



فصل چهارم

مواد اولیه‌ی غیرپلاستیک و نیمه‌پلاستیک

اهداف رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند:

- ۱- چند نمونه از پرکننده‌ها را نام برده و دلیل کاربرد آن‌ها در مواد اولیه‌ی سرامیک را بیان کند.
- ۲- انواع اشکال کوارتز موجود در طبیعت را نام ببرد.
- ۳- نام انواع مختلف فلدسپات‌ها را با ذکر اکسید قلیایی حاکی موجود در آن‌ها بیان کند.
- ۴- خواص فیزیکی و مشخصات ظاهری فلدسپات‌ها را بیان کند.
- ۵- ساختار اتمی تالک و نام لایه‌های تشکیل دهنده آن را بیان کند.
- ۶- خصوصیات ظاهری تالک و انواع بدنه‌های قابل تولید با این ماده‌ی اولیه را بیان کند.

۴- مواد اولیه‌ی غیرپلاستیک و نیمه‌پلاستیک

مقدمه

گروهی از مواد اولیه‌ای که برای ساخت سرامیک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، خاصیت پلاستیسیته از خود نشان نمی‌دهند؛ این امر به‌خصوص در مورد مواد اولیه‌ی سرامیک‌های نوین مشهودتر است.

چنین موادی به دلیل نداشتن خاصیت پلاستیسیته به‌تنهایی شکل‌پذیر نیستند و پس از خشک شدن شکل خود را حفظ نمی‌کنند.

شکل ذرات این دسته از مواد که کمتر به صورت لایه‌ای و صفحه‌ای هستند معمولاً دارای

شکل نامنظم می‌باشند با ریزدانه‌تر شدن هم خاصیت پلاستیسیته چندانی پیدا نمی‌کنند. همچنین در طبیعت، موادی وجود دارند که اگرچه مانند مواد اولیه پلاستیک (مثل رس‌ها)، خاصیت پلاستیسیته را از خود نشان نمی‌دهند، اما به اندازه‌ی مواد غیر پلاستیک (مانند سیلیس و فلدسپات) نیز از این خاصیت بی‌بهره نیستند. از معروف‌ترین این مواد، می‌توان تالک و پیروفیلیت را نام برد که به لحاظ کاربرد بیشتر تالک در صنعت سرامیک و فراوانی نسبی آن، در این قسمت مختصراً مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این فصل ابتدا با مواد اولیه‌ی غیر پلاستیک و سپس مواد اولیه‌ی نیمه پلاستیک آشنا می‌شویم.

۱-۴- انواع مواد اولیه‌ی غیر پلاستیک

۱-۴-۱- سیلیس آزاد: به طور معمول در ساخت سرامیک‌های سنتی علاوه بر استفاده از مواد رسی که جزء اصلی تشکیل دهنده‌ی آمیز هستند و مواد گدازآوری چون فلدسپات‌ها که تأثیر فراوانی بر روی پخت بدنه می‌گذارند، از موادی تحت عنوان پرکننده (Filler) نیز استفاده می‌گردد. پرکننده‌ها موادی غیر پلاستیک هستند که حفظ شکل محصول سرامیکی را در حین پخت به عهده دارند. این مواد که نسبتاً دیرگداز هستند، شکل اصلی جسم را در حین ذوب شدن گدازورها حفظ کرده از دفرمه شدن آن جلوگیری می‌کنند.

یکی از این مواد غیر پلاستیک که کاربرد زیادی در صنعت سرامیک به‌عنوان پرکننده دارد، سیلیس آزاد است. سیلیس آزاد تنها نقش یک پرکننده را در صنایع سرامیک به‌عهده ندارد بلکه می‌توان از این ماده به طور مجزاً و با درصدهای زیاد در ساخت بسیاری از بدنه‌های سرامیکی دیگر از جمله آجرهای سیلیسی استفاده کرد. جدول ۱-۴ سهم هر یک از صنایع را در مصرف سیلیس آزاد نشان می‌دهد.

جدول ۱-۴- سهم مصرف سیلیس آزاد در صنایع سرامیک

نوع کاربرد	درصد از کل
صنایع شیشه	۸۳
آجرهای سیلیسی	۱۲
بدنه‌های چینی	۴
لعاب‌های چینی	۰/۵
لعاب‌های فلزی	۰/۵

سیلیس آزاد ممکن است به اشکال گوناگونی در طبیعت موجود باشد که بسته به خواص و درصد مواد تشکیل دهنده، مورد استفاده قرار می‌گیرد که این گوناگونی می‌تواند به دلیل تفاوت در منشأ تشکیل سنگ باشد. در این قسمت به تعدادی از منابع تأمین سیلیس آزاد اشاره می‌شود.

— کوارتز: بلورهای کوارتز را می‌توان در سنگ‌های اولیه، گرانیت، گنایس و... مشاهده کرد که گاه به صورت رگه‌های مستقل و گاه در میان کانی‌های دیگر قرار گرفته‌اند. از آن جایی که کوارتز کم و بیش تحت تأثیر هوازدگی قرار نمی‌گیرد در صورتی که به حالت رگه‌های مستقل باشد در جای خود باقی می‌ماند. اما اگر این ماده در میان صخره‌هایی که تحت تأثیر هوازدگی قرار می‌گیرد وجود داشته باشد در اثر عوامل فرسایشی شسته شده و در مکانی دیگر رسوب می‌کند. در مواردی ممکن است این ته‌نشینی، همراه با مواد هوازده صورت گیرد مانند آنچه که در مورد رس‌های ثانویه مشاهده می‌شود.

ذکر این نکته ضروریست که همان‌گونه که اشاره خواهد شد، کوارتز نام یکی از اشکال کریستالین (یکی از فازها) سیلیس آزاد است و از آن جایی که در طبیعت سیلیس موجود، عمدتاً به صورت فاز کوارتز یافت می‌شود، این نام را بر آن نهاده‌اند که گاهی برای تأکید بر اسم سنگ، از لفظ «کوارتز صخره‌ای» نیز استفاده می‌شود. در بین منابع طبیعی تأمین سیلیس آزاد، کوارتز صخره‌ای از بیشترین خلوص (حتی تا ۹۹٪ SiO_2) برخوردار است.

— ماسه سنگ، گانیستر، کوارتزیت، ماسه: اشکال ثانویه و رسوبی کوارتز، تحت عناوین ماسه، ماسه سنگ، گانیستر و غیره نامیده می‌شوند. شکل ذرات ماسه در ماسه‌ی آزاد، ماسه سنگ و صخره‌های کوارتزیت بستگی به میزان و نحوه‌ی سایش ذرات و موادی دارد که آن‌ها را پوشانیده است. در ماسه سنگ، ذرات ماسه با پیوندی سیمانی که می‌تواند از جنس سیلیس، آهک، رس، اکسید آهن، میکا و غیره باشد به یکدیگر چسبیده‌اند. به خاطر وجود همین مواد بین ذرات و ناخالصی‌هایی که به همراه خود می‌آورند، نمی‌توان از ماسه سنگ در ساخت بسیاری از بدنه‌های سرامیکی استفاده‌ی لازم را به عمل آورد.

— گانیستر، ماسه سنگی با ذرات بسیار ریز است که مقادیری مواد رسی نیز به همراه دارد. یک گانیستر مناسب، به‌طور متوسط باید حدود ۹۷٪ و یا بیشتر SiO_2 داشته باشد.

— کوارتزیت نیز یک سنگ دگرگونی است که پیوند بین ذرات آن توسط خود سیلیس انجام گرفته است. این پیوند در اثر عوامل دگرگونی بسیار سخت و محکم می‌باشد.

— دیاتومیت: این نوع از سیلیس، از اسکلت جاندارانی تحت عنوان دیاتوم تشکیل شده است.

دیاتومیت ماده‌ای است آمورف با مقادیر زیاد تخلخل که باعث می‌شود تا ضریب انتقال حرارتی آن نسبتاً کم باشد. به همین لحاظ هم از این ماده به عنوان بدنه‌های عایق ویژه استفاده می‌شود.

—فلینت: فلینت که در کشور ما به سنگ چخماق و یا سنگ آتش‌زنه معروف است یکی دیگر از منابع تأمین سیلیس می‌باشد. از آنجایی که این ماده کمتر به صورت خالص می‌باشد و حداکثر شامل مقادیری حدود ۸۵٪ SiO_2 است و ناخالصی‌هایی مانند کربنات کلسیم و ترکیبات آهن، همراه خود دارد تنها در مواردی که خلوص بالای سیلیس مصرفی مد نظر نیست مورد استفاده قرار می‌گیرد. فلینت از کریستال‌های بسیار ریز کوارتز که توسط مولکول‌های آب احاطه شده‌اند، تشکیل شده و لذا دانسیته‌ی آن کمتر از کوارتز می‌باشد ($2/63 \text{ g/cm}^3$).

از آنجایی که منشأ تشکیل فلینت را اسکلت سیلیسی جانوران می‌دانند، همواره مقادیری کربنات کلسیم به صورت پوسته‌ای اطراف آن را فراگرفته است که این پوسته در اثر عوامل فرسایشی مثل نقل و انتقال، توسط آب رودخانه‌ها، از آن جدا می‌شود. قلوه سنگ‌هایی که بدین گونه در بستر رودخانه‌ها و سواحل دریاها یافت می‌شوند علاوه بر تأمین سیلیس در بدنه‌های سرامیکی به دلیل سختی زیاد به‌عنوان گلوله در آسیای گلوله‌ای (بال‌میل) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

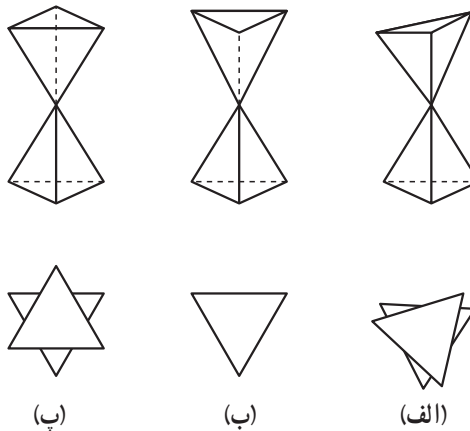
از آنجایی که فلینت، ماده‌ای نسبتاً سخت است و استفاده مستقیم از آن به عملیات خردایش و آسیاب زیاد نیاز دارد، برای آماده‌سازی، آن را تحت فرآیند کلسیناسیون قرار می‌دهند. در حین کلسیناسیون (تکلیس) که از دماهای حدود 400°C شروع و تا 1100°C ادامه می‌یابد به دلیل خروج آب و هوای موجود، در بین حفرات سنگ، انبساطی ناگهانی پدید می‌آید که سنگ، تحمل مقاومت در برابر آن را نداشته، متلاشی می‌شود.

متلاشی شدن کلوخه‌های فلینت به ذرات ریز، خردایش بعدی آن را آسان‌تر می‌نماید. سوختن مواد آلی همراه با فلینت در حین عملیات کلسیناسیون و سفید شدن رنگ تیره آن، از جمله‌ی دیگر دلایل لزوم عمل تکلیس، برای این ماده است.

اگر چه کوارتز پایدارترین و فراوان‌ترین شکل سیلیس در شرایط طبیعی است اما باید توجه کرد که سیلیس SiO_2 دارای اشکال گوناگون کریستالین است که کوارتز تنها یکی از آن‌ها می‌باشد. به عبارتی نحوه‌ی قرار گرفتن چهار وجهی‌های $[\text{SiO}_4]^{4-}$ نسبت به یکدیگر، ساختارهای گوناگون بلورین را پدید می‌آورد.

در واقع تفاوت در نحوه‌ی قرار گرفتن چهار وجهی‌های سیلیکا نسبت به هم سبب پدیدار شدن ساختارهای گوناگون کوارتز، کریستوبالیت و تری‌دیمیت شده است. همان گونه که در شکل ۱-۴

مشاهده می‌کنید نحوه‌ی اتصال دو چهار وجهی از یکی از گوشه‌ها در تری‌دیمیت به گونه‌ای است که سه اتم اکسیژن دیگر موجود در گوشه‌های چهار وجهی بالایی، دقیقاً منطبق بر سه اتم اکسیژن موجود در گوشه‌های چهار وجهی پایینی هستند. در حالی که در مورد کریستوبالیت، چهار وجهی بالایی نسبت به چهار وجهی پایینی به اندازه‌ی 60° درجه چرخیده است. در کوارتز همان گونه که دیده می‌شود این اتصال حالت مشخصی ندارد و همین امر سبب به وجود آمدن ساختاری ماریچی شکل از چهار وجهی‌های سیلیکا می‌شود.



شکل ۱-۴- نحوه‌ی قرار گرفتن چهار وجهی‌های سیلیکا نسبت به یکدیگر در (الف) کوارتز، (ب) تری‌دیمیت، (پ) کریستوبالیت

از تغییرات فازی مهم سیلیس که در صنعت سرامیک از اهمیت خاصی برخوردارند، تبدیلات کوارتز می‌باشد. کوارتز که در دمای معمولی به صورت α وجود دارد، در اثر گرم شدن در دمای 573°C به فاز β تبدیل می‌شود. این تغییر فاز همراه با تغییر ناگهانی حجم است که اگر آرام و کنترل شده صورت نگیرد و میزان کوارتز در آمیز بدنه زیاد باشد می‌تواند سبب ترک خوردگی و شکست قطعه در حین گرم کردن، سرد کردن و حتی پس از آن بشود.

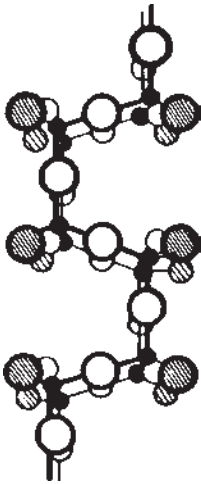
در انتها باید توجه داشت که گرد و غبار حاصل از سیلیس، یکی از خطرناکترین موارد بیماری‌زا در صنایع سرامیک است که منجر به بیماری ریوی سیلیکوز می‌شود. این بیماری در اثر استنشاق مداوم و طولانی مدت ذرات بسیار کوچک سیلیس آزاد ایجاد می‌شود. با استفاده از ماسک تنفسی و تهویه‌ی مناسب محیط از گرد و غبار سیلیس می‌توان از عوارض ذکر شده جلوگیری نمود.

۲-۱-۴- فلدسپات‌ها: در ساخت بدنه‌های سرامیکی، به خصوص محصولات سرامیک‌های

سنتی که در دماهای پایین تری نسبت به بدنه‌های سرامیک‌های نوین پخته می‌شوند، همواره به ماده‌ای جهت کاهش دمای پخت نیاز است. چنین ماده‌ای که تحت عنوان گدازآور و یا فلاکس (Flux) نامیده می‌شود به لحاظ وجود عناصری که عمدتاً قلیایی‌ها و قلیایی‌های خاکی هستند، در هنگام پخت زودتر از سایر اجزای بدنه (مثل مواد رسی به کوارتز و ...) ذوب شده و مذاب حاصل، ذرات دیرگداز دیگر را فرامی‌گیرد. سپس در حین سرد شدن، این مذاب، منجمد شده و فازی شیشه‌ای را به وجود می‌آورد که ذرات تشکیل دهنده‌ی بدنه را محکم در کنار یکدیگر نگه می‌دارد. در واقع نوع و میزان گدازآورهای موجود در یک بدنه، بسیاری از خواص، از جمله استحکام و تراکم قطعه‌ی پخته شده نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

مسلم است که مصرف گدازآورها در ساخت لعاب‌ها نیز به لحاظ نیاز به حالت شیشه‌ای اهمیت فراوانی دارد.

علاوه بر تعدادی اکسیدهای خاص، مثل اکسید سرب، اکسید بُر و... که در آینده، مورد بررسی قرار خواهند گرفت، اکسیدهای عناصر قلیایی و قلیایی خاکی مانند سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، باریم، لیتیم و ... عمده‌ترین گدازآورهایی هستند که در صنعت سرامیک مطرح می‌باشند. از آن جایی که این اکسیدها کمتر به صورت خالص و آزاد یافت می‌شوند، همواره سعی می‌شود تا از کانی‌هایی که دارای این مواد هستند جهت این منظور استفاده شود. شاخص‌ترین و اصلی‌ترین گروه این دسته از مواد گدازآور، فلدسپات‌ها می‌باشند.



فلدسپات‌ها شامل سیلیکات‌های آلومینیوم قلیایی یا قلیایی خاکی هستند که عموماً مقادیری کوارتز و یا گاهی میکا نیز به همراه خود دارند. فلدسپات‌های طبیعی، عمدتاً مخلوطی از مقادیر گوناگون آلومینوسیلیکات‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم هستند. همان گونه که از جدول ۱-۳ به یاد دارید، فلدسپات‌ها دارای ساختمان شبکه‌ی سه بُعدی براساس اتم‌های سیلیسیم - آلومینیوم - اکسیژن هستند.

برخی از خواص فیزیکی فلدسپات‌ها به صورت زیر می‌باشد :

دمای ذوب فلدسپات‌ها ۱۵۳۲-۱۱۱۰ درجه سلسیوس

وزن مخصوص فلدسپات‌ها ۲/۶۳ - ۲/۵۶ گرم بر سانتی متر مکعب

شکل ۲-۴ - ساختار فلدسپات

مکعب

سختی فلدسپات‌ها ۶/۵ - ۶/۰ (واحد موهس)

مشخصات ظاهری فلدسپات‌ها بسته به نوع فلدسپات و ناخالصی‌های همراه، می‌تواند بسیار متنوع باشد. جلای شیشه‌ای تا مرواریدی و رنگ‌های سفید، کرم، صورتی، نخودی، قرمز، خاکستری، سبز و حتی مایل به آبی از ویژگی‌های ظاهری فلدسپات‌های گوناگون هستند. همان‌گونه که پیش از این نیز ذکر شد هدف استفاده از فلدسپات‌ها در آمیز، ورود یک سری اکسیدهای خاص، جهت پایین آوردن دمای پخت بدنه است. انتخاب فلدسپات برای این منظور علاوه بر فراوانی و قابل دسترسی بودن آن، ناشی از عدم حلالیت نسبی قلیایی‌های این مواد در آب است. اگر چه فلدسپات‌ها بسیار متنوع هستند و می‌توانند خانواده‌ی بسیار گسترده‌ای از مواد را تشکیل دهند اما عموماً دو عنصر سدیم و پتاسیم، تشکیل شده‌اند.

پلاژیوکلازها، مخلوطی از فلدسپات‌های سدیم و کلسیم هستند که در صورتی که کاملاً سدیمی باشند (میزان فلدسپات کلسیم ناچیز باشد) آلبیت و در صورتی که کاملاً کلسیمی باشند (میزان فلدسپات سدیم ناچیز باشد) آنورتیت نامیده می‌شوند. در صورتی که کاملاً پتاسیمی باشند ارتوکلاز نام دارد. رنگ فلدسپات‌های عمدتاً خاکستری روشن زرد و یا صورتی کم‌رنگ تا قرمز است که گاه ترکیب تمامی این رنگ‌ها با یکدیگر ممکن است آن را سفید رنگ و یا بی‌رنگ جلوه دهد. جلای این کانی شیشه‌ای است.

میزان گدازآوری یک فلدسپات و محدوده‌ی پخت آن، از عوامل مهم و مؤثری هستند که در انتخاب آن‌ها به عنوان یک گدازآور مناسب، نقش اساسی را بازی می‌کنند. به عنوان مثال، آلبیت یک فلدسپات با دمای ذوب نسبتاً پایین است که از دمای حدود ۱۱۷۰ - ۱۱۵۰ درجه سلسیوس شروع به ذوب می‌کند (در صورتی که میزان ناخالصی‌هایی چون اکسید آهن، ناچیز باشد). درحالی که این دما در مورد ارتوکلاز کمی بالاتر بوده و حدود ۱۲۰۰ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد (دمای ذوب آنورتیت بسیار بالاتر و درحد 155°C است). لذا در مواردی که به گدازآوری بیشتری نیاز است، آلبیت ترجیح داده می‌شود. اما در بسیاری از موارد در هنگام ساخت بدنه‌های سرامیکی عملاً فلدسپات پتاسیم با وجود نقطه‌ی ذوب بالا انتخاب می‌شود زیرا یکی از ویژگی‌های این ماده، دامنه‌ی پخت طولانی‌تر نسبت به فلدسپات سدیم است. به عبارتی محدوده‌ی دمایی که در آن فلدسپات پتاسیم شروع به ذوب می‌کند تا هنگامی که مذاب حاصل به صورت فرآر درمی‌آید بسیار وسیع‌تر از مورد فلدسپات سدیم است. لذا در صورت استفاده از فلدسپات پتاسیم به عنوان ماده‌ای گدازآور، با آسودگی و اطمینان بیشتری می‌توان فرآیند پخت محصولات سرامیکی را انجام داد.



شکل ۳-۴ - نفلین سیانیت

اگر چه فلدسپات‌ها اصلی‌ترین گدازآوره‌های صنعت سرامیک هستند اما نفلین سیانیت و ولاستونیت مواد دیگری هستند که جهت گدازآوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. کانی نفلین سیانیت حدوداً ۵۰٪ آلبیت، ۲۵٪ میکروکلین و ۲۵٪ نفلین است که نسبت به فلدسپات دارای میزان آلومینا و سدیم بیشتری می‌باشد.

اما هیچ‌گاه نباید درحین کار با این مواد (فلدسپات‌ها)، جانب احتیاط را از دست داد.

جهت جلوگیری از ابتلا به بیماری ریوی، استفاده از ماسک‌های مخصوص تنفسی و تهویه محیط الزامی است.

جدول ۲-۴ - آنالیز شیمیایی تعدادی از فلدسپات‌های ایران

اجزا منابع	SiO _۲	Al _۲ O _۳	Fe _۲ O _۳	TiO _۲	CaO	MgO	Na _۲ O	K _۲ O	Li _۲ O	L.O.I
فلدسپات بروجرد ایران	۶۸/۷	۱۸/۸۰	۰/۲۴	۰/۰۳	۰/۷۰	۰/۲۹	۹/۰	۰/۰۹	-	۱/۵۱
فلدسپات نطنز ایران	۷۸/۶۹	۱۱/۶۹	۰/۱۵	۰/۱۰	۱/۰۴	۰/۱۹	۶/۵۸	۰/۶۳	-	۱/۰۴
فلدسپات قشلاق مشهد ایران	۷۱/۶۷	۱۹/۵۲	۰/۵۹	۰/۳۲	۰/۸۴	۰/۰۵	۳/۱	۳/۹۵	-	-
فلدسپات مغانلو زنجان ایران	۸۱	۱۱	-	-	-	-	۶/۵	-	-	-
فلدسپات زنجان	۷۸/۳۵	۱۲/۳۴	۰/۲۵	۰/۰۳	۰/۷۱	۰/۱۹	۶/۳۷	۰/۱۱	-	۱/۰۱۹
فلدسپات ساوه	۶۸-۷۰	۱۴-۱۶	۰/۳-۰/۶	۰/۳-۰/۴	۲-۴	۰/۲	۷-۸	۰/۲-۰/۴	-	۲-۴

۲-۴- مواد اولیه نیمه پلاستیک

۲-۴-۱- تالک: همان گونه که ذکر شد اگر چه تالک، ماده‌ای پلاستیکی نیست ولی از آنجایی که ساختار آن، شباهت زیادی به رس‌های سه‌لایه‌ای دارد و درعین حال افزودن آن به مواد اولیه پلاستیک مشکلی ایجاد نمی‌کند.

ساختار اتمی تالک تا حد زیادی شبیه به ساختار رس سه‌لایه‌ای پیروفیلیت است که در قسمت پیش، مورد بررسی قرار گرفت. تفاوت عمده این دو کانی در نوع لایه‌ی میانی ساختار آن‌هاست. در ساختار پیروفیلیت، لایه‌ای از گیسپیت $Al(OH)_3$ توسط دو لایه‌ی سیلیکا (SiO_2) احاطه شده و ساختمان سه‌لایه‌ای سیلیکا - گیسپیت - سیلیکا را به وجود آورده است. تالک نیز دارای چنین ساختاری است با این تفاوت که به جای لایه‌ی گیسپیت لایه‌ای تحت عنوان بروسیت قرار دارد که فرمول شیمیایی آن $Mg(OH)_2$ می‌باشد.

تالک در طبیعت به صورت ناخالصی ممکن است شامل مقادیری اکسیدهای آلومینیوم، آهن و کلسیم باشد. از مشخصات بارز تالک که از ساختار لایه‌ای آن ناشی می‌شود، کلیواژ آن در جهت ورقه‌هاست. سهولت لغزیدن ورقه‌های تالک بر روی هم سبب آن شده تا این ماده لمسی چرب و صابونی داشته باشد و به عنوان نرم‌ترین کانی در جدول موهس مطرح گردد. به همین جهت، به برخی رگه‌های نسبتاً ناخالص تالک، سنگ صابون هم اطلاق می‌شود.

رنگ کانی تالک بسته به میزان ناخالصی‌های همراه آن می‌تواند از سفید تا سبز روشن متغیر باشد اما یک تالک مرغوب برای استفاده در بدنه‌های سرامیکی باید بعد از پخت در دمای $1350^\circ C$ ، به رنگ سفید درآید. در بسیاری از منابع، تالک را مترادف با استاتیت (Steatite) بیان کرده‌اند. از ترکیب استاتیت یا تالک (حدود 70° تا 90° درصد) با مقادیر کمی مواد رسی و مواد گدازآور و پخت در دمای مناسب می‌توان بدنه‌های استاتیته را تولید نمود. از این بدنه‌ها به عنوان عایق الکتریسیته استفاده می‌شود (شکل ۴-۴).

با افزودن 5% مواد رسی و برخی مواد پیش‌بخته شده (شاموت) به تالک، می‌توان بدنه‌های کوردیریتی را تولید نمود. اصلی‌ترین جزء این بدنه‌ها، کانی کوردیریت است که یک سیلیکات آلومینیم - منیزیم با فرمول ساختاری $5SiO_2 \cdot 2Al_2O_3 \cdot 2MgO$ می‌باشد. این ماده در دماهای بالا، یک عایق بسیار خوب الکتریسیته است. همچنین به دلیل آن که ضریب انبساط حرارتی این ماده کم می‌باشد، تغییرات ابعادی آن در اثر تغییرات دما اندک بوده و می‌تواند ماده‌ای شوک‌پذیر در مقابل حرارت باشد.



شکل ۴-۴- تعدادی از قطعات حساس و سایل الکتریکی ساخته شده از بدنه‌های استاتیوی

لذا علاوه بر آن که از این ماده به عنوان عایق‌های خوب الکتریسیته استفاده می‌شود به لحاظ شوک‌پذیری بالای حرارتی می‌تواند به صورت تجهیزات کوره مانند پایه، صفحه و... مورد استفاده قرار گیرد.

مقادیری تا حدود ۵۰٪ تالک را در آمیز بدنه‌های ارتن و برای کاشی‌های دیواری استفاده می‌کنند تا این کاشی‌ها، در اثر جذب رطوبت محیط، انبساط چندانی پیدا نکنند و لعاب آن‌ها ترک نخورد.

افزودن مقادیری تالک به برخی بدنه‌های چینی‌های رومیزی متخلخل، باعث افزایش استحکام و شوک‌پذیری آن‌ها می‌شود. هنگام کار کردن با تالک نیز مانند سیلیس و فلدسپار باید اصول ایمنی و بهداشتی ذکر شده رعایت شوند.

- ۱- استنشاق مداوم و طولانی مدت ذرات سیلیس باعث چه بیماری می شود و چگونه می توان از این بیماری جلوگیری کرد؟
- ۲- دلیل انجام عمل کلسیناسیون برای آماده سازی فلینت چیست و این عمل منجر به چه نتیجه ای خواهد شد؟
- ۳- دیاتومیت چیست و چه کاربردی دارد؟
- ۴- چرا با وجود این که فلدسپات پتاسیم دار (ارتوکلاز) نقطه ذوب بالاتری نسبت به فلدسپات سدیم دار (آلبیت) دارد، در ساخت بسیاری از بدنه های سرامیکی از این ماده اولیه استفاده می شود؟
- ۵- دلیل عمده استفاده از فلدسپات ها در بدنه های سرامیکی چیست؟ انتخاب فلدسپات برای این منظور چه مزایایی نسبت به سایر مواد مشابه دارد؟
- ۶- مواد اولیه عمده ی سازنده ی بدنه های کوردیریتی چیست و مهم ترین خواص این بدنه ها را بنویسید.
- ۷- ناخالصی های عمده ی همراه تالک کدامند؟
- ۸- ساختار لایه ای تالک باعث پدید آمدن چه مشخصات عمده ای برای این ماده ی اولیه شده است؟
- ۹- ساختار اتمی تالک مشابه کدام نوع از رس ها است و نام لایه های تشکیل دهنده ی آن چیست و این لایه ها به چه ترتیب قرار گرفته اند؟



فصل پنجم

افزودنی‌ها

اهداف رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند:

۱- انواع کربنات‌های مورد استفاده در مواد اولیه‌ی سرامیک را توضیح دهد.

۲- ترکیبات بر و دلیل مصرف آن‌ها در لعاب‌ها و شیشه‌ها را بیان کند.

۳- عمده‌ترین سولفات‌های قابل مصرف در صنعت سرامیک را نام برد.

۴- نحوه‌ی تشکیل و خواص کوران‌دوم و علت مصرف آن در صنایع سرامیک

را بیان کند.

۵- عمده‌ترین اکسیدهای مورد مصرف در صنایع سرامیک را نام برد.

۶- تعدادی از عوامل رنگزا را نام برد.

۵- سایر مواد اولیه سرامیک (افزودنی‌ها)

مقدمه

علاوه بر مواد اولیه پلاستیک، غیرپلاستیک و نیمه پلاستیک مواد اولیه دیگری نیز به منظورهای مختلف به آمیز مورد نظر جهت ساخت سرامیک‌ها افزوده می‌شوند که در این فصل با برخی از انواع آن‌ها و تأثیری که بر محصول دارند و دلیل کاربرد هریک آشنا می‌شوید.

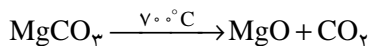
۵-۱- کربنات‌ها

کربنات‌ها دسته‌ای از مواد اولیه سرامیکی هستند که یا نقش کمک‌کننده را در فرآیند تولید محصولات سرامیکی ایفا می‌کنند و یا خود به تنهایی از مواد اصلی ساخت پاره‌ای از فرآورده‌های سرامیکی هستند. در عین حال همین کربنات‌ها می‌توانند در بسیاری از موارد که به طور ناخواسته

همراه با موادّ اولیه‌ی مصرفی وجود دارند ایجاد مزاحمت کنند و در مراحل مختلف تولید قطعات سرامیکی، به خصوص، مرحله‌ی پخت، باعث ایجاد مشکلاتی شود. در این قسمت از کتاب، با تعدادی از موادّ کربناتی که در صنایع سرامیک بیشتر کاربرد دارند، آشنا می‌شوید.

۱-۵-۱- منیزیت : منیزیت ($MgCO_3$ کربنات منیزیم) مینرالی رسوبی است که از تجزیه‌ی سنگ‌های آذرین شدیداً بازی حاوی الیون و یا سایر سیلیکات‌های منیزیم به وجود آمده است که استفاده‌ی آن در ساخت فرآورده‌های دیرگداز بازی نظیر صنایع سیمان و فولاد می‌باشد. این کانی اکثراً با موادّ دیگری چون سنگ آهک و دولومیت همراه است.

از آن جایی که منیزیت در اثر حرارت دیدن تجزیه می‌شود و گاز CO_2 آزاد می‌کند (۵۲/۲۰٪ وزن کربنات منیزیم، CO_2 می‌باشد) باید قبل از استفاده از آن در محصولات سرامیکی، حتماً به طور کامل کلسینه شود. در غیر این صورت، خروج گاز حاصل شده در حین پخت می‌تواند سبب ترک، شکست و یا حتی انفجار و متلاشی شدن قطعه گردد. این نکته باید در هنگام کار با تمامی کربنات‌ها مدّ نظر قرار گیرد. جدول ۱-۵ تعدادی از خواصّ منیزیت و منیزیا را نشان می‌دهد.



جدول ۱-۵- برخی از خواصّ فیزیکی منیزیم و کلسیم

نام ماده	فرمول	وزن مخصوص	سختی	دمای تجزیه (°C)
کربنات کلسیم خالص (کلسیت)	$CaCO_3$	۲/۷	۲-۳	۹۰۰ دمای تجزیه
دولومیت	$CaCO_3 \cdot MgCO_3$	۲/۸ - ۲/۹	۳/۵-۴	تجزیه در ۵۰۰-۷۰۰ و ۸۰۰-۱۰۰۰
کربنات منیزیم (منیزیت)	$MgCO_3$	۳	۳/۵-۴/۵	تجزیه در ۳۵۰

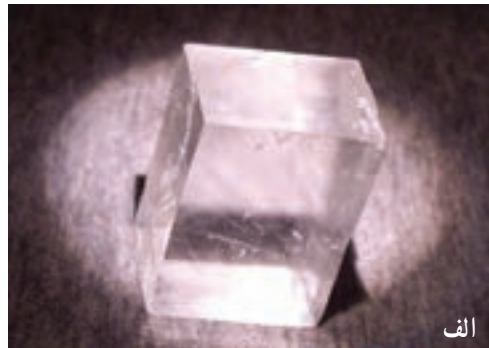
به اکسید منیزیم حاصل نیز، در اکثر موارد، با وجود آن که دیگر جزء کربنی ندارد- منیزیت گفته می‌شود. تمایل اکسید منیزیم به ترکیب با رطوبت موجود در اتمسفر و تشکیل $Mg(OH)_2$ سبب انبساط زیاد و شکست نسوزهای منیزیتی می‌شود. این تمایل به ترکیب با آب را می‌توان تا حدّ زیادی با کلسینه کردن منیزیت در دمای $1500^\circ C$ و یا بالاتر کاهش داد.

پخت آجرهای منیزیتی، معمولاً در دمای $1600^\circ C$ - $1800^\circ C$ انجام می‌گیرد که در حین پخت قطعه‌ی نهایی حدود ۲۵٪ انقباض خواهد داشت. وجود ناخالصی‌های آهن که معمولاً همراه منیزیت

هستند تا حدّ زیادی دمای پخت را کاهش می دهند که این به معنی کاهش دیرگدازی این محصول
سرامیکی خواهد بود.

آب دریا حاوی کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم (دولومیت) یکی از منابع تأمین منیزیت و منیزیا
می باشند.

۲-۱-۵- کربنات کلسیم: کربنات کلسیم یا کلسیت، (شکل ۱-۵) (کانی کربنات کلسیم)
یکی دیگر از مواد اولیه مورد استفاده در صنایع سرامیک است. آزادسازی مقادیر زیاد گاز CO_2
سبب گردیده تا هیچ گاه به مقدار زیاد از این ماده به طور مستقیم در بدنه های سرامیکی استفاده نشود
(مگر در مواردی که هدف ساخت قطعات متخلخل سرامیک مثل بدنه های ارتن و ر است)، بلکه ابتدا
در کوره های دوآر و... کلسینه شده پس از تبدیل به CaO مورد استفاده قرار می گیرد. هرگاه به
کربنات کلسیم با خلوص بالا نیاز باشد از روش های شیمیایی جهت تولید آن استفاده می شود. کربنات
کلسیم با خلوص بالا در ساخت لعاب های سرامیکی، لعاب های فلزی و شیشه های اپتیک (برای
مصارف نوری) کاربرد زیادی دارد.



شکل ۱-۵- الف و ب دو نمونه کانی کربنات کلسیم

با حرارت دادن کربنات کلسیم در دمای حدود $900^{\circ}C$ تمامی جزء CO_2 آن که $43/97\%$ وزن
ماده را تشکیل می دهد به صورت گاز خارج می شود.

علاوه بر کلسیت از سنگ آهک، مرمر، مارن (رس های آهکی)، گل سفید و... می توان برای

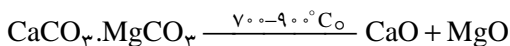
تهیه کربنات کلسیم استفاده کرد. جدول ۱-۵ تعدادی از مشخصات فیزیکی این ماده را نشان می دهد. استفاده محدود از کربنات کلسیم در بدنه های سرامیکی و مقدار بیشتری در لعاب ها به عنوان گدازآوری اکسید کلسیم است (اکسید کلسیم را می توان از بسیاری منابع دیگر مانند فلدسپات های کلسیم، ولاستونیت، فلوریت و ... تأمین نمود).

۳-۱-۵- دولومیت : کانی دولومیت، کربنات مضاعف (دوگانه) کلسیم و منیزیم با فرمول $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (۵۴٪ CaCO_3 و ۴۶٪ MgCO_3) است. تشکیل سنگ های دولومیتی براساس تعدادی واکنش های انجام شده که دو مورد عمده ی آن عبارتند از :

- تأثیر محلول های حاوی منیزیم بر روی آهک

- رسوب کربنات منیزیم از محلول های فوق اشباع

از آنجایی که سنگ دولومیت، در واقع مخلوطی از نسبت های گوناگون و متغیر منیزیت و کلسیت است، میزان CaO موجود در سنگ با MgO آن برابر نیست ($\frac{\text{MgO}}{\text{CaO}} \neq 1$). علاوه بر این همواره مقادیری از ناخالصی هایی چون سیلیس و اکسید آهن را با خود دارد. اصلی ترین کاربرد دولومیت به عنوان دیرگداز برای آستر و پوشش داخلی کوره های ذوب آهن است. برای آماده سازی دولومیت در دیرگدازها (آجرهای نسوز) کلسینه می شود.



به دولومیت تکلیس شده، «دولوما» گفته می شود. با وجود آن که کلسیناسیون منیزیت در دمای ۷۰۰ درجه و کلسیناسیون کلسیت در دمای ۹۰۰ درجه انجام می پذیرد ولی دمای تکلیس دولومیت را برای رسیدن به ماده ای با حداقل تخلخل تا دمای ۱۷۰۰ $^\circ\text{C}$ بالا می برند. این کار عمدتاً در کوره های دوآر و یا کوره های بلند انجام می گیرد.

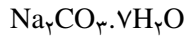
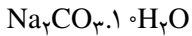
علاوه بر کاربردهای دیرگدازی، از آن جایی که دولومیت می تواند در مقادیر محدود و به همراه سایر مواد، به عنوان یک گدازآور، عمل کند، در ساخت بسیاری از شیشه ها و لعاب ها، از جمله لعاب های چینی که دارای دمای ذوب نسبتاً بالایی هستند، مورد استفاده قرار می گیرد.

۴-۱-۵- کربنات سدیم : این ماده، به دلیل وجود سدیم که گدازآوری قوی است به مقادیر زیاد در ساخت لعاب ها و به خصوص در ساخت محصولات شیشه ای استفاده می شود. پایین آوردن دمای ذوب مجموعه ی مواد اولیه ی مورد استفاده در صنعت شیشه و افزایش میزان روانی مذاب شیشه، که نقش اساسی را در انتقال و فرآیند شکل دهی آن دارد از عمده ترین دلایل کاربرد سودا در

صنعت شیشه است.

سودا ترکیبات مختلفی دارد که از نظر تعداد آب شیمیایی متفاوت است. انواع سودا عبارتند

از:



۲-۵- ترکیبات بُر

از بوراکس و سایر بورات‌ها به عنوان گدازآور در لعاب‌ها استفاده می‌شود. نقطه‌ی ذوب نسبتاً پایین ترکیبات بُر (به عنوان مثال نقطه‌ی ذوب اکسید بُر B_2O_3 ، 294°C است). باعث شده تا از آن‌ها به طور گسترده‌ای در ساخت برخی لعاب‌ها استفاده شود. علاوه بر گدازآوری، نقش این مواد به عنوان «شیشه ساز» از اهمیت خاصی برخوردار است. همچنین سیالیت لعاب در حین ذوب و کامل شدن آن در دماهای نسبتاً پایین از دلایل دیگر تمایل به استفاده از این ترکیبات می‌باشد.

اکسید بُر، کمتر به صورت آزاد یافت می‌شود اما اشکال دیگر بُر مانند بوراکس، اسیدبوریک و... به طور گسترده‌ای در صنعت سرامیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. از اسیدبوریک H_3BO_3 عمدتاً در لعاب‌هایی که باید به دلایلی مواد قلبایی در آن‌ها حضور نداشته باشد، استفاده می‌شود.

بوراکس با فرمول شیمیایی $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ و کرنیت با فرمول شیمیایی $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ کانی‌هایی هستند که می‌توانند برای استفاده از بُر مورد مصرف قرار گیرند. مسلّم است که خالص سازی این کانی‌ها برای ورود ترکیبات خالص بُر به بدنه، لازم و ضروری است. کلمانیت با فرمول شیمیایی $2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ یکی دیگر از کانی‌های بُردار است که می‌تواند جهت ساخت لعاب‌ها مورد استفاده قرار گیرد. یکی از مزایای این کانی، حلالیت بسیار کم آن در آب در مقایسه با سایر ترکیبات بُر است. در واقع یکی از اصلی‌ترین نقاط ضعف موادی چون بوراکس، اسیدبوریک و... قابلیت حل آن‌ها در آب است. لذا از این مواد به طور مستقیم در ساخت لعاب استفاده نمی‌کنند بلکه ابتدا آن‌ها را به صورت فریت درآورده سپس مورد استفاده قرار می‌دهند. یکی دیگر از موارد استفاده از ترکیبات بُر، ساخت شیشه‌های بوراتی است. حضور ترکیبات بُر در این شیشه‌ها که به طور عام شیشه‌های بور و سیلیکاتی نامیده می‌شوند و گاهی تحت نام تجارتي خود، «پیرکس» شناخته می‌شوند، به دلیل کاستن از ضریب انبساط حرارتي محصول شیشه‌ای، آن را در مقابل تغییرات سریع حرارت، شوک پذیر می‌نمایند.

افزایش سختی لعاب‌ها و واکنش بهتر بین لعاب و بدنه، علاوه بر افزایش مقاومت لعاب در برابر

مواد شیمیایی، آب و مواد قلیایی از دیگر دلایل تمایل به استفاده از ترکیبات بُر، در لعاب‌ها است.

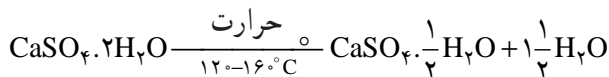
جدول ۲-۵ - برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی ترکیبات بر

ترکیب بُر	فرمول شیمیایی	وزن مخصوص g/cm ^۳	حلالیت در آب صفر درجه سلسیوس g/۱۰۰ ml	حلالیت در آب صد درجه سلسیوس g/۱۰۰ ml
اکسید بُر	B _۲ O _۳	۱/۸	۱/۱	۱۵/۷
اسیدبوریک	B _۲ O _۳	۱/۴	۱/۹۵	۳۹/۱
بوراکس	Na _۲ O.۲B _۲ O _۳ .۱۰H _۲ O	-	۲/۲۹	۱۹۱/۱

۳-۵ - سولفات‌ها

عمده‌ترین سولفات‌های قابل مصرف در صنعت سرامیک‌ها عبارتند از: سولفات کلسیم، سولفات سدیم و سولفات باریم می‌باشد.

ژپس^۱ را که کانی سولفات کلسیم است شاید بتوان یکی از عمده‌ترین مواد مصرفی در صنایع سرامیک دانست. گچ قالبسازی^۲ که اهمیت آن در ساخت محصولات سرامیکی به خصوص در روش ریخته‌گری دوغابی و شکل دادن پلاستیک برکسی پوشیده نیست از این کانی به دست می‌آید. ژپس، سولفات کلسیم با دو مولکول آب است که اصطلاحاً دی‌هیدرات نامیده می‌شود. در حین فرآیند پخت گچ، این ماده که عمدتاً به صورت سنگ گچ در طبیعت یافت می‌شود، در دمایی مشخص به اندازه‌ی $\frac{1}{۳}$ مول از ۲ مول آب خود را از دست می‌دهد و به صورت گچ نیمه هیدرات بر جای می‌ماند.



گچ قالبسازی (گچ نیمه هیدرات)

ادامه‌ی روند حرارت دادن، سبب تبدیل گچ نیمه هیدرات به گچ بدون آب یا گچ آنیدرید (CaSO_۴) می‌شود.

نحوه‌ی تولید صنعتی گچ نیمه هیدرات به صورتی است که همواره مقادیری گچ آنیدرید (که خود دارای حالت‌های گوناگون است) همراه با گچ نیمه هیدرات به وجود می‌آید. وجود این ماده در

۱- gypsum

۲- plaster

کنار گچ نیمه‌هیدرات بر روی بسیاری از خواص آن تأثیر منفی می‌گذارد. معمولاً از گچ نیمه‌هیدرات مرغوب که تولید آن در دمای کنترل شده و تحت فشار است، (گچ نوع α) برای کاربردهای ظریف و حساس مانند گچ دندان‌پزشکی و شکسته‌بندی استفاده می‌نمایند. گچ نوع β که در فشارها و شرایط معمولی تهیه می‌گردد نسبت به گچ نوع α نامرغوب‌تر است. مقادیر کمی از این نوع گچ به علاوه مقادیر زیادی آنیدرید، گچ ساختمانی را تشکیل می‌دهند.

۴-۵- اکسیدها

مواد اکسیدی چه به صورت منفرد و چه به همراهی مواد دیگر، نقش زیادی در ساخت محصولات سرامیکی دارند. استفاده جزئی از این مواد، عمدتاً در بخش سرامیک‌های معمولی مطرح می‌گردد و در صورتی که از این مواد به صورت تنهایی و با درصدهای زیاد استفاده شود عموماً موارد کاربردی سرامیک‌های مدرن مد نظر است. در این قسمت به بررسی مختصر تعدادی از اکسیدهای مهم مصرفی در صنایع سرامیک می‌پردازیم.

۴-۵-۱- آلومینا: اگر چه اکسید آلومینیوم یا آلومینا (Al_2O_3) ممکن است به صورت فازهای گوناگونی وجود داشته باشد اما عمومی‌ترین شکل آن که در عین حال پایدارترین نوع نیز هست، آلومینای نوع آلفا یا «کورانوم» می‌باشد. این ماده از حرارت دادن تمامی اشکال دیگر آلومینا به دست می‌آید.

با وجود آن که آلومینوسیلیکات‌ها که از ترکیب آلومینیوم با اکسیژن و سیلیسیم به وجود می‌آیند یکی از فراوان‌ترین اجزای پوسته‌ی زمین هستند، ولی در مقام مقایسه، آلومینا ماده‌ای کمیاب است که عمدتاً به صورت هیدراته در سنگ بوکسیت یافت می‌شود. این سنگ از کانی‌های گیسپیت $Al(OH)_3$ و بوهمیت و دیاسپور تشکیل شده است.

سختی زیاد کورانوم، دیرگدازی (دمای ذوب $2050^\circ C$)، پایداری تا نقطه‌ی ذوب، تحمل تغییرات قابل توجه حرارت بدون شکست (شوک‌پذیری) و مقاومت در برابر اسیدها و بازها حتی در دماهای بالا، از جمله دلایل استفاده‌ی گسترده از این اکسید هستند. ساینده‌ها، بوته‌ها، غلاف ترموکوپل، عایق‌های الکتریکی، آجرهای دیرگداز (چه به صورت خالص و چه در کنار مواد رسی)، پایه‌های الکترونیکی و ده‌ها نوع فراورده‌ی دیگر از جمله مصارف این ماده در ساخت سرامیک‌های مدرن هستند.

۱- برخی از این فازها مانند آلومینای نوع بتا (β) یک اکسید آلومینیوم خالص به حساب نمی‌آیند.

جایگزینی این ماده به عنوان یک پرکننده به جای سیلیس (با توجه به نقاط ضعف سیلیس مانند شوک پذیر بودن، ناخالصی‌ها، بیماری‌زایی و ...) در بدنه‌های سرامیک و همچنین در لعاب‌ها و شیشه‌های خاص، از دیگر مصارف معمول این اکسید می‌باشند.

۲-۴-۵- زیرکینیا (ZrO_2): کانی‌های بادلیت و زیرکیت کانی‌های اکسید زیرکینیم در طبیعت هستند. سیلیکات زیرکینیم ($ZrO_2 \cdot SiO_2$) زیرکُن و اکسید زیرکینیم هیدراته از دیگر موادی هستند که همراه با زیرکینیا در کانی‌های آن یافت می‌شود.

از زیرکینیا به دلیل نقطه‌ی ذوب بالا حدوداً $2700^\circ C$ در دیرگدازها استفاده می‌شود. مقاومت شیمیایی خوب در دماهای بالا، هدایت حرارتی کم و شوک‌پذیری حرارتی خوب از دیگر نکات قابل توجه در استفاده از این ماده هستند.

توربین‌های گازی، آگزوزهای جت‌ها و موشک‌ها، آجرهای دیرگداز کوره‌ها، بوته‌ها، گلوله‌های بال میل و ... از جمله موارد مصرف زیرکینیا در صنایع مدرن هستند. به خصوص استفاده از این ماده در کنار آلومینا به وجودآورنده‌ی دیرگدازهایی مناسب جهت تانک‌های ذوب شیشه است.

سیلیکات زیرکینیم (زیرکُن) یکی دیگر از ترکیبات زیرکینیم است که مصارف گوناگونی در نظیر دیرگدازهای زیرکینی، چینی‌های الکتریکی و شیمیایی مانند چینی شمع اتومبیل، همچنین کدرکننده‌های لعاب‌ها و تثبیت‌کننده‌های رنگ‌ها دارد.

۳-۴-۵- اکسید آهن: تا به حال در مباحث مختلف بارها با اکسید آهن و آثار نامطلوبی که بر روی خواص فرآورده‌های سرامیکی بر جای می‌گذارد آشنا شده‌اید. اشکال گوناگون اکسید آهن (جدول ۳-۵) که به عنوان یک ناخالصی در اکثر موارد همراه با مواد اولیه‌ی سرامیکی وجود دارند تأثیرات نامطلوبی چون کاهش دیرگدازی و تخریب رنگ بدنه و لعاب را بر جای می‌گذارد. با این وجود باید بدانید که از درصدهای زیاد اکسیدهای آهن، در ساخت برخی محصولات سرامیکی استفاده می‌شود.

جدول ۳-۵- برخی مشخصات اکسیدهای مختلف آهن

نام	رنگ	فرمول شیمیایی	دمای ذوب ($^\circ C$)
اکسید آهن (فرو)	خاکستری	FeO	۱۴۲۰
اکسید آهن (فریک)	قرمز قهوه‌ای	Fe ₂ O ₃	۱۵۶۵
اکسید آهن (فرو - فریک)	خاکستری	Fe ₃ O ₄	۱۵۳۸ تجزیه

نخستین ماده‌ی مغناطیسی شناخته شده مگنتیت (Fe_3O_4) یا همان اکسید آهن فرو-فریک ($FeO \cdot Fe_2O_3$) است. به این ماده فریت آهن نیز گفته می‌شود.

استفاده از فریت‌ها در زندگی امروز تقریباً اجتناب‌ناپذیر است. گیرنده‌های تلویزیون و رادیو، دستگاه‌های کنترل از راه دور، دستگاه‌های ضبط مغناطیسی (ضبط صوت و ضبط تصویر)، نوارها و دیسک‌های صوتی و تصویری و ده‌ها کاربرد دیگر از جمله موارد استفاده‌ی اکسیدهای آهن در زندگی روزمره هستند.

از اکسید آهن در تولید سرامیک‌ها به عنوان یک عامل رنگی در لعاب و بدنه استفاده می‌شود. توانایی ایجاد رنگ این ماده و تنوع رنگی آن سبب شده که در مقادیر زیاد از این اکسید به عنوان یک عامل رنگ‌ساز استفاده شود. این رنگ‌ها که می‌توانند تحت تأثیر ظرفیت آهن و اجزای دیگر موجود در لعاب و بدنه باشند، از زرد و قهوه‌ای تا قرمز و بنفش و سیاه گسترده‌اند. ماده‌ی تحت عنوان آخرا، اُمر او ... که در ایران به‌وفور یافت می‌شوند و قسمت عمده‌ی آن‌ها اکسید آهن است، به عنوان عامل رنگ قرمز-قهوه‌ای کاربرد زیادی در ساخت بدنه‌ها و لعاب‌های رنگی دارند. در تولید سیمان پرتلند معمولاً جهت کمک ذوب استفاده می‌شود.

۴-۴-۵- منیزیا (MgO): در صنایع نسوز و عایق‌های الکتریکی کاربرد دارد. منیزیا در

دمای حدود $2800^\circ C$ ذوب می‌شود.

۵-۴-۵- اکسید قلع (SnO_2) یا (SnO): اکسید قلع، به‌خصوص در گذشته، یکی از

اجزای اصلی لعاب‌های کدر بوده است. حلالیت کم این اکسید، پایداری آن در حین پخت و ضریب شکست نور بالای آن همگی باعث می‌شود که اکسید قلع یک ماده‌ی اوپک‌کننده‌ی قوی جهت لعاب‌ها به حساب آید حدود ۵ تا ۱۰٪ از این ماده برای اوپک کردن بسیاری از لعاب‌ها استفاده می‌شود.

امروزه با توجه به گرانی نسبی این ماده و جایگزینی ماده‌ی چون زیرکون به جای آن، کمتر از اکسید قلع به عنوان یک اوپک‌کننده استفاده می‌شود. (مگر در ظروف خاص و گران‌قیمت که بیشتر جنبه‌ی هنری دارند.)

توجه به این نکته ضروری است که بخارات قلع، سمی می‌باشند. عوارض پوستی از قبیل سوختگی و التهاب و ناراحتی‌های تنفسی می‌توانند از عوارض کار مداوم با قلع و ترکیبات آن باشند.

۶-۴-۵- اکسید روی (ZnO): اگر چه اکسید روی به تنهایی خود یک ماده‌ی دیرگداز

است (دمای ذوب بیش از $1800^\circ C$) اما مانند بسیاری از اکسیدهای دیگر در صورتی که به میزان کم

استفاده شود، نقش یک گدازآور را بازی می‌کند. استفاده از مقادیری اکسید روی در لعاب‌ها سبب تشکیل بلورهای ریزی در آن می‌شود که کدر شدن (اوپک‌شدن) لعاب را به صورت زیبایی به دنبال خواهد داشت. مصرف زیاد اکسید روی در لعاب‌ها باعث عیوبی در لعاب می‌شود.

مقادیری از اکسید روی موجود در لعاب، در هنگام پخت، به خصوص در شرایط احیا، تبخیر می‌شود که این بخار حالت سمی دارد و خطرناک است. عوارض پوستی و تحریکات تنفسی و گوارشی ناشی از تماس با بخارات اکسید روی است.

۷-۴-۵- اکسید سرب (PbO) یا (Pb_۳O_۴): اکسیدهای سرب به دلیل گدازآوری زیاد، ویسکوزیته کمی در حالت مذاب و جلا و شفافیتی که به لعاب‌ها می‌دهند در سرامیک‌های سنتی (بسیار قدیم) استفاده می‌شده است.

اکسیدهای سرب عموماً به صورت لیتارژ (PbO با نقطه‌ی ذوب ۸۸۸°C) و سرنج (سرب قرمز Pb_۳O_۴ با دمای تجزیه ۵۰°C) به عنوان گدازآور در لعاب‌ها، مورد مصرف قرار می‌گیرند. کربنات سرب (سرب سفید با دمای تجزیه ۳۲°C ، ۴۰°C) از دیگر ترکیبات سرب است که باعث ذوب سریع‌تر لعاب‌ها، نسبت به اکسیدهای سرب می‌شود. از آنجایی که اکسیدهای سرب به علاوه‌ی کربنات سرب در اثر حرارت، تجزیه و تبخیر می‌شوند، معمولاً به صورت سیلیکات سرب فریت شده و کمتر به حالت خام مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مسمومیت ناشی از تماس با ترکیبات سرب و استنشاق بخارات آن سال‌هاست که به اثبات رسیده و عوارض وخیمی را در بین کارگران و مصرف‌کنندگان محصولات آن برجای گذارده است. به عبارتی از آنجایی که ترکیبات سرب در اسیدهای موجود در مواد غذایی (مثل ترشیجات، آب میوه و...) قابل حل هستند، به طور غیر مستقیم و به مرور زمان، مصرف‌کنندگان ظروف ساخته شده از لعاب‌های سربی را نیز در معرض خطر قرار می‌دهند.

۵-۵- مواد افزودنی

مواد افزودنی به دسته‌ای از مواد گفته می‌شود که در حین فرآیند ساخت سرامیک‌ها برای دستیابی به خواص بهتر، چون جریان مناسب‌تر و شکل‌دهی آسان‌تر اضافه می‌شوند عبارتند از: دفلوکوله‌کننده‌ها، فلوکوله‌کننده‌های چسب‌دار، روانکارکننده‌ها و آب... (که در سال آینده در کتاب آماده‌سازی مواد اولیه سرامیکی کاملاً اشاره خواهد شد) که هر یک شامل ده‌ها نوع ترکیبات مختلف آلی و معدنی هستند.

۶-۵- آب

آب نقش بسیار مهمی در ساخت سرامیک‌ها دارد. به طوری که در برخی موارد جزء یکی از ارکان اصلی آمیز به حساب می‌آید. اگر چه در مراحل بعدی از بدنه‌ی سرامیکی خارج می‌گردد ولی نقش آن در مراحل آماده‌سازی و شکل‌دهی غیر قابل انکار است. با این وجود به دلیل آن که آب را نمی‌توان یک ماده‌ی اولیه‌ی سرامیکی به حساب آورد و در اکثر موارد این ماده، تنها نقش یک کمک‌کننده را در مراحل تولید یک بدنه‌ی سرامیکی بازی می‌کند. در این قسمت، مختصراً درباره‌ی خواص مطلوب آب به عنوان یک ماده‌ی افزودنی صحبت می‌کنیم.

آب مورد استفاده در صنایع سرامیک باید دارای کیفیتی مناسب برای تولید باشد. به همین لحاظ در بسیاری از کارخانجات، مکان‌هایی جهت فراوری آب مصرفی وجود دارد. آب مورد نیاز می‌تواند علاوه بر آب چاه و یا آب شهر از طریق آب استفاده شده در خود کارخانه بعد از فراوری مجدد، تأمین گردد. مسلم است که در تمامی این موارد، تعدادی از خواص آب باید تحت کنترل باشد و فرآیندهای پالایش و تصفیه بر روی آن صورت گیرد.

آب خالص شامل مولکول‌های H_2O و یون‌های H_3O^+ و OH^- است که دارای pH هفت می‌باشد.

آب چاه یا آب شهر ممکن است حاوی مقادیری مواد معلق آلی و معدنی و یا نمک‌های محلول باشد (جدول ۴-۵).

سختی آب عبارتی است که بیانگر حضور نمک‌های محلول کلسیم، منیزیم و آهن در آب است. از بین ترکیبات کلسیم، کربنات کلسیم نسبتاً نامحلول است ولی بی‌کربنات کلسیم $Ca(HCO_3)_2$ محلول می‌باشد. اگر چه حرارت دادن آب‌های سخت تا حدی از سختی آن در نمک‌های کلسیم می‌کاهد اما نمک‌های محلول سولفاتی و کلریدها همچنان بر جای می‌مانند. (مانند رسوب در کتری و سماور) وجود این نمک‌ها علاوه بر آن که بر روی pH دوغاب و در نتیجه مسائل روانسازی و ... تأثیر می‌گذارد، در حین پخت نیز آثار سوئی را، هم در بدنه و هم در لعاب به وجود می‌آورد. شوره زدن، پوسته‌ای شدن لعاب، سوراخ‌های سنجاقی^۱ در لعاب، رنگ بد و مات شدن لعاب، تخریب سریع قالب‌های گچی و ...، از جمله ضررهای وجود نمک‌های محلول در آب در حین فرآیندهای خشک کردن و پختن بدنه‌های سرامیکی هستند.

با تصفیه آب با فرآیندهای فیلتراسیون و یونیزاسیون تا حد زیادی نمک‌های محلول آن کاهش

^۱ - Pinhole

می‌یابد (جدول ۴-۵).

جدول ۴-۵- اجزای تشکیل‌دهنده آب (برحسب میلی‌گرم بر لیتر)

اجزا	آب چاه	آب شهر (تصفیه شده)	آب معدنی
کلسیم	۳۰۰	۷۸	۵۶/۴
منیزیم	۱۷۲	۴۲	۱۵/۴
سدیم	۸	۳۶۰	۴/۶
بی‌کربنات	۳۵۰	۳۵۰	۲۱۲
کربنات	۰	۰	-
سولفات	۱۰۰	۱۲۵	۱۰/۶
کلرید	۳۰	۵	۶
نیتрат	۰	۰	۷/۵
pH	۷/۸	۷/۹	۷/۳

استفاده‌ی مجدد از آبی که در فرآیند آماده‌سازی محصولات سرمایی مورد مصرف قرار گرفته و سپس از آن جدا شده است (فیلترپرس شدن)، در صورت تصفیه شدن جهت برخی مصارف استفاده می‌شود.

۷-۵- رنگ

چه کسی می‌تواند نقش رنگ را در زندگی روزمره‌ی انسان بی‌اهمیت به شمار آورد؟ دنیای ما دنیای رنگ‌هاست. رنگ، که یکی از ارکان زیبایی است با القای احساسات گوناگون، به محیط اطراف ما و هر آنچه که در آن است روح و معنی می‌دهد. شاید تصوّر دنیای بی‌رنگ برای انسان امری غیر ممکن باشد. و شاید هم به همین دلایل است که انسان رنگ‌های زیبای موجود در طبیعت را به زندگی خود کشانده و با ساخت مصنوعي آن‌ها دنیایی از اجسام رنگی را به گرد خود فراهم آورده است و ابزار و ادوات سرمایی، یعنی همان محصولی که از نخستین روزها همراه انسان بوده است، از این قاعده مستثنی نیست. صرف‌نظر از رنگ طبیعی و زیبای محصولات ساخته شده از رس‌های قرمز، دیرزمانی است که انسان‌ها به طور مصنوعي، رنگ را وارد فرآورده‌های سرمایی نموده‌اند...

و نقش ایرانیان در این میان چشمگیر است. آثار باستانی یافت شده که میراث هزاران ساله‌ی پدران ما هستند، گواهی است بر این ادعا. رنگ‌های چشمگیر و بدیع که چشم و دل هر بیننده‌ای را نوازش می‌دهند و پس از گذشت صدها و هزاران سال همچنان جلا و زیبایی خود را حفظ نموده‌اند، زینت بخش ظروف سفالین برجای مانده هستند و چرا دور برویم؟ تنها چند صد سال است که از عمر آن همه عظمت صنعت سرامیک در ایران می‌گذرد. همان دوره‌ای که رنگ‌های کاشی‌های مساجدش سندی شد بر اوج فن سرامیک در ایران.

همان رنگ‌هایی که سر به مهر دارند و از ماهیتشان چندان اطلاعی در دست نیست. بسیاری از این رنگ‌های دلفریب از رنگ‌های طلایی ظروف سفالین (زرین فام) گرفته تا آبی‌های دل‌انگیز کاشی‌های مساجد، در پرده‌ای از ابهام قرار دارند و راز خود را همراه با سازندگانشان به تاریخ سپرده‌اند. از آن جایی که رنگ و تزیین فرآورده‌های سرامیکی از عوامل اصلی به وجود آورنده‌ی زیبایی در آن است، همواره، حتی تا به امروز از مباحث تقریباً سری تولید فرآورده‌های سرامیکی به حساب می‌آمده، عوامل بسیار زیادی که در دستیابی به یک رنگ زیبا دخیل هستند باعث شده تا در صورت حصول به یک نتیجه‌ی رضایت‌بخش، اطلاعات مربوط به آن جنبه‌ی خصوصی پیدا کند و تنها مختص به تولیدکنندگان آن باشد. این مسأله تا حد زیادی در دنیای امروز نیز وجود دارد.

برخی از عوامل مختلفی که بر روی رنگ اثر می‌گذارند، عبارتند از:

نوع ماده‌ی رنگ‌ساز، عنصر به وجود آورنده‌ی رنگ، میزان ماده‌ی رنگ‌ساز، زمان پخت، دمای پخت و اتمسفر کوره، ترکیب لعاب و بدنه و ...

موادّی که ایجاد رنگ می‌نمایند، عمدتاً ترکیبات عناصر واسطه (انتقالی) هستند که بسته به ظرفیت‌های گوناگون خود رنگ‌های متفاوتی را سبب می‌شوند (به همین لحاظ اتمسفر کوره از نظر خنثایی، اکسیدی و یا احیایی بودن، تأثیر زیادی بر روی ماهیت رنگ دارد). این رنگ‌ها می‌توانند به صورت دکور روی لعاب، داخل لعاب و یا زیر لعاب به کار برده شوند. حتی می‌توان از این رنگ‌ها برای رنگی کردن بدنه‌ی سرامیکی نیز استفاده کرد.

برخی از رنگ‌ها دارای پایداری بسیار خوبی در تمامی شرایط هستند و همواره رنگ خود را حفظ می‌کنند (مانند آبی کبالت) اما برخی از رنگ‌ها شدیداً به شرایط محیط بستگی دارند و می‌توانند حالات مختلفی را از خود نشان دهند (مانند رنگ‌های مختلف ترکیبات مس). میزان عوامل رنگزا در لعاب‌ها نیز بسیار متغیر است و می‌تواند در حالت معمولی بین ۴ تا ۵ درصد و گاهی حداکثر تا ۲۰ درصد (بیشتر در آپک کننده‌ها) متغیر باشد.

اکسیدهای رنگی می‌توانند مستقیماً در ترکیب لعاب به کار برده شده و عامل به وجود آورنده‌ی رنگ باشند و یا می‌توانند قبلاً تحت عملیاتی به صورت رنگینه^۱ در آمده مورد استفاده قرار گیرند. جدول ۵-۵ تعدادی از عوامل رنگزا، همراه با شرایط پخت و نوع رنگی که ایجاد می‌کنند را معرفی می‌نماید.

جدول ۵-۵ عوامل رنگزا

رنگ	پخت اکسیداسیون	پخت احیایی
سفید	زیرکونیا، اکسید قلع، اکسید آنتیموان و...	
خاکستری	نمک‌های محلول: پلاتین	کربن و ترکیبات آلی، ترکیبات نیکل، نمک‌های وانادیوم، ترکیبات مولیبدن، آنتیموان فلزی، مخلوط اکسیدهای آهن و کروم و کبالت و نیکل، اورانیم، منگنز و مس
سیاه	مخلوط‌های اکسیدهای آهن، کروم، کبالت، منگنز، اورانیم و مس با درصد بالا و...	اکسید اورانیم، کربن، کاربیدها و...
زرد	کرومات‌ها، کرومات سرب، سولفید کادمیوم، نمک‌های بیسموت و...	استانات وانادیوم
نارنجی	کرومات سرب‌بازی، سولفید سلنیوم و کادمیوم و...	
قرمز	کرومات سرب‌بازی، اورانات سرب، اورانات بیسموت، اکسید و نمک‌های آهن، و...	قرمز مس، (مس کلوئیدی)
صورتی	ترکیبات کروم و قلع و...	
بنفش	پیرولوسیت، اکسید نیکل، اکسید منگنز و لعاب‌های قلیایی	روتایل، مس کلوئیدی فلزی
آبی تیره	ترکیبات کبالت و نتودیوم و...	روتایل، ترکیبات وانادیوم
سبز	اکسید و ترکیبات مس در لعاب‌های سری، اکسید کرومیک، تیتانات کبالت، اکسیدهای نیکل روی، آنتیمونات و سایر ترکیبات مس، ترکیبات مس، وانادیوم و...	تیتانات کبالت
طلایی	طلای فلز	
نقره‌ای	نقره فلزی، پلاتین و پالادیوم	

- ۱- فرمول شیمیایی منیزیت و منشأ آن چیست؟
- ۲- کاربرد کربنات کلسیم دارای خلوص بالا در تولید کدام محصولات می‌باشد؟
- ۳- منابع اصلی تهیه کربنات کلسیم را نام ببرید.
- ۴- تأثیر استفاده از ترکیبات بُر در لعاب‌ها و شیشه‌ها چیست؟
- ۵- نام تجاری شیشه‌های بوروسیلیکاتی چیست و حضور ترکیبات بُر باعث ایجاد چه خاصیتی در این شیشه‌ها می‌شود؟
- ۶- کاربرد گچ نوع α و گچ نوع β را توضیح دهید.
- ۷- عمده‌ترین کانی‌های اکسید زیرکونیم در طبیعت را نام ببرید.
- ۸- موارد مصرف زیرکونیا در صنعت مدرن را نام ببرید.
- ۹- از اکسیدهای آهن و شیشه، لعاب و سیمان پرتلند به ترتیب به چه منظور استفاده می‌شود؟
- ۱۰- دلایل استفاده از انواع مواد افزودنی را در صنایع سرامیک نام ببرید.
- ۱۱- ضررهای ناشی از وجود نمک‌های محلول در آب در حین فرایندهای خشک کردن و پخت بدنه‌های سرامیکی را بیان کنید.
- ۱۲- یک نمونه از رنگ‌های پایدار در شرایط مختلف و یک نمونه رنگ وابسته به شرایط محیط را نام ببرید.

واژه‌نامه

A

abrasive
acidic
addtive
alkaline
alka line-earth
alpha phase
alumina
aluminium oxide
aluminosilicate
amorphous
analysis
anisotropy
anorthite
apatite
apparent density
asbestos
atmosphere
atomic arrangement
atomic bond
atomic direction
attrition

B

ballclay
ball mill
basalt
base
basic
bauxite

ساینده
اسیدی
افزودنی
قلیایی
قلیایی خاکی
فاز آلفا
آلومینا
اکسید آلومینیم
آلومینو سیلیکات
آمورف
تجزیه
آنیزوتروپی
آنورتیت
آپاتیت
دانسیته ظاهری
آزبست
جو
آرایش اتمی
پیوند اتمی
جهت اتمی
تجزیه

bayer process
beta phase
bentonite
binder
biotite
bitumen
borax
boric acid
brave
brucite

C

calcedony
calcination
calcite
calcium carbonate
calcium clay
calcium feldspar
cement
ceramic glaze
chemical resistance
chemical weathering
chromite
clay
cleavage
coal
colloidal
concentration
conglomerate
cordierite
corrosion

روش بایر
فاز بتا
بتونیت
چسب
میکای سیاه
قیر
بوراکس
اسیدبوریک
براوا
بروسیت

کالسدون
تکلیس - کلسیناسیون
کلسیت
کربنات کلسیم
رس کلسیمی
فلدسپار کلسیک
سیمان
لعباب سرامیکی
مقاومت شیمیایی
هوازدگی شیمیایی
کرومیت
رس
رَخ - کلیواژ
زغال سنگ
کلوئیدی
غلظت
کنگلومرا
کوردیریت
خوردگی

crystal	بلور (کریستال)	fire clay	رس نسوز (فایرکلی)
crystalline	بلوری (کریستالی)	firing	پخت
crystallization	تبلور	flint	فلینت (سنگ چخماق)
cubic	کوبیک (مکعبی)	floating	غوطه‌وری
D		floor tile	کاشی کف
decorating	تزیین	fossil	فسیل
deposit	رسوب	frequency	فرکانس
deposit stone	سنگ رسوبی	frit	فریت
desiltering	جداسازی مرطوب	G	
destructive depository	رسوبی بازساز	ganister	گانیستر
diamond	الماس	geology	زمین‌شناسی
diatomite	دیاتومیت	glass phase	فاز شیشه
dickite	دیکیت	glaze	لعاب
dolomite	دولومیت	gold	طلا
E		granite	گرانیت
earthenware	ارتن‌ور (بدل چینی)	graphite	گرافیت
electrical conduction	رسانای الکتریکی	gravitational force	نیروی جاذبه
electrical porcelain	چینی الکتریکی	green strength	استحکام خام
electrical insulation	عایق‌سازی الکتریکی	gypsum	ژیپس
element	عنصر	H	
enamel	لعاب فلز (مینا)	halite	هالیت
expansion	انبساط	hardness	سختی
extraction	استخراج	hardness of water	سختی آب
F		heating element	المنت حرارتی
feldspar	فلدسپات	hematite	هماتیت
ferric	فریک	hemihydrate gypsum	گیچ نیمه‌هیدراته
ferro	فرو	hexagonal	هگزاگونال
ferroelectricity	فروالکتریسیته	hollysite	هالوتیزیت
filler	پرکننده	hydration	هیدراتاسیون
filtration	فیلتراسیون	hydrogen bond	پیوند هیدروژنی
		hydrogen clay	رس هیدروژنی

hydrogen potential	p.H	magnesite refractory	نسوز منیزیتی
hydrolysis	هیدرولیز	marble	مرمر
		marl	مارن
I		mechanical weathering	هوازدگی مکانیکی
impurity	ناخالصی	metallic	فلزی
inosilicates	سیلیکات‌های زنجیره‌ای	metalloid	نیمه فلزی (شبه فلزی)
insulator	عایق	metallurgy	متالورژی
ion	یون	metamorphic	متامورفیک (دگرگونه)
ionization	یونیزاسیون	microcline	میکروکلین
iron oxide	اکسید آهن	mineral	کانی
isotropy	ایزوتروپی	mineral analysis	آنالیز مینرالی
		mineralogy	کانی شناسی
K		mohs	موهس
kaolinite	کائولینیت	monoclinic	مونوکلینیک
kiesel guhr	کزل گول	mixer	آمیختن، مخلوط کردن
		N	
L		nacrite	ناکریت
lamination	تورق (ورقه ورقه شدن)	nesosilicates	سیلیکات‌های جزیره‌ای
lava	گدازه	neutrl	خنثی
lead oxide	اکسید سرب	nondestructive depository	رسوبی بازساز
lime	آهک	nonorganic	غیرآلی
lime stone	سنگ آهک	nonplastic raw material	مواد اولیه غیرپلاستیک
limonite	لیمونیت		
litharge	لینارژ	O	
loss of ignition	L.O.I	ocher	اخرا
lubricant	روغن کاری کننده	octahedral	هشت وجهی (اکتاهدراال)
lubrication	روانکاری	olivine	اولیوین
luster glaze	لعاب زرین فام	opacifier	کدر کننده
		opacity	کدر بودن
M		opal	اوپال
magma	ماگما	optical glass	شیشه اپتیکی
magnesite brick	آجر منیزیتی	organic	آلی

orthoclase	ارتوکلاز	raw	خام
oxidation	اکسیداسیون	recrystallization	تبلور مجدد
P		redclay	رس قرمز
paleontology	دیرین‌شناسی	reduction firing	پخت احیا
particle arrangement	آرایش ذرات	refining	تصفیه
phyllosilicates	سیلیکات‌های ورقه‌ای	reflection coefficient	ضریب انعکاس نور
piezoelectric	پیزوالکتریک	refractive index	ضریب شکست نور
pigment	رنگدانه	refractory	دیرگداز
pinhole	سوراخ سنجاقی	refractory crucible	بوته نسوز
plaster of paris	گچ قالب‌سازی	repulsion	نیروی دفع
plasticiser	پلاستیک‌ساز	rotary kiln	کوره دوار
plasticity	پلاستیسیته (شکل‌پذیری)	rutile	روتایل
polarised light	پلاریزه شده	S	
polarization	پلاریزاسیون	sand stone	ماسه سنگ
porosity	تخلخل	scaly	فلسی
porphyrin	پورفیرین	schist	شیست
portland cement	سیمان پرتلند	schistosity	شیست‌وارگی
potassium feldspar	فلدسپار پتاسیک	secondary clay	رس ثانویه
primary clay	رس اولیه	shale	شیل
pumice stone	سنگ پا	shining	درخشندگی
pyrex	پیرکس	shrinkage	انقباض
pyrite	پیریت	silica	سیلیکا
pyroelectric	پیروالکتریک	silicate	سیلیکات
pyrophyllite	پیروفیلیت	silicosis	سیلیکوز
Q		slate	سنگ لوح
qualitative analysis	آنالیز کیفی	slip	دوغاب
quartz	کوارتز	slip casting	ریخته‌گری دوغابی
quartzite	کوارتزیت	soda	سودا
R		soda ash	سودا اش
radioactivity	رادیاوکتیویته	sodium carbonate	کربنات سدیم
		sodium clay	رس سدیمی
		sodium feldspar	فلدسپار سدیک

solidification	انجماد	topaz	توپاز
solution	محلول	transition elements	عناصر انتقالی
solutionizing	انحلال	transparent	شفاف
sorosilicates	سیلیکات‌های رمبلی	triclinic	تری کلینیک
specific gravity	وزن مخصوص	trigonal	تری گونال
stabilized	تثبیت شده	true density	دانسیتیه واقعی (حقیقی)
stain	جوهر، رنگینه	two layer mineral	مینرال دولایه‌ای
steatite	استاتیت		
stoneware	استون‌ور	U	
structural defects	عیوب ساختمانی	underglaze decoration	دکور زیرلغابی
structure	ساختار	undisirable ion	یون مزاحم
stud	فسیل		
substitution	جانشینی	V	
surface defects	عیوب سطحی	vaporisation	تبخیر
sylosilicates	سیلیکات‌های حلقوی	vibration	ارتعاش
syenite	سینیت	viscosity	ویسکوزیته
synthetic crystal	بلور مصنوعی		

T

talk	تالک
tectosilicate	سیلیکات‌های داربستی
tetragonal	تتراگونال
tetrahedron	چهاروجهی (تتراهدرال)
thermal conductivity	هدایت حرارتی
	ضریب انبساط حرارتی
thermal expansion coefficient	
thermocouple	ترموکوپل
thermocouple cover	غلاف ترموکوپل
thoria	توریا
three layer mineral	مینرال سه لایه‌ای
tile	کاشی
tine oxide	اکسید قلع
to dry	خشک کردن

W

wall tile	کاشی دیواری
water diffusion	دیفیوژن آب
water treatment	تصفیه آب
waves	امواج
weathering	هوازدگی

X

X- ray diffraction (XRD)	پراش اشعه X
--------------------------	-------------

Z

zircon	زیرکن
zirconia	زیرکنیا
zirconium silicate	سیلیکات زیرکنیم

منابع و مراجع

- ۱- دانشفر، حسین، محمدپاکروان، زمین‌شناسی سال سوم علوم تجربی، چاپ و انتشار وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۶۷.
- ۲- باجلان فرّخی، محمد، زمین‌شناسی عمومی، سال سوم دبیرستان آموزش فنی، چاپ و انتشار وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۶۸.
- ۳- دانشفر، حسین، عمادالدین کواری، زمین‌شناسی سال چهارم علوم تجربی، چاپ و انتشار وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۶۵.
- ۴- پاتریک م. هورالی، پیدایش و تکامل زمین، ترجمه‌ی کاظم شرکت (شهرین)، چاپ اول، انتشارات آبان، سازمان چاپ و بخش کتاب، ۱۳۶۰.
- ۵- هارولدش- یوری، سیاره‌ی زمین، ترجمه‌ی رضا اقصی، چاپ سوم، چاپ و انتشارات پیروز، ۱۳۴۸.
- ۶- منشی، اصغر، کانی‌شناسی سال دوم دبیرستان آموزش فنی سرامیک، انتشارات وزارت آموزش و پرورش، ۱۳۶۳.
- ۷- رحیمی، افسون، مهران متین، تکنولوژی سرامیک‌های ظریف، جلد ۱، چاپ اول، شرکت صنایع خاک چینی ایران، ۱۳۶۸.

8 – A.V. Milovsky and O.V.Kononov, Mineralogy, first published, Mir publishers Moskow, 1985.

9 – A.Betekhtin, A course of Mineralogy, Translated to English By V.Agol, peace publishers.

10 - Z.D. Jastrzeb ski, The Nature and Properties of Engineering Materials, Second edition, Jahn Wiley and son's Inc, 1977.

11 – W.E. Worrall, Clays and Ceramics raw materials, second edition,

Elsevier applied science publishers, 1986.

12 – Felix Singer, S.S.Singer, Industrial ceramics, Chapman & Hall Ltd, First edition, 1960.

13 – W.D.Kingery, H.K.Bowen, D.R.Uhlmann, Introduction to ceramics, second edition, John Willey & Sons Inc. , 1976.

14 – James S.Reed, Introduction to the principles of ceramic processing First edition, John Wiley & sons, Inc. , 1988.

15 – F.H.Norton, Elements of ceramics, second edition, Addison - Wesley publishing Co , 1974.

16 – J.R.Taylor & A.C.Bull, ceramics glaze technology, First edition Pergamon Press, 1986.

17 – Allen M.Allper (edit), High temperature oxides (part 1), First edition& Academic press, 1970.

18 – W.Ryan & C.Radford, Whitewares, production, testing and quality control, First edition, Pergamon Press, 1987.

19 – P.Rado, An Introduction to the technology of pottery, second edition, Pergamon Press, 1988.

20 – F.H.Norton, Fine ceramics (Technology and Applications)

21 – A.V.Milovsky and O.V.Kononov, Mineralogy, First published, Mir publishers Moskow, 1985.

