

### چگالی

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند:

- ۱- چگالی را تعریف کند.
- ۲- چگالی را محاسبه کند.
- ۳- انواع تخلخل‌ها را توضیح دهد.
- ۴- چگالی ظاهری، حقیقی و کلی را محاسبه کند.
- ۵- چگالی نسبی دوغاب را با داشتن حجم دوغاب و چگالی نسبی مواد موجود در آن، محاسبه کند.

#### ۱-۴-۱ چگالی

همه‌ی شما تاکنون با این پرسش روبه‌رو شده‌اید که یک کیلوگرم آهن سنگین‌تر است یا یک کیلوگرم پنبه؟ پاسخ این پرسش روشن است و مطمئناً همه‌ی شما به آن پاسخ صحیح خواهید داد. در واقع سؤال‌کننده با توجه به این واقعیت که یک کیلوگرم پنبه حجم بسیار بیش‌تری نسبت به یک کیلوگرم آهن دارد و یا به بیانی دیگر به دلیل کم‌تر بودن چگالی پنبه نسبت به چگالی آهن، قصد به اشتباه انداختن شما در ارائه جواب درست را دارد. با توجه به این توضیحات متوجه می‌شوید که نسبت بین جرم هر ماده را به حجم آن، چگالی آن ماده می‌نامند.

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

چگالی  $\rho$

جرم =  $m$

حجم =  $V$

واحدهای متداول چگالی در سیستم SI، گرم بر سانتی‌متر مکعب ( $\text{g/cm}^3$ ) و یا کیلوگرم بر متر مکعب ( $\text{kg/m}^3$ ) است.

مثال ۱: در صورتی که  $10^\circ\text{g}$  جیوه دارای حجمی برابر  $7/35\text{cm}^3$  باشد، چگالی جیوه چقدر خواهد بود؟

حل:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{10^\circ\text{g}}{7/35\text{cm}^3} = 13/61\text{g/cm}^3$$

مثال ۲: یک قطعه سیم فولادی به طول  $2^\circ\text{cm}$  و سطح مقطع  $2^\circ\text{mm}^2$  و وزن  $31\text{g}$  موجود است، چگالی آن را حساب کنید.

حل: ابتدا باید حجم این قطعه را محاسبه کنیم. چون شکل سیم استوانه است، حجم آن برابر با حاصل ضرب مساحت قاعده در طول سیم است.

$$V = \pi r^2 \cdot h = 2^\circ\text{mm}^2 \times 2^\circ\text{mm} = 4^\circ\text{mm}^3 = 4\text{cm}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{31\text{g}}{4\text{cm}^3} = 7/75\text{g/cm}^3$$

تذکر: در هنگام محاسبه چگالی باید حتماً واحدهای به کار گرفته شده قید شود، همان طور که گفته شد، در بیش تر موارد چگالی یک ماده بر حسب  $\text{g/cm}^3$  و یا  $\text{kg/m}^3$  نوشته می شود. اما بعضی اوقات ممکن است با واحدهای متعارف دیگری (در سیستم انگلیسی) مثل پوند بر فوت مکعب ( $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$ ) نیز برخورد کنید. هنگامی که چگالی دو ماده را با هم مقایسه می کنید، حتماً از یک واحد یکسان برای چگالی آن ها استفاده کنید. به همین خاطر، ممکن است در بعضی از موارد اطلاعات مربوطه را از یک سیستم اندازه گیری به سیستم دیگر اندازه گیری تبدیل کنید تا مبنای مشترکی برای مقایسه داشته باشید.

مثال ۳: چگالی لیتارژ (PbO) برابر با  $9/2\text{g/cm}^3$  و چگالی سرنج ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) برابر با

$$536 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \text{ است. چگالی کدام یک از این دو اکسید بیش تر است؟}$$

حل: باید ابتدا چگالی سرنج را به واحد SI تبدیل کنیم.

$$1 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = 0/016 \text{g/cm}^3 \text{ و } 1 \text{gr/cm}^3 = 62/5 \text{lb/ft}^3$$

$$\text{زیرا: } 1 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = \frac{453/5\text{g}}{(30/48)^3 \text{cm}^3} = 0/016 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \Rightarrow 1 \text{g/cm}^3 = \frac{1}{0/016} \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} = 62/5 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

$$\Rightarrow \text{چگالی سرنج} = \frac{536}{62/5} = 8/576 \text{g/cm}^3 \approx 8/58 \text{g/cm}^3$$

پس چگالی لیتر از چگالی سرنج بیش تر است.

lb/ft <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>
۱	۰/۰۱۶
۶۲/۵	۱

**چگالی نسبی:** در صورتی که چگالی آب را به عنوان مبنا در نظر بگیریم و چگالی سایر مواد را نسبت به آن بسنجیم، نسبت حاصله که فاقد بُعد نیز خواهد بود، چگالی نسبی نامیده می شود.

$$\text{چگالی نسبی (بدون واحد)} = \frac{\text{چگالی ماده مورد نظر}}{\text{چگالی آب}}$$

**مثال ۴:** در صورتی که چگالی یک نمونه از جنس آلومینا ( $Al_2O_3$ ) برابر با  $3/98 \text{ g/cm}^3$  باشد، چگالی نسبی آن چقدر خواهد بود؟

**حل:** 
$$\text{چگالی نسبی} = \frac{3/98 \text{ g/cm}^3}{1/00 \text{ g/cm}^3} = 3/98$$

همان طور که گفته شد، چگالی نسبی فاقد بُعد و واحد فیزیکی است به عبارت دیگر از روی این عدد می توان فهمید که یک ماده به ازای واحد حجم چند بار سنگین تر از آب است.

**مثال ۵:** وزن یک تکه شیشه  $14/26 \text{ g}$  و حجم آن  $5/8 \text{ cm}^3$  است. چگالی نسبی آن را حساب کنید.

**حل:** 
$$\text{چگالی نسبی ماده} = \frac{\text{چگالی ماده مورد نظر}}{\text{چگالی آب}}$$

$$\text{چگالی تکه شیشه} = \frac{14/26}{5/8} (\text{g/cm}^3) = 2/46 \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$\text{چگالی نسبی شیشه} = 2/46 = \frac{2/46 (\text{gr/cm}^3)}{1 (\text{g/cm}^3)} \Rightarrow$$

**مثال ۶:** یک ظرف مخصوص اندازه گیری چگالی به حجم  $50 \text{ cc}$  ( $50 \text{ cm}^3$ ) با محلول آب نمک پر شده است. وزن ظرف و محلول موجود در آن برابر با  $59/28 \text{ g}$  است. در صورتی که وزن ظرف خالی  $42/34 \text{ g}$  باشد، چگالی نسبی آب نمک را حساب کنید.

$$\text{وزن محلول آب نمک} = 95/28 - 42/34 = 52/94 \text{ g}$$

$$\text{چگالی آب نمک} = \frac{\text{وزن محلول } 52/94}{\text{حجم محلول } 50} = 1/06 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{چگالی نسبی آب نمک} = \frac{1/06}{1/00} = 1/06$$

## ۲-۴ استفاده از قانون ارشمیدس برای تعیین حجم

در بسیاری از موارد، نیاز به اندازه‌گیری حجم قطعاتی با اشکال پیچیده هندسی، برای به دست آوردن چگالی آن‌ها ضروری است. برای این منظور، می‌توانیم با استفاده از قانون ارشمیدس حجم‌های مورد نظر را با دقت بسیار بالایی اندازه‌گیری کنیم.

هرگاه جسمی در سیالی غوطه‌ور شود، به اندازه حجم سیالی که جابه‌جا می‌کند از وزن آن کاسته می‌شود. استفاده از این قانون به این ترتیب است که اگر ما جسم خود را در حالت خشک و در هوا توزین کنیم و مقدار حاصل را D بنامیم و سپس همین جسم را در حالت غوطه‌وری در سیال (که معمولاً آب است) توزین کنیم و این وزن را I بنامیم، خواهیم داشت:

$$D - I = \text{وزن مایع هم حجم جسم غوطه‌ور شده} = \text{حجم قطعه}$$

اگر از آب به عنوان سیال استفاده کنیم، چون چگالی آن برابر با  $1/00 \text{ g/cm}^3$  است، وزن و حجم آن از نظر عددی برابر هستند. اما در صورتی که از سیال دیگری استفاده شود، برای محاسبه حجم مایع جابه‌جا شده (و در واقع حجم جسم) باید بدین ترتیب عمل کنیم:

$$\text{حجم سیال جابه‌جا شده (حجم جسم غوطه‌ور شده)} = \frac{D - I}{\rho}$$

که در این رابطه  $\rho$  چگالی سیال مورد استفاده است مثلاً اگر سیال الکل باشد به جای  $\rho$  عدد  $0/8$  یا در مورد نفت عدد  $0/82$  قرار می‌گیرد. برای درک بهتر این موضوع، به این مثال‌ها توجه کنید: مثال ۷: وزن یک قطعه فلز در هوا برابر با  $24/63 \text{ g}$  و در حالت غوطه‌وری در آب برابر با  $19/86 \text{ g}$  است. چگالی نسبی این قطعه فلز را محاسبه کنید.

حل:

می‌دانیم که قطعه فلز در حالت غوطه‌ور شده در آب، به اندازه حجم آب جابه‌جا شده سبک می‌شود. چون این حجم برابر با حجم قطعه است، می‌توان نوشت:

$$D = \text{وزن فلز در هوا}$$

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

$$\text{چگالی} = \frac{D}{D-I} = \frac{24/63}{24/63 - 19/86} = 5/16 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی فلز}}{\text{چگالی آب}} = \frac{5/16}{1} = 5/16$$

مثال ۸: وزن یک نمونه آزمایشگاهی ۲۰/۴۲g است هنگامی که این نمونه در پارافین مایع با چگالی (۰/۸۱۳g/cm<sup>۳</sup>) غوطه‌ور می‌شود، وزن آن به ۱۵/۳۷g کاهش می‌یابد. چگالی نمونه را محاسبه کنید.

حل:

با توجه به قانون ارشمیدس کاهش وزن نمونه در حالت غوطه‌وری، برابر با وزن پارافین جابه‌جا شده است.

$$\text{کاهش وزن نمونه در حالت غوطه‌وری} = 20/42 - 15/37 = 5/05 \text{ g}$$

$$\text{حجم پارافین جابه‌جا شده} = \text{حجم نمونه} = \frac{D-I}{\rho} = \frac{5/05}{0/813} = 6/21 \text{ cm}^3$$

$$\text{چگالی نمونه} = \frac{\text{وزن نمونه}}{\text{حجم نمونه}} = \frac{20/42 \text{ g}}{6/21 \text{ cm}^3} = 3/29 \text{ g/cm}^3$$

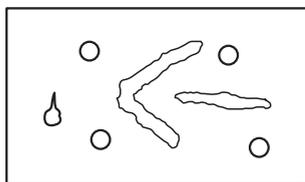
۱-۲-۴ جامدات متخلخل: بحث ما تاکنون دربرگیرنده‌ی مواد سرامیکی بود که از ساختاری بسیار ساده برخوردار بودند. اما با توجه به این که بیش‌تر مواد سرامیکی مخلوطی از چند جزء با حالات فیزیکی مختلف هستند، باید در مورد چنین شرایطی نیز صحبت کرد. مواد سرامیکی که در این‌جا در مورد آن‌ها صحبت می‌کنیم، قطعات سرامیکی متخلخل هستند.

۱-۱-۲-۴ قطعات سرامیکی متخلخل: اغلب قطعات سرامیکی با استفاده از مواد اولیه پودر شده تولید می‌شوند. به همین دلیل این قطعات در حالت خام دارای مقدار قابل توجهی فضای خالی خواهند بود که به دلیل قرارگرفتن ناپوسته ذرات در کنار هم، ایجاد می‌شوند. ما این فضاهای خالی را تخلخل می‌نامیم. اگرچه بخش اعظمی از این فضاهای خالی در طی فرایند پخت از بین می‌روند، با این وجود دستیابی به یک قطعه عاری از تخلخل در اکثر مواقع غیرممکن و یا به شرایط پخت ویژه‌ای نیاز دارد. گاهی اوقات نیز قطعات را عمده‌تخلخل می‌سازیم (مثل بدنه‌ی کاشی دیواری و آجر). به دلیل همراهی تقریباً همیشگی تخلخل‌ها در ساختار سرامیک‌ها و تأثیر مهم آن‌ها بر

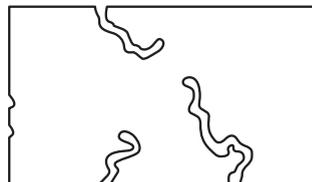
خواص مختلف قطعات سرامیکی، اطلاع از میزان و چگونگی توزیع آن‌ها، از اهمیت خاصی برخوردار است.

۲-۱-۲-۴- ساختمان تخلخل‌ها: به طور کلی در قطعات سرامیکی با دو دسته تخلخل روبه‌رو هستیم که آن‌ها را تخلخل باز و تخلخل بسته می‌نامیم.

تخلخل‌های باز آن دسته از فضاهای خالی در داخل قطعه هستند که به سطح قطعه، راه و ارتباط دارند. دلیل حضور این تخلخل‌ها، وجود تخلخل‌های اولیه در قطعه شکل داده شده، خروج گازهای حاصل از مواد فرار در طی پخت و یا خروج آب در هنگام خشک شدن قطعه است. تخلخل‌های بسته هنگامی به وجود می‌آیند که گاز یا هوای موجود در قطعه در آن حبس شود و یا تخلخل‌های باز به وسیله مواد ذوب شده، بسته شوند. شکل‌های (۱-۴) و (۲-۴) به ترتیب وجود چنین تخلخل‌هایی را در یک قطعه نشان می‌دهند.



شکل ۲-۴ - تخلخل‌های بسته در قطعه



شکل ۱-۴ - تخلخل‌های باز در قطعه

۳-۱-۲-۴- محاسبه چگالی ظاهری، حقیقی و کلی: در قسمت‌های قبلی، چگالی یک ماده را به عنوان رابطه‌ی بین وزن و حجم آن تعریف کردیم. برای یک بدنه‌ی بدون تخلخل، تنها یک وزن و یک حجم وجود دارد. اما در مورد قطعات متخلخل این چنین نیست و حجم‌های متعدد و در نتیجه چگالی‌های متعددی را می‌توان تعریف کرد.

برای قطعات متخلخل سه نوع حجم تعریف می‌شود که عبارتند از:

الف - حجم کلی یا توده‌ای<sup>۱</sup>

مجموع حجم ماده‌ی جامد و حجم تخلخل‌های باز و بسته را حجم کلی گویند. این حجم را به سه روش می‌توان اندازه‌گیری کرد.

الف - اندازه‌گیری ابعاد نمونه، با استفاده از لوازم اندازه‌گیری طول (البته در مواردی که این امکان وجود داشته باشد). مثلاً آجر متخلخلی با ابعاد  $10\text{cm} \times 8\text{cm} \times 22/5\text{cm}$  دارای حجم کلی  $1800\text{cm}^3$  است.

۱ - حجم کلی یا توده‌ای Bulk Volume

ب - استفاده از روش جابه‌جایی جیوه، چون جیوه نمی‌تواند وارد تخلخل‌های باز شود.  
 ج - استفاده از اختلاف وزن بین حالتی که نمونه به طور کامل آب جذب کرده است (S) و زمانی که در حالت غوطه‌وری در آب قرار دارد (I). در این حالت مقدار (S-I) برابر با حجم کلی خواهد بود:

$$V_b = \text{حجم کلی} = (S - I)$$

ب - حجم ظاهری<sup>۱</sup>

مجموع حجم ماده‌ی جامد و حجم تخلخل‌های بسته را حجم ظاهری گویند. این حجم را می‌توان با استفاده از اختلاف وزن قطعه‌ی خشک (اندازه‌گیری شده در هوا) و وزن قطعه غوطه‌ور شده محاسبه کرد. یعنی می‌توان نوشت:

$$V_a = \text{حجم ظاهری ماده متخلخل} = D - I$$

ج - حجم حقیقی<sup>۲</sup>

حجم حقیقی تنها دربرگیرنده‌ی حجم جزء جامد است. این حجم را می‌توان با پودر کردن نمونه (به گونه‌ای که موجب از بین رفتن تمام تخلخل‌ها شود) و سپس استفاده از پیکنومتر، اندازه‌گیری کرد.

برای یک قطعه‌ی متخلخل، حجم‌های متعددی را می‌توان تعریف کرد. درحالی که همین قطعه فقط دارای یک وزن است زیرا از وزن هوای داخل تخلخل‌ها می‌توان صرف‌نظر کرد. بنابراین برای هر قطعه‌ی متخلخل سه نوع چگالی نیز می‌توان تعریف کرد، که عبارتند از:

$$\text{چگالی کلی (توده‌ای)} = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم کلی یا توده‌ای قطعه}} = \frac{D}{S - I}$$

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{وزن قطعه}}{\text{حجم ظاهری قطعه}} = \frac{D}{D - I}$$

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

فراموش نکنید که باید برای تمام این چگالی‌ها واحد نیز ذکر شود. در صورتی که برای وزن و حجم به ترتیب واحدهای گرم و سانتی‌متر مکعب مورد استفاده قرار گیرد، مقدار عددی چگالی برابر

۱ - حجم ظاهری Apparent Volume

۲ - حجم حقیقی True Volume

با مقدار چگالی نسبی متناظر با آن خواهد بود. مثلاً اگر یک ماده دارای چگالی ظاهری  $3/2 \text{ g/cm}^3$  باشد، چگالی نسبی ظاهری آن نیز  $3/2$  خواهد بود.

مثال ۹: وزن یک قطعه سرامیکی در حالت خشک برابر با  $14/62 \text{ g}$ ، در حالت جذب آب کامل برابر با  $16/25 \text{ g}$  و در شرایط غوطه‌وری، برابر با  $8/37 \text{ g}$  است. چگالی کلی و چگالی نسبی ظاهری این قطعه را محاسبه کنید.

حل:

$$\text{چگالی کلی} = \frac{\text{وزن قطعه در حالت خشک}}{\text{حجم کلی قطعه}} = \frac{D}{S-I}$$

$$= \frac{14/62}{(16/25 - 8/37)} = 1/85 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{وزن قطعه در حالت خشک}}{\text{حجم ظاهری قطعه}} = \frac{D}{D-I}$$

$$= \frac{14/62}{(14/62 - 8/37)} = 2/34 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{چگالی نسبی ظاهری} = \frac{\text{چگالی ظاهری}}{\text{چگالی آب}} = \frac{2/34}{1} = 2/34$$

مثال ۱۰: با استفاده از اطلاعاتی که داده می‌شود، چگالی کلی دو جسم A و B را محاسبه کنید.

B	A	علامت قطعه
۹۲g	۱۲۰g	وزن خشک (D)
۱۰۵g	۱۴۶g	وزن قطعه بعد از جذب آب کامل (S)
۴۳g	۷۲g	وزن قطعه در حالت غوطه‌وری در آب (I)

حل:

$$\text{چگالی کلی} = \frac{\text{وزن قطعه خشک}}{\text{حجم کلی}}$$

اگر چگالی کلی را با علامت  $\rho_b$  نشان دهیم، آنگاه خواهیم داشت:

$$\rho_b = \frac{D}{S-I}$$

$$A \text{ برای جسم } \rho_b = \frac{120}{146-72} = 1/62 \text{ g/cm}^3$$

$$B \text{ برای جسم } \rho_b = \frac{92}{105-43} = 1/48 \text{ g/cm}^3$$

۴-۲-۱-۴ محاسبه درصد تخلخل ظاهری و حجم تخلخل‌ها: برای به دست آوردن درصد تخلخل ظاهری، باید حجم تخلخل‌های باز را به حجم قطعه تقسیم کنیم. می‌دانیم حجم تخلخل‌های باز از اختلاف بین S و D به دست می‌آید، در نتیجه خواهیم داشت:

$$\text{درصد تخلخل ظاهری} = \frac{\text{حجم تخلخل‌های باز}}{\text{حجم قطعه}} \times 100$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{حجم تخلخل باز} = S - D \\ \text{حجم قطعه} = S - I \end{array} \right. \Rightarrow \text{درصد تخلخل ظاهری} = \frac{S - D}{S - I} \times 100$$

مثال ۱۱: با توجه به اطلاعات مثال قبل درصد تخلخل ظاهری را برای جسم A و جسم B محاسبه کنید.

$$A \text{ درصد تخلخل ظاهری جسم } = \frac{146-120}{146-72} \times 100 = 35/13\%$$

$$B \text{ درصد تخلخل ظاهری جسم } = \frac{105-92}{105-43} \times 100 = 20/97\%$$

برای به دست آوردن درصد جذب آب، باید وزن آب جذب شده در تخلخل‌های باز را به وزن خشک قطعه تقسیم کنیم. رابطه‌ی درصد جذب آب بدین صورت خواهد بود:

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{\text{وزن آب جذب شده}}{\text{وزن خشک قطعه}} \times 100 \Rightarrow \text{بنابراین} \boxed{\text{درصد جذب آب} = \frac{S - D}{D} \times 100}$$

می‌دانیم که حجم حقیقی ( $v_f$ ) (که از طریق آن چگالی حقیقی و در نتیجه چگالی نسبی حقیقی را تعیین می‌کنیم) تنها شامل اجزای جامد تشکیل دهنده‌ی جسم است و حجم کلی ( $v_b$ ) دربرگیرنده‌ی حجم اجزای جامد و حجم تخلخل‌های باز و بسته است. پس اختلاف بین این دو حجم ( $v_b - v_f$ )، حجم تخلخل‌های موجود در جسم را مشخص می‌کند.

مثال ۱۲: نمونه‌ای از جنس آجر سیلیسی دارای ابعاد  $4 \times 4 \times 2 \text{ cm}^3$  است. در صورتی که چگالی نسبی حقیقی آجر  $2/39$  و وزن این قطعه در حالت خشک  $72 \text{ g}$  باشد، مقدار تخلخل حقیقی آن را محاسبه کنید.

حل:

با توجه به این که چگالی نسبی (و در نتیجه چگالی) و جرم این نمونه را داریم، می‌توانیم حجم واقعی نمونه را محاسبه کنیم.

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

$$\text{حجم حقیقی} \Rightarrow V = \frac{72}{2/39} = 30/13 \text{ cm}^3$$

درواقع، با این عملیات از وزن هوای داخل تخلخل‌های جسم صرف نظر کردیم. اختلاف بین حجم محاسبه شده از رابطه‌ی قبلی و حجم نمونه، حجم تخلخل‌ها است. پس:

$$\text{حجم حقیقی} - \text{حجم کلی} = \text{حجم تخلخل}$$

$$32 \text{ cm}^3 = 4 \times 4 \times 2 \text{ cm}^3 - \text{حجم کلی نمونه}$$

$$\Rightarrow \text{حجم تخلخل} = 32 - 30/13 = 1/87 \text{ cm}^3$$

حال اگر این حجم را به حجم نمونه تقسیم کنیم و عدد حاصل را در  $100^\circ$  ضرب کنیم، درصد تخلخل حقیقی به دست می‌آید که در واقع شامل تخلخل‌های باز و بسته است.

$$\text{درصد تخلخل حقیقی} = \frac{1/87}{32} \times 100 = 5/84$$

مثال ۱۳: چگالی نسبی کلی یک آجر  $1/70^\circ$  و چگالی نسبی حقیقی آن  $2/4^\circ$  است. در صورتی که ابعاد یک تکه‌ی بریده شده از این آجر برابر با  $3 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$  باشد، مقدار آبی را که این نمونه می‌تواند جذب کند، محاسبه کنید (فرض کنید که تمام تخلخل‌های این قطعه باز باشند). با توجه به آنچه تاکنون آموخته‌ایم، چگالی کلی و حقیقی این نمونه به ترتیب برابر با  $1/70^\circ \text{ g/cm}^3$  و  $2/40^\circ \text{ g/cm}^3$  خواهد بود.

$$\rho_b = \frac{\text{وزن}}{\text{حجم کلی}} \Rightarrow 1/70^\circ = \frac{m}{3 \times 4 \times 2 \text{ cm}^3}$$

$$\Rightarrow m = 40/80^\circ \text{ g (وزن نمونه)}$$

$$\rho_t = \frac{\text{وزن}}{\text{حجم حقیقی}} \Rightarrow \text{حجم حقیقی} = \frac{40/80^\circ}{2/40^\circ} = 17 \text{ cm}^3$$

پس حجم اجزای جامد تشکیل دهنده‌ی این نمونه  $17 \text{ cm}^3$  است. از اختلاف بین این حجم و حجم کلی نمونه، حجم تخلخل‌ها حاصل می‌شود. پس:

$$\text{حجم تخلخل‌ها} = 24 - 17 = 7 \text{ cm}^3$$

اگر این تخلخل‌ها همگی باز فرض شوند، به هنگام جذب آب کامل مقدار  $7 \text{ cm}^3$  آب جذب نمونه خواهد شد.

مثال ۱۴: وزن یک نمونه متخلخل برابر با  $47/3^\circ \text{g}$  است. اگر این قطعه را وارد جیوه کنیم،  $312 \text{ g}$  جیوه جابه‌جا می‌شود. چگالی کلی این ماده را محاسبه کنید. (چگالی جیوه برابر با  $13/6^\circ \text{g/cm}^3$ )

حل: طبق قانون ارشمیدس هرگاه جسمی وارد سیالی شود، منجر به جابه‌جایی مقداری از سیال که هم حجم خودش است، می‌شود. پس حجم این مقدار جیوه جابه‌جا شده با حجم نمونه برابر است.

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{312}{13/6^\circ} = 22/94 \text{ cm}^3$$

چون جیوه برخلاف آب نمی‌تواند وارد تخلخل‌های جسم شود، این مقدار برابر با حجم کلی نمونه است. پس می‌توان نوشت:

$$\rho_b = \frac{m}{V} = \frac{47/3}{22/94} \quad (\text{چگالی کلی نمونه})$$

$$\Rightarrow \rho_b = 2/06 \text{ g/cm}^3$$

**۲-۲-۴- محاسبه‌ی چگالی دوغاب:** دوغاب عبارت است از یک سوسپانسیون یا مخلوطی از یک مایع (معمولاً آب) و مواد اولیه‌ی سرامیکی، به شرط آن که ذرات جامد در مایع به صورت معلق قرار داشته باشند. چگالی نسبی دوغاب را نیز می‌توان از تقسیم چگالی آن بر چگالی آب به دست آورد. برای اندازه‌گیری چگالی، از بالن ژوژه با استوانه مدرج (مزور) استفاده می‌شود. با پرکردن بالن ژوژه از دوغاب موردنظر تا خط نشانه و توزین آن، پس از کم کردن وزن بالن ژوژه وزن دوغاب به دست می‌آید و سپس با تقسیم کردن این وزن بر حجم آن، چگالی دوغاب به دست می‌آید و می‌توان با تقسیم این عدد بر چگالی آب، چگالی نسبی دوغاب را محاسبه کرد.

مثال ۱۵: به منظور اندازه‌گیری چگالی نسبی یک دوغاب سرامیکی از یک بالن ژوژه یک لیتری با وزن  $582/8 \text{ g}$  استفاده کرده‌ایم. در صورتی که وزن این بالن ژوژه همراه با  $1000 \text{ cc}$  دوغاب برابر با  $2212/8 \text{ g}$  باشد، چگالی و چگالی نسبی آن را محاسبه کنید.

حل:

$$\text{وزن دوغاب} = 2212/8 \text{ g} - 582/8 \text{ g} = 1630 \text{ g}$$

$$\Rightarrow \text{چگالی دوغاب} = \frac{1630 \text{ g}}{1000 \text{ cm}^3} = 1/63 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{چگالی نسبی دوغاب} = \frac{\text{چگالی دوغاب}}{1} = \frac{1/63}{1} = 1/63$$

$$\Rightarrow ۱/۶۳ = \text{چگالی نسبی دوغاب}$$

تذکر: بعضی اوقات در صنعت ممکن است با اصطلاح وزن لیتری یا غلظت وزنی برخورد کنید. این تعریف گاهی به جای چگالی به کار می‌رود. در این اندازه‌گیری، وزن یک لیتر دوغاب را معیار قرار می‌دهیم. مسأله‌ای که اکنون مطرح می‌شود این است که اگر مقدار مشخصی از مواد پودر شده را با یکدیگر مخلوط کنیم، آیا می‌توانیم چگالی دوغاب حاصله را از طریق محاسبه به دست آوریم؟ پاسخ به این سؤال مثبت است. رابطه‌ای که به این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد، شکل گسترده‌تری از رابطه‌ی چگالی است و عبارتست از:

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

حال با استفاده از چند مثال، نحوه‌ی کاربرد این رابطه را نشان می‌دهیم.

مثال ۱۶: با استفاده از  $۱۶/۷۶ \text{ kg}$  از یک ماده‌ی اولیه‌ی سرامیکی (با چگالی نسبی  $۲/۶۰$ ) و ۸۱ آب، دوغابی تهیه شده است. چگالی دوغاب را محاسبه کنید.

حل: ابتدا حجم ماده‌ی اولیه مصرفی را محاسبه می‌کنیم. برای این منظور از رابطه‌ی چگالی استفاده می‌کنیم.

$$\text{حجم پودر} = \frac{\text{وزن}}{\text{چگالی}} \Rightarrow \text{حجم پودر} = \frac{۱۶۷۶۰ \text{ g}}{۲/۶۰ \text{ g/cm}^۳}$$

$$\Rightarrow \text{حجم پودر} = ۶۴۴۶/۱۵ \text{ cm}^۳$$

از طرفی وزن ۸ لیتر آب برابر با  $۸۰۰۰ \text{ g}$  است. با استفاده از رابطه‌ی زیر چگالی دوغاب را به دست می‌آوریم:

$$\begin{aligned} \text{چگالی دوغاب} &= \frac{\text{مجموع وزن اجزای دوغاب}}{\text{مجموع حجم اجزای دوغاب}} \\ &= \frac{(۱۶۷۶۰ + ۸۰۰۰) \text{ g}}{(۶۴۴۶/۱۵ + ۸۰۰۰) \text{ cm}^۳} = ۱/۷۱ \text{ g/cm}^۳ \end{aligned}$$

مثال ۱۷: با استفاده از  $۲۰ \text{ g}$  رس کاملاً خشک با چگالی  $۲/۶۲ \text{ g/cm}^۳$  و  $۳۰ \text{ cm}^۳$  آب، دوغابی تهیه کرده‌ایم. چگالی و چگالی نسبی دوغاب را به دست آورید.

$$\text{حل:} \quad \text{حجم پودر} = \frac{\text{وزن پودر}}{\text{چگالی پودر}} \Rightarrow \frac{۲۰ \text{ g}}{۲/۶۲ \text{ g/cm}^۳} = ۷/۶۳ \text{ cm}^۳$$

با توجه به این که چگالی آب برابر  $۱ \text{ g/cm}^۳$  است در نتیجه  $۳۰ \text{ g}$  = وزن  $۳۰ \text{ cm}^۳$  آب است.

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{(20+30)\text{g}}{(7/63+30)\text{cm}^3} = 1/33 \text{ g/cm}^3 \Rightarrow$$

$$\text{چگالی نسبی دوغاب} = \frac{1/33}{1} = 1/33$$

مثال ۱۸: چه حجمی از آب را باید به ۵۰g لعاب خشک (با چگالی ۲/۸۰g/cm<sup>۳</sup>) اضافه کرد تا دوغاب لعابی با چگالی ۱/۶۵g/cm<sup>۳</sup> حاصل شود؟

حل:

برای محاسبه، به حجم لعاب خشک نیاز داریم. پس ابتدا آن را با استفاده از رابطه چگالی محاسبه می‌کنیم.

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \text{حجم لعاب خشک} = \frac{50\text{g}}{2/80\text{g/cm}^3} = 17/8\text{cm}^3$$

می‌دانیم چگالی دوغاب نهایی باید برابر با ۱/۶۵g/cm<sup>۳</sup> باشد. پس خواهیم داشت:

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع جرم اجزا}}{\text{مجموع حجم اجزا}}$$

در صورتی که وزن و حجم آب لازم را به ترتیب x و y فرض کنیم، می‌توانیم بنویسیم:

$$1/65 = \frac{50+x}{17/8+y}$$

از طرفی چگالی آب برابر با ۱/۰gr/cm<sup>۳</sup> است. در نتیجه وزن و حجم آب از نظر عددی یکسان است، یعنی:

$$x = y$$

$$\Rightarrow 1/65 = \frac{50+y}{17/8+y} \Rightarrow y = 31/7\text{cm}^3 \quad \text{حجم آب مورد نیاز}$$

تذکر: بعضی اوقات ممکن است مجبور باشیم با افزودن آب یا مواد جامد خواص جریانی دوغاب را تصحیح کنیم. در چنین حالتی معمولاً دوغاب‌های برگشتی را با استفاده از افزودن آب یا مواد جامد به چگالی مورد نظر رسانده و در صورت تنظیم نبودن ویسکوزیته دوغاب، پس از روانسازی مجدد، دوغاب حاصله وارد خط تولید می‌شود.

مثال ۱۹: در یک مخزن ۲۱۰ لیتری، دوغاب با چگالی نسبی ۲/۱۵ موجود است. چه مقدار آب به این مقدار دوغاب باید افزود تا چگالی نسبی آن به ۲/۰۰ کاهش یابد؟

حل:

ابتدا وزن دوغاب موجود را محاسبه می‌کنیم.

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

$$\Rightarrow m = 2/15 \text{ g/cm}^3 \times 210000 \text{ cm}^3 = 451500 \text{ g}$$

با توجه به اینکه چگالی آب  $1 \text{ g/cm}^3$  است، وزن و حجم آن از نظر عددی برابر هستند. پس اگر وزن آب مورد نیاز را  $x$  در نظر بگیریم، حجم آن نیز  $x$  خواهد بود. در نتیجه:

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

$$\Rightarrow 2/00 = \frac{451500 + x}{210000 + x} \Rightarrow x = 15750 \text{ cm}^3$$

با توجه به این که هر لیتر برابر با  $1000$  سانتی‌متر مکعب است،  $15750 = 15/751$  حجم آب مورد نیاز پس باید این مقدار آب را به دوغاب افزود تا چگالی آن به مقدار مورد نظر برسد.

تمرین

۱- جدول زیر را با استفاده از محاسبه‌ی مقادیر مربوط به وزن، حجم و چگالی کامل کنید.

چگالی	حجم	جرم	
?	$16/80 \text{ cm}^3$	$41/66 \text{ g}$	شیشه
?	$50/00 \text{ cm}^3$	$39/20 \text{ g}$	پارافین
$3/75 \text{ g/cm}^3$	$? \text{ cm}^3$	$84/30 \text{ g}$	آلومینیم اکسید
$1/00 \text{ g/cm}^3$	$4/00 \text{ lit}$	$? \text{ g}$	آب
$2/5 \text{ g/cm}^3$	$62/4 \text{ cm}^3$	$? \text{ g}$	کاتولین
$484 \text{ lb/ft}^3$	$? \text{ m}^3$	$1 \text{ kg}$	فولاد

۲- چگالی نسبی الف) ماده‌ای با چگالی  $316 \text{ lb/ft}^3$  ب) یک قطعه چینی زجاجی به وزن  $52/67 \text{ g}$  و حجم  $18/60 \text{ cm}^3$  ج) مایعی با چگالی  $2/95 \text{ g/cm}^3$  و د) یک تکه شیشه به وزن  $3/26 \text{ g}$  و حجم  $1/30 \text{ cm}^3$  را بیابید.

- ۳- در یک پیکنومتر (ظرف مخصوص اندازه‌گیری چگالی)، مقدار  $585\text{g}$  / از یک پودر  
سرامیکی به مقدار مشخصی آب اضافه شده است. در صورتی که چگالی نسبی این پودر  $2/35$  باشد،  
حجم آب جابه‌جا شده را محاسبه کنید.
- ۴- ظرفی به وزن  $48/6\text{g}$  به وسیله مایعی با چگالی نسبی  $1/57$  پر شده است. در صورتی  
که وزن مجموع ظرف با مایع برابر با  $216/3\text{g}$  باشد، حجم این ظرف را محاسبه کنید.
- ۵- درصد تخلخل، درصد جذب آب و چگالی ظاهری نمونه‌ای را که وزن غوطه‌وری آن برابر  
با  $149\text{g}$  و وزن پس از جذب آب کامل آن برابر با  $342\text{g}$  و وزن خشک آن برابر با  $28\text{g}$  است،  
محاسبه کنید.
- ۶- وزن نمونه‌ای در هوا برابر با  $84/1\text{g}$  و در حالت غوطه‌وری برابر با  $47/3\text{g}$  است.  
در صورتی که مقدار تخلخل ظاهری این نمونه  $23/6\%$  باشد، چگالی کلی آن را حساب کنید.
- ۷- نمونه‌ای با چگالی نسبی  $2/63$  را تا درجه‌ی حرارت  $145^\circ\text{C}$  حرارت داده‌ایم. بعد از  
حرارت دادن، چگالی نسبی آن به  $2/34$  کاهش می‌یابد. درصد افزایش حجم این نمونه را نسبت  
به حالت اولیه محاسبه کنید.
- ۸- چگالی دوغابی که از  $45\text{g}$  خاک رس خشک (با چگالی  $2/5\text{g/cm}^3$ ) و  $151\text{g}$  آب  
تهیه شده، چقدر است؟
- ۹- چند سانتی متر مکعب آب را باید به  $4\text{g}$  لعاب خشک (با چگالی نسبی  $2/9$ ) اضافه کنیم  
تا چگالی دوغاب برابر با  $1/52\text{g/cm}^3$  شود؟