

فصل ۴

محاسبات در سرمایه‌یک



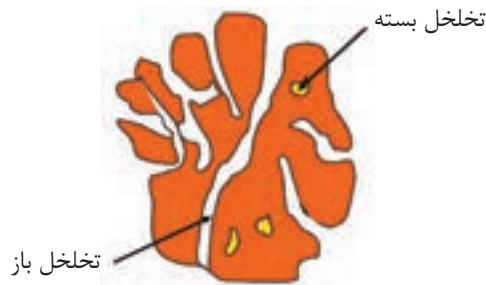
تخلخل در سرامیک‌ها

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 غیرممکن 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 فرّار 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^۱

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 سانتی‌متر مکعب است. (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.

$$V_b = (S - I) = \text{حجم کلی}$$

ب) حجم ظاهری^۱

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:

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

ج) حجم حقیقی^۲

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.

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، 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. (b)
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.

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 اندازه‌گیری می‌شود و با d نشان داده می‌شود.
با کمک از رابطه زیر دانسیته حقیقی به دست می‌آید.

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

D_L : دانسیته مایع

* نکته: به دانسیته حقیقی دانسیته پودر (ρ_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، واحد چگالی آن گرم بر سانتی‌متر مکعب (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:
$$\text{چگالی کلی} = \frac{\text{وزن قطعه در حالت خشک}}{\text{حجم کلی قطعه}} = \frac{D}{S - I}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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_1)، (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 ($V_b - V_1$)، 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 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 تخلخلها است. پس:

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

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

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

حال اگر این حجم را به حجم نمونه تقسیم کنیم و عدد حاصل را در ۱۰۰ 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: 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 $4 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times 2 \text{ cm}$ باشد، مقدار آبی را که این نمونه می‌تواند جذب کند، محاسبه کنید. (فرض کنید که تمام تخلخل‌های این قطعه باز باشند).

چگالی کلی و حقیقی این نمونه به ترتیب برابر $1/70 \text{ g/cm}^3$ و $2/40 \text{ g/cm}^3$ 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 17 cm^3 است. از اختلاف بین این دو 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، مقدار 7 cm^3 آب جذب نمونه خواهد شد.

مثال: وزن یک نمونه متخلخل برابر با $47/30 \text{ g}$ است. اگر این قطعه را وارد جیوه کنیم، 312 g جیوه جابه‌جا می‌شود. چگالی کلی این ماده را محاسبه کنید. (چگالی جیوه برابر با $13/60 \text{ g/cm}^3$)

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 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 نمی‌تواند وارد تخلخل‌های جسم شود، این مقدار برابر با حجم کلی نمونه است. پس می‌توان 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 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 گسترده تری از رابطه چگالی است و عبارت است از:

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

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.

$$\text{حجم پودر} = \frac{\text{وزن}}{\text{چگالی}} = \frac{16760 \text{ g}}{2/60 \text{ g/cm}^3} = 6446/15 \text{ cm}^3$$



نکته

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

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

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{(۱۶۷۶۰ + ۸۰۰۰)g}{(۶۴۴۶/۱۵ + ۸۰۰۰)cm^3} = ۱/۷۱g/cm^3$$

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

حل:

$$\text{حجم پودر} = \frac{\text{وزن پودر}}{\text{چگالی پودر}} = \frac{۲۰g}{۲/۶۲g/cm^3} = ۷/۶۳cm^3$$

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

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{(۲۰ + ۳۰)g}{(۷/۶۳ + ۳۰)cm^3} = ۱/۳۳g/cm^3$$

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

مثال: چه حجمی از آب را باید به ۵۰ g 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.

$$\rho = \frac{m}{v} \Rightarrow \text{حجم لعاب خشک} = \frac{۵۰g}{۲/۸۰g/cm^3} = ۱۷/۸cm^3$$

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

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

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

در صورتی که وزن و حجم آب لازم را به ترتیب 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. در نتیجه وزن و حجم آب از نظر عددی یکسان است، یعنی:

$$x = y \\ \Rightarrow ۱/۶۵ = \frac{۵۰ + y}{۱۷/۸ + y} \Rightarrow y = ۳۱/۷cm^3$$

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

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

حل:

ابتدا وزن دغاب 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 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:

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

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

با توجه به اینکه هر لیتر برابر با 1000 سانتی‌متر مکعب است، $\frac{15750}{1000} = 15.75 \text{ L}$ حجم آب مورد نیاز است پس باید این مقدار آب را به دغاب 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 خارجی و داخلی 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 را

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

گلوله‌هایی از 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، گلتیدن 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، سانتی‌متر مکعب، دسی‌متر 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 میلی‌متر و دارای طول داخلی ۲۲۰ سانتی‌متر 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 می باشد. 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 می توان از رابطه $\rho = \frac{m}{V}$ استفاده کرد که در آن m جرم، V حجم و ρ وزن مخصوص است.

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

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

$$\rho_{\text{آب}} = ۱g/cm^3 \Rightarrow \rho_{\text{آب}} = ۱ \times ۱۰۰۰ = ۱۰۰۰ \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \text{محاسبه سهمیه وزنی آب}$$

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

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

محاسبه سهمیه مواد اولیه:

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

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 می توان 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 می باشد. برای آشنایی با روش محاسبه مثالی آورده می شود.

مثال ۵: وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل ترسابی ۴۵۰ Kg می‌باشد. اگر وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل به تفکیک ۲۵۰ kg کائولین زدلیتز ۱۰۰ kg سیلیس همدان و ۱۰۰ kg فلدسپات چغایی بوده و حجم کل بال میل ۷۲۰ L باشد، درصد حجم اشغال شده توسط هر یک از مواد 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
۴۵۰ kg ۲۵۰	۱۸۰ L حجم کائولین زدلیتز $x=100 \text{ L}$
۴۵۰ kg ۱۰۰	۱۸۰ L حجم سیلیس همدان $x=40 \text{ L}$
۴۵۰ kg ۱۰۰	۱۸۰ L حجم فلدسپات چغایی $x=40 \text{ L}$
حجم بال میل به L ۷۲۰ ۱۰۰	حجم کائولین زدلیتز ۱۰۰ L درصد حجم کائولین زدلیتز $z=13/9 \%$
۷۲۰ L ۱۰۰	حجم سیلیس همدان ۴۰ L درصد حجم سیلیس همدان $z=5/6 \%$
۷۲۰ L ۱۰۰	حجم فلدسپات چغایی ۴۰ 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 $N_c = \frac{42}{\sqrt{d}}$ محاسبه می‌شود که در آن N_c سرعت بحرانی بر حسب rpm (دور بر دقیقه) و d قطر داخلی بال میل بر حسب متر است.

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

میلی‌متر $d = 1550 - (200 \times 2) = 1150$ قطر داخلی
متر $d = 1150 \div 1000 = 1/15$ قطر داخلی

$$N_c = \frac{42}{\sqrt{1/15}} = \frac{42}{1/0.72} = 39 \text{ rpm}$$

$$\text{سرعت دورانی مناسب} = \frac{65}{100} \times 39 = 25 \text{ rpm}$$

سرعت دورانی مناسب برای بال میل تر ساب

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

$$40 = \frac{42}{\sqrt{d}} \Rightarrow \sqrt{d} = \frac{42}{40} = 1/0.5 \Rightarrow d = (1/0.5)$$

قطر داخلی بال میل $d = 1/1 \text{ m} = 1100 \text{ mm}$

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