پودمان دوم

تعیین چگالی و خواص رئولوژی دوغاب

پس از آماده‌سازی دوغاب، بررسی ویژگی‌های آن نظیر چگالی و گرانروی دارای اهمیت بسیار زیادی است که تعیین‌کنندهٔ خواص نهایی یک بدنه سرامیکی است. تعیین چگالی به شیوه‌های مختلف صورت می‌گیرد که در میان آنها روش ارشمیدس و پیکنومتری برای سرامیک‌ها کاربرد بیشتری دارد. رئولوژی دوغاب سرامیکی شامل گرانروی و تیکسوتروپی است که بر جریان‌یابی دوغاب تأثیرگذار هستند.

واحد یادگیری ۲

شایستگی تعیین چگالی

آیا تا به حال پی برده‌اید

۱ از چه روش‌هایی برای تعیین چگالی می‌توان استفاده کرد؟
۲ چه عواملی بر روی چگالی تأثیرگذار است؟
۳ چند دسته تخلخل در بدنه سرامیکی می‌تواند وجود داشته باشد؟

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت تعیین چگالی برای بدنه‌های سرامیکی است. بررسی عوامل مؤثر بر چگالی و همچنین شناخت روش‌های محاسبه چگالی در این واحد در نظر گرفته شده است.

استاندارد عملکرد

تعیین چگالی دوغاب براساس روش‌های استاندارد

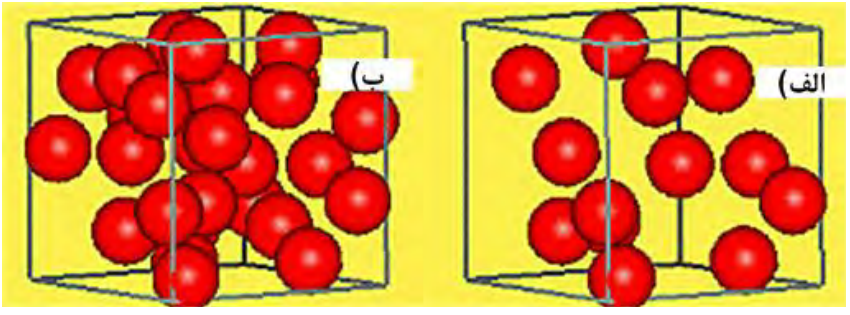
آیا این پرسش برای شما مطرح شده است که چرا یک سنگ‌ریزه کوچک چند گرمی در آب فرو می‌رود ولی کشتی‌های غول‌پیکر و یا پل‌های شناور بزرگ مانند پل شناوری که در دوران دفاع مقدس برای رساندن تدارکات و ادوات جنگی سنگین احداث شده بود، با وزن چندین تن بر روی آب شناور می‌مانند؟

شکل ۱

چگالی

چگالی نشانگر این است که جرم ماده در واحد حجم تا چه حد متراکم شده است.

در شکل ۲، دو مکعب با حجم یکسان وجود دارد. مکعبی که تعداد بیشتری اجزای سازنده در آن قرار گرفته است، چگالی بیشتری دارد و به عبارت دیگر، جرم بر واحد حجم آن بیشتر است.



شکل ۲

در اندازه‌گیری چگالی مواد، جرم را می‌توان برحسب گرم (g) یا کیلوگرم (kg) و حجم را برحسب سانتی‌متر مکعب (cm^3)، متر مکعب (m^3) یا لیتر (L) بیان کرد (جدول ۱).

جدول ۱

یکای جرم	یکای حجم	یکای چگالی
g	cm^3	g/cm^3
kg	m^3	kg/m^3
kg	L	kg/L
lb	ft^3	lb/ft^3

فرمول چگالی به‌صورت زیر است:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ: چگالی

m: جرم

V: حجم

مثال: ۱۰۰ گرم سیلیس حجمی معادل $37/7\ cm^3$ دارد، چگالی سیلیس چقدر است؟

پاسخ:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{100g}{37/7\,cm^3} = 2/65\,\frac{g}{cm^3}$$

نکته

هنگام مقایسه چگالی مواد باید دقت کنید یکاها یکسان باشند.

فعالیت کلاسی

وزن قطعه‌ای به شکل مکعب مستطیل از جنس شیشه به طول ۲۰ سانتی‌متر، عرض ۱۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر، برابر با ۲/۵ کیلوگرم است. چگالی آن را بر حسب g/cm^3 محاسبه کنید.

تحقیق کنید

۱- چگونه می‌توان چگالی یک مادهٔ مشخص را تغییر داد؟

۲- یک ماده با چگالی کم و یک ماده با چگالی زیاد را نام ببرید و وزن آنها را در حجم مساوی با هم مقایسه کنید.

چگالی نسبی

نسبت چگالی مواد به چگالی یک مادهٔ مرجع را که معمولاً آب در نظر گرفته می‌شود، «چگالی نسبی» می‌گویند و طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی مادهٔ مورد نظر}}{\text{چگالی آب}}$$

نکته

چگالی نسبی بدون واحد است.

مثال: چگالی نمونه‌ای از جنس زیرکونیا برابر با $۵/۶۸\ g/cm^۳$ است. چگالی نسبی آن را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی ماده مورد نظر}}{\text{چگالی آب}} = \frac{۵/۶۸\ g/cm^۳}{۱/۰۰\ g/cm^۳} = ۵/۶۸$$

گفت‌وگو کنید

۱- مطابق شکل ۳، چرا پرتقال با پوست بر روی سطح آب شناور است ولی پرتقال بدون پوست در آب ته‌نشین می‌شود؟

شکل ۳

۲- دو مادهٔ A و B داریم. چگالی مادهٔ A، $۲g/cm^۳$ و چگالی مادهٔ B، $۰/۵\ g/cm^۳$ است. به نظر شما کدام‌یک روی سطح آب شناور می‌شود؟

آیا می‌دانید

چگالی آب به دما بستگی دارد. این چگالی در ۴ درجهٔ سلسیوس به حداکثر مقدار خود می‌رسد و در ناحیه‌هایی که آب و هوای زمستانی دارند، اهمیت فراوانی دارد. با پایین آمدن دمای هوا، لایه‌های متراکم‌تر آب در سطح دریاچه به کف آن جابه‌جا می‌شوند و در این فرایند گردشی، اکسیژن و مواد غذایی تقریباً به‌طور یکنواخت به تمام قسمت‌های دریاچه می‌رسد.

شکل ۴

بعد از رسیدن به حالت پایدار، دمای قسمت زیرین آب به ۴ درجهٔ سلسیوس می‌رسد و کاهش بیشتر دما و تبدیل آب به یخ، باعث می‌شود تا جانوران آبزی در زمستان به زندگی خود ادامه دهند. از طرف دیگر، کم بودن چگالی یخ نسبت به آب، باعث شناور شدن یخ در سطح آب می‌شود. اگر یخ سنگین‌تر از آب بود، آب کف دریاها و رودخانه‌ها یکپارچه منجمد می‌شد و عواقب خطرناکی برای آبزیان در پی داشت.

برای تعیین جرم و حجم در محاسبهٔ چگالی، اندازه‌گیری جرم به راحتی توسط ترازو انجام می‌شود. همچنین حجم اَشکالی مانند مکعب، کره، استوانه و سایر اَشکال هندسی ساده (شکل ۵) به‌راحتی محاسبه خواهد شد ولی محاسبهٔ حجم برای اَشکال هندسی پیچیده (شکل ۶) دشوار است.

شکل ۵- اشکال هندسی ساده

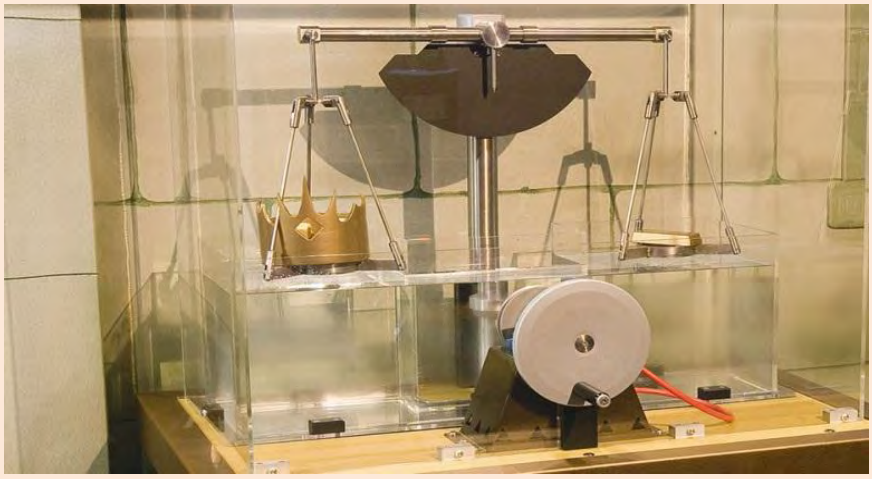
شکل ۶- شکل هندسی پیچیده

گفت و گو کنید

آیا روشی ساده برای محاسبهٔ حجم شکل ۶ می‌توانید پیشنهاد کنید؟

آیا می‌دانید

ارشمیدس دانشمند و ریاضیدان یونانی روشی ساده برای محاسبهٔ حجم اشکال هندسی پیچیده پیشنهاد داد. این کشف مهم و بنیادی ارشمیدس با درخواست پادشاه وقت در خصوص آزمایشی براساس اینکه تاج طلای ساخته‌شده برای پادشاه آیا خالص یا تقلبی است انجام گرفت. در آن زمان ارشمیدس می‌دانست که فلزات مختلف چگالی متفاوتی دارند، بنابراین تصور می‌کرد برای تعیین چگالی تاج باید ابتدا آن را ذوب کرده سپس به‌صورت یک شکل هندسی مانند شمش مکعبی با ابعاد مشخص، شکل دهد و وزن آن را با یک شمش طلا با همان ابعاد مقایسه کند.



شکل ۷

ارشمیدس با وارد شدن داخل آب خزینهٔ حمام متوجه شد که سطح آب بالا آمده است و به این نتیجه رسید که افزایش سطح آب، حین ورود شیء به داخل آب، به اندازهٔ حجم شیء است و با آزمایش متوجه شد اجسام با حجم یکسان، میزان آب برابری را جابه‌جا می‌کنند و همچنین یک جسم حین غوطه‌ور شدن در یک سیال، به اندازهٔ مقدار سیالی که جابه‌جا می‌کند از وزنش کاسته می‌شود. با توجه به چگالی بیشتر طلا، نسبت به نقره، یک شمش یک کیلوگرمی از جنس طلا حجم کمتری نسبت به یک شمش نیم کیلوگرمی از جنس نقره دارد؛ پس مقدار کمتری از سیال را جابه‌جا می‌کند. ارشمیدس با قرار دادن یک شمش طلا هم‌وزن تاج پادشاه در آب، مشاهده کرد که تاج، حجم بیشتری از آب را نسبت به شمش طلا جابه‌جا می‌کند. بنابراین متوجه شد تاج ساخته‌شده، تقلبی است.

محاسبهٔ حجم اجسام توسط قانون ارشمیدس

وقتی جسمی در سیالی غوطه‌ور شود به اندازهٔ وزن سیال هم حجمش یا به عبارتی به اندازهٔ حجم سیالی که جابه‌جا می‌کند از وزن آن کاسته می‌شود. در شکل ۸ این موضوع نشان داده شده است.

شکل ۸

به این ترتیب اگر مقدار وزن جسم در هوا و در حالت خشک را D بنامیم و مقدار وزن جسم داخل سیال، در حالت غوطه‌وری را I بنامیم آنگاه خواهیم داشت:

$$\text{حجم جسم غوطه‌ور شده} = \text{حجم سیال جابه‌جا شده} = \frac{\text{وزن سیال جابه‌جا شده}}{\text{چگالی سیال}} = \frac{D-I}{\rho_L}$$

حال اگر سیال مورد نظر آب باشد با توجه به اینکه چگالی آب تقریباً برابر با یک است بنابراین رابطهٔ بالا به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\text{حجم جسم غوطه‌ور شده} = D - I$$

فکر کنید

چه عواملی سبب می‌شود تا چگالی آب تغییر کند؟

مثال: وزن یک جسم در هوا ۲۴/۶ گرم و در حالت غوطه‌وری در آب برابر با ۱۹/۸ گرم است. چگالی جسم را محاسبه کنید.

پاسخ: حجم جسم برابر است با حجم سیال جابه‌جا شده یا به عبارتی در حالت غوطه‌وری از وزن جسم به میزان وزن سیال هم حجمش کاسته می‌شود. بنابراین داریم:

وزن جسم در هوا $= D = ۲۴/۶\ g$

وزن جسم در حالت غوطه وری $= I = ۱۹/۸\ g$

با توجه به اینکه سیال آب است، رابطه به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\text{حجم جسم} = \text{حجم آب جا به جا شده} = \text{وزن آب جا به جا شده} = \frac{D - I}{\rho_L} = \frac{۲۴/۶ - ۱۹/۸}{۱} = ۴/۸\ cm^۳$$

$$\text{چگالی جسم} = \frac{\text{وزن جسم در حالت خشک}}{\text{حجم جسم}} = \frac{D}{D - I} = \frac{۲۴/۶}{(۲۴/۶ - ۱۹/۸)} = ۵/۱\ g/cm^۳$$

مثال: وزن قطعه‌ای در هوا ۱۰۰ گرم است. وزن این قطعه وقتی داخل نفت غوطه‌ور می‌شود ۷۵ گرم می‌شود. در صورتی‌که چگالی نفت $۰/۸۲\ g/cm^۳$ باشد، چگالی قطعه را محاسبه کنید.

پاسخ: با استفاده از قانون ارشمیدس می‌توان نوشت:

$$\text{حجم قطعه} = \text{حجم نفت جا به جا شده} = \frac{\text{وزن نفت جا به جا شده}}{\text{چگالی نفت}} = \frac{۱۰۰ - ۷۵}{۰/۸۲} = ۳۰/۴۹\ cm^۳$$

$$\text{چگالی قطعه} = \frac{\text{وزن قطعه در حالت خشک}}{\text{حجم قطعه}} = \frac{۱۰۰}{۳۰/۴۹} = ۳/۲۸\ g/cm^۳$$

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: محاسبهٔ چگالی به روش ارشمیدس

مواد و ابزار: وزنه یا قطعهٔ دلخواه، استوانهٔ مدرّج، ترازو، آب، دوغاب با چگالی مشخص.

۱- وزنه را در استوانهٔ مدرّج قرار داده و میزان آب جابه‌جا شده یا افزایش سطح آب را که همان مقدار حجم قطعه است یادداشت کنید.

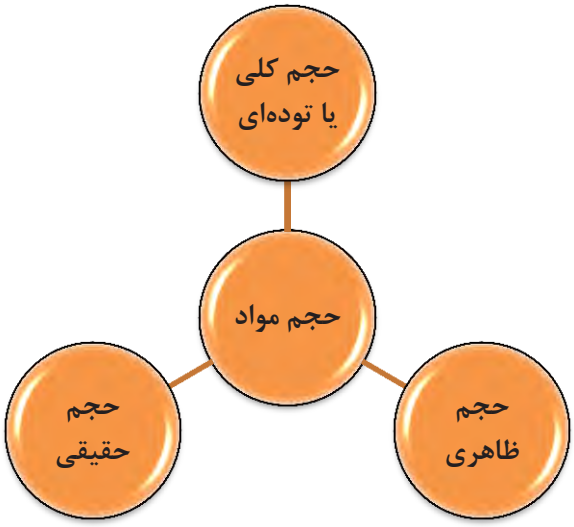
۲- وزنه را هنگام غوطه‌وری در آب وزن کرده و مقدار به دست آمده را یادداشت کنید. حال میزان کاهش وزن را که همان میزان آب جابه‌جا شده یا حجم قطعه است با مقدار به دست آمده از قسمت قبل مقایسه کنید.

۳- وزن قطعه را در حالت خشک حساب کنید.

۴- با استفاده از نتایج به دست آمده، چگالی وزنه را محاسبه کنید.
۵- تمامی مراحل ۱ تا ۴ را در دوغاب با چگالی مشخص تکرار کرده و مقدار چگالی قطعه را محاسبه کنید.
۶- مقدار چگالی محاسبه‌شده از دو روش را با هم مقایسه کنید.

شکل ۹- قطعهٔ متخلخل

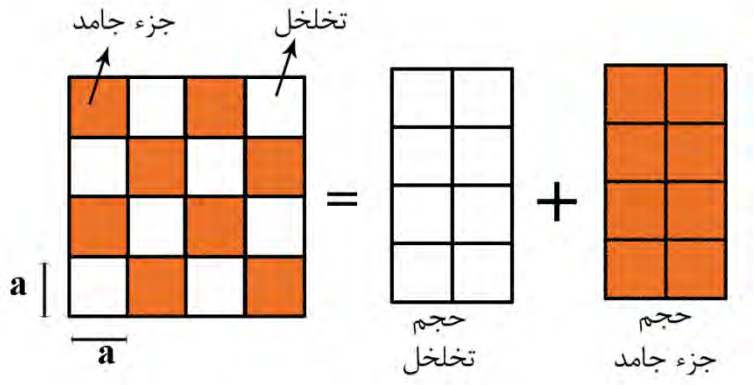
در قطعات متخلخل (شکل ۹) به دلیل وجود تخلخل در قطعه، حجم‌های مختلفی تعریف می‌شود و در نتیجه چگالی‌های متعددی را می‌توان به دست آورد. بنابراین سه نوع حجم را خواهیم داشت:



نمودار ۱

حجم کلی یا توده‌ای

به مجموع حجم جزء جامد و حجم تخلخل‌های باز و بسته، «حجم کلی یا توده‌ای» گفته می‌شود (شکل ۱۰).

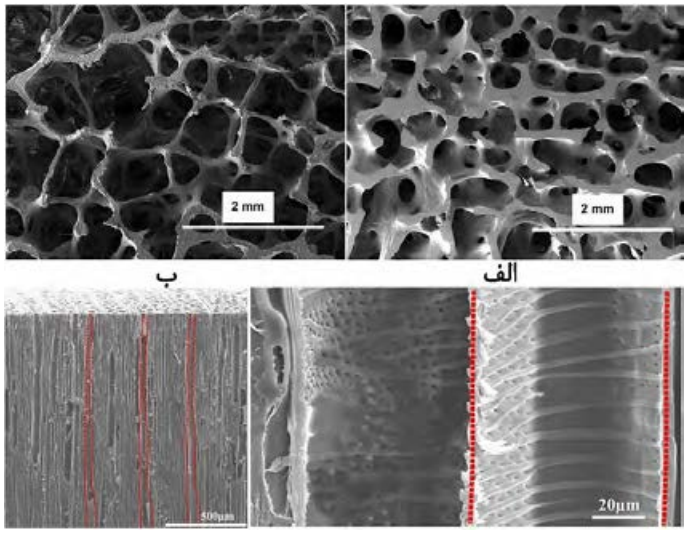


شکل ۱۰

مواد متخلخل را می‌توان به دو گروه کلی طبیعی و مصنوعی تقسیم‌بندی نمود.

الف) مواد متخلخل طبیعی

در طبیعت مواد متخلخل از قبیل استخوان، اسفنج و چوب به فراوانی یافت می‌شود. برای مثال در شکل زیر، الف) تصویر از ساختار استخوان یک فرد جوان، ب) تصویر از ساختار استخوان یک فرد پیر و پ) تصویر از ساختار چوب، نشان داده شده است که تخلخل‌ها در این ساختارها به‌وضوح دیده می‌شود.



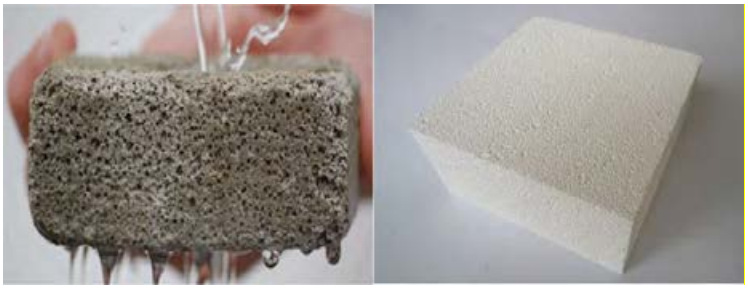
پ

شکل ۱۱

ب) مواد متخلخل مصنوعی

همان‌طوری‌که از نام این گروه فهمیده می‌شود، این مواد، ساختهٔ دست بشر هستند و در این گروه، تخلخل به‌صورت عمدی و خواسته ایجاد می‌شود. تخلخل در قطعاتی مانند عایق‌ها، فیلترها، جاذب‌ها به‌صورت عمدی ایجاد می‌شود.

در شکل زیر، تصاویر مربوط به عایق‌های سرامیکی که قطعاتی متخلخل هستند، نشان داده شده است.



شکل ۱۲

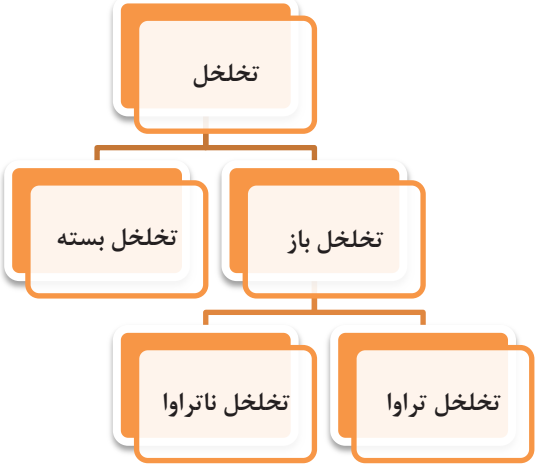
تحقیق کنید

چرا قطعاتی مانند آجرهای عایق یا فیلترها را متخلخل می‌سازند؟

انواع تخلخل‌ها در قطعات سرامیکی

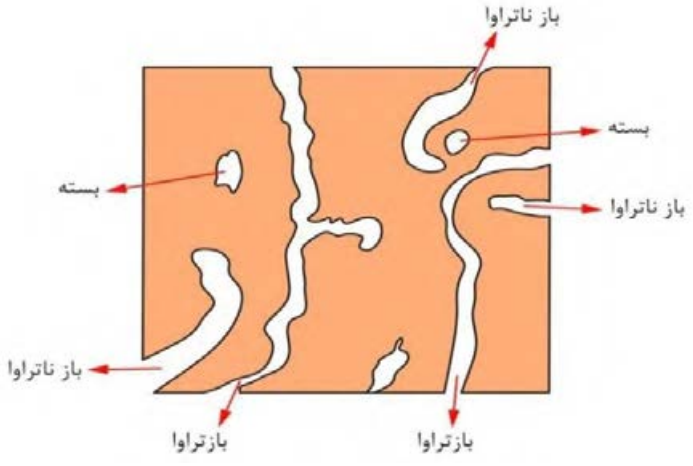
به‌طورکلی تخلخل‌ها در قطعات سرامیکی به دو گروه باز و بسته تقسیم می‌شوند.

تخلخل‌های باز به سطح قطعه راه دارند. به تخلخل‌های بازی که به هم متصل باشند تخلخل تراوا و به تخلخل‌های بازی که به هم متصل نباشند و از یک طرف بسته باشند تخلخل ناتراوا گفته می‌شود.



نمودار ۲

از نام تخلخل‌های بسته می‌توان فهمید، این نوع تخلخل‌ها به سطح قطعه راه ندارند. در شکل ۱۳ انواع تخلخل‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱۳- انواع تخلخل‌ها

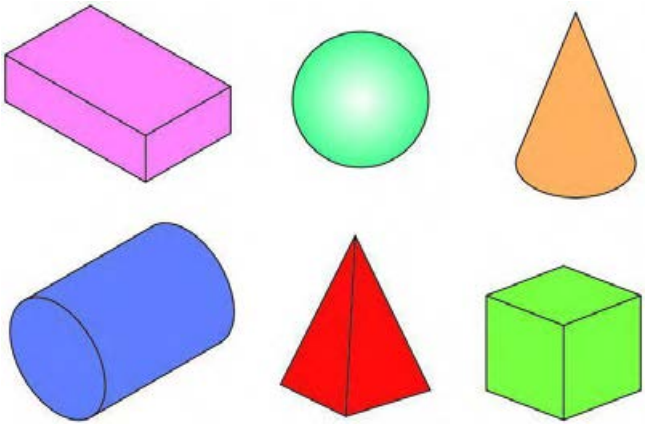
تحقیق کنید

دلایل ایجاد تخلخل‌های باز و بسته در قطعات سرامیکی چیست؟

تعیین حجم کلی

حجم کلی را به سه روش می‌توان اندازه‌گیری نمود.

۱- اندازه‌گیری ابعادی قطعه: در این روش حجم قطعات با شکل هندسی منظم مانند استوانه یا مکعب به‌وسیلهٔ اندازه‌گیری ابعاد نمونه محاسبه می‌شود (شکل ۱۴).



شکل ۱۴

۲- غوطه‌وری نمونه در جیوه: جیوه نمی‌تواند داخل تخلخل‌های باز قطعه نفوذ کند بنابراین با استفاده از جابه‌جایی جیوه می‌توان حجم قطعه را محاسبه نمود (شکل ۱۵).

شکل ۱۵- محاسبهٔ حجم به روش غوطه‌وری نمونه در جیوه

۳- غوطه‌وری نمونه در آب: با توجه به اینکه آب می‌تواند در تخلخل‌های قطعه نفوذ کند، بنابراین قطعه در آب در حال جوشیدن قرار داده می‌شود تا آب، تمام تخلخل‌های باز را پر کرده و قطعه از آب اشباع شود. در این صورت برای محاسبهٔ حجم کلی یا توده‌ای، قطعهٔ اشباع‌شده از آب (S) را در هوا و در حالت غوطه‌وری (I) وزن می‌کنیم در نتیجه حجم کلی برابر است با اختلاف وزن قطعه در این دو حالت:

$$\text{حجم کلی } V_b = \frac{S-I}{\rho_L}$$

شکل ۱۶- ترازوی ارشمیدس

حجم ظاهری

به مجموع حجم مادهٔ جامد و حجم تخلخل‌های بسته، حجم ظاهری گویند.
برای محاسبهٔ حجم ظاهری می‌توان نمونهٔ خشک را در هوا توزین کرده (D) و مقدار آن را از وزن نمونه در حالت غوطه‌وری (I) کم کرد که رابطه آن به‌صورت زیر به دست می‌آید:

$$V_a \text{ (حجم ظاهری)} = \frac{D - I}{\rho_L}$$

حجم حقیقی

به حجم جزء مادهٔ جامد (بدون تخلخل) حجم حقیقی گفته می‌شود.
از آنجایی‌که حجم حقیقی فقط دربرگیرنده جزء جامد است و از طرفی نمونه‌های سرامیکی معمولاً دارای تخلخل‌های باز و بسته هستند، بنابراین باید این تخلخل‌ها از بین بروند. بدین منظور نمونه به‌صورت پودری درآمده و سپس حجم حقیقی توسط روش پیکنومتری اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۱۷ تصویر یک پیکنومتر شیشه‌ای را نشان می‌دهد.

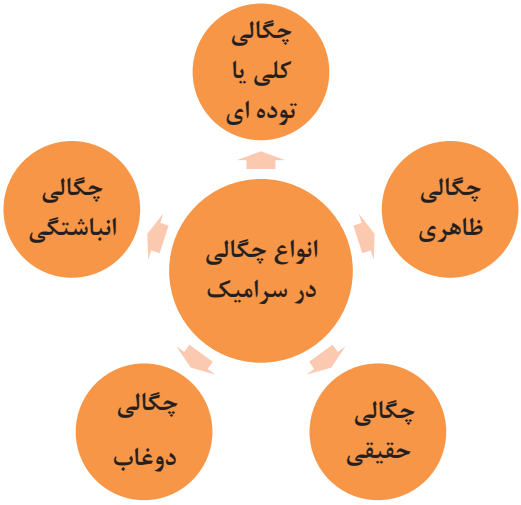
شکل ۱۷

پیکنومتر، ظرفی با حجم مشخص است که برای اندازه‌گیری چگالی مایعات و جامدات به‌صورت پودر به کار می‌رود.

نکته

هنگام کار با پیکنومتر به منظور کاهش خطای آزمایش باید دقت شود که هر پیکنومتر همراه با درِ مخصوص به خود استفاده شود.

در روند تولید یک قطعهٔ سرامیکی دانستن مقدار چگالی پودر، دوغاب و قطعهٔ نهایی امری مهم محسوب می‌شود. بنابراین در سرامیک‌ها، چگالی‌های مختلفی تعریف می‌شود که در نمودار ۳ نشان داده شده است.



نمودار ۳

برای تهیهٔ یک آمیز بدنه، لعاب، رنگ یا مواردی از این قبیل، ابتدا مواد پس از فرایند خردایش توسط سنگ‌شکن‌های مختلف باید توسط آسیاب به‌صورت پودر درایند. به‌عنوان مثال برای بارگیری سهم حجمی مواد در آسیاب باید چگالی پودر مورد نظر اندازه‌گیری شود.

چگالی کلی یا توده‌ای

چگالی کلی از تقسیم کردن وزن قطعه بر حجم کلی و ضرب کردن آن در چگالی مایع به دست می‌آید.

$$\text{چگالی کلی } \left(\rho_b\right) = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم کلی}} = \frac{D}{S-I} \times \rho_L$$

D= وزن قطعه خشک در هوا (g)

S= وزن قطعه اشباع از مایع (g)

I= وزن قطعه غوطه‌ور شده در مایع (g)

ρ_L= چگالی مایع (g/cm^3)

نکته

برای محاسبهٔ حجم کلی و در نهایت چگالی کلی قطعاتی که نمی‌توان در آب جوشاند و غوطه‌ور ساخت، مانند قطعات پرس شده که استحکام کافی ندارند یا قطعاتی که با آب واکنش می‌دهند، آنها را باید در سیال دیگری به غیر از آب مانند جیوه، الکل و نفت غوطه‌ور ساخت و سپس چگالی را تعیین کرد.

چگالی ظاهری

چگالی ظاهری از تقسیم کردن وزن قطعه بر روی حجم ظاهری و ضرب کردن در چگالی مایع به دست می‌آید.

$$\text{چگالی ظاهری } \left(\rho_a\right) = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم ظاهری}} = \frac{D}{D-I} \times \rho_L$$

چگالی حقیقی

چگالی حقیقی از تقسیم کردن وزن قطعه بر حجم حقیقی به دست می‌آید. چگالی حقیقی را می‌توان تقریباً معادل چگالی پودر در نظر گرفت. برای محاسبهٔ حجم حقیقی ابتدا قطعه باید به‌صورت پودری درآمده تا تمام تخلخل‌های موجود در آن از بین رود. سپس با روش پیکنومتری حجم و چگالی حقیقی قطعهٔ پودر شده محاسبه می‌شود.

$$\text{چگالی حقیقی } (\rho_t) = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم حقیقی}} = \frac{D}{V_t}$$

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: تعیین چگالی پودر

مواد و ابزار: پیکنومتر، ترازو با دقت ۰/۱ گرم، دسیکاتور، پیپت، آب مقطر، پودر سرامیکی مورد نظر و خشک‌کن.

شرح فعالیت:

۱- ابتدا پیکنومتر را به‌خوبی شست و شو دهید و در خشک‌کن در دمای کمتر از ۵۰ درجهٔ سلسیوس به مدت حدوداً ۲ ساعت قرار دهید.

۲- پیکنومتر را وزن کنید و مقدار به دست آمده را a بنامید.

۳- پودر سرامیکی را در دمای حدوداً ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲ ساعت خشک کرده و سپس داخل دسیکاتور قرار دهید، پودر حاصل را درون پیکنومتر بریزید (به‌صورتی که حدوداً یک پنجم پیکنومتر را پر کند). پیکنومتر را به همراه پودر وزن کنید و مقدار به دست آمده را b بنامید.

۴- به وسیلهٔ پیپت، آب مقطر را به میزانی که روی پودر را بپوشاند بریزید و پس از اندکی به هم زدن، پیکنومتر را تا خط نشان پر از مایع کرده و دوباره پیکنومتر را به همراه پودر و آب موجود در آن وزن کنید. مقدار به دست آمده را c بنامید.

۵- سپس پیکنومتر را خالی کرده و پس از شست‌وشوی مناسب آن را با آب پر کرده و پیکنومتر را به همراه آب وزن کنید و مقدار حاصله را d بنامید. سرانجام چگالی پودر (چگالی حقیقی) را براساس رابطهٔ زیر به دست آورید:

$$\text{چگالی پودر } (\rho_p) = \text{چگالی حقیقی} = \frac{b-a}{(d-a)-(c-b)} \times \rho_L$$

ρ_p = چگالی پودر (چگالی حقیقی)

a = وزن پیکنومتر

b = وزن پیکنومتر + وزن پودر

c = وزن پیکنومتر + وزن پودر + وزن آب

d = وزن پیکنومتر + وزن آب به اندازهٔ حجم پیکنومتر

ρ_L = چگالی مایع

فعالیت کلاسی

وزن یک آجر عایق در حالت خشک ۱۵۰۰ گرم است. اگر وزن این آجر در حالت جذب آب کامل معادل ۱۹۰۰ گرم و در حالت غوطه‌وری ۹۰۰ گرم باشد. چگالی کلی و چگالی ظاهری این آجر را محاسبه کنید.

فکر کنید

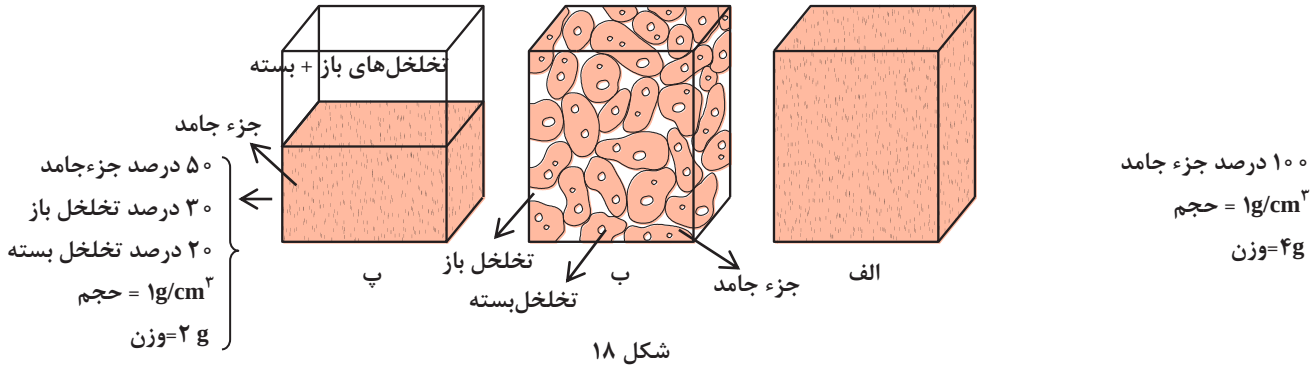
الک‌کردن پودری با مش ۲۰۰ و مش ۱۰۰ چه تأثیری می‌تواند در حذف تخلخل‌ها و چگالی حقیقی داشته باشد؟

در شکل ۱۸ مفهوم چگالی کلی، ظاهری و حقیقی با شکل نشان داده شده است. هر سه مکعب دارای حجم یکسان بوده ولی در شکل ۱۸ (الف) فرض بر این است که کل حجم مکعب توسط جزء جامد پر شده است، در شکل ۱۸ (ب) ۵۰ درصد حجم مکعب توسط جزء جامد و ۳۰ درصد تخلخل‌های باز و ۲۰ درصد تخلخل‌های بسته است.

با توجه به تعریف چگالی کلی، که از تقسیم وزن قطعه بر حجم کلی به‌دست می‌آید، این مقدار برای شکل (الف) به دلیل اینکه کل حجم مکعب توسط جزء جامد پر شده است، چگالی کلی برابر با چگالی حقیقی قطعه $4\ g/cm^3$ است.

در شکل ۱۸ (ب) و (پ) ۵۰ درصد از حجم مکعب توسط جزء جامد و ۳۰ درصد از حجم را تخلخل‌های باز و ۲۰ درصد باقیمانده را تخلخل‌های بسته اشغال کرده است.

چگالی کلی برابر با $2\ g/cm^3$، چگالی ظاهری برابر با $2/86\ g/cm^3$ و چگالی حقیقی برابر با $4\ g/cm^3$ است.



شکل ۱۸

چگالی محصولات سرامیکی

به محصولاتی که دارای درصد تخلخل باز و بستهٔ پایین باشند، محصولات چگال یا متراکم گفته می‌شود. بدیهی است، اگر در قطعه‌ای مقدار چگالی کلی بسیار نزدیک به چگالی حقیقی باشد، آن قطعه، متراکم است. داشتن چگالی بالا یا تخلخل پایین در قطعاتی مانند گلوله‌های بال‌میل، آجرهای نسوز داخل کوره و

اکثر سرامیک‌های مهندسی، باعث بهبود عملکرد آنها می‌شود. برعکس در محصولاتی مانند فیلترهای سرامیکی، جاذب‌ها، عایق‌ها افزایش درصد تخلخل باعث بهبود خواص این قطعات می‌شود. در شکل ۱۹ برخی از محصولات متراکم و متخلخل نشان داده شده است.

به‌عنوان یک اصل کلی می‌توان گفت با افزایش درصد تخلخل در قطعات سرامیکی، استحکام مکانیکی کاهش پیدا می‌کند. برای مثال با توجه به اینکه کاشی‌های کف بیشتر در معرض فشار و ضربه قرار دارند، باید از استحکام مکانیکی خوبی برخوردار باشند و همچنین باید جذب آب پایینی داشته باشند. بنابراین باید درصد تخلخل در این محصولات کم باشد.

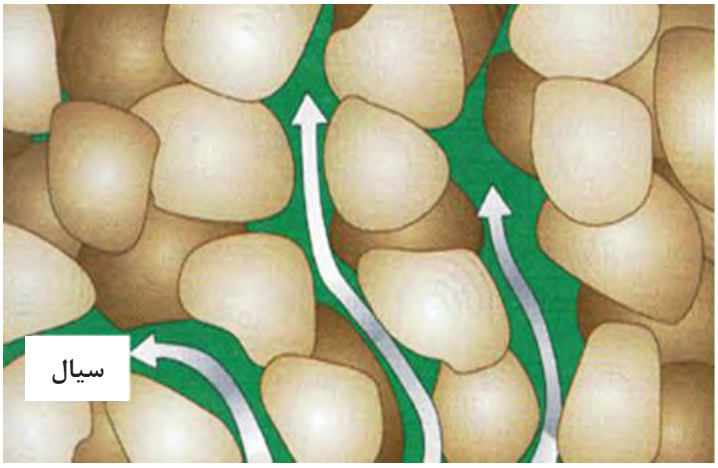
الف ب

شکل ۱۹- الف) محصولات متراکم ب) محصولات متخلخل سرامیکی

حجم و درصد تخلخل‌های قطعه

تخلخل‌های باز به سطح قطعه راه دارند، بنابراین با جوشاندن قطعه درون مایع، تمام تخلخل‌های باز از مایع پر شده (شکل ۲۰) و حجم تخلخل‌ها با حجم مایع جذب شده توسط قطعه برابر خواهد بود. حجم تخلخل‌های باز از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{حجم تخلخل های باز یا ظاهری} = \frac{S - D}{\rho_L}$$



شکل ۲۰

و به همین صورت درصد تخلخل ظاهری یا باز از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{درصد تخلخل‌های باز} = \frac{\text{حجم تخلخل‌های باز}}{\text{حجم کل}} \times ۱۰۰ = \frac{S-D}{S-I} \times ۱۰۰$$

می‌توان از رابطهٔ زیر برای محاسبه درصد تخلخل‌های بسته استفاده نمود:

$$\text{درصد تخلخل‌های بسته} = \rho_b(\frac{۱}{\rho_a} - \frac{۱}{\rho_t}) \times ۱۰۰$$

ρ_b = چگالی کلی

ρ_a = چگالی ظاهری

ρ_t = چگالی حقیقی

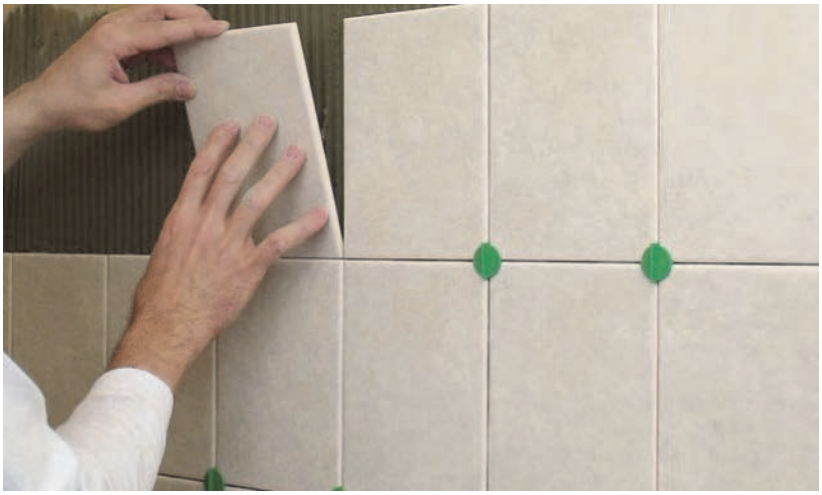
برای محاسبهٔ درصد کل تخلخل‌ها (تخلخل‌های باز و بسته) می‌توان از رابطهٔ زیر استفاده نمود:

$$\text{درصد تخلخل‌های کلی} = (۱-\frac{\rho_b}{\rho_t}) \times ۱۰۰$$

درصد جذب آب

درصد جذب آب در سرامیک‌ها بسیار دارای اهمیت است. برای مثال در کاشی دیوار اگر درصد جذب آب از حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد کمتر باشد هنگام نصب اتصال خوبی با ملات سیمان و دیوار نخواهد داشت. در صنعت، درصد آب جذب شده (W_a) با رابطهٔ زیر تعیین می‌شود که نشان‌دهندهٔ تخلخل‌های باز قطعه است:

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{\text{وزن آب جذب شده}}{\text{وزن خشک قطعه}} = \left(\frac{S-D}{D}\right) \times ۱۰۰$$



شکل ۲۱

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: محاسبهٔ درصد جذب آب و تخلخل‌های باز

مواد و ابزار: یک عدد کاشی دیوار، یک عدد کاشی کف، هیتر، بشر، ترازو و دستمال پارچه‌ای.

شرح فعالیت:

۱- ابتدا روی کاشی‌ها آب بریزید و به صورت چشمی مشخص کنید کدام کاشی دیوار و کدام کاشی کف است.

۲- قطعات کاشی را به‌طور جداگانه در حالت خشک و در هوا با ترازو وزن کرده و مقادیر به دست آمده را یادداشت کنید.

۳- قطعات کاشی را در بشر قرار داده و بشر را با آب پر کنید.

۴- دمای هیتر را حدود ۱۰۰ درجهٔ سلسیوس تنظیم کرده و بشر را روی آن قرار داده و حداقل ۲ ساعت زمان دهید تا بجوشد.

۵- قطعات کاشی را در حالت غوطه‌وری در آب وزن کنید و مقادیر به دست آمده را یادداشت کنید.

۶- قطعات کاشی را از آب بیرون آورده سپس با دستمال قطرات آب روی سطح را پاک کنید. سپس قطعات اشباع شده از آب را وزن کرده و مقادیر به دست آمده را یادداشت کنید.

۷- درصد تخلخل‌های باز و درصد جذب آب را محاسبه کنید.

۸- مقادیر به دست آمده برای دو کاشی را با هم مقایسه کنید.

چگالی دوغاب

روش ریخته‌گری دوغابی برای شکل‌دهی و تولید انـواع محصولات سرامیکی مانند پرسلان‌ها، دیرگدازها و سرامیک‌های مهندسی استفاده می‌شود. دومین مرحلهٔ ریخته‌گری دوغابی، تهیه و آماده‌سازی دوغاب است. همچنین برای شکل‌دهی قطعات و محصولات سرامیکی مانند کاشی و سرامیک به روش پرس پودر یکی از مراحل فرایند آماده‌سازی دوغاب است. دوغاب تهیه شده باید دارای خواص مورد نظر و مطلوب باشد. یکی از مشخصه‌های مهم یک دوغاب سرامیکی، چگالی مناسب است.

شکل ۲۲- دوغاب هنگام ریخته‌گری

تحقیق کنید

در روش ریخته‌گری دوغابی اگر چگالی دوغاب مورد استفاده بیشتر یا کمتر از حد مطلوب باشد چه تأثیری بر فرایند و محصول نهایی خواهد گذاشت؟

برای محاسبهٔ چگالی دوغاب می‌توان مانند محاسبهٔ چگالی مایعات عمل کرد. به این صورت که دوغاب را در یک ظرف با حجم مشخص مانند استوانهٔ مدرّج یا پیکنومتر فلزی تا حجم مشخص ریخته، سپس با کم کردن وزن ظرف مورد نظر از وزن دوغاب و ظرف، وزن دوغاب به دست می‌آید. حال با تقسیم کردن وزن دوغاب بر حجم دوغاب چگالی دوغاب به دست خواهد آمد.

نکته

در صنعت به پیکنومتر فلزی، دانسیتی متر هم گفته می‌شود.

تعیین چگالی

فعالیت کلاسی

نام هر یک از ظرف‌ها را که برای تعیین حجم دوغاب به کار می‌رود در جالی خالی بنویسید.

فعالیت کلاسی

۷۵ درصد از حجم استوانهٔ مدرّج ۲۰۰۰ میلی‌لیتری با دوغابی سرامیکی پر شده و مجموع وزن آنها ۳۶۵۰ گرم است. اگر وزن استوانهٔ مدرّج برابر با ۱۱۵۰ گرم باشد، چگالی دوغاب را محاسبه کنید.

برای محاسبهٔ چگالی دوغابی که از قبل تهیه و آماده شده است، از روش پیکنومتری استفاده می‌شود. در زمانی که بخواهیم از آب و چند خاک با چگالی مختلف، دوغابی با چگالی مشخص تهیه شود از رابطهٔ زیر استفاده می‌شود.

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع وزن اجزای دوغاب}}{\text{مجموع حجم اجزای دوغاب}}$$

با مشخص بودن چگالی و وزن خاک‌های مورد نظر، حجم خاک تعیین می‌شود. برای چگالی سیال نیز به همین صورت عمل می‌شود.

$$\text{چگالی خاک (۱)} = \frac{\text{وزن خاک (۱)}}{\text{حجم خاک (۱)}}$$

مثال: با استفاده از ۳۰ کیلوگرم از دو خاک با چگالی $۲/۳\ g/cm^۳$ و $۲/۶\ g/cm^۳$ با نسبت مساوی و ۱۷ لیتر آب، دوغابی همگن تهیه شده است. چگالی دوغاب را محاسبه کنید.

پاسخ:

$$\text{حجم خاک (۱)} = \frac{\text{وزن خاک (۱)}}{\text{چگالی خاک (۱)}} = \frac{۱۵۰۰۰\ g}{۲/۳\ g/cm^۳} = ۶۵۲۱/۷۴\ cm^۳$$

$$\text{حجم خاک (۲)} = \frac{\text{وزن خاک (۲)}}{\text{چگالی خاک (۲)}} = \frac{۱۵۰۰۰\ g}{۲/۶\ g/cm^۳} = ۵۷۶۹/۲۳\ cm^۳$$

با توجه به اینکه چگالی آب تقریباً برابر ۱ است، ۱۷ لیتر آب، معادل ۱۷ کیلوگرم آب است. بنابراین داریم:

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع وزن اجزای دوغاب}}{\text{مجموع حجم اجزای دوغاب}} = \frac{\text{جرم آب + جرم خاک (۲) + جرم خاک (۱)}}{\text{حجم آب + حجم خاک (۲) + حجم خاک (۱)}}$$

$$= \frac{۱۵۰۰۰ + ۱۵۰۰۰ + ۱۷۰۰۰}{۶۵۲۱/۷۴ + ۵۷۶۹/۲۳ + ۱۷۰۰۰} = ۱/۶\ g/cm^۳$$

فعالیت کلاسی

چه حجمی از آب را باید به ۱۰ کیلوگرم آمیز مورد نظر با چگالی $۲/۵\ g/cm^۳$ اضافه کرد تا چگالی دوغاب مورد نظر برابر با $۱/۸\ g/cm^۳$ شود؟

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: محاسبهٔ چگالی دوغاب

مواد و ابزار: پیکنومتر، دوغاب سرامیکی، ترازو و خشک‌کن.

شرح فعالیت:

۱- ابتدا پیکنومتر را به خوبی شست‌وشو دهید سپس آن را در خشک‌کن قرار داده تا رطوبت موجود تبخیر شود.

۲- پیکنومتر را در حالت خشک با ترازو وزن کنید و مقدار به دست آمده را یادداشت کنید.

۳- دوغاب را پس از کمی هم زدن، داخل پیکنومتر ریخته و سپس پیکنومتر حاوی دوغاب را توسط ترازو وزن کنید.

۴- برای محاسبهٔ وزن دوغاب، وزن پیکنومتر خالی را از وزن پیکنومتر حاوی دوغاب کم کنید.

۵- چگالی دوغاب را محاسبه کنید.

نکته

در صورت موجود نبودن پیکنومتر می‌توان از استوانهٔ مدرّج استفاده نمود.

نکته

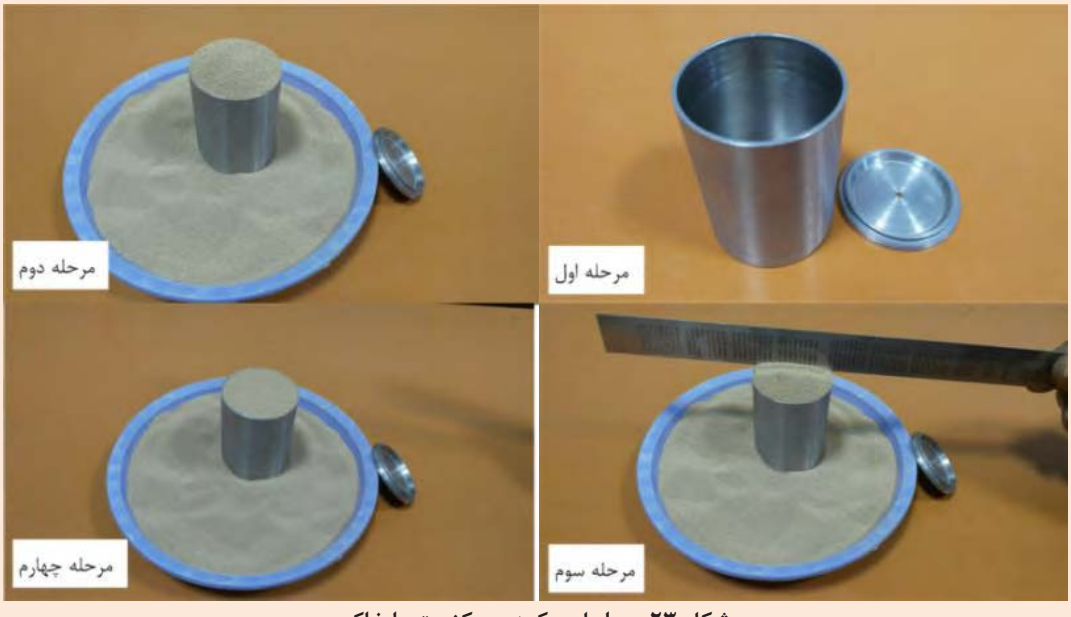
برای کاهش خطای آزمایش باید پیکنومتر را تا حدی از دوغاب پر کرد که دوغاب از سوراخ پیکنومتر بیرون بزند و سپس با دستمال سطح پیکنومتر را به خوبی باید پاک کرد.

چگالی انباشتگی

چگالی انباشتگی معمولاً برای پودر، گرانول یا گلوله‌های بال‌میل استفاده می‌شود. بدین ترتیب که مادهٔ مورد نظر را در ظرفی با حجم مشخص ریخته، سپس برای مشخص شدن وزن مادهٔ مورد نظر، وزن ظرف خالی، از وزن ظرف حاوی ماده، کم می‌شود. چگالی انباشتگی برابر خواهد بود با وزن ماده، تقسیم بر حجم پرشدهٔ ظرف.

نکته

می‌توان از پیکنومتر برای تعیین چگالی انباشتگی پودر و گرانول استفاده کرد (شکل ۲۳).



شکل ۲۳- مراحل پرکردن پیکنومتر با خاک

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: تعیین چگالی انباشتگی

مواد و ابزار: خاک بالکلی، پودر آلومینا، گرانول آلومینا، گلوله‌های بال‌میل از جنس آلومینا، پیکنومتر یا استوانهٔ مدرّج، ترازو، خط کش و بشر.

شرح فعالیت:

۱- پس از شستن و خشک‌کردن پیکنومتر، آن را با ترازو وزن کنید و مقدار به دست آمده را یادداشت کنید.

۲- پس از پرکردن پیکنومتر تا خط نشان توسط خاک بالکلی، پودر آلومینا، گرانول آلومینا وگلوله‌های بال‌میل از جنس آلومینا را وزن کرده و مقدار به‌دست آمده را یادداشت کنید.

۳- با کم کردن وزن پیکنومتر خالی از وزن پیکنومتر حاوی مواد داخل آن، وزن مواد را تعیین کنید.

۴- برای محاسبهٔ چگالی انباشتگی، وزن مادهٔ مورد نظر را بر حجم پیکنومتر تقسیم کنید و مقادیر به دست آمده را در جدول یادداشت کنید.

۵- چگالی انباشتگی مواد را با هم مقایسه کنید.

گفت‌وگو کنید

در رابطه با تأثیر اندازهٔ ذرات بر چگالی انباشتگی پودر آلومینا، گرانول آلومینا و گلوله‌های بال‌میل آلومینایی با هم‌کلاسی‌های خود گفت‌وگو کنید.

نکته

برای محاسبهٔ حجم گلوله‌های بال‌میل از جنس آلومینا می‌توان از بشر یا استوانهٔ مدرّج استفاده کرد (شکل ۲۴)

شکل ۲۴

ارزشیابی نهایی شایستگی تعیین چگالی دوغاب

شرح کار:

۱- محاسبه حجم مواد مختلف

۲- محاسبه چگالی از روی حجم مواد

۳- محاسبه چگالی دوغاب

استاندارد عملکرد:

تعیین چگالی دوغاب براساس روش‌های استاندارد

شاخص‌ها:

وزن کردن دقیق مواد و تجهیزات

انتخاب مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری چگالی مواد

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی، سیستم تهویه و نورکافی

ابزار و تجهیزات: پیکنومتر، ترازوی آزمایشگاهی، پیپت، دستگاه خشک‌کن، دسیکاتور، استوانه مدرج، گلوله بال‌میل

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	کار با پیکنومتر	۲	
۲	محاسبه چگالی به روش ارشمیدس	۱	
۳	تعیین چگالی دوغاب	۲	
۴	تهیه دوغاب با چگالی مشخص با استفاده از انواع خاک‌ها	۱	
۵	تعیین چگالی انباشتگی خاک	۱	
	شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

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