پودمان دوم

آسیاب کردن

امروزه، در صنعت تنها با خُردایش به روش سنگ‌شکنی، نمی‌توان به دانه‌بندی مطلوب دست یافت. بنابراین، لازم است برای تکمیل فرایند ریز کردن 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 بدنه 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 به روش 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 با استفاده از آسیاب تر و خشک را در مقیاس کارگاهی و آزمایشگاهی کسب می‌کند.

استاندارد عملکرد

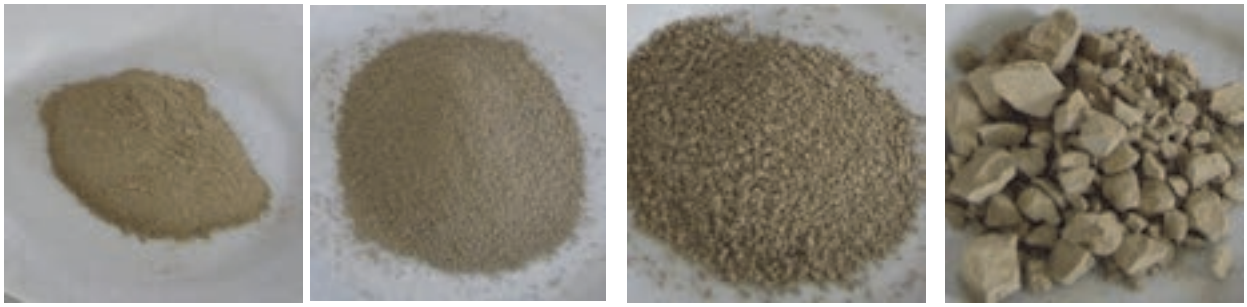
آسیاب کردن مواد اولیه مطابق با میزان سختی، اندازه دانه مواد ورودی، توزیع سایزبندی گلوله‌های بال‌میل و جدول‌توزیع دانه‌بندی مواد خروجی.

آسیاب کردن مواد اولیه چه اهمیتی دارد؟

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

شکل ۱- 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 پس از آسیاب کردن را نشان می‌دهد.



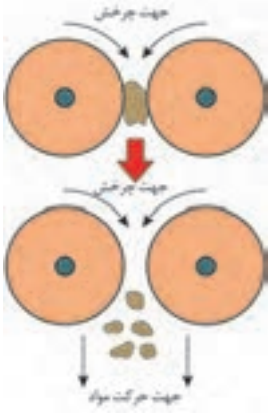
الف ب پ ت

شکل ۲- یک نوع مادهٔ اولیّه با اندازهٔ ذرات مختلف

گفت‌وگو کنید

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

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



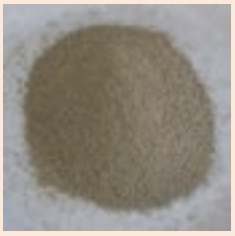
شکل ۳- آسیاب کردن

فعالیت کلاسی

با کدام یک 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 ریز کردن مواد را بر عهده دارند. آسیاب‌ها با کمک یک یا ترکیبی از نیروهای نشان داده شده در نمودار ۱، موجب سایش و ریز شدن مواد می‌شوند.

نمودار ۱- نیروهای مؤثر در آسیاب کردن

۱. Mill

گفت‌وگو کنید

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

فعالیت کلاسی

در هر یک از شکل‌های زیر، عامل مؤثر در آسیاب کردن را 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 ۵- برخی از انواع آسیاب

فعالیت کلاسی

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

_____

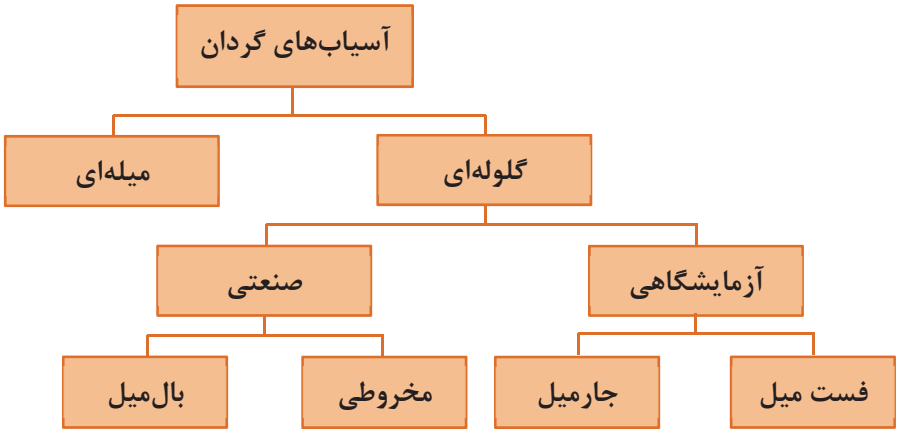
_____

_____

_____

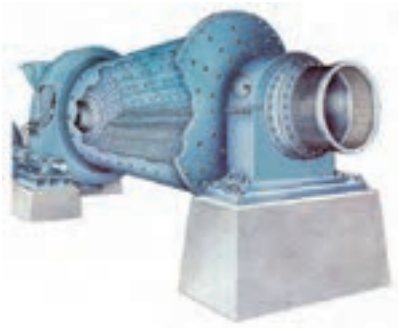
آسیاب‌های گردان

آسیاب‌هایی که به شکل استوانه یا مخروط ناقص حول محور افقی می‌چرخند «آسیاب گردان» نام دارند. در صنایع سرامیک، از این آسیاب‌ها برای ریز کردن مواد سخت و نیمه سخت 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، به کمک اجزای خردکننده (گلوله‌ها) و پوشش داخلی آسیاب، ریز می‌شوند.



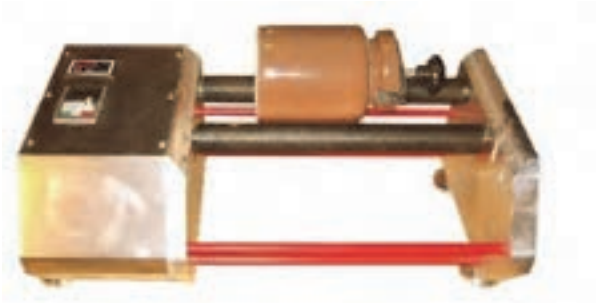
نمودار ۲- دسته‌بندی آسیاب‌های گردان

بال‌میل[۱]



آسیاب میله‌ای[۲]

آسیاب مخروطی[۳]



جارمیل[۴]

فست میل[۵]

شکل ۶- چند نوع آسیاب گردان

---

۱. Ball Mill
۲. Rod Mill
۳. Conical Mill
۴. Jar Mill
۵. Fast Mill

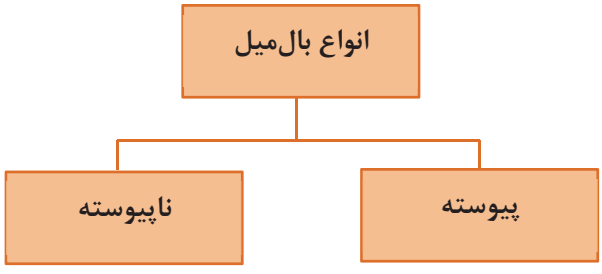
آسیاب گلوله‌ای (بال‌میل)

شکل ۷- بال‌میل

تحقیق کنید

علت نام‌گذاری بال‌میل به این نام چه بوده است؟

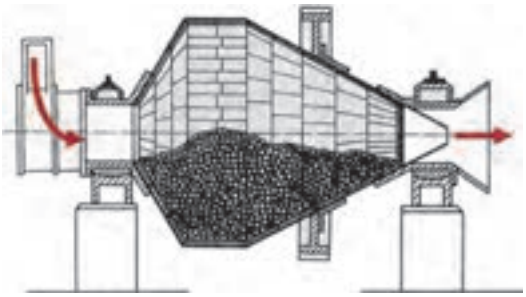
آسیاب گلوله‌ای (بال‌میل) از یک استوانه تشکیل شده است که در برخی موارد طول آن تقریباً برابر قطرش است. داخل آنها گلوله‌هایی کروی وجود دارد که وظیفهٔ آنها ساییدن ذرات مواد است. گلوله‌هایی که در آسیاب‌ها به کار می‌رود از مواد مقاوم در برابر سایش انتخاب می‌شوند.



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

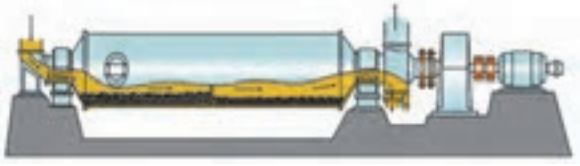
بال‌میل پیوسته[1]

در بال‌میل‌های پیوسته، مواد اولیه به طور 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 ۸- بال‌میل پیوستهٔ یک بخشی

در بال‌میل مخروطی نیز برای بارگیری گلوله‌ها لازم نیست بال‌میل متوقف شود و گلوله‌ها همراه مواد اولیه بارگیری می‌شوند. در شکل‌های ۸ و ۹ نمونه‌هایی از بال‌میل پیوسته مشاهده می‌شود.

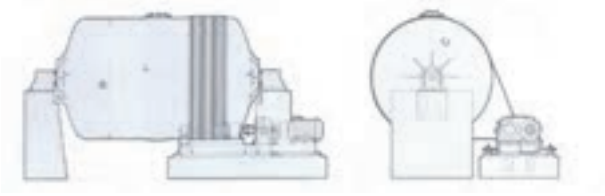


شکل ۹- بال‌میل پیوستهٔ دو بخشی

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

بال‌میل ناپیوسته[2]

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



شکل ۱۰- بال‌میل ناپیوسته

۱. Continuous Ball Mill

۲ . Discontinuous Ball Mill

در شکل زیر نمونه‌ای از بال‌میل ناپیوسته را مشاهده می‌کنید.

شکل ۱۱- بال‌میل ناپیوسته

فعالیت کلاسی

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

جدول ۱

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

در آزمایشگاه‌ها برای بررسی و تحقیق بر روی انواع مواد اولیه، از آسیاب‌های آزمایشگاهی مانند جارمیل استفاده می‌شود. جنس جارمیل‌ها از پرسلانِ[۱] 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 به وسیلهٔ یک موتور الکتریکی به صورت دَوَرانی به حرکت در می‌آید و پس از مدتی مواد را ریز می‌کند. مدت چرخش به دانه‌بندی مورد نیاز بستگی دارد. هر چه 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 فست میل استفاده می‌شود.

۱. Porcelain

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 ۱۳- بدنهٔ بال‌میل

پوشش داخلی آسیاب‌ها (آستر[1]) 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 خرد شونده 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 ۱۴- آستر بال‌میل

۱. Lining

پوشش داخلی این آسیاب‌ها از جنس فلینت[۱]، آلومینا[۲]، چینی سخت[۳]، 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 قابل انجام باشد. نقش آستر در نمودار ۴ آورده شده است:

نمودار ۴- نقش آستر بال‌میل

شکل ۱۵- آستر داخلی بال‌میل

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[۴] در اندازه‌های مختلف استفاده می‌شود.

---

۱. Flint
۲. Alumina
۳. Hard-paste Porcelain
۴. Steatite

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

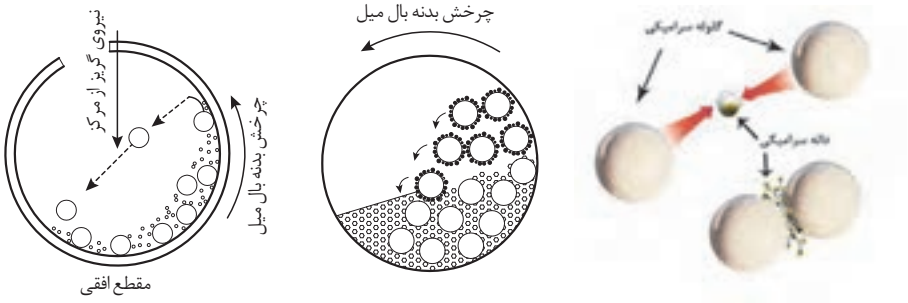
ت) گلولهٔ زیرکونیایی

ث) گلولهٔ استئاتیتی

ج) گلولهٔ فلینتی

شکل ۱۶- 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 ۱۷- ریز شدن ذرات در اثر سقوط و برخورد گلوله‌ها

فعالیت کلاسی

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

جدول ۲

ویژگی	راهکار
بار ورودی درشت‌تر باشد	قطر گلوله .....
مقدار بار ورودی بیشتر باشد	تعداد گلوله وقطر بال میل .....
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 به کمک سیستم انتقال نیروی چرخ دنده‌ای یا تسمه‌ای، بال‌میل را به حرکت درمی‌آورد.

چرخ دنده‌ای

تسمه‌ای

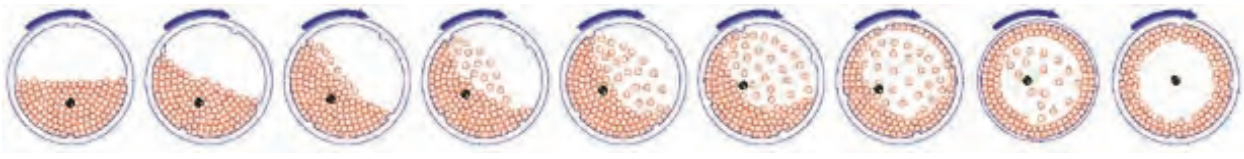
شکل ۱۸- انواع سیستم انتقال قدرت در بال‌میل

سرعت چرخش آسیاب

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

جدول ۳

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



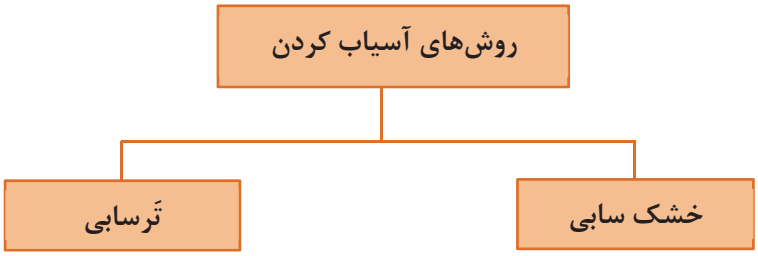
شکل ۱۹

اگر سرعت دَوَرانی آسیاب از سرعت بحرانی[1] بیشتر شود، گلوله‌ها تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز، به جدارهٔ داخلی آسیاب چسبیده و عمل ریز کردن متوقف خواهد شد. اگر سرعت آسیاب از سرعت بحرانی خیلی کمتر انتخاب شود، گلوله‌ها از ابتدا به طرف پایین سرازیر می‌شوند و ضربه به حداقل میزان خود می‌رسد و سایش به تنهایی، مکانیزم غالب خواهد بود. در حالی که در سرعت چرخش نزدیک به بحرانی، مکانیزم غالب در آسیاب کردن، ضربه 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 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 آسیاب شونده 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 گرد و غبار، 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.

۱. Critical Speed

آسیاب کردن به روش تر یا ترسابی

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

نکته

بال‌میل‌ها معمولی‌ترین آسیاب‌هایی هستند که در هر دو روش ترسابی و خشک‌سابی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

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

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

$$X = \frac{\rho_۲ (\rho_۱ - ۱)}{\rho_۱ (\rho_۲ - ۱)} \times ۱۰۰$$

که در آن

X = درصد مادهٔ جامد؛

$\rho_۱$= چگالی دوغاب؛

$\rho_۲$= چگالی مادهٔ معدنی (چگالی ماده خشک).

مثال:

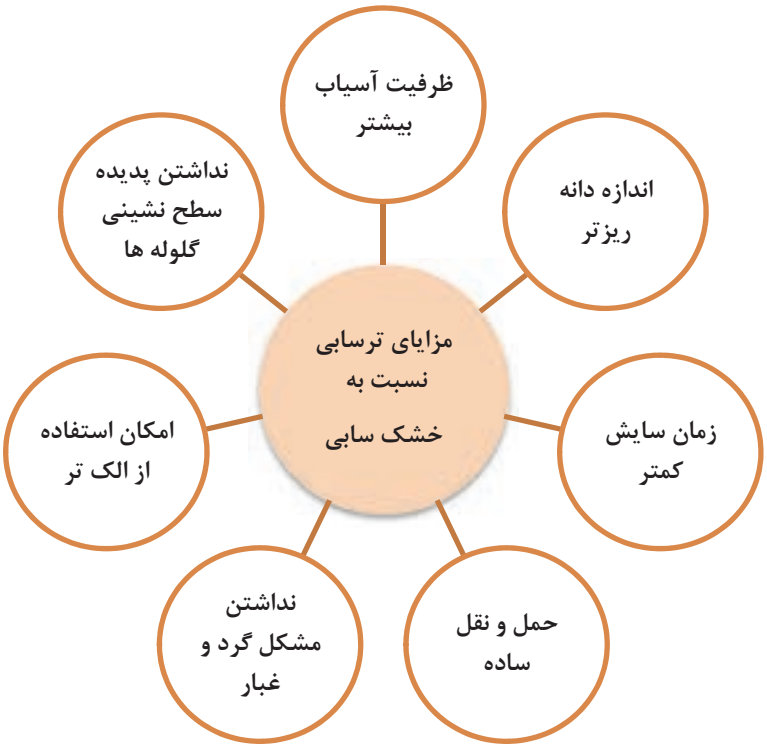
اگر چگالی ماده‌ای $۲/۶\ g/cm^۳$ و چگالی دوغاب $۱/۵\ g/cm^۳$ باشد، درصد جامد در دوغاب را حساب کنید.

$$X = \frac{۲/۶ (۱/۵ - ۱)}{۱/۵ (۲/۶ - ۱)} \times ۱۰۰ = \frac{۱/۳}{۲/۴} \times ۱۰۰ = ۵۴/۱۶٪$$

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 ۶- مزایای روش ترسابی نسبت به خشک‌سابی

حجم داخلی بال‌میل و جارمیل

همان طور 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 بر حسب 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 نمایید.

راه حل:

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

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

$$V = \pi r^{۲} h = ۳/۱۴ \times (۰/۶)^{۲} \times ۲/۲ = ۲/۴۸\, m^{۳}$$

چون هر متر مکعب ۱۰۰۰ لیتر است، پس حجم استوانه معادل ۲۴۸۰ لیتر می‌شود. $۲/۴۸ \times ۱۰۰۰ = ۲۴۸۰ lit$

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

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

قطرخارجی $= D = ۱۱۰$ سانتی‌متر

قطرداخلی $= d = ۱۱۰ - \left[۲ \times (۵ + ۲)\right] = ۹۶$ سانتی‌متر

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

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

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

$V = \pi r^{۲} h \quad V = ۳/۱۴ \times (۰/۴۸)^{۲} \times ۱/۳۶ = ۰/۹۸۴$ مترمکعب $= ۹۸۴$ 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 ۲۰- جدارهٔ داخلی و بدنهٔ بال‌میل

فعالیت کلاسی

۱- اگر در یک بال‌میل قطر خارجی ۳۴۰۰ میلی‌متر، ضخامت آجر به کار 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 متر مکعب و لیتر حساب کنید.
۲- جارمیلی از جنس چینی سخت با حجم کل ۵ لیتر (غیر مفید) مورد نظر است، اگر ارتفاع آن ۶۰ سانتی‌متر 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 وخشک ساب

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

شرح فعالیت:

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

برای محاسبهٔ سهم وزنی گلوله و مواد، چگالی گلوله و مواد مورد سایش 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 هم گروهی خود بخواهید مراقب باشد که هنرجویان دیگر به تابلوی راه‌اندازی بال‌میل نزدیک نشوند و یا درصورت 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، ماشین حساب، 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 به کمک خط‌کش، ضخامت جدارهٔ جارمیل را اندازه گرفته 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.

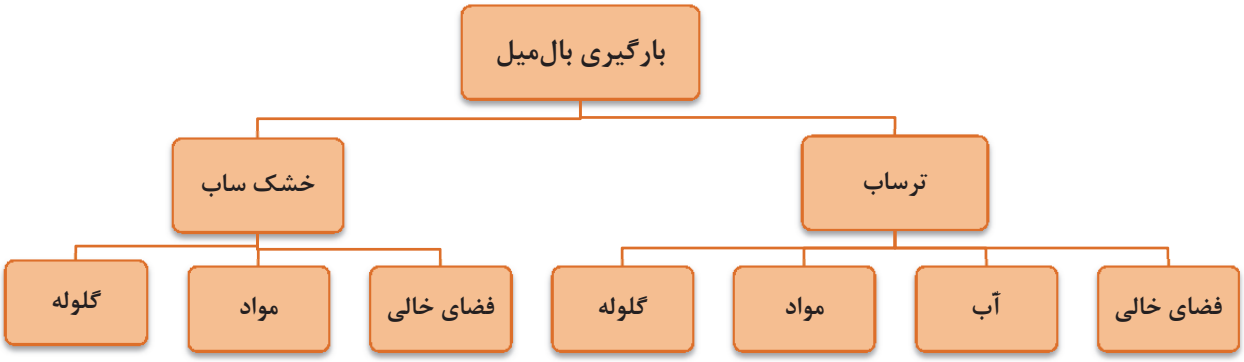
برای محاسبهٔ سهم وزنی گلوله و مواد، چگالی گلوله و مواد مورد سایش را از هنرآموز خود بپرسید.

نکات ایمنی

هنگام جابه‌جایی جارمیل دقت نمایید 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 راه اندازی 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 ۷- 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) 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 کرده و به نسبت مساوی بین اجزا تقسیم می‌شود. یعنی در حالت خشک ساب، 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.

---

۱. Deflocculant

مثال:

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

الف: حالت خشک ساب

حجم اشغالی توسط هر یک از بخش‌ها $۲۰۰ \div ۳ = ۶۶/۶۷\ lit = ۶۶۶۷۰\ cm^3$

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho \times v \rightarrow m = ۳ \times ۶۶۶۷۰ = ۲۰۰۰۰۰\ g$$

وزن گلولهٔ مورد نیاز $= ۲۰۰\ kg$

وزن مواد مصرفی $= ۲/۵ \times ۶۶۶۷۰ = ۱۶۶۶۷۵\ g = ۱۶۶/۶۷\ kg$

ب: حالت ترساب

حجم اشغالی توسط هر یک از بخش‌ها $۲۰۰ \div ۴ = ۵۰\ Lit = ۵۰۰۰۰\ cm^3$

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

وزن گلولهٔ مورد نیاز $= ۱۵۰\ kg$

وزن مواد مصرفی $= ۵۰۰۰۰ \times ۲/۵ = ۱۲۵۰۰۰\ g = ۱۲۵\ kg$

وزن آب $= ۵۰۰۰۰ \times ۱ = ۵۰۰۰۰\ g = ۵۰\ kg$

تحقیق کنید

در روش محاسبه تئوری، چه عواملی در نظر گرفته نشده است و به عبارت 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 به شدت تحت تأثیر جنس و چگالی آنها است.

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

به عنوان نمونه، بال‌میلی با گلوله‌های آلومینایی و در چهار اندازه را در نظر گرفته و محاسبات انجام می‌شود.

فرض بر این است که گلوله‌ها ٪۳۳، مواد اولیه ٪۲۲ و آب ٪۲۰ حجم داخلی بال‌میل را اشغال کنند.

نکته

گلوله‌ها ٪۵۵ حجم ظاهری را پُر می‌کنند که از این حجم ٪۶۰ حجم واقعی گلوله و ٪۴۰ فضای خالی بین گلوله‌ها است که توسط مواد اشغال می‌شود. بخشی از آب نیز به فضای خالی بین مواد وارد شده 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 با شرایط زیر را محاسبه کنید.
چگالی دوغاب $1/6\,g/cm^3$، چگالی گلوله‌ها از جنس آلومینا $3/68\,g/cm^3$، چگالی آب $1\,g/cm^3$، حجم ظاهری اشغال شده توسط گلوله‌ها ٪۵۵ حجم داخلی بال‌میل، فضای خالی بین گلوله‌ها ٪۴۰ این حجم و فضای اشغالی توسط آب ٪۲۰ حجم داخلی بال‌میل است.

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

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

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

حجم واقعی گلوله ها = حجم ظاهری گلوله × ۰/۶۰ = ۵۶۹ لیتر

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

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

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

وزن هر اندازه‌ای از گلوله $2094 \div 4 = 523$ کیلوگرم

۵- مقدار مواد خشک با در نظر گرفتن ٪۴۰ فضای خالی بین گلوله‌ها برای مواد و حجم ظاهری گلوله‌های به دست می‌آید:

حجم مواد خشک = ۹۴۹ × ۰/۴۰ = ۳۸۰ لیتر

۶- در این روش ٪۲۰ 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 $1/6\,g/cm^3$، ٪۶۵ دوغاب را مواد جامد و ٪ ۳۵ آن را آب تشکیل می‌دهد.

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

وزن مواد خشک $1160 \times 0/65 = 754$ کیلوگرم

وزن آب $1160 \times 0/35 = 406$ کیلوگرم = ۴۰۶ لیتر

نکته

۱- دقت شود محاسبات انجام شده بر مبنای خاک خشک است. در حالتی که خاک‌ها، تر باشند، لازم است قبل از توزین آنها، رطوبت مواد محاسبه شود تا ضمن به دست آمدن مقدار دقیق خاک مورد نیاز، میزان رطوبت همراه هر ماده، از میزان آب محاسبه شده کم شود.
۲- روان‌ساز مورد نیاز، بر مبنای خاک خشک 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 مورد نیاز برای سایش خشک با مشخصات زیر را محاسبه کنید.
گلوله‌ها از جنس استئاتیت با چگالی $۲/۷۵\,g/cm^3$
سیلیس با چگالی $۲/۵g/cm^3$
حجم ظاهری گلوله‌ها ٪۵۰ حجم بال‌میل، تراکم گلوله‌ها (حجم واقعی) ٪۶۰، حجم فضای خالی بین گلوله‌ها ٪۴۰، اندازه‌بندی گلوله‌ها ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، و ۵۰ میلی‌متر.

حل:

۱- محاسبهٔ حجم ظاهری اشغال شده توسط گلوله‌ها:

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

۲- محاسبهٔ حجم واقعی و مقدار گلوله:

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

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

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

وزن گلوله‌های هم اندازه = وزن گلوله مورد نیاز ÷ تعداد اندازه‌ها

وزن گلوله‌های هم اندازه = ۱۶۵ ÷ ۵ = ۳۳ کیلوگرم

۴- محاسبهٔ حجم مواد اولیهٔ مورد نیاز:

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

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

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 به کار 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- در صورت خیس بودن دست‌هایتان، به هیچ 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 در حال کار خودداری کنید.

۷- قبل از باز کردن درِ آسیاب و نصب شیر تخلیه، حتماً آن را هواگیری کنید (فشار هوای داخل بال‌میل بسیار بالا است).

۸- از لمس کردن دوغاب داخل آسیاب خودداری کنید (دوغاب داخل آسیاب داغ است).

نکات زیست‌محیطی

در صنعت سرامیک آلاینده‌های مختلفی مانند گرد و غبار، پساب، سر و صدا 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، مورد توجه 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 نمود یا در فرایند بعدی تولید، مواد به صورت خشک کاربرد دارند، آسیاب‌های خشک استفاده می‌شوند.

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

هر یک 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 ۴- 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 ۵- 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

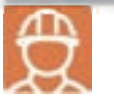
مواد و ابزار: بال‌میل، ترازوی دیجیتالی (۲۰ تا ۳۰ کیلویی)، پیمانهٔ آب، گلولهٔ بال‌میل (حداقل در سه اندازه)، مواد اولیهٔ سخت (سیلیس، فلدسپات یا رس‌های سخت)، سرتاس، سطل (۵ تا ۱۰ کیلویی)، آب.

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 به خوبی بسته 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 نمونه برداری 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 در صورت 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 دستورالعمل 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 دو حالت 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 به خوبی بسته و پس از بررسی نکات ایمنی، جار را بر روی دستگاه جار میل قرار داده و محافظ جار را در جای خود قرار دهید. در ادامه موتور جار میل را روشن کنید. زمان شروع به کار 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 حمل و نقل جارمیل دقت نمایید که به جارمیل ضربه وارد نشود و یا از دستتان سقوط نکند.

۲-هنگام بستن درِ جارمیل دقت کنید تا واشر آب‌بندی آن در جای مناسب قرار گرفته و درِ جارمیل به خوبی بسته شود.

۳-از قرار دادن جار بر روی جارمیل روشن جداً 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 به وسیله 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 به کار 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 ۲۱- سازه‌های آبی شوشتر

پرسش

۱- به نظر شما آسیاب های آبی مشابه کدام یک 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 اندازه 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 غیر فنی، 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.