرس پودر	۲	
۴	کنترل قطعه پرس شده از لحاظ ابعادی، شکل ظاهری و وجود عیوب در آن	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

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

منابع

۱ برنامه درسی رشتهٔ سرامیک. (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش.

۲ استاندارد شایستگی حرفه رشته سرامیک. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش.

۳ استاندارد ارزشیابی حرفه رشته سرامیک. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش.

۴ راهنمای عمل طراحی و تألیف بسته تربیت و یادگیری رشته‌های فنی‌وحرفه‌ای. (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش.

۵ تشکری، شعبان علی. (۱۳۷۱). شکل دادن بدنه‌های سرامیکی به‌روش پرس پودر. شرکت تحقیقات صنایع سرامیکی.

۶ افتخاری یکتا، بیژن. (۱۳۹۴). محاسبات در سرامیک کد ۴۶۴/۷. تهران: شرکت چاپ‌و نشر کتاب‌های درسی ایران.

۷ قصاعی، حسین. (۱۳۷۷). آزمایشگاه فرایند ساخت ۱. دانشگاه علم و صنعت.

۸ صانع، خسرو. (۱۳۸۴). فن‌آوری تولید کاشی‌های سرامیکی. انتشارات نوید شیراز.

۹ بروسنان، دنیس. رابینسون، ژیلبرت. مقدمه‌ای بر خشک‌کردن سرامیک‌ها. ترجمه: محمد ابراهیم ابراهیمی. (۱۳۸۶). دانش پویان جوان.

10 Anders, A. C., Ghorra, G. J., & Rigutto, R. V. (2008). Wet vs Dry Processing: Granulation of Ceramic Powders.

11 Wisniewski, R. (2015). Spray Drying Technology Review, 45th International Conference on Environmental Systems, 12-16, Bellevue, Washington.

12 K. Swati, M., & Wagh, MP. (2014). Review on Spray Drying Technology, IJPCBS, 4(2), 219-225.

13 Bertranda, G., Roya, p., Filiatreb, C., & Coddet, C. (2005). Spray-dried ceramic powders: A quantitative correlation between slurry characteristics and shapes of the granules, Chemical Engineering Science 60 95 – 102.

14 Sloth, J. (2014). Method for Improving Spray Drying Equipment and Product Properties, international ceramic review.

15 Lukasiewicz, S. J. (1989). Spray-drying ceramic powders, Journal of the American Ceramic Society 72 [4] 617–624.

16 Licciulli, A. An introduction to ceramic forming processes.

17 Advanced Ceramic Technologies & Products.DOI 10.1007/978-4-431-54108-0, Authors: The Ceramic Society of Japan. ISBN: 978-4-431-53913-1 (Print) 978-4-431-54108-0
18 Fundamentals of ceramic powder processing and synthesis / by Terry Ring. ,Includes index. ISBN 0-12-588930-5 (alk. paper).
19 Ceramic powders. I. Title TP815.R56 1995 666-dc20.
20 E. Fayed, M., & Otten, L. (1997). Handbook of powder science and technology. Second edition. Chapman & Hall.
21 N. Wagner, Norbert Wagner, Mannarswami Nithiyananthan, Laura Farina. (2009). Safety and health in the stone crushing industry. Wagner Global Consultants.
22 ASTM International - Standards Worldwide. (2006). ASTM C136-06.

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران- صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵- گروه درسی مربوط و یا پیام نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب گاه: www.tvoccd.medu.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامهٔ درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانهٔ تعاملی برخط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان دربارهٔ کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم کند. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانهٔ راهبری دروس نقش سازنده‌ای را برعهده داشتند. ضمن ارج نهادن به‌تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی را که تلاش مضاعفی در این زمینه داشته‌اند و با ارائهٔ نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به‌شرح زیر اعلام می‌شود:

همکاران هنرآموز که در فرایند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت فعال داشته‌اند:

استان: یزد

آقای علیرضا کریم‌بیگی، خانم شراره شادان‌فر، خانم مرجان عزیزی

استان: فارس

آقای مهدی رستگار