

## فصل ۴

### محاسبات در سرمایه‌گذاری



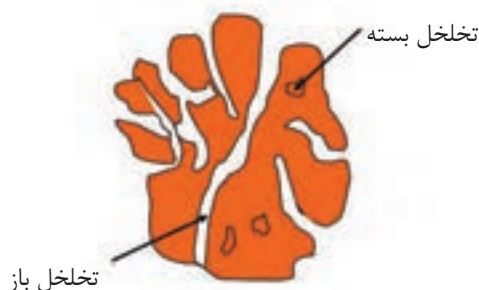
## تخلخل در سرامیک‌ها

**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 قالب توجهی فضای خالی خواهند بود که به دلیل قرار گرفتن ناپیوسته ذرات در کنار هم، ایجاد می‌شوند. به این فضاهای خالی تخلخل گفته می‌شود. اگرچه بخش اعظمی از این فضاهای خالی در طی فرایند پخت از بین می‌روند، با این وجود دستیابی به یک قطعه بدون تخلخل در اکثر مواقع غیر ممکن و یا به شرایط پخت ویژه‌ای نیاز دارد. گاهی اوقات نیز قطعات را با توجه به محصول مورد نظر متخلخل می‌سازیم (مانند بدنه‌های کاشی دیوار و آجر). به دلیل وجود 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.

### ساختمان تخلخل‌ها:

به طور کلی در قطعات سرامیکی با دو دسته تخلخل روبه‌رو هستیم :

۱- تخلخل باز ۲- تخلخل بسته



تخلخل‌های باز آن دسته از فضاهای خالی در داخل قطعه هستند که به سطح آن، راه دارند. دلیل حضور این تخلخل‌ها، وجود تخلخل‌های اولیه در قطعه شکل داده شده، خروج گازهای حاصل از مواد فزاد در طی پخت و یا خروج آب در هنگام خشک شدن قطعه است. دلیل اصلی ایجاد تخلخل بسته در هنگام پخت در اثر عدم اتصال مناسب ذرات به هم ایجاد می‌شود.

### محاسبه چگالی ظاهری، حقیقی و کلی:

برای یک بدنه 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 عبارت‌اند از:

#### الف) حجم کلی یا توده‌ای<sup>۱</sup>

مجموع حجم ماده 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  $22/5\text{ cm} \times 10\text{ cm} \times 8\text{ cm}$  دارای حجم کلی ۱۸۰۰ متر مکعب است. ب) استفاده از روش جابه‌جایی جیوه، چون جیوه نمی‌تواند وارد تخلخل‌های باز شود.

۱- Bulk Volume

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.

$$V_b = (S - I) = \text{حجم کلی}$$

#### ب) حجم ظاهری<sup>۱</sup>

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

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

پیکنومتر یک وسیله یا ابزار آزمایشگاهی شبیه به بالن ژوژه دردار می‌باشد که درپوش یا در آن دارای یک شیار باریک و باز درون خود می‌باشد. این وسیله برای تعیین دانسیته یا چگالی مایعات به کار می‌رود.

برای اندازه‌گیری چگالی یک مایع، ابتدا و در مرحله اول، جرم پیکنومتر خالی که با آب مقطر شسته شده و سپس خشک شده را همراه با درپوش با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی بسیار دقیق (ترجیحاً) تا سه یا چهار رقم اعشار اندازه‌گیری می‌شود. (a)

در مرحله دوم مقدار مشخصی از پودر محصول یا مواد اولیه برحسب گرم را که از الک عبور کرده است با کمک قیف درون پیکنومتر ریخته و درپوش آن را می‌گذاریم و آن را وزن می‌کنیم.

در مرحله سوم پیکنومتر با پودر را از مایع پر می‌کنیم و وزن پیکنومتر، پودر و آب را اندازه‌گیری می‌گیریم و با c نشان می‌دهیم.

#### ج) حجم حقیقی<sup>۲</sup>

مجموع حجم تنها در برگیرنده 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.

در مرحله چهارم پیکنومتر را خالی می‌کنیم و بعد از شستشو پر از آب مقطر می‌کنیم و درپوش آن را می‌گذاریم و جرم پیکنومتر پر از آب مقطر اندازه گرفته می‌شود و با d نشان داده می‌شود.

با کمک از رابطه زیر دانسیته حقیقی به دست می‌آید.

$$\rho_t = \frac{a - b}{(d - a) - (c - b)} \times D_L$$

$D_L$ : دانسیته مایع

\* نکته: به دانسیته حقیقی دانسیته پودر ( $\rho_p$ ) یا دانسیته واقعی هم گفته می‌شود.

برای یک قطعه متخلخل، حجم‌های متعددی را می‌توان تعریف کرد. در حالی که همین قطعه فقط دارای یک وزن است، زیرا از وزن هوای داخل تخلخل‌ها می‌توان صرف نظر کرد. بنابراین برای هر قطعه متخلخل سه نوع چگالی می‌توان تعریف کرد که عبارت‌اند از:

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

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

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

1-Apparet Volume

2-True Volume

باید برای همه این چگالی‌ها واحد نیز ذکر شود و در صورت استفاده از چگالی نسبی ظاهری واحد حذف می‌شود در صورتی که برای وزن و حجم به ترتیب واحدهای گرم و سانتی‌متر مکعب مورد استفاده قرار گیرد و واحد چگالی آن گرم بر سانتی‌متر مکعب ( $\text{g/cm}^3$ ) می‌شود. برای مثال اگر یک ماده دارای چگالی  $3/2 \text{ g/cm}^3$  باشد چگالی نسبی آن نیز  $3/2$  خواهد بود.

**مثال:** 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 غوطه وری برابر با  $8/37 \text{ g/cm}^3$  است. چگالی کلی و چگالی نسبی ظاهری این قطعه را محاسبه کنید.

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

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

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

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

$$\rho_a = \frac{\text{چگالی ظاهری}}{\text{چگالی آب}} = \frac{2/34}{1} = 2/34 \text{ g/cm}^3$$

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

علامت قطعه	A	B
وزن خشک (D)	120 g	92 g
وزن قطعه بعد از جذب آب کامل (S)	146 g	105 g
وزن قطعه در حالت غوطه وری در آب (I)	72 g	43 g

حل:

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

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

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

$$\rho_b = \frac{120}{146 - 72} = 1/62 \text{ g/cm}^3 \quad \text{برای جسم A} \quad \rho_b = \frac{92}{105 - 43} = 1/48 \text{ g/cm}^3 \quad \text{برای جسم B}$$

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

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

$$S - D = \text{حجم تخلخل باز}$$

$$\text{درصد تخلخل ظاهری} = \frac{S - D}{S - I} \times 100$$

$$S - I = \text{حجم قطعه}$$

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

$$\text{درصد تخلخل ظاهری جسم A} = \frac{146 - 120}{146 - 72} \times 100 = 35.13\%$$

$$\text{درصد تخلخل ظاهری جسم B} = \frac{105 - 92}{105 - 43} \times 100 = 20.97\%$$

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

$$\text{درصد جذب آب} = \frac{S - D}{D} \times 100 \quad \text{یا} \quad \text{درصد جذب آب} = \frac{\text{وزن آب جذب شده}}{\text{وزن خشک قطعه}} \times 100$$

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

**مثال:** نمونه‌ای از جنس آجر سیلیسی دارای ابعاد  $2 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$  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 اینکه چگالی نسبی (و در نتیجه چگالی) و جرم این نمونه را داریم، می‌توانیم حجم واقعی نمونه را محاسبه کنیم.

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

$$\Rightarrow V = \frac{72}{2/39} = 30.13 \text{ cm}^3$$

در واقع، با این عملیات از وزن هوای داخل تخلخل‌های جسم صرف نظر کردیم.

اختلاف بین حجم محاسبه شده از رابطه قبلی و حجم نمونه، حجم تخلخل ها است. پس:

$$\begin{aligned} \text{حجم حقیقی} - \text{حجم کلی} &= \text{حجم تخلخل} \\ 32 \text{ cm}^3 - 4 \times 4 \times 2 \text{ cm}^3 &= \text{حجم کلی نمونه} \end{aligned}$$

$$\text{حجم تخلخل} = 32 - 32 = 0 \text{ cm}^3$$

حال اگر این حجم را به حجم نمونه تقسیم کنیم و عدد حاصل را در ۱۰۰ ضرب کنیم، درصد تخلخل حقیقی به دست می آید که در واقع شامل تخلخل های باز و بسته است.

$$\text{درصد تخلخل حقیقی} = \frac{0}{32} \times 100 = 0\%$$

**مثال:** چگالی نسبی کلی یک آجر ۱/۷۰ و چگالی نسبی حقیقی آن ۲/۴۰ است. در صورتی که ابعاد یک تکه بریده شده از این آجر برابر ۴ cm × ۳ cm × ۲ cm باشد، مقدار آبی را که این نمونه می تواند جذب کند، محاسبه کنید. (فرض کنید که تمام تخلخل های این قطعه باز باشند).

چگالی کلی و حقیقی این نمونه به ترتیب برابر ۱/۷۰ g/cm<sup>۳</sup> و ۲/۴۰ g/cm<sup>۳</sup> خواهد بود.

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

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

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

پس حجم اجزای جامد تشکیل دهنده این نمونه ۱۷ cm<sup>۳</sup> است. از اختلاف بین این دو حجم و حجم کلی نمونه، حجم تخلخل ها حاصل می شود. پس:

$$24 - 17 = 7 \text{ cm}^3 : \text{حجم تخلخل ها}$$

اگر این تخلخل ها همگی باز فرض شوند، به هنگام جذب، مقدار ۷ cm<sup>۳</sup> آب جذب نمونه خواهد شد.

**مثال:** وزن یک نمونه متخلخل برابر با ۴۷/۳۰ g است. اگر این قطعه را وارد جیوه کنیم، ۳۱۲ g جیوه جابه جا می شود. چگالی کلی این ماده را محاسبه کنید. (چگالی جیوه برابر با ۱۳/۶۰ g/cm<sup>۳</sup>)

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

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{312}{13/60} = 22/94 \text{ cm}^3$$

زیرا جیوه برخلاف آب نمی تواند وارد تخلخل های جسم شود، این مقدار برابر با حجم کلی نمونه است. پس می توان نوشت:

$$\rho_b (\text{چگالی کلی نمونه}) = \frac{m}{V} = \frac{47/30}{22/94} = 2/06 \text{ g/cm}^3$$

## محاسبه چگالی دوغاب

دوغاب عبارت است از مخلوط 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 اندازه گیری چگالی، از بالن ژوژه یا استوانه مدرج استفاده می‌شود. با پر کردن بالن ژوژه از دوغاب

**مثال:** به منظور اندازه گیری 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:

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

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

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

$$\text{چگالی نسبی دوغاب} = 1/63$$

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 اندازه گیری، 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 رابطه چگالی است و عبارت است از:

$$\text{دوغاب چگالی} = \frac{\text{مجموع وزن اجزای دوغاب}}{\text{مجموع حجم اجزای دوغاب}} \times 100$$

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

**مثال** با استفاده از  $16/76 \text{ kg}$  از یک ماده اولیه سرامیکی (با چگالی نسبی  $2/60$ ) و  $8$  لیتر آب، دوغابی تهیه شده است. چگالی دوغاب را محاسبه کنید.

**حل:** ابتدا حجم ماده اولیه مصرفی را محاسبه می‌کنیم. برای این منظور از رابطه چگالی استفاده می‌کنیم.

$$\begin{aligned} \text{حجم پودر} &= \frac{16760 \text{ g}}{2/60 \text{ g/cm}^3} \Rightarrow \text{حجم پودر} = \frac{\text{وزن}}{\text{چگالی}} \\ &= 6445/15 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

نکته

از طرفی وزن ۸ لیتر آب برابر با ۸۰۰ g است. با استفاده از رابطه صفحه بعد چگالی دوغاب را به دست می‌آوریم:

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

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{(16760 + 8000)g}{(6446/15 + 8000)cm^3} = 1.71 g/cm^3$$

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

حل:

$$\frac{\text{وزن پودر}}{\text{چگالی پودر}} = \frac{20g}{2.62 g/cm^3} = 7.63 cm^3$$

با توجه به اینکه چگالی آب برابر ۱ g/cm<sup>۳</sup> است در نتیجه وزن ۳۰ cm<sup>۳</sup> آب ۳۰ gr است.

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{(20 + 30)g}{(7.63 + 30)cm^3} = 1.33 g/cm^3$$

$$\frac{1.33}{1} = 1.33 \text{ چگالی نسبی دوغاب}$$

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

$$\rho = \frac{m}{v} \Rightarrow \text{حجم لعاب خشک} = \frac{50g}{2.80 g/cm^3} = 17.8 cm^3$$

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

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

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

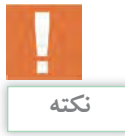
در صورتی که وزن و حجم آب لازم را به ترتیب x و y فرض کنیم، می‌توانیم بنویسیم:

$$1/65 = \frac{50 + x}{17.8 + y}$$

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

$$x=y \Rightarrow 1/65 = \frac{50 + y}{17.8 + y} \Rightarrow y = 31.7 cm^3$$





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:** 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.

$$m = \rho \cdot V$$

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

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

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:

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

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

با توجه به اینکه هر لیتر برابر با ۱۰۰۰ سانتی‌متر مکعب است،  $15750 / 1000 = 15.75 \text{ L}$  حجم آب مورد نیاز است پس باید این مقدار آب را به دوغاب افزود تا چگالی آب به مقدار مورد نظر برسد.

## آسیاب گلوله‌ای و محاسبات مربوط به آن

آزمایشگاه از جارمیل، ولی در کارگاه و صنایع از بال میل بهره گرفته می‌شود.

جنس جداره داخلی و خارجی جارمیل‌ها از چینی سخت و پلاستیک فشرده و در مورد بال میل‌ها در جداره خارجی از فولاد و برای پوشش داخلی بال میل‌ها از آجرهای ساخته شده از چینی سخت، آلومینا، استاتیت و یا قطعات لاستیکی استفاده می‌شود.

بال میل‌های صنایع سرامیک یک استوانه فولادی دارای پوشش داخلی مناسب می‌باشند که درون آنها

در آماده‌سازی مواد اولیه سرامیک پس از خردایش به مرحله‌ای می‌رسیم که آسیاب کردن نام دارد. آسیاب کردن در اثر فشار ناشی از ضربه و سایش صورت می‌گیرد. این مرحله بسیار با اهمیت است و می‌توان گفت کیفیت مواد اولیه به فراوری آنها و آسیاب کردن صحیح وابسته است و همواره ۵۰ درصد انرژی در مرحله آماده‌سازی صرف آسیاب کردن می‌شود. در صنایع سرامیک معمولاً آسیاب کردن به دو روش خشک ساب و تر ساب صورت می‌گیرد. معمولاً در

را گلوله‌های جنس چینی سخت، آلومینا یا فلینیت در ابعاد مختلف استفاده می‌شود. مواد ساییدنی در حین چرخیدن بال میل در اثر فشار ناشی از وزن خود، غلتیدن و سقوط گلوله‌ها متلاشی و به ذرات ریزتر تبدیل می‌گردند و در نتیجه دانه بندی ریزتر ذرات که هدف از آسیاب کردن است، حاصل می‌شود.

### تعیین حجم جار میل و بال میل

شکل هندسی جار میل و بال میل استوانه است با داشتن ابعاد داخلی استوانه حجم آن محاسبه می‌شود. با داشتن سطح قاعده استوانه و ارتفاع داخلی آن می‌توان حجم را محاسبه کرد. واحد حجم را می‌توان بر حسب لیتر، سانتی متر مکعب، دسی متر مکعب و یا متر مکعب و ... انتخاب کرد. برای محاسبه حجم یک استوانه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$V = \pi r^2 h$$

$V$  = حجم استوانه

$r$  = شعاع داخلی بال میل

$h$  = ارتفاع داخلی بال میل

**مثال ۱:** حجم استوانه‌ای که قطر داخلی (d) آن ۱۲۰۰ میلی متر و دارای طول داخلی ۲۲۰ سانتی متر می‌باشد را بر حسب متر مکعب و لیتر محاسبه نمایید.

$$d = 1200 \div 1000 = 1.2 \text{ m}$$

$$h = 220 \div 100 = 2.2 \text{ m}$$

$$r = \frac{d}{2} = \frac{1.2}{2} = 0.6 \text{ m}$$

$$V = \pi r^2 h = 3.14 \times (0.6)^2 \times 2.2 = 2.48 \text{ m}^3$$

$$2.48 \times 1000 = 2480 \text{ L}$$

چون هر متر مکعب ۱۰۰۰ لیتر می‌باشد پس حجم استوانه معادل ۲۴۸۰ لیتر است.

### تقسیم بندی حجمی بال میل در خشک سابی و تر سابی

در روش خشک ساب معمولاً حجم داخلی بال میل به ۳ قسمت مساوی تقسیم می‌شود.  $\frac{1}{3}$  حجم برای گلوله‌ها و  $\frac{1}{3}$  حجم برای مواد اولیه و  $\frac{1}{3}$  حجم باقی مانده، فضای خالی می‌ماند. در تر سابی، حجم داخلی بال میل به ۴ قسمت مساوی تقسیم می‌گردد.  $\frac{1}{4}$  حجم (۲۵ درصد) برای آب،  $\frac{1}{4}$  حجم برای مواد اولیه،  $\frac{1}{4}$  حجم برای گلوله و  $\frac{1}{4}$  باقی مانده فضای خالی است. چون مخلوط آب و مواد اولیه دوغاب را تشکیل می‌دهد پس  $\frac{1}{2}$  حجم بال میل دوغاب است.

**مثال ۲:** حجم مفید بال میل ترسابی ۵۰۰ لیتر می‌باشد. ۲۵ درصد حجم مفید بال میل را مشخص نمایید.

$$\text{لیتر } ۱۲۵ = ۵۰۰ \times \frac{۲۵}{۱۰۰}$$

**مثال ۳:** در صورتی که  $\frac{۱}{۳}$  حجم مفید جار میل خشک ساب ۲ لیتر باشد، حجم مفید جارمیل چند لیتر است؟

$$x = ۲ \div \frac{۱}{۳} = ۲ \times \frac{۳}{۱} = ۶L$$

برای تعیین سهمیه وزنی چهارگانه (آب، ماده اولیه، گلوله و فضای خالی) جارمیل و بال میل ترساب با مشخص بودن حجم آنها می‌توان از رابطه  $\rho = \frac{m}{V}$  استفاده کرد که در آن  $m$  جرم،  $V$  حجم و  $\rho$  وزن مخصوص است.

**مثال ۴:** حجم داخلی (مفید) یک بال میل ترساب ۶۰۰ لیتر می‌باشد. چه مقدار وزنی آب با وزن مخصوص ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب، مواد اولیه با میانگین وزن مخصوص ۲/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، گلوله با وزن مخصوص ۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای بارگیری این بال میل مورد نیاز است؟

$$V = \frac{۶۰۰ \times ۲۵}{۱۰۰} = ۱۵۰L = ۰/۱۵۰m^3$$

$$\rho = ۱g/cm^3 \Rightarrow \rho = ۱ \times ۱۰۰۰ = ۱۰۰۰ kg/m^3$$

$$\rho = ۱۰۰۰ kg/m^3 \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow ۱۰۰۰ = \frac{m}{۰/۱۵۰} \Rightarrow m = ۱۵۰kg$$

$$\rho = ۳۰۰۰ kg/m^3 \Rightarrow ۳۰۰۰ = \frac{m}{۰/۱۵۰} \Rightarrow m = ۰/۱۵۰ \times ۳۰۰۰ = ۴۵۰kg$$

محاسبه سهمیه مواد اولیه:

$$\rho = ۲۵۰۰ kg/m^3 \Rightarrow ۲۵۰۰ = \frac{m}{۰/۱۵۰} \Rightarrow m = ۰/۱۵۰ \times ۲۵۰۰ = ۳۷۵kg$$

توجه داشته باشید که چون در این محاسبات برای آب و ماده اولیه حجم برابر در نظر گرفته شده است پس وزن مخصوص دوغاب در صورت تغییر نکردن میانگین وزن مخصوص مواد اولیه همواره ثابت خواهد ماند.



نکته

درصد حجم اشغال شده توسط هر یک از مواد اولیه در بال میل و جار میل با معلوم بودن وزن هر یک از مواد اولیه را می‌توان محاسبه کرد. همچنین محاسبه حجم مواد اولیه و درصدی از حجم کل بال میل که توسط هر یک از مواد اولیه اشغال شده است، ممکن می‌باشد. برای آشنایی با روش محاسبه مثالی آورده می‌شود.

**مثال ۵:** وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل ترسابی  $450 \text{ Kg}$  می باشد. اگر وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل به تفکیک  $250 \text{ kg}$  کائولین زدلیتز  $100 \text{ kg}$  سیلیس همدان و  $100 \text{ kg}$  فلدسپات چغایی بوده و حجم کل بال میل  $720 \text{ L}$  باشد، درصد حجم اشغال شده توسط هر یک از ماده اولیه را محاسبه نمایید. (میانگین وزن مخصوص مواد اولیه  $2/5 \text{ g/cm}^3$ )

$$\rho = \frac{m}{v} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{450000}{2/5} = 1125000 \text{ cm}^3 = 1125 \text{ L}$$

حجم کل مواد اولیه

$$450 \text{ Kg} \times 1000 = 450000 \text{ gr}$$

وزن کل مواد	حجم کل مواد اولیه
$450 \text{ kg}$ $250$	$1125 \text{ L}$ حجم کائولین زدلیتز $x=100 \text{ L}$
$450 \text{ kg}$ $100$	$1125 \text{ L}$ حجم سیلیس همدان $x=100 \text{ L}$
$450 \text{ kg}$ $100$	$1125 \text{ L}$ حجم فلدسپات چغایی $x=40 \text{ L}$
حجم بال میل به $L$ $720$ $100$	حجم کائولین زدلیتز $100 \text{ L}$ درصد حجم کائولین زدلیتز $z=13/9 \%$
$720 \text{ L}$ $100$	حجم سیلیس همدان $40 \text{ L}$ درصد حجم سیلیس همدان $z=5/6 \%$
$720 \text{ L}$ $100$	حجم فلدسپات چغایی $40 \text{ L}$ $k=5/6 \%$ درصد حجم فلدسپات چغایی

درصد حجم باقی مانده بال میل جهت آب، گلوله و فضای خالی

$$100 - (13/9 + 5/6 + 5/6) = 100 - 25/1 = 74/9 \%$$

## محاسبه سرعت دورانی بال میل‌ها

سرعت دورانی مناسب در بال میل ترساب ۶۰ درصد تا ۷۰ درصد سرعت بحرانی آن می‌باشد. سرعت بحرانی از رابطه  $N_c = \frac{42}{\sqrt{d}}$  که در آن  $N_c$  سرعت بحرانی بر حسب rpm (دور بر دقیقه) و  $d$  قطر داخلی بال میل بر حسب متر است. سرعت دورانی مناسب در بال میل خشک ساب پایین تر از ترساب و حدود ۸۰ درصد تا ۹۰ درصد سرعت بحرانی است.

**مثال ۶:** سرعت دورانی بال میل ترساب با قطر خارجی ۱۵۵۰ میلی متر و ضخامت دیواره (مجموع ضخامت لاینینگ و جداره فلزی) ۲۰۰ میلی متر را محاسبه کنید. (سرعت دورانی مناسب را ۶۵ درصد سرعت بحرانی بگیرید.)

میلی متر  $d = 1550 - (200 \times 2) = 1150$   
 قطر داخلی  $d = 1150 \div 1000 = 1.15$  متر

$$N_c = \frac{42}{\sqrt{1.15}} = \frac{42}{1.072} = 39 \text{ rpm}$$

سرعت دورانی مناسب برای بال میل تر ساب  $\text{سرعت دورانی مناسب} = \frac{65}{100} \times 39 = 25 \text{ rpm}$

**مثال ۷:** سرعت بحرانی بال میل ۴۰ rpm است در صورتی که ضخامت لاینینگ آن ۱۵۰ میلی متر و ضخامت ورق فلزی ۱۰ میلی متر باشد قطر خارجی بال میل را بر حسب mm محاسبه نمایید.

$$40 = \frac{42}{\sqrt{d}} \Rightarrow \sqrt{d} = \frac{42}{40} = 1.05 \Rightarrow d = (1.05)^2$$

قطر داخلی بال میل  $d = 1.1 \text{ m} = 1100 \text{ mm}$

قطر خارجی بال میل  $1100 + 2 \times 150 + 2 \times 10 = 1420 \text{ mm}$

## تعیین مقدار آب لازم جهت تصحیح دانسیته دوغاب

با معلوم بودن وزن لیتر دوغاب می توان با افزودن آب یا مواد اولیه به آن، دوغابی با وزن لیتر کمتر یا بیشتر ساخت.

$$\text{رابطه } m = \frac{\rho_1}{\rho_1 - \rho_2} (L_g - V) \text{ برای این منظور به کار می رود که در آن:}$$

$\rho_1$ : میانگین وزن مخصوص مواد اولیه موجود در دوغاب به  $\text{g/cm}^3$

$\rho_2$ : وزن مخصوص مایع موجود در دوغاب به  $\text{g/cm}^3$

$L_g$ : وزن دوغاب با حجم  $V$  بر حسب گرم

$V$ : حجم  $L_g$  گرم دوغاب بر حسب  $\text{cm}^3$

$m$ : مقدار ماده خشک موجود در  $L_g$  گرم دوغاب بر حسب گرم

**مثال ۸:** چه مقدار آب برای ساختن دوغابی با وزن مخصوص  $1/65 \text{ g/cm}^3$  جهت افزودن به  $2000$  گرم لعاب وزن مخصوص  $2/8 \text{ g/cm}^3$  لازم است؟

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

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

$$\text{حجم آمیز دوغاب} = \frac{2000}{2/8} = 714/2 \text{ cm}^3$$

$$1/65 = \frac{2000 + x}{714/2 + y}$$

چون چگالی آب برابر ۱ است نتیجه می گیریم وزن و حجم آن از نظر عددی یکی می باشد. پس برای تعیین حجم آب مورد نیاز داریم:

$$1/65 = \frac{2000 + y}{714/2 + y}$$

$$y = 1264 \text{ cm}^3 \text{ حجم آب مورد نیاز}$$