فصل اول

هدف‌های آماده‌سازی

هدف‌های رفتاری : از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :
۱ــ آماده‌سازی را تعریف کند.
۲ــ خواص فیزیکی مطرح در آماده‌سازی را توضیح دهد.
۳ــ خواص شیمیایی مطرح در آماده‌سازی را توضیح دهد.
۴ــ تأثیر آماده‌سازی بر بافت محصولات آماده‌سازی شده را توضیح دهد.

مقدمه

محصولات سرامیکی همانند دیگر محصولات صنعتی، در مراحل مختلفی ساخته می‌شوند. به عبارت دیگر، برای این‌که یک محصول سرامیکی ساخته شود، باید طی مراحل گوناگونی مواد اوّلیه را به محصول نهایی تبدیل کرد.

ساخت محصولات سرامیکی عمدتاً شامل موارد زیر می‌شود :

«آماده‌سازی»، «شکل‌دهی»، «خشک کردن»، « پخت بسکویت (برای محصولات دو پخت)»، «لعاب زدن»، «پخت لعابی»، «دکور و تزیین» و «پخت دکور».

اهمیت آماده‌سازی :

الف : بسیاری از شرایط و ویژگی‌هایی که یک محصول نهایی باید داشته باشد، وابسته به آماده‌سازی صحیح آن است. به عبارت دیگر، اگر آماده‌سازی مواد اوّلیه درست انجام شود، ویژگی‌های موردنظر در محصول نهایی حاصل شده و در غیر این صورت، محصولِ معیوب خواهیم داشت.

ب : انتخاب و نحوه‌ی به کارگیری مواد اوّلیه، در ساخت محصولات سرامیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در صورت انتخاب و به‌کارگیری صحیح مواد اوّلیه، مراحل بعدی نیز به درستی انجام خواهد پذیرفت، و چون خواص نهایی محصول تولیدی به نوع و کیفیت مواد اوّلیه وابسته است، درنتیجه انتخاب و نحوه‌ی درست استفاده از آن‌ها، مهم خواهد بود. معمولاً با در نظر گرفتن شرایط آماده‌سازی و همزمان با آن، انتخاب مواد اوّلیه صورت می‌پذیرد.

بنا به اهمیّتی که مرحله‌ی آماده‌سازی مواد اوّلیه و بدنه‌های سرامیکی در ساخت محصولات سرامیکی دارند و با توجه به این موضوع که انجام این مرحله از سطح بالای تخصّصی برخوردار است، بعضی از واحدهای تولیدی انحصاراً به امر آماده‌سازی می‌پردازند و بدنه‌های آماده را در یکی از سه شکل، دوغابی، گل اکسترود شده و گرانول تحویل کارخانه‌های دیگر می‌دهند.

۱ــ۱ــ تعریف آماده‌سازی

«ایجاد خواص و ویژگی‌های لازم و موردنیاز در مواد اوّلیه و آمیز محصولات سرامیکی که ادامه‌ی فرایند تولید آن‌ها را ممکن کرده و موجب کیفیت مطلوب در محصول می‌شود.»

برای به‌وجود آوردنِ خواص لازم و موردنیاز در بدنه‌ی سرامیکی، گاهی لازم است که بعضی از خواص موجود در برخی مواد اولیه را حذف کرده و پس از آن، خواص مطلوب را در بدنه‌ی مواد اوّلیه ایجاد کرد. بعضی از این خواص در مرحله‌ی آماده‌سازی مهم بوده و تعداد دیگری در مراحل بعدی اهمیت خواهند داشت. بنابراین باید در مرحله‌ی آماده‌سازی شرایطِ مناسب برای ایجاد آن خواص فراهم آید.

مجموعه‌ی خواص مهم مواد اوّلیه و بدنه‌های سرامیکی را در سه دسته طبقه‌بندی می‌کنند :

الف : خواص فیزیکی

ب : خواص شیمیایی

ج : بافت بدنه

۲ــ۱ــ خواص فیزیکی

خواص فیزیکی موردنظر برای بدنه‌های آماده‌سازی شده سرامیکی شامل موارد زیر است :

ــ **سختی** : سختی طبق تعریف عبارت است از : «مقاومت یک ماده در مقابل خراش و سایش را سختی آن ماده گویند.»

تمام مواد در مقابل خرد شدن و ریز دانه شدن به‌طور یکسان و مساوی از خود مقاومت نشان نمی‌دهند. با توجه به این که یک ماده‌ی سرامیکی که از معدن استخراج می‌شود، باید خرد و ریزدانه شود، مقاومت آن ماده در مقابل خردشدن، میزان انرژی و نوع سیستم و ماشین خردکننده تعیین می‌شود. سختی مواد اولیه یکی از ویژگی‌های موردنظر برای تعیین موارد ذکر شده است.

لازم به تذکر است که مواد از جهت سختی به سه دسته تقسیم می‌شوند :

الف ــ مواد نرم ب ــ مواد نیمه سخت ج ــ مواد سخت

نحوه‌ی خرد شدن مواد به نرمی، نیمه سختی یا سخت بودن آن‌ها بستگی دارد. دسته‌بندی سه گروه فوق بدین صورت انجام گرفته است :

الف) مواد نرم : موادی که دارای سختی بین ۱ تا ۳ هستند، نرم شناخته می‌شوند و شامل موارد زیر هستند :

مواد نرم با سختی ۱ ، (خانواده‌ی تالک) : تالک، کیک‌های فیلترپرس شده، سنگ صابون[۱].

مواد نرم با سختی ۲ ، (خانواده‌ی ژیپس) : سنگ گچ، سنگ نمک[۲].

مواد نرم با سختی ۳ ، (خانواده‌ی کلسیت) : ماربل، سنگ آهک نرم، باریت، گل سفید (کربنات کلسیم ناشی از بقایای جانوران دریایی).

ب) مواد نیمه سخت : موادی که سختی بین ۴ تا ۶ دارند، نیمه سخت شناخته می‌شوند و شامل مواد زیر هستند :

مواد نیمه سخت با سختی ۴ ، (خانواده‌ی فلوریت) : فلوریت (کلسیم فلوراید)، فسفات نرم، منیزیت، سنگ آهک.

مواد نیمه سخت با سختی ۵، (خانواده‌ی آپاتیت) : آپاتیت، فسفات سخت، سنگ آهک سخت، کرومیت، بوکسیت.

مواد نیمه سخت با سختی ۶، (خانواده‌ی فلدسپار) : فلدسپارها، ایلیمینیت، هورن بلند[۳].

ج) مواد سخت : موادی که دارای سختی بالاتر از ۷ باشند، سخت شناخته می‌شوند و شامل مواد زیر هستند :

مواد سخت با سختی ۷ ، (خانواده‌ی کوارتز) : کوارتز، گرانیت.

مواد سخت با سختی ۸، (خانواده‌ی توپاز) : توپاز

مواد سخت با سختی ۹ ، (خانواده‌ی کوراندوم) : کوراندوم، سافیر (زمرّد).

ـــ ***خلوص:*** بیشتر مواد اولیه‌ی سرامیکی، طبیعی بوده و از معدن استخراج می‌شوند، بنابراین، خالص نبوده و ناخالصی‌هایی همراه خود دارند. یکی از موارد اختلاف مواد با یکدیگر، میزان خلوص آن‌هاست. در نتیجه می‌توان تعریف خلوص و عیار یک ماده‌ی سرامیکی را چنین ارائه کرد :

«درصد وزنی مواد مطلوب در یک ماده اولیه سرامیکی.»

ـــ ***دانسیته یا جرم حجمی:*** سبک یا سنگین بودن یک ماده، یک امر نسبی است. به همین دلیل، سبک و یا سنگین بودن واحد حجم مواد در نظر گرفته می‌شود ؛ پس دانسیته یا جرم حجمی یک ماده چنین تعریف می‌شود :

۱ـ Soap stone ۲ـ Rock Salt ۳ـ Hornblend

«نسبت جرم یک ماده به حجم آن»، و چنین محاسبه می‌شود :

$$\rho \text{ (جرم حجمی)} = \frac{\text{m(جرم)}}{\text{V(حجم)}}$$

در صورتی که جرم حجمی یک ماده از جرم حجمی ماده‌ی دیگر بیشتر باشد، مفهوم آن این است که در حجم‌های مساوی از این دو ماده جرم یکی بیشتر از جرم دیگری است.

جرم حجمی را معمولاً با دو واحد گرم بر سانتی‌متر مکعب (g/cm^3) و کیلوگرم برمترمکعب (kg/m^3) اندازه‌گیری می‌کنند. جدول ۱ــ۱ جرم حجمی چند ماده‌ی اولیه‌ی سرامیکی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ــ۱ــ جرم حجمی (دانسیته) چند ماده‌ی اولیه‌ی سرامیکی

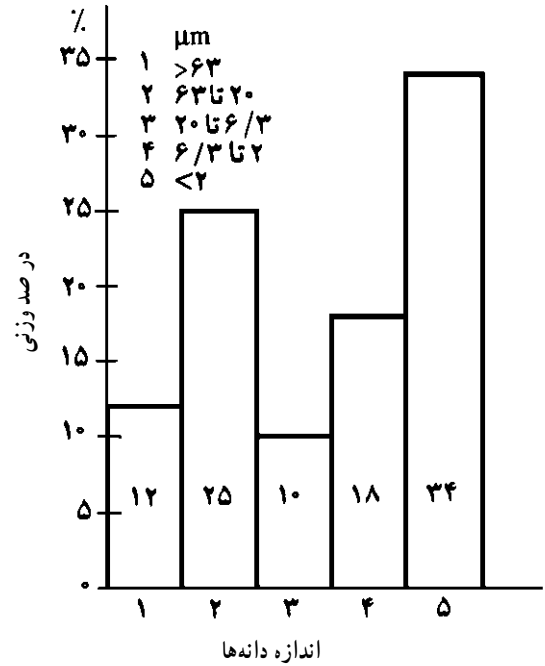
ماده‌ی اولیه	ترکیب شیمیایی	جرم حجمی (g/cm^3)
ژیپس	$CaSO_4\ 2H_2O$	۲/۴
آلبیت	$Na_2O\ AL_2O_3\ 6SiO_2$	۲/۶۱
آهک	CaO	۳/۳
روتایل	TiO_2	۴/۲۶
هماتیت	Fe_2O_3	۵/۲۵
کاربید تنگستن	WC	۱۵/۷

دانه‌بندی : مواد اوّلیه سرامیکی آماده شده به صورت پودر مصرف می‌شوند، میزان ریز بودن دانه‌های مواد پودری شکل، تأثیر عمده‌ای بر تعدادی از خواص نهایی محصول خواهد داشت ؛ طبق تعریف :

«دانه‌بندی یک مخلوط، اندازه‌ی دانه‌های موادی است که در آن آمیز موجود است.»

اندازه‌ی دانه‌های یک آمیز برحسب واحد طول بیان می‌شود. (واحدهایی هم‌چون سانتی‌متر، میلی‌متر و میکرون.)

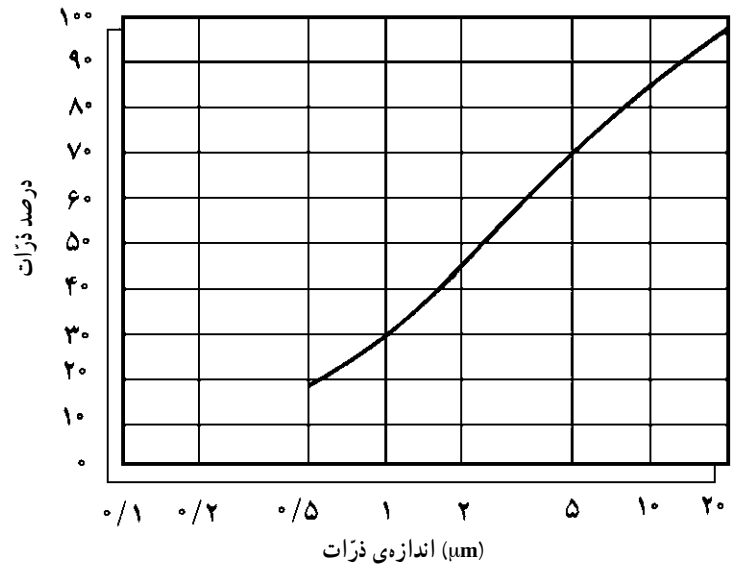
ــ توزیع دانه‌بندی : بدیهی است اندازه‌ی دانه‌های مواد اوّلیه، یکسان نبوده و به‌طور طبیعی با هم اختلاف دارند، در نتیجه نمی‌توان اندازه‌ی ثابتی برای دانه‌های یک آمیز اختصاص داد. در برخی از روش‌های اندازه‌گیری، توزیع دانه‌بندی در محدوده‌هایی از اندازه‌ی دانه‌ها اندازه‌گیری می‌شود، که در این حالت می‌توان محدوده‌ی توزیع دانه‌بندی را براساس شکل ۱ــ۱ نشان داد.



شکل ۱ــ۱ــ یک نمودار برای نشان دادن توزیع دانه‌بندی ذرّات مواد اوّلیه سرامیکی

در نمودار بلوکی شکل ۱ــ۱، محدوده‌ای از اندازه‌ی دانه‌ها در هر یک از ستون‌های ۱، ۲، ۳ و ... نشان داده شده است. ارتفاع این ستون‌ها، درصد وزنی هر یک از محدوده‌ی اندازه‌ها را که مجموع آن‌ها ۱۰۰ درصد می‌باشد، نشان می‌دهد. به عنوان مثال، دانه‌هایی که اندازه‌ی آن‌ها بین ۲µm تا ۶/۳ قرار دارد (ستون ۴)، ۱۸٪ وزنی کل آمیز است.

در منحنی شکل ۲ــ۱، محور افقی، اندازه‌ی ذرّات و محور عمودی درصد ذرّات را نشان می‌دهد. به عنوان مثال: (در این منحنی)، اندازه‌ی ۸۰٪ ذرّات یک نمونه از ماده سرامیکی، کوچک‌تر از ۸µm است.



شکل ۲ــ۱ــ یک نمونه از منحنی توزیع دانه‌بندی

ــ **سیّالیّت** : وقتی که آتشفشانی فوران می‌کند، گدازه‌های مذابی از آن خارج می‌شود. در ابتدای حرکت، گدازه‌ها با سرعت زیادی به طرف پایین حرکت می‌کنند. پس از مدّتی که مذاب سردتر شد، سرعت حرکت آن نیز کُندتر می‌شود، تا جایی که به حالت جامد درآمده و متوقّف می‌شود. خاصیتی که سرعت سیال را بیان می‌کند، سیّالیّت نام دارد.

به عبارت دیگر، خاصیتی از یک دوغاب که موجب می‌شود دوغاب جریان یافته و به نقاط مختلف یک محفظه (قالب) راه یافته و یا نفوذ کند، و نقاط خالی از دوغاب ایجاد نشود، سیّالیّت دوغاب نامیده می‌شود.

سیّالیت یک دوغاب با نسبت ذرّاتِ جامد موجود در آن، نسبت معکوس دارد. به این معنا که هر قدر میزان ذرّاتِ جامد در یک دوغاب زیاد باشد، سیّالیّت دوغاب کم بوده و بالعکس هرقدر میزان ذرّات جامد در دوغاب کم باشد، سیّالیّت و روان بودن آن دوغاب زیاد خواهد بود.

به علّت آن‌که اندازه‌گیری سیّالیّت یک دوغاب به سادگی امکان‌پذیر نیست، و باید در یک آزمایشگاه آن‌را اندازه‌گیری کرد، معمولاً به جای آن از خاصیتی به نام «غلظت دوغاب» استفاده می‌شود. طبق تعریف، غلظت دوغاب «میزان ذرّات جامد تشکیل‌دهنده‌ی یک دوغاب» است. بدیهی است که دوغاب غلیظ‌تر، دوغابی است که ذرّات جامد در آن زیادتر باشد.

با توجه به گفته‌های قبل، سیّالیّت با غلظت یک دوغاب نسبت عکس دارد ؛ یعنی :

هر چه دوغابی غلیظ‌تر باشد، سیّالیّت آن کمتر است، و بالعکس هر چه دوغابی دارای غلظت

کمتر باشد، سیّالیّت آن بیشتر است. به‌طور خلاصه می‌توان چنین گفت :

$$\text{سیّالیّت (روان بودن) یک دوغاب} \propto \frac{1}{\text{غلظت دوغاب}}$$

ــ **ویسکوزیته** : عسل و آب چه تفاوت‌هایی با هم دارند؟ آیا عسل را به راحتی آب، می‌توان از ظرفی به ظرفِ دیگر منتقل کرد و یا به عبارت دیگر، آیا زمان ریزش یک مقدار مساوی از عسل و آب با هم برابر است؟ چگونه می‌توان بین موادی هم‌چون عسل و آب فرق گذاشت؟

ویسکوزیته خاصیتی از یک سیّال است که پدیده‌ی فوق را بیان می‌کند. طبق تعریف، ویسکوزیته عبارتست از مقاومت یک سیال در برابر جاری شدن، و ویسکوزیته عکس سیّالیّت است. بدین ترتیب، اگر سیّالی به راحتی روان شود (یعنی سیّالیّت آن زیاد باشد)، ویسکوزیته‌ی آن کم بوده و در صورتی که به سادگی جاری نشود (یعنی سیّالیّت آن کم باشد) ویسکوزیته سیّال زیاد است. در نتیجه ویسکوزیته‌ی یک دوغاب، عامل مهمّی برای بیانِ روان بودنِ آن دوغاب است.

به نظر شما ویسکوزیته‌ی یک دوغاب بیشتر است یا آب؟ پس از پاسخ دادن به این سؤال آیا می‌توان نتیجه گرفت که با ثابت بودنِ سایر پارامترها، غلظت یک دوغاب با ویسکوزیته‌ی آن نسبت مستقیم دارد؟ چگونه؟

ــ **پلاستی‌سیته** : «پلاستی‌سیته، خاصیتی است که ماده‌ای را قادر می‌سازد تا بر اثر اِعمال نیروهای خارجی بدون این‌که گسیخته شود، تغییر شکل داده و پس از حذفِ کاملِ نیرو[1]، شکل ایجاد شده، بدون تغییر حفظ شود.» به عنوان مثال مواد رسی دارای چنین خاصیتی می‌باشند و مواد غیرپلاستیک (سیلیس، فلدسپار و ...) این خاصیت را ندارند.

پلاستی‌سیته‌ی یک بدنه، عامل مهمّی در شکل دادن قطعات سرامیکی است. در اهمیّت پلاستی‌سیته همین بس که در چین باستان، برای افزایش پلاستی‌سیته‌ی گل، آن را برای چند ده سال در زیر خاک نگهداری کرده و برای نوادگان خود به میراث می‌نهادند.

ــ **عاری بودن از هوا** : بدیهی است، هر چه بیشتر یک بدنه‌ی آماده‌سازی شده، عاری از حباب‌های هوا باشد، از این بدنه خواص فیزیکی، به‌ویژه پلاستی‌سیته‌ی بهتری انتظار می‌رود.

ــ **کارپذیری** : ماده‌ی کارپذیر در فرایند شکل‌دهی پلاستیک، به راحتی می‌تواند شکل موردنظر را قبول کند. خاصیت پلاستی‌سیته عاملی است که کارپذیری مواد را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به نحوی که هر چه پلاستی‌سیته بیشتر باشد، کارپذیری نیز بیشتر است.

ــ **میزان رطوبت** : پس از خشک کردن قطعات شکل داده شده به روش ریخته‌گری دوغابی

۱ــ برای تعریف دقیق‌تر و علمی پلاستی‌سیته، افزودنِ عبارت زیر لازم و ضروری است :... حذفِ کاملِ نیرو، و یا کاسته‌شدنِ تا مقدار معین، شکل ایجاد شده،...

یا روش پلاستیک، کاهش وزنی مشاهده می‌شود که ناشی از خروج رطوبت قطعه می‌باشد. مقدار این کاهش وزن را با میزان رطوبت قطعه بیان می‌کنند.

مقدار آب موجود در مواد اولیه سرامیکی یا بدنه، نسبت به کلّ وزن آن را میزان رطوبت بدنه گویند و میزان رطوبت را با درصد نشان می‌دهند.

تعیین میزان رطوبت در بدنه‌های سرامیکی، اهمیت ویژه‌ای در شکل دادن محصولات و قطعات دارد.

ـ **یکنواختی (هموژن بودن)** : لازم است که هر آمیز سرامیکی، در تمام نقاط، خواص یکسانی از خود نشان دهد. این ویژگی را به اختصار می‌توان چنین تعریف کرد :

«یکسان و یکنواخت بودن خواص یک آمیز در تمام نقاط آن را همگنی گویند».

بنابراین، یک آمیز سرامیکی را هنگامی همگن گویند که خواص تمام نقاط آن، یکسان باشد.

ـ **انقباض خشک** : میزان کاهش ابعاد قطعات سرامیکی پس از خشک شدن را انقباض خشک گویند.

افزایش انقباض خشک یکی از عوامل ایجاد عیوبی نظیر ترک خوردن، تاب برداشتن و تغییر شکل یک بدنه‌ی سرامیکی پس از خشک کردن می‌باشد.

ـ **سرعت ریخته‌گری** : سرعت تشکیل جداره‌ی یک قطعه سرامیکی را سرعت ریخته‌گری گویند. این خاصیت، سرعت تولید قطعات ریخته‌گری را در واحد زمان تعیین می‌کند. به این مفهوم که هر چه سرعت ریخته‌گری قطعات سرامیکی زیاد باشد، تولید قطعه در زمان کوتاه‌تر انجام می‌شود.

ـ **استحکام** : مقاومت یک جسم در مقابل اعمال بار[1] را استحکام گویند. در صنعت سرامیک، استحکام یک محصول سرامیکی را معمولاً در سه حالت اندازه‌گیری می‌کنند :

استحکام در حالت خام، خشک و پخت.

استحکام درحالت خام یا استحکام خام یک قطعه‌ی سرامیکی، مقاومت یک قطعه‌ی شکل‌داده قبل از خشک شدن است.

استحکام در حالت خشک یک قطعه‌ی سرامیکی، مقاومت یک قطعه‌ی شکل داده شده و خشک شده، قبل از پخت است.

استحکام پخت یک قطعه‌ی سرامیکی، مقاومت یک قطعه پس از پخت است. لازم به یادآوری است، استحکام پس از پخت تابع دمای پخت تغییر می‌کند.

ـ **تخلخل** : حفره‌های موجود بین ذرات تشکیل‌دهنده‌ی بدنه را تخلخل گویند. هرچه

۱ـ شامل نیروهای کششی، فشاری و خمشی

تخلخل یک جسم کم‌تر باشد، آن جسم متراکم‌تر است.

ــ **جذب آب** : مقدار آبی را که توسط یک بدنه‌ی پخته شده جذب می‌شود، میزان جذب آب گویند. هر قدر یک بدنه از تراکم بیشتری برخوردار باشد، جذب آب آن کمتر خواهد بود.

ــ **انقباض پخت** : انقباض یک بدنه‌ی خشک شده پس از پخت نهایی را انقباض پخت گویند. انقباض پخت تابع دمای پخت تغییر می‌کند.

ــ **انقباض کل** : انقباض یک بدنه‌ی خام، پس از پخت نهایی را انقباض کل گویند.

ــ **مدول گسیختگی (استحکام خمشی خام)** : معیاری جهت سنجش مقاومت خمشی یک قطعه‌ی سرامیکی در مقابل شکستن است.

ــ **رنگ پس از پخت** : رنگ یک قطعه‌ی سرامیکی را پس از پخت گویند.

ــ **انبساط حرارتی** : انبساط ماده را بر اثر افزایش دما گویند. (انبساط طولی یا حجمی در اثر افزایش دما را به ترتیب انبساط حرارتی طولی و انبساط حرارتی حجمی آن ماده گویند.)

ــ **نیمه شفافیت (ترانسلوسنسی)** : میزان عبور نور از یک قطعه‌ی با قابلیت عبور نور را نشان می‌دهد. هر چه میزان عبور نور بیشتر باشد، شفافیت قطعه بیشتر خواهد بود.

ــ **ترانسپارنتی** : مواد با میزان عبور نور زیاد را ترانسپارنت گویند، (مثل شیشه‌ی پنجره) و این خاصیت ترانسپارنتی نامیده می‌شود.

۳ــ۱ــ خواص شیمیایی

خواص شیمیایی بدنه‌های سرامیکی، شامل موارد زیر است :

ــ **آنالیز شیمیایی** : خاصیت مهمّی که یک سرامیست برای ارزیابی و کار با مواد اوّلیه سرامیکی باید به آن بپردازد، آنالیز شیمیایی مواد اوّلیه سرامیکی است.

در آنالیز شیمیایی یک ماده اوّلیه سرامیکی معمولاً مقدار اکسیدهای زیر تعیین می‌شود :

Na_2O ، K_2O، Mgo، CaO، TiO_2، Fe_2O_3، Al_2O_3، SiO_2 و افت حرارتی.

از بین اکسیدهای موجود در یک ماده‌ی اولیه، برخی مطلوب و برخی نامطلوب (ناخالصی) هستند. برای مثال TiO_2 و Fe_2O_3 در مواد اولیه‌ی سرامیک به عنوان ناخالصی تلقی می‌شوند.

ــ **pH** : مقدار اسیدی و یا قلیایی بودن مواد اوّلیه یا آمیز آماده‌سازی شده را نشان می‌دهد.

ــ **نمک‌های محلول** : نشان‌دهنده‌ی میزان نمک‌های محلول در آمیزهای سرامیکی آماده‌سازی شده است. نمک‌های محلول مانند $CaSO_4$ (حلالیت در آب حدود ۸g/l) و NaCl (حلالیت در آب حدود ۳۵۰g/l)

ــ **سختی آب** : میزان کاتیون‌های کلسیم (Ca^{++}) و منیزیم (Mg^{++}) موجود در آب را نشان

می‌دهد.

ــ **تعویض یونی**[1] : تعویض بعضی از یون‌های موجود در ساختمان رسی‌ها مانند Mg^{2+} و Ca^{2+} با یون‌هایی نظیر Na^{+} و K^{+} تبادل یونی یا کاتیونی نامیده می‌شود.

۴ــ۱ــ بافت بدنه

در بافت بدنه‌های سرامیکی، رفتارهای زیر مشاهده می‌شود :

ــ **جهت‌گیری ترجیحی ذرّات**[2] : رسی‌ها به دلیل شکل خاصی که دارند (ذرّات صفحه‌ای شکل) در راستای نیرو به طور موازی جهت‌گیری می‌کنند. به این نحوه از آرایش ذرّاتِ رسی، جهت‌گیری ترجیحی اتلاق می‌شود (شکل ۳ــ۱).

a) قبل از شکل‌دهی　　b) بعد از شکل‌دهی

شکل ۳ــ۱ــ جهت‌گیری ذرّاتِ رُسی در قطعاتی که به روش پلاستیک شکل داده شده‌اند.

ــ **حافظه‌ی گل**[3] : هرگاه قطعه‌ای از یک گِل رسی در حالت پلاستیک، در خلال شکل‌دهی تحت اثر نیرو تغییر شکل یافته باشد، این قطعه تمایل دارد پس از حذف نیروی شکل‌دهنده به حالت اوّلیه خود باز گردد. این پدیده می‌تواند خود را پس از خشک شدن یا پخت با ایجاد تغییر شکل در قطعه نشان دهد.

به‌طورکلّی برای آماده‌سازی آمیزهای سرامیکی می‌توان سه نوع اقدام بدین شرح انجام داد :

الف : حذف و زدودن بعضی از مواد مضّر موسوم به ناخالصی‌ها[4] از مواد اوّلیه.

مانند : آهن و ترکیبات آن، ترکیبات تیتانیوم، کربنات کلسیم، نمک‌های محلول، اکسیدهای رنگی و عناصر قلیایی که برای کاهش هر کدام از این ناخالصی‌ها روش مناسبی به‌کار برده می‌شود.

ب : اضافه کردن و افزودن بعضی از مواد مفید، موسوم به افزودنی‌ها[5]، برای احراز یا بهبود برخی از خواص.

۱ــ Ion Exchange　　۲ــ Prefered Orientation　　۳ــ Clay Memory

۴ــ Impurities　　۵ــ Additives

مانند : روان‌سازها، لخته‌کننده‌ها، چسب‌ها، روان‌کننده‌ها، پلاستی سایزرها، عوامل تسریع‌کننده‌ی خشک شدن قطعات سرامیکی، کف‌سازها و ضد کف که هر کدام به تناسب به مقدار و در زمان مناسب اضافه می‌گردند.

ج : انجام عملیات لازم.

شامل کلسیناسیون، خردایش، تهیه دوغاب، آماده‌سازی گل پلاستیک و آماده‌سازی پودر مناسب پرس.

سؤالات

۱ــ چرا آماده‌سازی مواد اوّلیه اهمیت دارد؟
۲ــ مواد اوّلیه سرامیکی به چند شکل آماده‌سازی می‌شوند؟
۳ــ اهمیت سختی یک ماده سرامیکی در چیست؟
۴ــ دانه‌بندی را تعریف کنید.
۵ــ اهمیت سیّالیت یک دوغاب به هنگام ریخته‌گری در چیست؟
۶ــ کارپذیری یک بدنه سرامیکی برای چه نوع از شکل‌دهی اهمیت دارد؟
۷ــ ایجاد تغییر شکل پس از شکل دادن قطعات سرامیکی، ناشی از کدام رفتار بدنه‌های سرامیکی است؟

فصل دوم

ناخالصی‌های مواد اولیه

هدف‌های رفتاری : از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :
۱ــ انواع ناخالصی‌های موجود در مواد اوّلیه سرامیکی را نام ببرد.
۲ــ منابع ناخالصی را نام ببرد.
۳ــ اثر ناخالصی‌های موجود در مواد اوّلیه سرامیکی را در خواص بدنه‌ها تشخیص دهد.

مقدمه

همان‌گونه که در درسِ مواد اوّلیه خوانده‌اید، مواد اوّلیه‌ی ساخت محصولات سرامیکی به‌صورت طبیعی و معدنی بوده و از معادنِ خاصی، استخراج و تهیّه می‌شوند. این نوع مواد به‌صورت خالص و عاری از مواد ناخالصی به ندرت یافت می‌شوند و در صورتِ یافتنِ آن‌ها به صورتِ خالص، مقدار آن‌ها بسیار کم و ناچیز خواهد بود، به نحوی که استخراج آن‌ها غیراقتصادی است.

بنابراین، مواد اوّلیه سرامیکی، همگی ناخالصی داشته و فرق آن‌ها در مقدار ناخالصی‌ها و درصد و خلوص مواد اصلی است. به عبارت دیگر، مقدار ناخالصی‌های موجود در یک ماده‌ی معدنی، بیانگر کیفیتِ آن ماده‌ی موردنظر است و می‌توان مواد معدنی مختلف را با این معیار نسبت به هم مقایسه کرده و سنجید[1].

۱ــ به عنوان مثال : دو نوع کائولین از معادنِ زنوز و قره‌آغاج را به شرح زیر با هم مقایسه می‌کنیم :

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	L.O.I
کائولین زنوز	۷۵	۱۵/۵	۰/۴	۰/۰۵	۱/۱	۰/۲۵	۰/۰۵		۶/۷

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	L.O.I
کائولین قره آغاج	۵۶/۳۵	۲۹/۶۱	۱/۴۱	۱/۷۵	۰/۴۶	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۸۴	۹/۱۵

چنانچه دیده می‌شود، میزان Al_2O_3 که معیاری برای یک کائولین خوب است، در کائولین قره‌آغاج بیشتر است و نیز مقدار TiO_2 و Fe_2O_3 که معیاری برای یک کائولین نامرغوب است، در کائولین قره‌آغاج نیز بیشتر است.

قبل از آن‌که روش‌های مختلف حذف ناخالصی‌ها را بیان کنیم، لازم است تعریفی از این نوع مواد ارائه کنیم :

«کلیه موادی که به نحوی باعث کاهشِ خلوص مواد اوّلیه شوند، ناخالصی نامیده می‌شوند.»

برای این‌که به نحوه‌ی کاهش ناخالصی و بهبود کیفیت مواد بپردازیم، لازم است که این ناخالصی‌ها را شناخته و در ادامه‌ی بحث با انواع و تأثیر آن‌ها بر کیفیت محصولات سرامیکی آشنا شویم.

۱ــ۲ــ انواع ناخالصی‌ها

۱ــ۱ــ۲ــ آهن و ترکیبات آن : یکی از ناخالصی‌های عمده در مواد اولیه‌ی سرامیکی، آهن و ترکیبات آن است. Fe به سه شکل زیر ممکن است در مواد اولیه‌ی سرامیکی موجود باشد.

ــ ***آهن آزاد :*** در حین عملیات استخراج و معدن‌کاری مواد اوّلیه سرامیکی ممکن است، قطعات بزرگ آهن همچون مهره‌ها، پیچ‌ها، زنجیرها و ... به داخل این مواد اوّلیه وارد شوند. ممکن است در خلال عملیات خردایش و سایش (سنگ‌شکنی و آسیاب کردن)، ذرات آهن وارد موادّ اوّلیه شوند. همچنین احتمال دارد در خلال عملیات فرآوری و ساخت محصولات سرامیکی، به علت مسائلی نظیر زنگ‌زدگی لوله‌های باد و آب، ذرّات بسیار ریز اکسید آهن وارد مواد اوّلیه شود.

ــ ***به صورت یک جزء شیمیایی در کانی رسی و دیگر کانی‌ها :*** مانند اکسیدهای آهن شامل فرّو(اکسید آهن دو ظرفیتی Feo) و اکسید فریک (اکسید آهن سه ظرفیتی Fe_2o_3)، سولفیدهای آهن (پیریت) و سولفات‌های آهن. با توجّه به این‌که حذف کامل و صددرصد ناخالصی‌ها، از جمله ناخالصی‌های Fe و ترکیبات آن ممکن نیست، بنابراین، باید حدّ مجازی برای وجود آن‌ها تعیین شود. این حدّ مجاز در استاندارد مربوط به هر یک از بدنه‌های سرامیکی آورده شده است.

ــ ***جایگزین شدن در شبکه‌ی کریستالی:*** به عنوان مثال در کائولینیت به جای آلومینیم موجود در شبکه‌ی ژیپسیت، آهن قرار گیرد.

نقش ناخالصی‌های آهن و ترکیبات آن در بدنه‌های سرامیکی: به‌طورکلّی وجود Fe و ترکیبات آن در بدنه‌های سرامیکی باعث به‌وجود آمدن دو پدیده‌ی زیر می‌شود :

ــ دمای پخت بدنه را کاهش می‌دهد.

ــ باعث کدر شدن رنگ بعد از پخت بدنه می‌شود.

این دو پدیده در تولید آجرهای ساختمانی و محصولات مشابه (همانند محصولات سفالی) مفید است، زیرا ایجاد رنگ زرد و یا قرمز، اغلب از نظر ظاهر زیبا و مطلوب است و همچنین باعث

کاهش دمای پخت بدنه و صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌شود، لذا برای تولید آجر و محصولات مشابه از مواد رسی که دارای ترکیبات آهن زیادی هستند، استفاده می‌شود.

Fe و ترکیبات آن، رنگ بدنه‌های سفید پخت (چینی مظروف) را کدر می‌کند و دمای کاربرد بعضی از دیرگدازها (نسوزهای آلومینایی) را پایین می‌آورد.

میزان اکسید آهن در چینی استخوانی عامل کنترل‌کننده‌ی جذب نور بوده به نحوی که میزان زیادتر اکسیدآهن شفّافیت چینی استخوانی را کاهش می‌دهد.

۲ــ۱ــ۲ــ ترکیبات تیتانیم : اکسید تیتانیم (TiO_2) به شکل روتایل و آناتاز درمواد اوّلیه سرامیکی، خصوصاً در مواد رسی وجود دارد.

عمده مشکل و عیبی که ترکیبات تیتانیم در محصولات سرامیکی ایجاد می‌کنند، تیره کردن رنگ سفید این محصولات پس از پخت است.

گرچه اکسید تیتانیم به خودی خود دارای رنگ سفید است، امّا بر شدّت رنگ اکسیدهای فلزی به‌ویژه اکسیدهای آهن می‌افزاید.

هنگامی که ترکیبات تیتانیم به‌عنوان یک ناخالصی در مواد اوّلیه سرامیکی ظاهر می‌شود، این مواد افت کیفیت پیدا می‌کنند.

۳ــ۱ــ۲ــ کربنات کلسیم : کربنات کلسیم به صورت کانی کلسیت (با فرمول $CaCO_3$) در سنگ آهک، ماربل و گچ و همچنین به عنوان یک جزء عمده و اصلی در مارل‌ها (مخلوط مواد رسی و سنگ آهک) وجود دارد.

وجود ذرّات درشت کربناتِ کلسیم، در بدنه‌های سرامیکی می‌تواند بنابه دلیل زیر بسیار مضّر باشد :

در خلال پخت بدنه‌های سرامیکی، کربنات کلسیم طبق فرمول زیر به دی‌اکسیدکربن (CO_2) و اکسیدکلسیم (CaO) یا آهک زنده تبدیل می‌شود :

$$CaCO_3 \xrightarrow{\text{حرارت}} CO_2\uparrow + CaO$$

در این حالت، دی‌اکسیدکربن از بدنه خارج شده و اکسید کلسیم در بدنه باقی می‌ماند. بنابراین آهک زنده (CaO) در تماس با رطوبت یا آب تبدیل به هیدروکسیدکلسیم ($Ca(OH)_2$)خواهد شد که همراه با آزاد کردن گرما بوده در نتیجه باعث انبساط بدنه می‌شود. در صورتی که ذرّات آهک درشت باشند، (درابعاد میلی‌متر که در خلال عملیاتِ آماده‌سازی مواد رسی آسیاب نشده باشد.) ممکن است سطح بدنه را خُرد کنند (نظیر آلوئک در آجر)، در صورتی که ذرّات آهک کوچک باشند، (حتّی اگر به‌طور یکنواخت هم در مواد رسی مخلوط شده باشد) باعث ترک خوردن و شکافِ بدنه می‌شوند.

۴ــ۱ــ۲ــ نمک‌های محلول: بعضی از نمک‌های محلول معمولاً در مواد اولیه‌ی سرامیکی (فرآوری نشده) وجود دارند به نحوی که آماده‌سازی دوغاب‌های ریخته‌گری را با مشکل مواجه می‌کنند.

نمک‌های محلول موجود در مواد اوّلیه سرامیکی عبارت‌اند از :

سولفات کلسیم، سولفات منیزیم، سولفات آلومینیم، سولفات آهن، سولفاتِ پتاسیم و سولفاتِ سدیم.

وجود نمک‌های محلول، آثار سوءِ زیر را در محصولات سرامیکی بر جای می‌گذارند :

ــ ایجاد پدیده‌ی شوره زدن،(مثلاً روی کاشی)

ــ ایجاد پدیده‌ی رسوبِ نمک روی سطح قطعه، (بعد از گذشت زمان)

ــ ایجاد پدیده‌ی ذوب موضعی.

زمانی که نمک‌های محلول در قطعاتِ شکل داده شده وجود داشته باشند، تمایل دارند همراه آبی که به هنگام خشک شدن از قطعه خارج می‌شود، به سطح رویی قطعه بیایند و همان‌طور که آب تبخیر می‌شود، نمک‌ها رویِ سطح قطعه باقی می‌مانند. در خلال پروسه‌ی پخت، تجمّع نمک‌ها به عنوان یک کمک ذوب موضعی، باعث ایجاد ذوب موضعی می‌شود. نمک‌هایی که در خلالِ پروسه‌ی خشک شدن به سطح قطعه‌ی خام نمی‌آیند، چنین آثاری را در خلال‌تر شدن و خشک شدن مجدّد قطعات پخته شده (پس از پخت) از خود نشان می‌دهند و آثار مشابهی از رسوبِ نمک در سطح قطعه (علی‌الخصوص در آجرها) پدیدار می‌شود.

۵ــ۱ــ۲ــ اکسیدهای رنگی: اکسید فلزاتی همچون کروم، منگنز، مس، تیتانیم، منیزیم و آهن که در مواد اوّلیه سرامیکی وجود دارند، باعث تغییر رنگ سفید بدنه شده و بدنه‌های تیره و کدر تولید می‌کنند. بسته به میزان اکسیدهای فلزی در مواد اوّلیه سرامیکی، شدّت تیرگی بدنه‌ها متغیّر خواهد بود و به مقدار قابل ملاحظه‌ای دمای پخت بدنه کاهش می‌یابد.

۶ــ۱ــ۲ــ عناصر قلیایی: عناصر قلیایی و ترکیبات آن‌ها در پایین آوردن دمای پخت بدنه، نقش اصلی را ایفاء می‌کنند و پایین آمدن نقطه‌ی ذوب بدنه، میزان شیشه‌ای شدن یک قطعه‌ی سرامیکی را افزایش می‌دهد. شیشه‌ای شدن یک قطعه آثارِ زیر را به دنبال دارد، بنابراین وجود این عناصر، از اهمیتِ خاصی برخوردار است :

ــ کاهش میزان تخلخل بدنه

ــ کاهش میزان جذب آب بدنه

ــ کاهش انبساط حرارتی

به خاطر اهمیت این عناصر، اطلاع از میزان آن‌ها در آنالیز شیمیایی مواد اولیه لازم است و میزان مجاز برای بدنه‌های مختلف می‌بایست ارائه شود. به‌طور مثال در آمیز بدنه‌های پرسلانی

مجموع قلیایی‌ها کم‌تر از ۱/۵ درصد می‌باشد.

۷ــ۱ــ۲ــ ناخالصی‌های کائولین : کائولینی که از معادن مختلف استخراج می‌شود، قبل از تصفیه و تغلیظ دارای ناخالصی‌های زیر است :

ــ کوارتز (عمدتاً به صورت کوارتز آزاد)
ــ میکای سدیم‌دار (پاراگونیت)
ــ میکای پتاسیم‌دار (موسکویت)
ــ آهن و ترکیبات آن (عمدتاً Fe_2O_3 به شکل هماتیت)
ــ اکسید تیتانیم (عمدتاً به شکل روتایل)
ــ ترکیبات کلسیم (شامل : کربنات کلسیم و آهک)
ــ ترکیبات منیزیم (شامل : کربنات منیزیم و اکسید منیزیم)
ــ مونت‌موری‌لونیت
ــ فلدسپار

علاوه بر آثار سویی که هر یک از ناخالصی‌های بحث شده در موضوعات ۱ــ۱ــ۲ تا ۶ــ۱ــ۲ در بردارند، بقیّه‌ی ناخالصی‌های کائولین دارای آثار سوء زیر هستند :

ــ ***مونت‌موری‌لونیت*** : از آن‌جا که این کانی یک ماده‌ی رسی منبسط شونده بوده و این موضوع به علّت جذب آب در شبکه‌ی ساختمانی این کانی است، بنابراین، وجود این ماده در کائولین، به ترتیب ویسکوزیته و زمان پرس کردن را تغییر می‌دهد. (یعنی آن‌ها را از حدّ مجاز، خارج می‌سازد.)

وجود حتی ۱٪ از این کانی، می‌تواند در فرآیند ریخته‌گری دوغاب، تأثیر عمده‌ای برجای گذارد زیرا دارای انقباض خشک بالایی است. بنابراین، مقدار زیاد این ماده، باعث ایجاد معایبی در حین خشک شدن بدنه می‌شود.

ــ ***کربنات کلسیم و منیزیم*** :این مواد باعث عدم روان‌سازی دوغاب و در نتیجه کاهش پلاستی‌سیته‌ی مواد اولیه می‌شوند.

ــ ***موسکویت (یا میکای پتاسیم‌دار)*** : با توجه به ساختمان ورقه‌ای شکل موسکویت، پدیده‌ی لایه لایه شدن و جهت‌گیری ترجیحی ذرّات مواد رسی در اکستروژن افزایش می‌یابد.

۸ــ۱ــ۲ــ ناخالصی‌های بال کلی : با توجّه به یکسان بودن منبع تشکیل بال‌کلی وکائولین، ناخالصی‌های کائولین می‌تواند در بال کلی نیز یافت شود. و با توجه به تفاوت تشکیل بال کلی نسبت به کائولین، که بال کلی در زمین‌های باتلاقی و مردابی به‌وجود می‌آیند ناخالصی‌هایی مانند ترکیبات آلی (که از بقایای جانداران و گیاهان منشأ گرفته) و آهن به صورت عمده در آن‌ها یافت می‌شوند. وجود مواد آلی تأثیرات مثبت و منفی در بال کلی‌ها برجای می‌گذارد :

تأثیر مثبت : مواد آلی موجود در افزایش پلاستی‌سیته‌ی خاک، مفید است. همچنین مواد آلی در بال کلی‌ها، به عنوان عامل روانساز (دفلوکولانت) در دوغاب عمل کرده و به بدنه استحکام خام می‌بخشد.

تأثیر منفی: با توجه به ضرورت سوختن مواد آلی و واکنش آن‌ها با اکسیژن و کند بودن نفوذ اکسیژن و خروج گاز دی‌اکسیدکربن (محصول احتراق مواد آلی) از بدنه‌های در حال پخت، مجبوریم زمان بیش‌تری صرف کنیم تا اجازه‌ی سوختن مواد آلی و خروج محصول واکنش داده شود.

$$C+O_2 \longrightarrow CO_2\uparrow$$

در صورت عدم سوختن کامل مواد آلی فرآیند احیا باعث می‌شود تا ترکیبات آهن موجود، باعث تیرگی بدنه شود. در این صورت عیوبی نظیر مغز سیاه و بادکردگی بدنه و سوزنی شدن لعاب، ایجاد می‌شوند. لازم به توضیح است در صورت عدم احتراق کامل ترکیبات آلی، اکسید آهن دو ظرفیتی (FeO) موجود در بدنه به اکسید آهن سه ظرفیتی (Fe_2O_3) تبدیل می‌شود. با توجه به این‌که FeO فازی دیرگداز ولی Fe_2O_3 فازگدازآور است، عدم احتراق کامل مواد آلی باعث کاهش دمای پخت بدنه خواهد شد.

به دلیل وجود سولفات در بال کلی‌ها که در هنگام پخت به دی‌اکسید گوگرد (SO_2) و تری‌اکسیدگوگرد (SO_3) تبدیل می‌شود، عیوبی نظیر سوزنی روی لعاب ایجاد می‌شود.

۹ــ۱ــ۲ــ ناخالصی‌های سیلیس : سیلیس‌هایی که از معادن مختلف استخراج می‌شوند، دارای ناخالصی‌های زیر هستند :

ــ آهن و ترکیبات آن
ــ عناصر قلیایی و قلیایی خاکی و ترکیبات آن‌ها
ــ ناخالصی سطحی سنگ‌های معدنی کوارتز (سنگ آهک)

جدول (۱ــ۲ضمیمه آخرکتاب)، انواع ناخالصی‌های مواد اولیه سرامیک و آثار آن‌ها را نشان می‌دهد.

۱۰ــ۱ــ۲ــ ناخالصی‌های فلدسپارها : در انواع فلدسپارها ناخالصی‌های زیر موجود است :

ــ کوارتز
ــ میکا
ــ آهن و ترکیبات آن
ــ اکسید تیتانیم

سؤالات

۱ــ ضرورت بهبود کیفیت (کاهش ناخالصی‌ها) در مواد اولیه چیست؟
۲ــ آهن آزاد چگونه وارد مواد اوّلیه می‌شود؟
۳ــ نقش ناخالصی‌های آهن و ترکیبات آن در مواد اولیه و بدنه‌های سرامیکی چیست؟
۴ــ اثر کربنات کلسیم در خلال پخت یک بدنه سرامیکی چیست؟
۵ــ نمک‌های محلول چه آثار سویی در بدنه برجای می‌گذارند؟
۶ــ مواد آلی چه آثاری در بدنه‌های سرامیکی ایجاد می‌کنند؟
۷ــ پنج مورد از ناخالصی‌های کائولین را نام ببرید.
۸ــ اکسیدهای رنگی را نام برده و آثار آن‌ها بر بدنه را شرح دهید.