فصل چهارم

چگالی

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

۱ــ چگالی را تعریف کند.

۲ــ چگالی را محاسبه کند.

۳ــ انواع تخلخل‌ها را توضیح دهد.

۴ــ چگالی ظاهری، حقیقی و کلی را محاسبه کند.

۵ــ چگالی نسبی دوغاب را با داشتن حجم دوغاب و چگالی نسبی مواد موجود در آن، محاسبه کند.

۱ــ۴ــ چگالی

همه‌ی شما تاکنون با این پرسش روبه‌رو شده‌اید که یک کیلوگرم آهن سنگین‌تر است یا یک‌کیلوگرم پنبه؟ پاسخ این پرسش روشن است و مطمئناً همه‌ی شما به آن پاسخ صحیح خواهید داد. درواقع 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 به‌اشتباه 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.**

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

ρ = چگالی

m = جرم

V = حجم

واحدهای متداول چگالی در سیستم SI، گرم بر سانتی‌مترمکعب (g/cm^3) و یا کیلوگرم برمترمکعب (kg/m^3) است.

مثال ۱: درصورتی که ۱۰۰g جیوه دارای حجمی برابر $۷/۳۵cm^۳$ باشد، چگالی جیوه چقدر خواهد بود؟

حل:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{۱۰۰g}{۷/۳۵cm^۳} \Rightarrow \quad ۱۳/۶۱g/cm^۳$$

مثال ۲: یک قطعه سیم فولادی به طول ۲۰cm و سطح مقطع $۲۰mm^۲$ و وزن ۳۱g 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 حاصل‌ضرب مساحت قاعده در طول سیم است.

$$V = \pi r^۲ . h = ۲۰mm^۲ \times ۲۰۰mm = ۴۰۰۰mm^۳ = ۴cm^۳$$

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \quad \frac{۳۱g}{۴cm^۳} = ۷/۷۵g/cm^۳$$

تذکر: در هنگام محاسبه چگالی باید حتماً واحدهای به کار گرفته شده قید شود، همان‌طور که گفته شد، در بیش‌تر موارد چگالی یک ماده بر حسب $g/cm^۳$ و یا $kg/m^۳$ نوشته می‌شود. اما بعضی اوقات ممکن است با واحدهای متعارف دیگری (در سیستم انگلیسی) مثل پوند بر فوت مکعب $(\frac{lb}{ft^۳})$ نیز برخورد کنید. هنگامی که چگالی دو ماده را با هم مقایسه می‌کنید، حتماً از یک واحد یکسان برای چگالی آن‌ها استفاده کنید. به همین خاطر، ممکن است در بعضی از موارد اطلاعات مربوطه را از یک سیستم اندازه‌گیری به سیستم دیگر اندازه‌گیری تبدیل کنید تا مبنای مشترکی برای مقایسه داشته باشید.

مثال ۳: چگالی لیتارژ (PbO) برابر با $۹/۲g/cm^۳$ و چگالی سرنج $(Pb_۳O_۴)$ برابر با $۵۳۶\frac{lb}{ft^۳}$ است. چگالی کدام‌یک از این دو اکسید بیش‌تر است؟

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

$$۱\frac{lb}{ft^۳} = ۰/۰۱۶g/cm^۳ \quad \text{و} \quad ۱gr/cm^۳ = ۶۲/۵lb/ft^۳$$

$$\text{زیرا:} \quad ۱\frac{lb}{ft^۳} = \frac{۴۵۳/۵g}{(۳۰/۴۸)^۳cm^۳} = ۰/۰۱۶\frac{g}{cm^۳} \Rightarrow ۱g/cm^۳ = \frac{۱}{۰/۰۱۶}\frac{lb}{ft^۳} = ۶۲/۵\frac{lb}{ft^۳}$$

$$\Rightarrow \text{چگالی سرنج} = \frac{۵۳۶}{۶۲/۵} = ۸/۵۷۶g/cm^۳ \simeq ۸/۵۸g/cm^۳$$

پس چگالی لیتارژ از چگالی سرنج بیش‌تر است.

lb/ft^3	g/cm^3
۱	۰/۰۱۶
۶۲/۵	۱

چگالی نسبی: درصورتی 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 می‌شود.

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی ماده موردنظر}}{\text{چگالی آب}} \quad \text{(بدون واحد)}$$

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

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

همان‌طور که گفته شد، چگالی نسبی فاقد بُعد و واحد فیزیکی است به عبارت دیگر از روی این عدد می‌توان فهمید که یک ماده به ازای واحد حجم چند بار سنگین‌تر از آب است.

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

حل:
$$\text{چگالی نسبی ماده} = \frac{\text{چگالی ماده موردنظر}}{\text{چگالی آب}}$$

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

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

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

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

$$\text{چگالی آب نمک} = \frac{\text{وزن محلول}}{\text{حجم محلول}} = \frac{۵۲/۹۴}{۵۰} = ۱/۰۶\,g/cm^۳$$

$$\text{چگالی نسبی آب نمک} = \frac{۱/۰۶}{۱/۰۰} = ۱/۰۶$$

۲ــ۴ــ 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 می کند 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 :

$$\text{حجم قطعه} = \text{وزن مایع هم حجم جسم غوطه‌ور شده} = D - I^{۱}$$

اگر از آب به عنوان سیال استفاده کنیم، چون چگالی آن برابر با $۱/۰۰\,g/cm^۳$است، وزن و حجم آن ازنظر عددی برابر هستند. اما درصورتی 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 ρ چگالی سیال مورد استفاده است مثلاً اگر سیال الکل باشد به‌جای ρ عدد ۰/۸ و یا در مورد نفت عدد ۰/۸۲ قرار می‌گیرد. برای درک بهتر این موضوع، به این مثال‌ها توجه کنید :

مثال ۷: وزن یک قطعه فلز در هوا برابر با ۲۴/۶۳g و در حالت غوطه‌وری در آب برابر با ۱۹/۸۶g است. چگالی نسبی این قطعه فلز را محاسبه کنید.

حل:

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

$$D = \text{وزن فلز در هوا}$$

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

۱ــ I : از وزن غوطه‌وری Immersion weight

$$\text{چگالی} = \frac{D}{D-I} = \frac{۲۴/۶۳}{۲۴/۶۳-۱۹/۸۶} = ۵/۱۶\,g/cm^۳$$

$$\text{چگالی نسبی} = \frac{\text{چگالی فلز}}{\text{چگالی آب}} = \frac{۵/۱۶}{۱} = ۵/۱۶$$

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

حل:

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

$$\text{کاهش وزن نمونه درحالت غوطه‌وری} = ۲۰/۴۲ - ۱۵/۳۷ = ۵/۰۵g$$

$$\text{حجم نمونه} = \text{حجم پارافین جابه‌جا شده} = \frac{D-I}{\rho} = \frac{۵/۰۵}{۰/۸۱۳} = ۶/۲۱cm^۳$$

$$\text{چگالی نمونه} = \frac{\text{وزن نمونه}}{\text{حجم نمونه}} = \frac{۲۰/۴۲g}{۶/۲۱cm^۳} = ۳/۲۹\,g/cm^۳$$

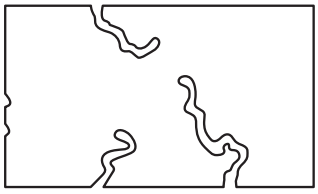
۱ــ۲ــ۴ــ جامدات متخلخل: بحث ما تاکنون دربرگیرنده‌ی مواد سرامیکی بود که از ساختاری بسیار ساده برخوردار بودند. اما با توجه به این‌که بیش‌تر مواد سرامیکی مخلوطی از چند جزء با حالات فیزیکی مختلف هستند، باید در مورد چنین شرایطی نیز صحبت کرد. مواد سرامیکی که در این‌جا در مورد آن‌ها صحبت می‌کنیم، قطعات سرامیکی متخلخل هستند.

۱ــ۱ــ۲ــ۴ــ 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 ناپیوسته ذرات درکنار هم، ایجاد می‌شوند. ما این فضاهای خالی را تخلخل می‌نامیم. اگرچه بخش اعظمی از این فضاهای خالی درطی 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 عمداً متخلخل می‌سازیم (مثل بدنه‌ی کاشی دیواری و آجر). به‌دلیل همراهی تقریباً همیشگی تخلخل‌ها در ساختار سرامیک‌ها و تأثیر مهّم آن‌ها بر

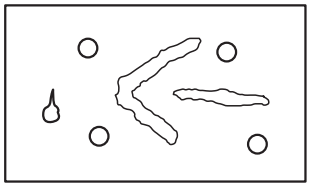
خواص مختلف قطعات سرامیکی، اطلاع از میزان و چگونگی توزیع آن‌ها، از اهمیت خاصی برخوردار است.

۲ــ۱ــ۲ــ۴ــ ساختمان تخلخل‌ها: به طورکلی 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 فرّار درطی پخت و یا خروج آب درهنگام 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 (۱ــ۴) و (۲ــ۴) به ترتیب وجود چنین تخلخل‌هایی را در یک قطعه نشان می‌دهند.



شکل ۱ــ۴ ــ تخلخل‌های باز در قطعه



شکل ۲ــ۴ ــ تخلخل‌های بسته در قطعه

۳ــ۱ــ۲ــ۴ــ محاسبه چگالی ظاهری، حقیقی و کلی: در قسمت‌های قبلی، چگالی یک ماده را به عنوان رابطه‌ی بین وزن وحجم آن تعریف کردیم. برای یک بدنه‌ی بدون تخلخل، تنها یک وزن و یک حجم وجود دارد. امّا در مورد قطعات متخلخل این‌چنین نیست و حجم‌های متعدد و درنتیجه چگالی‌های متعددی را می‌توان تعریف کرد.

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

الف ــ حجم کلی یا توده‌ای[1]

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

الف ــ اندازه‌گیری ابعاد نمونه، با استفاده از لوازم اندازه‌گیری طول (البته درمواردی که این امکان وجود داشته باشد.) مثلاً آجر متخلخلی با ابعاد $۸cm \times ۱۰cm \times ۲۲/۵cm$ دارای حجم کلی $۱۸۰۰cm^۳$ است.

---

۱ ــ حجم کلی یا توده‌ای Bulk Volume

ب ــ استفاده از روش جابه‌جایی جیوه، چون جیوه نمی‌تواند وارد تخلخل‌های باز شود.

ج ــ استفاده از اختلاف وزن بین حالتی که نمونه به طورکامل 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 ــ حجم ظاهری[1]

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 ــ حجم حقیقی[2]

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. درصورتی که برای وزن و حجم به ترتیب واحدهای گرم و سانتی‌متر مکعب مورد استفاده قرار گیرد، مقدار عددی چگالی برابر

---

۱ ــ حجم ظاهری Apparent Volume

۲ ــ حجم حقیقی True Volume

با مقدار چگالی نسبی متناظر با آن خواهد بود. مثلاً اگر یک ماده دارای چگالی ظاهری $3/2 g/cm^3$ باشد، چگالی نسبی ظاهری آن نیز ۳/۲ خواهد بود.

مثال ۹: وزن یک قطعه سرامیکی در حالت خشک برابر با ۱۴/۶۲g، درحالت جذب آب کامل برابر با ۱۶/۲۵g و در شرایط غوطه‌وری، برابر با ۸/۳۷g است. چگالی کلی و چگالی نسبی ظاهری این قطعه را محاسبه کنید.

حل :

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

$$= \frac{۱۴/۶۲}{(۱۶/۲۵-۸/۳۷)} = ۱/۸۵ g/cm^3$$

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

$$= \frac{۱۴/۶۲}{(۱۴/۶۲-۸/۳۷)} = ۲/۳۴ g/cm^3$$

$$\text{چگالی نسبی ظاهری} = \frac{\text{چگالی ظاهری}}{\text{چگالی آب}} = \frac{۲/۳۴}{۱} = ۲/۳۴$$

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

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

حل:

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

اگر چگالی کلی را با علامت ρ_b نشان دهیم، آنگاه خواهیم داشت :

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

$$\text{برای جسم A}: \rho_b = \frac{۱۲۰}{۱۴۶-۷۲} = ۱/۶۲ g/cm^۳$$

$$\text{برای جسم B}: \rho_b = \frac{۹۲}{۱۰۵-۴۳} = ۱/۴۸ g/cm^۳$$

۴ــ۱ــ۲ــ۴ــ 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 :

$$\text{درصد تخلخل ظاهری} = \frac{\text{حجم تخلخل‌های باز}}{\text{حجم قطعه}} \times ۱۰۰$$

$$\begin{cases} \text{حجم تخلخل باز} = S-D \\ \text{حجم قطعه} = S-I \end{cases} \Rightarrow \text{درصد تخلخل ظاهری} = \frac{S-D}{S-I} \times ۱۰۰$$

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

$$\text{درصد تخلخل ظاهری جسم A} = \frac{۱۴۶-۱۲۰}{۱۴۶-۷۲} \times ۱۰۰ = ۳۵/۱۳٪$$

$$\text{درصد تخلخل ظاهری جسم B} = \frac{۱۰۵-۹۲}{۱۰۵-۴۳} \times ۱۰۰ = ۲۰/۹۷٪$$

برای به‌دست 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 :

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{\text{وزن آب جذب شده}}{\text{وزن خشک قطعه}} \times ۱۰۰ \xrightarrow{\text{بنابراین}} \text{درصد جذب آب} = \frac{S-D}{D} \times ۱۰۰$$

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

مثال ۱۲: نمونه‌ای از جنس آجر سیلیسی دارای ابعاد $۴\times۴\times۲cm^۳$ است. در صورتی که چگالی نسبی حقیقی آجر ۲/۳۹ و وزن این قطعه درحالت خشک ۷۲g باشد، مقدار تخلخل حقیقی آن را محاسبه کنید.

حل:

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

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

$$\text{حجم حقیقی} \Rightarrow V = \frac{۷۲}{۲/۳۹} = ۳۰/۱۳\text{cm}^۳$$

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

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

$$\text{حجم کلی نمونه} = ۴\times۴\times۲\text{cm}^۳ = ۳۲\text{cm}^۳$$

$$\Rightarrow \text{حجم تخلخل} = ۳۲ - ۳۰/۱۳ = ۱/۸۷\text{cm}^۳$$

حال اگر این حجم را به حجم نمونه تقسیم کنیم و عدد حاصل را در ۱۰۰ ضرب کنیم، درصد تخلخل حقیقی به‌دست می‌آید که در واقع شامل تخلخل‌های باز و بسته است.

$$\text{درصد تخلخل حقیقی} = \frac{۱/۸۷}{۳۲}\times۱۰۰ = ۵/۸۴$$

مثال ۱۳: چگالی نسبی کلی یک آجر ۱/۷۰ و چگالی نسبی حقیقی آن ۲/۴۰ است. درصورتی که ابعاد یک تکه‌ی بریده شده از این آجر برابر با $۳\text{cm}\times۴\text{cm}\times۲\text{cm}$ 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 $۱/۷۰\text{g/cm}^۳$ و $۲/۴۰\text{g/cm}^۳$ خواهد بود.

$$\rho_b \text{ (چگالی کلی)} = \frac{\text{وزن}}{\text{حجم کلی}} \Rightarrow ۱/۷۰ = \frac{m}{۳\times۴\times۲\text{cm}^۳}$$

$$\Rightarrow m \text{ (وزن نمونه)} = ۴۰/۸۰\text{g}$$

$$\rho_t \text{ (چگالی حقیقی)} = \frac{\text{وزن}}{\text{حجم حقیقی}} \Rightarrow \text{حجم حقیقی} = \frac{۴۰/۸۰}{۲/۴۰} = ۱۷\text{cm}^۳$$

پس حجم اجزای جامد تشکیل‌دهنده‌ی این نمونه $۱۷\text{cm}^۳$ است. از اختلاف بین این حجم و حجم کلی نمونه، حجم تخلخل‌ها حاصل می‌شود. پس :

$$\text{حجم تخلخل‌ها} \quad ۲۴-۱۷ = ۷\text{cm}^۳$$

اگر این تخلخل‌ها همگی باز فرض شوند، به هنگام جذب آب کامل مقدار $۷cm^۳$ آب جذب نمونه خواهد شد.

مثال ۱۴: وزن یک نمونه متخلخل برابر با $۴۷/۳۰g$ است. اگر این قطعه را وارد جیوه کنیم، $۳۱۲g$ جیوه جابه‌جا می‌شود. چگالی کلی این ماده را محاسبه کنید. (چگالی جیوه برابر با $(۱۳/۶۰g/cm^۳$

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

$$\text{چگالی جیوه } \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{۳۱۲}{۱۳/۶۰} = ۲۲/۹۴cm^۳$$

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

$$(\text{چگالی کلی نمونه}) \quad \rho_b = \frac{m}{V} = \frac{۴۷/۳}{۲۲/۹۴}$$

$$\Rightarrow \quad \rho_b = ۲/۰۶g/cm^۳$$

۲ــ۲ــ۴ــ محاسبه‌ی چگالی دوغاب: دوغاب عبارت است از یک سوسپانسیون یا مخلوطی از یک مایع (معمولاً آب) و مواد اولیه 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 به‌دست می‌آید و سپس با تقسیم کردن این وزن برحجم آن، چگالی دوغاب به‌دست 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 $۵۸۲/۸g$ استفاده کرده‌ایم. در صورتی که وزن این بالن ژوژه همراه با $۱۰۰۰cc$ دوغاب برابر با $۲۲۱۲/۸g$ باشد، چگالی و چگالی نسبی آن را محاسبه کنید.

حل :

$$\text{وزن دوغاب} = ۲۲۱۲/۸g - ۵۸۲/۸g = ۱۶۳۰g$$

$$\Rightarrow \text{چگالی دوغاب} = \frac{۱۶۳۰g}{۱۰۰۰cm^۳} = ۱/۶۳g/cm^۳$$

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

$\Rightarrow$ چگالی نسبی دوغاب = ۱/۶۳

تذکر: بعضی اوقات در صنعت ممکن است با اصطلاح وزن لیتری یا غلظت وزنی برخورد کنید. این تعریف گاهی به‌جای چگالی به‌کار 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 به‌دست 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 ۱۶/۷۶kg از یک ماده‌ی اولیه سرامیکی (با چگالی نسبی ۲/۶۰) و ۸l 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.

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

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

از طرفی وزن ۸ لیتر آب برابر با ۸۰۰۰g است. با استفاده از رابطه‌ی زیر چگالی دوغاب را به‌دست می‌آوریم :

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

$$= \frac{(۱۶۷۶۰+۸۰۰۰)\text{g}}{(۶۴۴۶/۱۵+۸۰۰۰)\text{cm}^۳} = ۱/۷۱\text{g/cm}^۳$$

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

حل:

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

با توجه به این‌که چگالی آب برابر ۱g/cm^۳ است درنتیجه ۳۰g = وزن ۳۰cm^۳ آب است.

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{(۲۰+۳۰)g}{(۷/۶۳+۳۰)cm^۳} = ۱/۳۳ g/cm^۳ \Rightarrow$$

$$\text{چگالی نسبی دوغاب} = \frac{۱/۳۳}{۱} = ۱/۳۳$$

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

حل:

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

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \text{حجم لعاب خشک} = \frac{۵۰g}{۲/۸۰ g/cm^۳} = ۱۷/۸ cm^۳$$

می‌دانیم چگالی دوغاب نهایی باید برابر با $۱/۶۵ g/cm^۳$ باشد. پس خواهیم داشت :

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

درصورتی که وزن و حجم آب لازم را به‌ترتیب x و y فرض کنیم، می‌توانیم بنویسیم :

$$۱/۶۵ = \frac{۵۰+x}{۱۷/۸+y}$$

از طرفی چگالی آب برابر با $۱/۰ gr/cm^۳$ است. درنتیجه وزن و حجم آب از نظر عددی یکسان است، یعنی :

$$x = y$$

$$\Rightarrow \quad ۱/۶۵ = \frac{۵۰+y}{۱۷/۸+y} \Rightarrow \quad y = ۳۱/۷ cm^۳$$ حجم آب موردنیاز

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 موردنظر 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 تاچگالی نسبی آن به ۲/۰۰ کاهش یابد؟

حل:

ابتدا وزن دوغاب موجود را محاسبه می‌کنیم.

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

$$\Rightarrow m = ۲/۱۵ g/cm^۳ \times ۲۱۰۰۰۰ cm^۳ = ۴۵۱۵۰۰ g$$

با توجه به اینکه چگالی آب $1 g/cm^۳$ است، وزن و حجم آن ازنظر عددی برابر هستند. پس اگر وزن آب مورد نیاز را x درنظر بگیریم، حجم آن نیز x خواهد بود. درنتیجه :

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

$$\Rightarrow ۲/۰۰ = \frac{۴۵۱۵۰۰ + x}{۲۱۰۰۰۰ + x} \Rightarrow x = ۱۵۷۵۰ cm^۳$$

با توجه به این‌که هر لیتر برابر با ۱۰۰۰ سانتی‌مترمکعب است، $\text{حجم آب موردنیاز} = \frac{۱۵۷۵۰}{۱۰۰۰} = ۱۵/۷۵ l$

پس باید این مقدار آب را به دوغاب افزود تا چگالی آن به مقدار مورد نظر برسد.

تمرین

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

	جرم	حجم	چگالی
شیشه	۴۱/۶۶g	۱۶/۸۰cm³	؟
پارافین	۳۹/۲۰g	۵۰/۰۰cm³	؟
آلومینیم اکسید	۸۴/۳۰g	؟ cm³	۳/۷۵g/cm³
آب	؟ g	۴/۰۰lit	۱/۰۰g/cm³
کائولین	؟ g	۶۲/۴cm³	۲/۵g/cm³
فولاد	۱ kg	؟ m³	۴۸۴lb/ft³

۲ــ چگالی نسبی الف) ماده‌ای با چگالی $۳۱۶ lb/ft^۳$ ب) یک قطعه چینی زجاجی به‌وزن ۵۲/۶۷g و حجم $۱۸/۶۰ cm^۳$ ج) مایعی با چگالی $۲/۹۵ g/cm^۳$ و د) یک تکه شیشه به‌وزن ۳/۲۶g و حجم $۱/۳۰ cm^۳$ را بیابید.

۳ــ در یک پیکنومتر (ظرف مخصوص اندازه‌گیری چگالی)، مقدار ۰/۵۸۵g از یک پودر سرامیکی به مقدار مشخصی آب اضافه شده است. درصورتی که چگالی نسبی این پودر ۲/۳۵ باشد، حجم آب جابه‌جا شده را محاسبه کنید.

۴ــ ظرفی به وزن ۴۸/۶۰g به وسیله مایعی با چگالی نسبی ۱/۵۷ پر شده است. در صورتی که وزن مجموع ظرف با مایع برابر با ۲۱۶/۳۰g باشد، حجم این ظرف را محاسبه کنید.

۵ــ درصد تخلخل، درصد جذب آب و چگالی ظاهری نمونه‌ای راکه وزن غوطه‌وری آن برابر با ۱۴۹g و وزن پس از جذب آب کامل آن برابر با ۳۴۲g و وزن خشک آن برابر با ۲۸۰g است، محاسبه کنید.

۶ــ وزن نمونه‌ای در هوا برابر با ۸۴/۱۰g و درحالت غوطه‌وری برابر با ۴۷/۳۰g است. در صورتی که مقدار تخلخل ظاهری این نمونه ٪۲۳/۶ باشد، چگالی کلی آن را حساب کنید.

۷ــ نمونه‌ای با چگالی نسبی ۲/۶۳ را تا درجه‌ی حرارت ۱۴۵۰°C حرارت داده‌ایم. بعد از حرارت دادن، چگالی نسبی آن به ۲/۳۴ کاهش می‌یابد. درصد افزایش حجم این نمونه را نسبت به‌حالت اولیه محاسبه کنید.

۸ــ چگالی دوغابی که از ۴۵g خاک رس خشک (با چگالی $2/50 g/cm^3$) و ۱۵۱g آب تهیه شده، چقدر است؟

۹ــ چند سانتی‌مترمکعب آب را باید به ۴۰g لعاب خشک (با چگالی نسبی ۲/۹۰) اضافه کنیم تا چگالی دوغاب برابر با $1/52 g/cm^3$ شود؟