پودمان سوم

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 در نظر 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 شده 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.

استاندارد عملکرد

پس از اتمام واحد یادگیری و کسب شایستگی تعیین رطوبت و دانه‌بندی هنرجویان قادر به اندازه‌گیری رطوبت و دانه‌بندی مواد اولیه با به کارگیری تجهیزات و روش‌های مناسب خواهند بود.

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 و 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

۱. سیلیکاژل دانه‌های شفاف و متخلخل دی اکسید سلیسیم 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 شکل های 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 مواد اولیه 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 نگه داری می‌شوند، ممکن است در روزهای بارانی، رطوبت گرفته یا در روزهای آفتابی، رطوبت خود را 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.

اندازه‌گیری میزان رطوبت

مقدار رطوبت در مواد اولیه و بدنه‌های سرامیکی اهمیت بسیاری دارد. در صنعت، روش‌ها و تجهیزات متنوعی برای اندازه‌گیری و کنترل مقدار رطوبت به کار 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 پودرآمیز 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 درجه 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:

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

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

نکته ایمنی

هنگام کار با خشک‌کن، استفاده از انبر و دستکش 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: بوته 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 کنید و در جدول یادداشت کنید.

۳- نمونهٔ وزن شده را درون خشک کن با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت (برای رسیدن به وزن ثابت) قرار دهید.

۴- نمونه را از خشک کن به دسیکاتور انتقال دهید تا سرد شود.

۵- وزن خشک (m_d) آن را اندازه‌گیری کنید 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- از لباس کار و دستکش در محیط کارگاه 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، بوته یا فویل آلومینیومی، هاون، ترازو (با دقت ۰/۱ یا ۰/۰۱ گرم)، خشک‌کن و دو عدد ظرف.

شرح فعالیت:

۱- مقداری خاک را در بوته یا فویل آلومینیومی ریخته و به مدت ۲ ساعت در خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس قرار دهید.

۲- خاک خشک شده را در هاون پودر کنید.

۳- داخل هر ظرف به مقدار ۱۰۰ گرم خاک بریزید.

۴- مقدار آب مورد نیاز برای پودر خاک با ۳۰ درصد رطوبت را بر مبنای خشک محاسبه و به یکی از ظروف اضافه کنید.

۵- مقدار آب مورد نیاز برای پودر خاک 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 محاسبه رطوبت	وزن کائولن خشک (گرم)	میزان آب مورد نیاز(گرم)	درصد رطوبت
بر مبنای خشک	۱۰۰		۳۰٪
بر مبنای تر	۱۰۰		۳۰٪

یکی از مزایای مهم شکل دهی 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 داشته 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	٪۸-۴
چینی مظروف	٪۱۶-۹
چینی بهداشتی	٪۱۶-۱۲

تجهیزات اندازه‌گیری رطوبت

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

رطوبت سنجی 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.

رطوبت سنجی الکتریکی

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

رطوبت سنجی وزنی

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

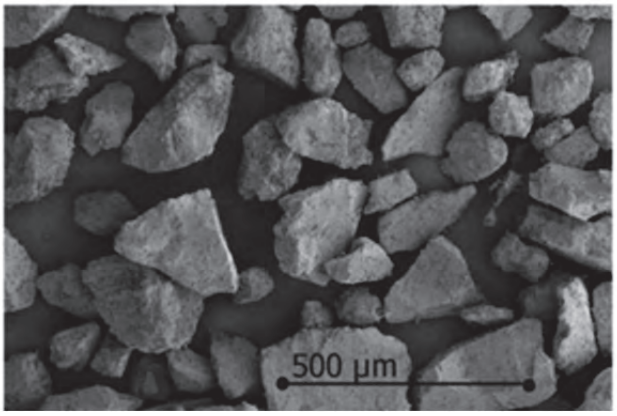
فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: درصد رطوبت خاک 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 مواد اولیه، اندازهٔ هر ذره می‌تواند از چند نانومتر تا چند میکرومتر یا حتی چند میلی‌متر تغییر کند.

به عنوان مثال، ذرات مواد رسی مانند کائولن، ابعادی کوچک‌تر از ۰/۵ میلی‌متر دارند که قابل رؤیت با چشم نیستند.



شکل ۵- ذرات رس قابل مشاهده زیر میکروسکوپ

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

شکل ۶- دانه‌های ماسهٔ سیلیسی قابل رؤیت با چشم

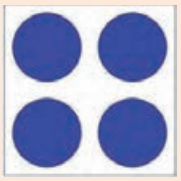
توزیع اندازهٔ ذرات چیست؟

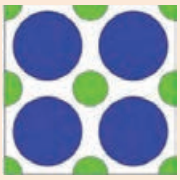
یک پودر معمولاً ذراتی با ابعاد و اندازه‌های متفاوت دارد. به تنوع در اندازهٔ ذرات، از کوچک‌ترین تا بزرگ‌ترین ذرهٔ ماده «توزیع اندازهٔ ذرات» یا «گسترهٔ دانه‌بندی» می‌گویند. هرچه این تنوع بیشتر باشد توزیع دانه‌بندی آن مادهٔ اولیه یا پودر گسترده‌تر است.

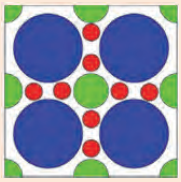
فعالیت کلاسی

در اَشکال زیر، اضلاع مربع ۵ سانتی‌متر، قطر دایره‌های آبی ۲ سانتی‌متر، قطر دایره‌های سبز ۱ سانتی‌متر 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				

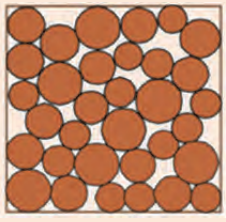
شمارهٔ شکل	مساحت			مساحت سفید	درصد مساحت سفید رنگ
	آبی	سبز	قرمز		
۱	۱۲/۵۶	۰	۰	۲۵-۱۲/۵۶=۱۲/۴۴	۴۹/۷۶٪
۲					
۳					

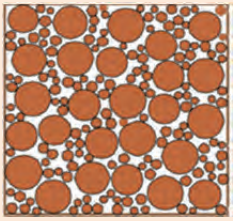
با فرض اینکه دایره‌های رنگی، همان دانه‌های پودر باشند، مفهوم درصد مساحت سفید رنگ چه خواهد بود؟

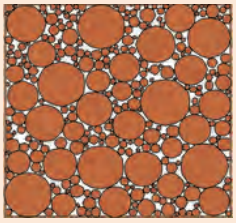
چگونه می‌توان مساحت قسمت سفید رنگ را بیشتر کاهش داد؟

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

گسترده ترین 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).

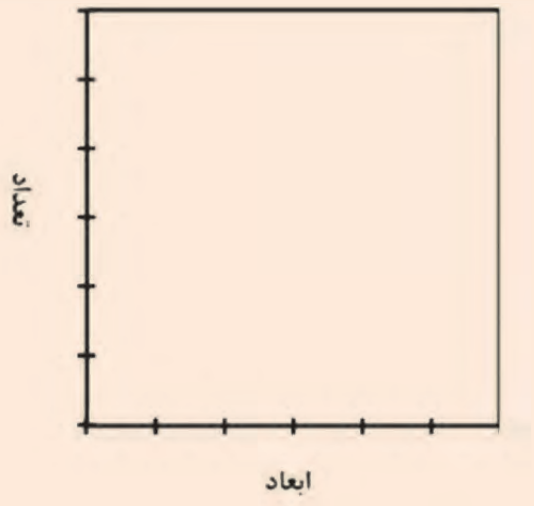
شرح فعالیت:

۱- ابعاد مواد را اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید.
۲- در ظرف شمارهٔ ۱ مواد با بزرگ‌ترین ابعاد را بریزید تا ظرف پرشود.
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			

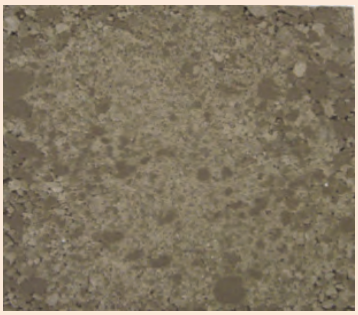


گفت و گو کنید

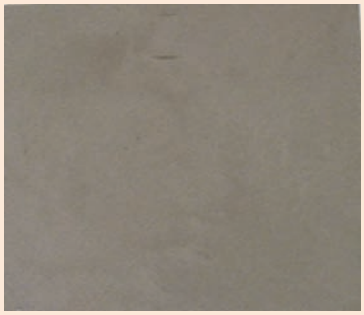
طبق کارهای عملی انجام شده، برای رسیدن به حداکثر تراکم در بدنه با استفاده از پودرها، لازم است پودر، توزیع گسترده‌ای از اندازهٔ ذرات داشته باشد. دربارهٔ علت این اصل با هم در کلاس گفت‌وگو کنید.

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؟

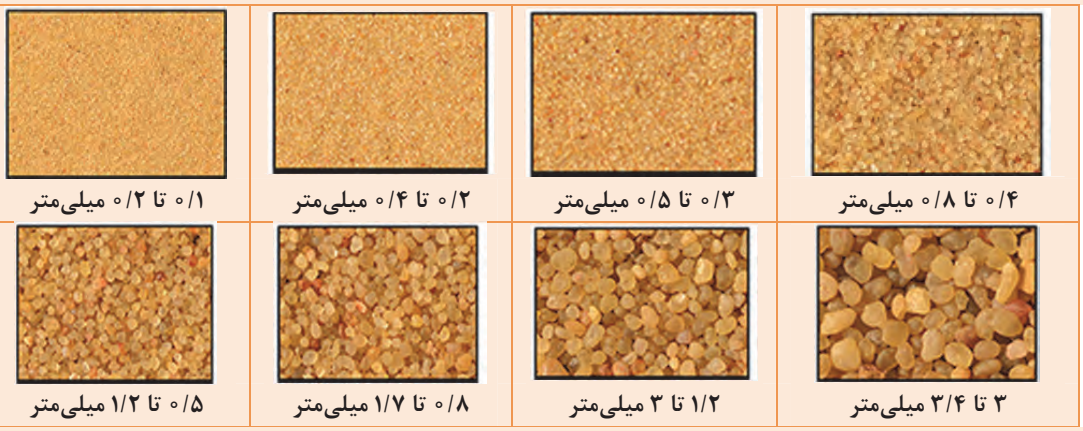
۳- استحکام کدام قطعه می‌تواند بیشتر باشد؟

۴- دانه‌بندی پودر کدام قطعه مناسب‌تر بوده است؟

نمودار ۲

فعالیت کلاسی

با توجه به شکل‌های زیر جاهای خالی را پر کنید.



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

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

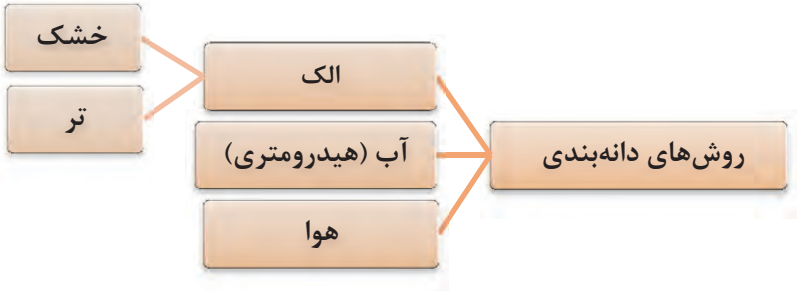
قبل از شکل‌دهی و بعد از مرحلهٔ آسیاب کردن، آمیز باید دانه‌بندی شده و اندازهٔ ذرات و توزیع آنها تعیین و کنترل شود. اندازهٔ ذرات و توزیع آنها با توجه به روش شکل‌دهی و کاربرد مورد نظر انتخاب می‌شود. ابعاد ذرات نباید از حد مجاز بزرگ‌تر یا کوچک‌تر باشد.

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:

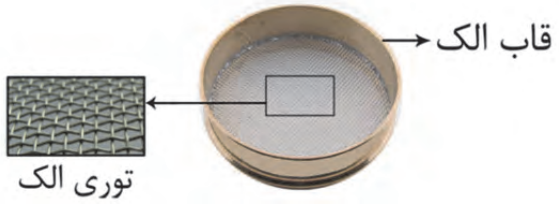


نمودار ۳

از میان انواع روش‌های دانه‌بندی، روش «الک کردن» به دلیل اهمیت داشتن و متداول بودن، مورد بررسی 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 عدم امکان 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 زیر الک نیز در زیر سری 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 - 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 روزنه 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 مورد نیاز 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 نوبت کاری، شدت کار لرزاننده و سرعت آن نیز قابل تنظیم است.

شکل ۱۰- 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 چشمه‌ها را تعیین کند؟ با هم‌کلاسی‌های خود در این مورد گفت‌وگو کنید.

نکته

استانداردهای مختلفی برای شماره‌های الک وجود دارد. استاندارد آمریکا در مش‌بندی الک‌ها معمول‌ترین استاندارد است که در جدول زیر برخی از مهم‌ترین آنها آورده شده است.

جدول ۶

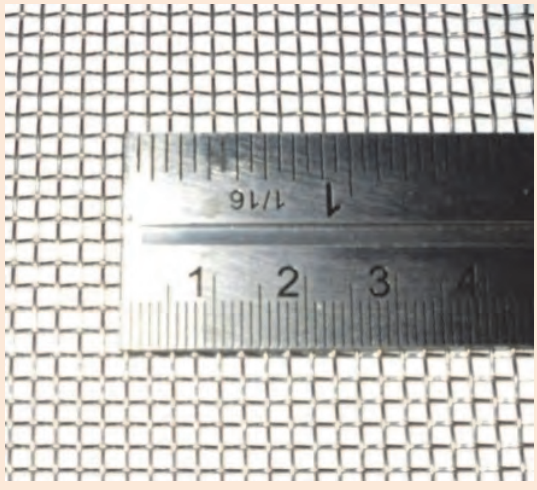
مش الک	تعداد روزنه در هر اینچ	ابعاد روزنه (میلی‌متر)
۵	۵	۴/۰۰
۱۰	۱۰	۲/۰۰
۲۰	۲۰	۰/۸۵
۳۰	۳۰	۰/۶۰
۴۰	۴۰	۰/۴۲
۵۰	۵۰	۰/۳۰
۶۰	۶۰	۰/۲۵
۸۰	۸۰	۰/۱۸
۱۰۰	۱۰۰	۰/۱۵
۱۲۰	۱۲۰	۰/۱۲

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

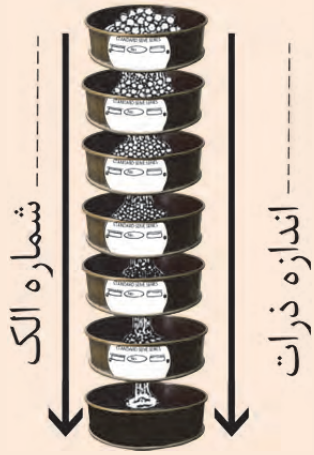
بر روی قاب الک‌های استاندارد یک پلاک چسبانده می‌شود که مشخصات الک آزمایشگاهی روی آن درج شده است. در شکل ۱۲ یک نمونه الک نشان داده شده است.

شکل ۱۲

رابطه شماره مش الک با اندازه ذرات

فعالیت کلاسی

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



شکل ۱۳

ذرات در الک‌ها چگونه از هم جدا می‌شود؟

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 نمود:

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

درصد ذرات باقی ماندهٔ 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 ۱۴- الک‌های آزمایشگاهی

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

درصد تجمعی باقی مانده-۱۰۰=درصد تجمعی عبوری

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

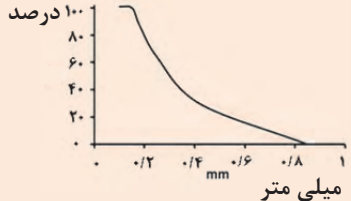
فعالیت کلاسی

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

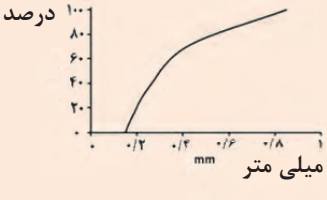
جدول ۷

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					

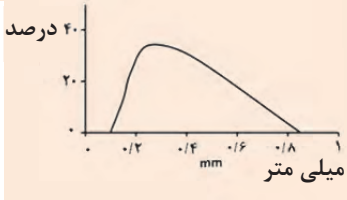
هر یک از نمودارهای زیر مربوط به کدام ستون از جدول صفحهٔ قبل است.



الف



ب



پ

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 جداشدن ذرات، درصد مقادیر باقی‌مانده روی هر الک مشخص و نمودار دانه‌بندی برای درصد عبوری از هر الک، بر حسب اندازه الک رسم می‌شود.

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

دانه بندی با الک به صورت خشک

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 جابجایی ذرات و عبور آنها از منافذ کمک می‌کند.

دانه بندی با الک به صورت تر

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.

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 زیر الکی

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 زیر الکی 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 عدم رعایت این نکات، عمر الک بسیار کم شده و از دقت و کارایی آن کاسته می‌شود.

الف) نمونه ای از برس برای تمیز کاری الک

ب) تمیز کاری 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)، زیر الک (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 (دراینجا ۲۰۰ مش) زیر الک یا سینی قرار می‌گیرد.

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

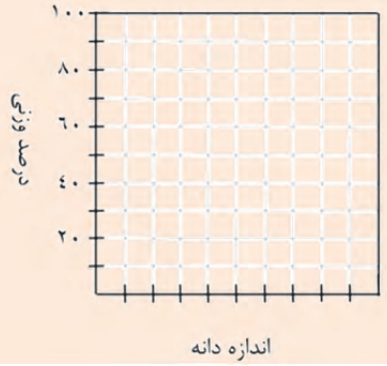
دستگاه الک را به مدت ۱۰ دقیقه روشن کنید. در صورت عدم دسترسی به لرزاننده مکانیکی مراحل را به صورت دستی انجام دهید.

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. از سطل با حجم مناسب به جای سینی الک استفاده شود.

نکته:

۱- بهتر است سطح الک را قبل از استفاده تر کنید.

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

۳- از مقداری آب برای شستشوی الک و اطمینان از شست و شوی تمام ذرات کوچک (کلوئیدها) استفاده کنید.

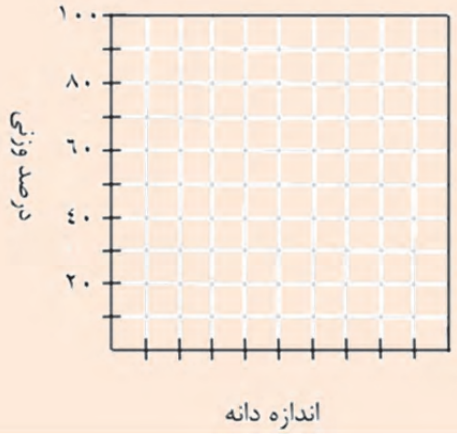
۴- الک‌های حاوی مواد باقی‌مانده را داخل خشک کن قرار دهید.

۵- مقدار مادهٔ خشک شده روی هر الک را وزن نموده 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. لذا نیاز به دقت بالایی در حین کار وجود دارد.

۲- استفاده‌کنندگان از الک‌های مش بالاتر مانند ۳۲۵، معمولاً از آب و گاهی نیز توسط برس به آرامی به عبور ذرات از الک کمک می‌کنند.

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

در آزمون ته نشینی یا هیدرومتری جداسازی و دانه‌بندی 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 زمان سقوط ذرات با اندازه‌های مختلف، در یک مایع 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 براساس 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 گریز از مرکز 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 هوا است.

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

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 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

1- Blaine

ارزشیابی نهایی شایستگی تعیین رطوبت و تعیین دانه بندی

شرح کار:

۱- آماده سازی، تمیزکاری و تنظیم تجهیزات تعیین رطوبت و دانه‌بندی

۲- تعیین انواع رطوبت و وزن کردن مواد مورد بررسی

۳- خشک کردن انواع مواد جهت رطوبت سنجی

۴- الک کردن به روش دستی و دستگاهی

۵- وزن کردن مواد

استاندارد عملکرد:

کسب مهارت در تعیین رطوبت و دانه بندی

شاخص‌ها:

وزن کردن صحیح و با دقت مواد به مقدار مناسب

تمیز بودن ابزارآلات و زدودن گرد و غبار،بازبودن منافذ الک‌ها، انتخاب صحیح الک‌های مورد نیاز

ترتیب قراردادن الک‌ها با توجه به مش آنها، حرکت لرزشی صحیح هنگام الک کردن دستی

کالیبره بودن ترازو، خشک شدن کامل پودر و قرار دادن آن در دسیکاتور، شستن به اندازه 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	آماده سازی مواد	۱	
۲	الک کردن و وزن کردن مواد	۱	
۳	تعیین مقدار رطوبت	۲	
۴	خشک کردن	۱	
۵	تعیین دانه بندی	۲	
	شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی 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.