

آشنایی با

تجهیزات و مواد سفالگری

مرداویدج توکلی

بخش اول

ابزارها و تجهیزات سفالگری

# فصل اول

## ابزارهای دستی

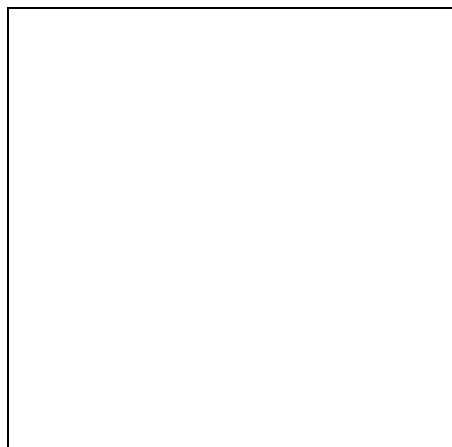
بهترین ابزار کار یک سفالگر، انگشتان دست اوست. با این وجود مواقعی میرسد که برای تکمیل ابزاری که طبیعت به او نداده است به ابزارهای دیگری نیز احتیاج دارد، درست مانند بشر غارنشین در زمانی که دریافت شاخه درختان، به عنوان یک چماق به میزان دست یابی و قدرت او می افزاید و فلز، به قدرت دست های او افزوده و میدان کار او را وسعت می دهد. به ابزار کار به عنوان مدد کار فکر کنید. آنها به انگشتان شما کمک خواهند کرد.

### کارتراش

**کارتراش یا کلتراش**، ابزاری است برای تراشیدن گل چسبیده به سنگ گل فشاری یا زمین (به هنگام ورز دادن گل). این ابزار از دو قسمت تشکیل شده است:

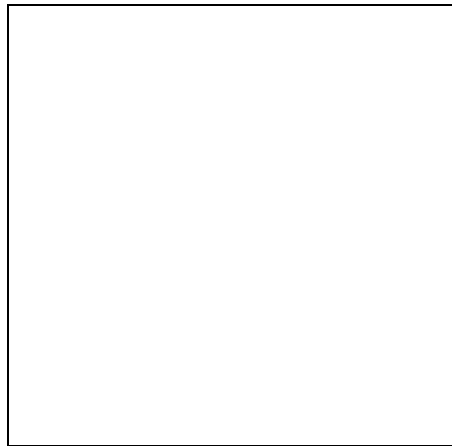
الف - تیغه‌ای پهن و آهنی و راست گوشه و تخت به طول تقریبی پانزده سانتیمتر و عرض ده سانتیمتر که از یک طرف در دسته چوبی کارتراش فرو می رود.

ب - دسته چوبی استوانه‌ای به طول تقریبی بیست سانتیمتر و از سوی درازا در میان شکافی به طول پانزده سانتیمتر دارد که تیغه کارتراش در آن جای می گیرد.



## سوزن

میله نازک فلزی به طول تقریبی شش سانتیمتر با دسته‌ای کوتاه و چوبی به طول تقریبی چهار سانتیمتر که برای کارهایی چون کم کردن گل، برش دادن و خط انداختن ظرف در حال ساخت به کار می‌رود.

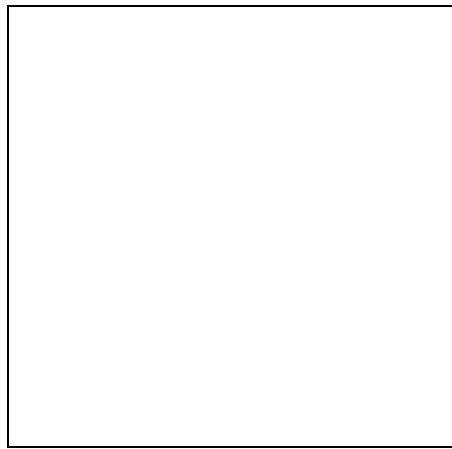


## تیماج

پاره‌چرمی است راست گوشه به طول تقریبی ده سانتیمتر و پهنای دو سانتیمتر. سفالگر برای هموار کردن لبه ظرف در حال ساخت، آن را تا کرده و انگشت‌های شست و نشانه خود را بر لبه سفالینه چنان نگاه می‌دارد که یک بخش آن در درون سفالینه و بخش دیگر در بیرون جای بگیرد. با چرخیدن دستها «تیماج» لبه سفالینه را به صورت یکنواخت، هموار می‌کند. امروزه از تیوب دوچرخه برای این کار استفاده می‌شود.

## مشته

تیغه ای نازک و تخت، به طول تقریبی هشت سانتیمتر و پهنای آن (در پهن ترین بخش) پنج سانتیمتر است و آن را هنگام کار و چرخیدن دستگاه برای هموار شدن بیرون سفالینه -در جایی که خمیدگی دارد- نگاه می دارند. امروزه نمونه های چوبی و پلاستیکی آن در شکل های متنوع و مختلف در دسترس است.



## حلقه های سیمی

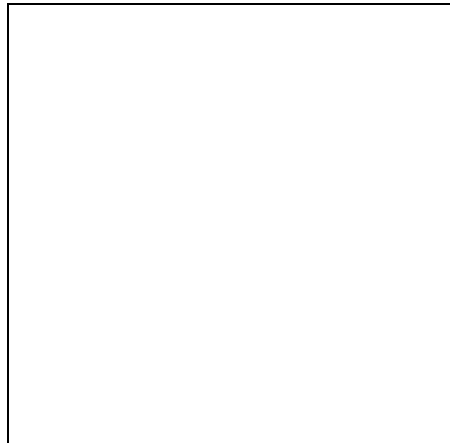
حلقه های سیمی به اندازه و شکل های مختلف ساخته می شوند. پاره ای صاف، بعضی دیگر دندانه دار هستند. بعضی مواقع دندانه ها از پیچیدن یک سیم نازک به دور سیم ضخیم تر ساخته می شوند. چنین ابزاری برای ایجاد خطوط و شکل دهی به سفالینه مناسب است و به یاری این ابزار ساده کار های متنوعی را می توان انجام داد. زبری حاصل از دندانه ها را می توان تا حدودی با انگشتان دست صاف کرد.

## تخته ورز

اهمیت ورز دادن گل برای یکدست کردن آن، واضح و بدیهی است. چنانچه بخواهید کارهای زیادی با گل انجام دهید، تخته ورز وسیله ای اساسی است. در بعضی موارد برای آبیگری بیشتر و سریعتر گل با رطوبت بالا، از لوح گچی که سطح آن کاملاً صاف و بدون خاک گچ باشد، استفاده می شود.

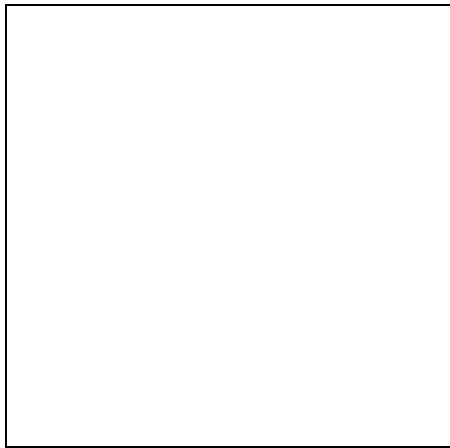
## چرخ

با این که از چرخ کار برای تزئین ظروف مدور استفاده می شود، ولی برای مدل دادن شکهای کوچک نیز بسیار مناسب است. قسمت بالای آن به طور آزاد می چرخد و امکان چرخش سفالینه را فراهم می سازد.



## تکیه گاه دست

در هنگام استفاده از چرخ می توان از یک تکیه گاه دست قابل تنظیم استفاده کرد. میله در سطوح مختلف بالا یا پایین می رود و یکی از دستها روی آن قرار می گیرد در حالیکه دست چپ چرخ را می چرخاند.



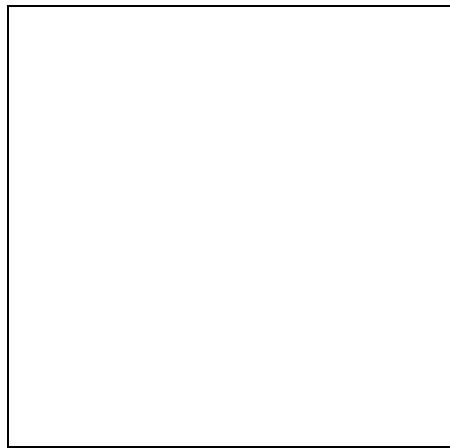
## جعبه مرطوب

در کارگاه احتیاج به یک جعبه مرطوب دارید تا کارهای ناتمام خود را در آن قرار داده و از خشک شدن آنها جلوگیری نمایید . با استفاده از یک یخدان قدیمی، جعبه مرطوب بسیار خوبی ساخته می شود. این جعبه با یک پارچه روغنی پوشانده میشود که حکم درب آن را نیز دارد. طبقه های متحرک نیز در ارتفاعات مختلف در داخل جعبه نصب شده است . در کف جعبه صفحه ای گچی به ضخامت تقریبی پنج سانتیمتر قرار دهید. چنانچه این صفحه را مرطوب نگهدارید قطعات سفالینه که در این جعبه نگهداری می شوند، به سرعت خشک نخواهد شد.



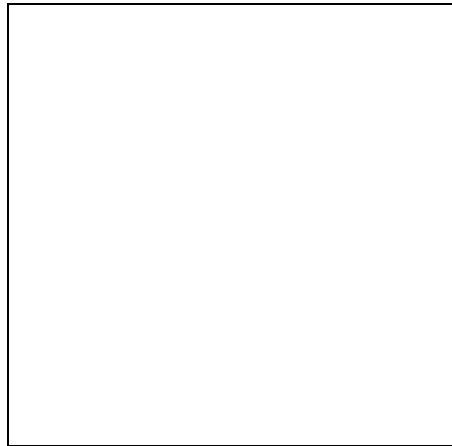
## پیستوله

پیستوله وسیله خوبی برای مرطوب نگهداشتن سفال در حین کار است . اگر با گل برای مدتی طولانی کار می کنید گه گاهی به آن آب بپاشید و یا اگر در طول شب کناری گذاشته می شود، قبل از شروع کار بر آن آب بپاشید و چند دقیقه ای صبر کنید تا رطوبت لایه خشک بیرونی را از بین برده و نیز درخشندگی آب از روی سطح سفالینه محو شود. در غیر این صورت دستانتان گل لزجی را به خود می گیرد. این ابزار در ابعاد و اشکال مختلف قابل دسترس می باشد.



## پرگار

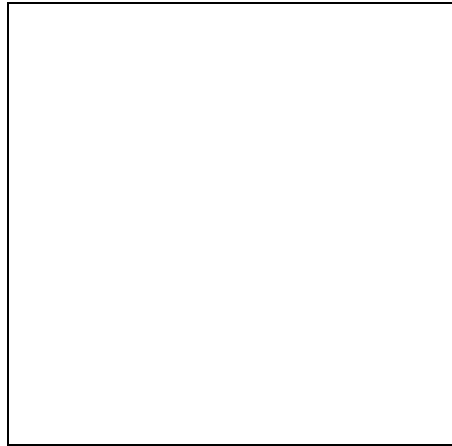
پرگارها برای اندازه گیری دو نقطه از روی سطح، جائی که از خط نمیتوان استفاده کرد به کار می رود. به عبارت دیگر وسیله ای است برای انتقال اندازه از جایی به جای دیگر ظرف و سفالینه. به طور مثال پرگار برای مجسمه سازی مخصوصا فواصل بین گوش تا نوک بینی، از پشت سر تا چانه و غیره قابل استفاده است.



هر گاه بخواهند طرح کوچکی را بزرگ کنند از یک پرگار تناسبی استفاده می شود. از آن جائیکه ساختن طرحی کوچک از گل قدمی موثر در ساختن هر مجسمه ای می باشد، در مراحل بعدی، پرگار تناسبی وسیله با ارزشی محسوب می شود.

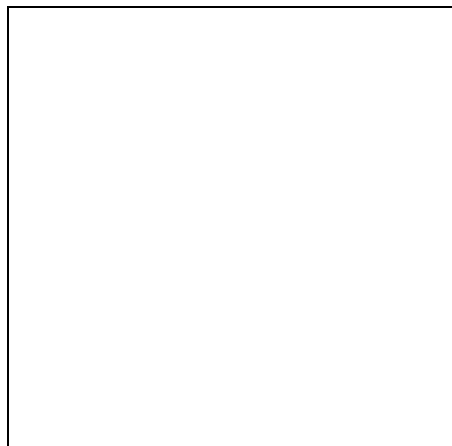
## کمان برش (فراگ)

وسيله ای است دو شاخه که سیمی بین آنها کشیده شده است. از این وسیله برای بریدن گل، به همان روشی که با سیم های دسته چوبی نشان داده شده استفاده می شود. این وسیله توده بزرگ گل را نمی برد ولی برای تکه های کوچکتر مناسب بوده و این امتیاز را نیز دارد که برای بریدن گل احتیاجی به دو دست نمی باشد.



### ابزار برای خالی کردن سفالینه

یک ابزار برش مخصوص را می توان با خم کردن تیغه یک اره و حلقه نمودن و محکم بستن آن در انتهای چوبی با یک سیم نازک، ساخت. این وسیله برای خالی کردن قطعات کوچک و یکنواخت ساختن ضخامت دیواره ها به کار می رود. می توان از لبه دنداندار تیغه برای برشهای اولیه و از قسمت پشت آن جهت صاف کردن سطح کار استفاده نمود. امروزه انواع آن در ابعاد و فرمهای مختلف در بازار موجود است.



## نور

کار کردن با نور مناسب برای یک سفالگر بسیار مهم است. به همین دلیل می توان به نور نیز به عنوان ابزار کار توجه کرد. بر این اساس یک کارگاه مطلوب باید دارای پنجره نورگیر باشد. نور افکن نیز برای این کار بسیار مناسب است. چنین نوری را می توان در ارتفاعات مختلف تنظیم کرده و زوایای گوناگون کار را روشن و در حول آن گرداند، تا هر قسمت از بالا یا پائین روشن شود. این عمل نه تنها به مدل سازی کمک می کند، بلکه هر گونه اشتباهی را که ممکن است در اثر یک جهتی بودن نور به چشم نیاید، ظاهر می سازد.

## آئینه

به دیوار کارگاه باید آئینه ای نصب شود تا بتوان ظروف و احجام را در حال پیشرفت کار، هر چند وقت یک بار در آن دید. شگفت انگیز است که یک نگاه به مجسمه ای که عکس آن در آئینه افتاده چه اندازه اشتباهات را با صراحت آشکار می سازد. آئینه علاوه بر آنکه نواقص را به مجسمه ساز نشان می دهد، دید متفاوتی از ترکیب مجسمه به او داده و طرحش را تقویت می نماید.

## قالبها

بسیاری از مورخین، پیدایش هنر سبده سازی را پیش از پیدایش هنر و صنعت سفال سازی می دانند اگر این نظریه صحیح باشد با توجه به نقوش باقیمانده بر روی سفالهای آن دوران، این موضوع مطرح خواهد بود که اولین سفالها از سبده شکل گرفته اند. به عبارت دیگر می توان گفت که در آن دوران سبده به عنوان قالب به کار می رفته است. در این صورت این نتیجه به دست خواهد آمد که روش شکل دادن به وسیله دست و با استفاده از قالب قدیمیترین روش شکل دادن بوده و نیز تمام صنعت سفال و سرامیک امروز بشر ریشه در قالبگیری دارد.

قالبهائی که از گل حرارت دیده ساخته شده در زمانهای قدیم مورد استفاده بسیار واقع می شد و مجسمه های کوچکی که از مصر، یونان و بین النهرین بدست آمده از طریق فشار دادن تکه های گل در آنها شکل گرفته و بدین ترتیب به تعداد فراوان تولید می گردیدند. مدتی بسیار به طول انجامید تا اینکه صنعتگران با خواص قالب های گچی آشنائی پیدا کردند.

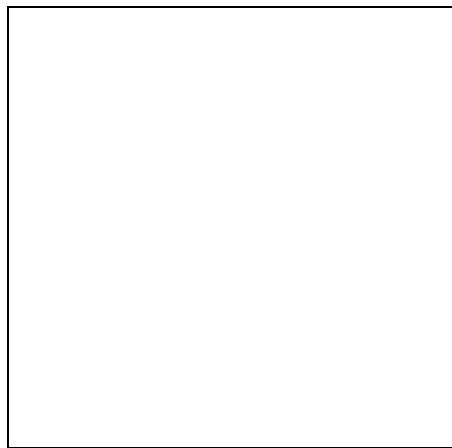
در اینجا لازم به تذکر است که طریقه ی استفاده از قالب اتم از سفالین و یا گچی در ابتدا فقط بصورت فشار دادن تکه و یا ورقه های گل بدرون آن صورت می گرفت. به روایتی در سال ۱۵۰۰ میلادی در ایتالیا ولی مطمئنا در ۱۷۴۳ صنعتگران انگلیسی شروع به تهیه دو غاب ی مخصوص (اسلیپ) نمودند که با ریختن آنها درون قالب بر اثر جذب آب، ماده مزبور به تمام سطح داخلی قالبجذب و سپس سخت گردیده و فرم مورد نظر حاصل می گشت. از این روش به صورت ابتدائی مدتها مورد مصرف قرار گرفت تا اینکه گوتس در سال ۱۹۸۱ میلادی فرمول دقیق آنها و طریقه تعلیق مواد جامد در مایعات را تشریح کرده و به ثبت رسانید.

قالبهای مورد استفاده توسط مجسمه سازان و سفالگران از نظر نوع استفاده به سه گروه تقسیم می شوند:

گروه اول: قالبهایی که در زمان استفاده از آنها، خمیر گل رس بکار می رود. در گروه اول انواع و اقسام گوناگون قالبهای فشاری پرسی (منگنه ای) وجود دارد.

در روش شکل دادن به وسیله دست و با استفاده از قالب، علاوه بر دست انسان قالب نیز در شکل دادن محصول کمک می کند. به این ترتیب که ورقه ها و یا اشکال دیگری از خمیر ساخته شده و به داخل قالب به وسیله دست محکم چسبانده شده و فشار داده می شود. قالبها در این روش می توانند از جنسهای متفاوتی باشند ولی در تولید تجارتي معمولا از قالبهای گچی استفاده می شود. اگر چه این موضوع در تمامی موارد صحیح نیست. این روش نیز مانند روشهای دیگر دارای مزایا و نقاط ضعفی

است. مهمترین مزیت این روش را می توان امکان تولید اشکال یا حجم های نامتقارن دانست. در عین حال سرعت تولید در این روش به نسبت روش شکل دادن به وسیله دست بیشتر است. ولی در هر حال در مقایسه با روشهای دیگر این روش در مجموع روشی کند محسوب می گردد و به همین دلیل معمولاً در مقیاس کوچک تولید کاربرد دارد. به عنوان مثال بسیاری از گلدانهای بزرگ و سایر قطعاتی که دارای نقوش برجسته و یا اشکال نامتقارن می باشند، در کارگاه های اطراف تهران و یا سایر نقاط ایران به این روش ساخته می شوند. روش شکل دادن به وسیله دست و با استفاده از قالب جهت تولید فراورده هایی از جنس استون ور با ابعاد بسیار بزرگ نیز به کار می رود.



گروه دوم: قالبهایی که در استفاده از دوغاب گل رس بکار گرفته می شوند. در روش ریخته گری، مخلوط مواد اولیه به صورت دوغاب مورد استفاده قرار می گیرد. به این صورت که ابتدا دوغاب بدنه به داخل قالبهای گچی ریخته می شود. بعد از مدت زمان مشخصی در نتیجه واکنشهای متقابل بین دوغاب و قالب گچی لایه ای در محل تماس دوغاب و قالب ایجاد می شود. واضح است که قطر لایه ایجاد شده، بستگی به زمان توقف دوغاب در قالب دارد. بعد از گذشت مدت زمان مورد نظر دوغاب اضافی موجود در قالب تخلیه می گردد. سپس قالب و فرآورده شکل یافته در آن برای مدتی

به حال خود گذارده شده تا لایه ایجاد شده تا حدودی خشک گردد و در نتیجه کوچکتر شود. بعد از این مرحله قطعه شکل یافته به راحتی از قالب جدا شده و می توان آنرا از داخل قالب گچی خارج نمود.

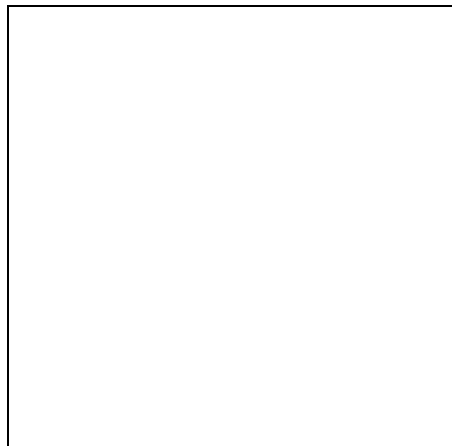
در ارتباط با شکل و طراحی قالب به طور عمده دو نوع روش ریخته گری وجود دارد: روش ریخته گری باز و روش ریخته گری بسته.

توضیحاتی که در سطور فوق درباره مراحل مختلف ریخته گری داده شده به طور عمده به روش خاصی از ریخته گری دوغابی تاکید داشته که اصطلاحاً به آن ریخته گری باز گفته می شود. در روش ریخته گری بسته بر عکس ریخته گری باز به دوغاب آنقدر زمان داده می شود تا لایه ایجاد شده تمام حجم و فضای داخلی قالب را اشغال نماید. بنابر این در ریخته گری باز ضخامت فرآورده در تمامی سطوح یکسان می باشد. در حالی که در ریخته گری بسته امکان ایجاد ضخامت های متفاوت در نقاط مختلف فرآورده وجود دارد. روش ریخته گری باز همواره برای محصولات میان تهی به کار می رود. در حالی که به وسیله روش ریخته گری بسته می توان کلیه فرآورده ها را اعم از میان تهی و یا توپر شکل داد. ضمناً باید اشاره گردد که در ریخته گری بسته، در بعضی موارد خارج نمودن قطعه ساخته شده از قالب، ممکن است با مشکلاتی همراه باشد. به همین دلیل در چنین مواردی از هوای فشرده جهت خارج نمودن قطعه استفاده می شود.

روش ریخته گری نیز مانند دیگر روشهای شکل دادن، دارای مزایا و نقاط ضعف خاصی می باشد. مهمترین مزایای این روش را می توان امکان ساخت شکل‌های پیچیده و نیز عدم وجود تنش در محصولات دانست. سرعت تولید کم، عمر نسبتاً کوتاه قالب‌های گچی و نیز وجود مشکلات خاص این روش مانند مشکل سوراخ‌های ریز، مهمترین نقاط ضعف این روش هستند. امروزه شکل دادن به روش ریخته گری به نسبت زیادی خودکار گردیده و به این ترتیب، مشکل سرعت کم تولید تا حدودی حل

شده است. از طرف دیگر روش ریخته گری تحت فشار توانسته است که نه تنها مسئله سرعت تولید کم را حل نماید بلکه بر مشکل ایجاد سوراخهای سنجاقی (ریز) نیز فائق آید. با این همه، استفاده از این روش مستلزم هزینه زیادی می باشد و همین عامل است که به عنوان مهمترین نقطه ضعف روش ریخته گری تحت فشار در نظر گرفته می شود.

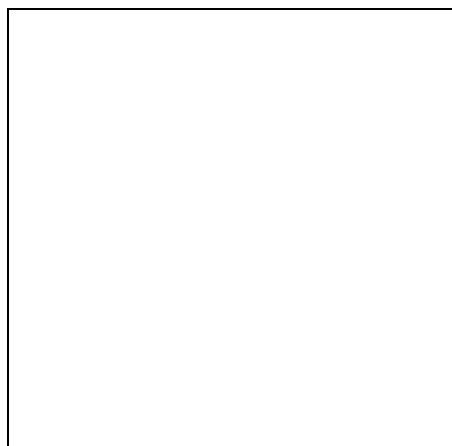
مهمترین کاربرد روش ریخته گری در تولید فرآورده های بهداشتی می باشد. اگر چه این روش در تولید ظروف خانگی نیز مورد استفاده قرار می گیرد. بخصوص در مورد اخیر روش ریخته گری تحت فشار را می توان رقیب روش پرس پلاستیک دانست. این رقابت با توجه به مزیت عمده روش ریخته گری تحت فشار یعنی عدم وجود تنش در فرآورده ها مطرح می گردد. این روش بیش از کارگاه برای کارخانه مناسب است.



گروه سوم: قالبهای جابجایی سفالی هستند که به صورت گرد به اندازه «سر چرخ» ولی کمی نازکتر هنگام کار قالب را روی «سر چرخ» و گل سفالینه ساخته شد آن را با



قالب از روی سر چرخ بر می‌دارند و کنار می‌گذارند. هر سفالگر قالب‌های فراوان دارد زیرا برای ساختن هر سفالینه یک قالب لازم است.



گچ مجسمه سازی برای سفالگر کمک ارزشمندی است. این ماده به او فرصت می‌دهد تا شکل‌هایی را که با گل رس ساخته است، قالب زده و اثر خود را تکثیر نماید. گچ مجسمه سازی مسئله پختن قطعات را در کوره حل کرده‌است. زیرا مدل‌های دوباره ساخته شده در قالب، تو خالی هستند. در غیر اینصورت اشیاء برای قرار دادن در کوره، بسیار بزرگ و تو پر (سنگین) خواهند بود. گچ مجسمه سازی را می‌توان صاف تر از گل پرداخت کرد. بنابراین هر گاه به درجه خاصی از صافی سطح سفال نیاز باشد، برای مدل دادن بیشتر به سفالینه، از کار خود مدلی گچی می‌سازد.

گچ مجسمه سازی از سنگ گچ (gypsum) ساخته می‌شود. وقتی به این ماده حرارت داده شود، آبی که به صورت ترکیب شیمیایی در سنگ وجود دارد، خارج شده و در نتیجه ماده نرمی به دست می‌آید که به آسانی شکسته و به پودر سفیدی تبدیل می‌گردد. وقتی آب به نسبت صحیح باز می‌گردد. ترکیب گچ و آب در ابتدا بصورت مایع بوده و پس از چند دقیقه شروع به سفت شدن می‌کند، سپس به مایع غلیظی

تبدیل گردیده که باز سخت تر شده تا وارد مرحله خمیری شود و سپس سخت می شود. اگر گچی را که در حال سفت شدن است به داخل قالب بریزیم ، روی هر سطحی را میگیرد و هر منفذی را پر می کند و تمام جزئیات را می سازد. بنابراین عملاً می توان با استفاده از گچ قالب یا شکل منفی (نگاتیو) هر شیئی را ساخت و مجدداً شکل اصلی را در گچ با گل رس قالب زد .

پس از این که گچ، سفت و خشک شد، برای جذب آب قدرت عجیبی از خود نشان می دهد. در واقع تقریباً مانند کاغذ خشک کن عمل می کند. خمیر پلاستیکی که روی لوحه گچی قرار دارد در نقطه ای که تماس پیدا می کند، فوری خشک و سخت تر می شود و قطره ای از دوغاب گل رس که بر روی گچ ریخته می شود، ظرف مدت چند دقیقه به گل رس خمیری تبدیل می گردد. این خاصیت گچ مجسمه سازی را به ماده ای عالی برای قالبسازی مبدل می سازد.

فصل دوم

## دستگاه های آماده سازی و فرم دهی

شکل دادن به روش دست قدیمی ترین روش های شکل دادن در صنعت سرامیک است . در این روش از هیچ وسیله عمده ای جز دست انسان برای شکل دادن استفاده نمی شود . تمام ظروف اولیه بوسیله ی دست شکل می گرفتند که در این روشها عمدتاً از رشته و یا لوله کردن گل و چسباندن آنها به یکدیگر و نیز ورقه کردن گل و فشار آن در قالب های سفالین استفاده می شده است. این روش بخصوص جهت تولید دست ساز هنری بکار می رود .

باید در نظر داشت حتی بدون در نظر گرفتن ارزشهای هنری فراورده های سرامیکی ظریف، کاربرد این روش صرفاً در چهار چوب تولید کوچک و غیر صنعتی نمی باشد. به عنوان مثال در مقیاس صنعتی شکل دادن به وسیله دست مورد ظروف تزئینی با کیفیت بسیار بالا برای تولید نسخه های اصلی قطعات برای ساخت قطعات بسیار بزرگ استون ور و نیز برای تولید مقره های بسیار بزرگ فشار قوی از جنس پرسلان به کار می رود.

## دستگاه های آماده سازی

### خردکنندهها

به طور کلی آماده سازی مواد سخت و غیر پلاستیک (سیلیس ، فلدسپات و . . . ) شامل مراحل خرد و آسیاب کردن است. اگر چه مرز مشخصی بین مرحله خرد کردن و آسیاب کردن وجود ندارد ولی به طور کلی اصطلاح خرد کردن در مورد ذراتی با ابعاد درشت و اصطلاح آسیاب کردن در مورد ذراتی با ابعاد ریزتر به کار می رود.

کوارتز و فلینت قبل از طی مراحل خرد و آسیاب کردن ابتدا **تکلیس** (calcination) می گردند. این مواد قبل از مصرف ابتدا در حرارتی حدود ۹۰۰ تکلیس شده و مهمترین علت انجام این عمل ایجاد ترکهایی در قطعات فلینت و کوارتز و در

نتیجه آماده نمودن کلوخهای آنها برای طی مرحله خرد و آسیاب کردن است. علاوه بر این، عمل تکلیس باعث خروج مقادیر کم کربن و آب موجود در فلینت نیز می گردد.

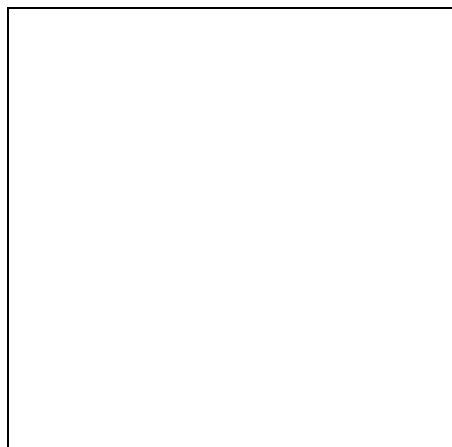
عمل خرد کردن سنگها به وسیله خرد کنندهها و یا سنگ شکنها انجام می شود. خرد کنندهها دارای انواع متفاوتی می باشند. به عنوان مثال خرد کننده های فکی، غلطکی، چرخشی، چکشی و دوار و غیره. اگر چه تمامی خرد کنندهها وظیفه یکسانی را به عهده دارند، ولی در هر شرایط خاصی استفاده از نوع به خصوصی از خرد کنندهها بهترین نتیجه را ارائه خواهد داد. به همین دلیل هنگام انتخاب خرد کننده، باید به بسیاری موارد از جمله سختی استحکام مواد اولیه، ابعاد سنگهای ورودی و نیز خروجی (محصول خارج شده از سنگ شکن)، ناخالصی های موجود در مواد اولیه، ناخالصی هایی که از طریق خرد کننده وارد مواد اولیه می گردند و مقدار رطوبت مواد اولیه مقدار تولید توجه شود. در تولید فراورده های سرامیکی ظریف، خرد کننده های فکی، غلطکی و چرخشی، متداول ترین انواع سنگ شکنهایی هستند که مورد استفاده قرار می گیرند.

در خردکننده های فکی، عمل خرد کردن سنگها به وسیله دو فک انجام شده و یکی از آنها ثابت و فک دیگر متحرک می باشد. فک متحرک به نحوی حرکت می نماید که فاصله بین فکها مرتبا کم و زیاد شده و بدین وسیله سنگهایی که بین این دو فک قرار گرفته اند، در اثر فشار خرد می گردند. بدیهی است که در این صورت اندازه کلوخه های خارج شده از سنگ شکن به فاصله بین فکها بستگی دارد. خرد کننده های فکی معمولا در اولین مرحله خرد کردن سنگها در کارخانه، مورد استفاده قرار گرفته و کلوخه های خارج شده از آن معمولا دارای ابعادی حدود ۵ سانتیمتر هستند.

خردکنندههای غلطکی معمولا در مرحله دوم خرد کردن مورد استفاده قرار می گیرند. بدین ترتیب که کلوخه ها و قطعات خارج شده از خرد کننده فکی، جهت

کاهش بیشتر ابعاد آنها وارد خرد کننده غلطکی شده و با ابعادی حدود ۱ سانتیمتر از آن خارج می گردد.

در تولید فرآورده های سرامیکی ظریف، سنگ شکنهای چرخشی نیز در مقیاس محدودتر جهت خرد کردن سنگها در مرحله دوم مورد استفاده قرار می گیرند. در این خرد کنندهها، سنگها بین یک مخروط متحرک و صفحات ثابت جانبی، گیر کرده و در اثر فشار مخروط خرد می گردند. حرکت مخروط متحرک به نحوی است که روی محیط یک دایره در چرخش بوده ولی در هر حال حول محور خود نمی گردد. این نوع چرخشها باعث ایجاد نوعی حرکت رفت و برگشتی مخروط متحرک شده که در نهایت سنگها خرد می گردند.



در مورد خردکنندهها یکی از مهمترین مواردی که از نظر فنی مورد توجه می باشد جنس صفحات خردکننده است. هنگام خرد کردن مواد اولیه، صفحات خرد کننده نیز طبیعتاً دارای سایشی خواهند بود. بنابراین ذرات ریز این صفحات خرد کننده می توانند همراه مواد اولیه وارد بدنه فرآورده ها شده و بعد از پخت فرآوردهها لکه های قهوه ای رنگ را در سطح آنها به وجود آورند. فولادهای منگنز دار و یا فولادهای کرم

دار آلیاژی هستند که به علت سختی زیاد، بیشتر از سایر آلیاژها در ساخت صفحات خرد کننده مورد استفاده قرار می گیرند.

## آسیابها

مواد اولیه سخت بعد از خروج از خردکنندهها به منظور کاهش بیشتر ابعاد وارد آسیابها می گردند. آسیابهایی که در صنعت سرامیک مورد استفاده قرار می گیرند، مانند خرد کننده ها دارای انواع متفاوتی می باشند. در تولید فرآورده های ظریف سرامیکی بطور عمده از آسیابهای گلوله ای، مخروطی و لرزشی استفاده می شود.

آسیابهای گلوله ای اگر چه رایج ترین و پر مصرف ترین نوع آسیاب در تولید فرآورده های سرامیک می باشند، ولی در مقایسه با دو نوع آسیاب دیگر نسبتا قدیمی تر محسوب می شوند. آسیابهای گلوله ای، استوانه های بزرگی از جنس فولاد هستند. ابعاد استوانه به نحوی است که تقریبا طول استوانه برابر قطر آن می باشد. این استوانه حول محور خود که موازی سطح افق است گردش می نماید. همچنان که از نام آسیاب گلوله ای نیز مشخص است در داخل این آسیابها، گلوله هایی وجود دارند که هنگام گردش آسیاب با مواد اولیه موجود در آن برخورد نموده و بدین وسیله باعث خرد شدن و سایش آنها می گردند. ابعاد مواد اولیه و ابعاد گلوله ها نیز رابطه مستقیمی با یکدیگر دارند. به این معنی که برای آسیاب نمودن ذرات درشت تر، باید از گلوله های بزرگتر استفاده شود و بالعکس. در عمل معمولا گلوله ها بر حسب حجم و یا وزن آنها به دو یا سه دسته تقسیم شده و با توجه به شرایط خاص موجود و نیز مواردی که ذکر گردید از هر یک از اندازه ها مقادیر مشخصی به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار می گیرد.

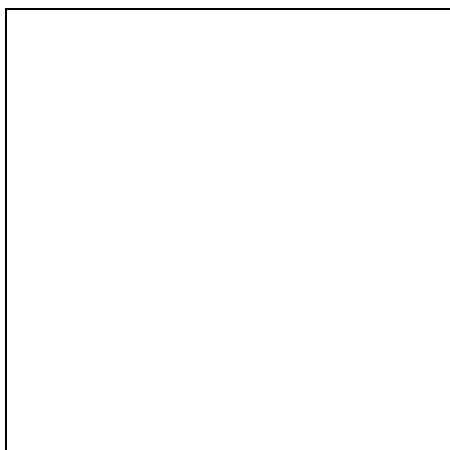
در هر صورت باید توجه داشت که ابعاد بزرگترین گلوله های مصرفی هرگز نباید از ابعاد مواد اولیه کوچکتر باشد. به طور معمول گلوله های آسیاب با فضای بین آنها باید حدود ۵۰ درصد حجم کل آسیاب را اشغال نمایند. به مجموع حجم اشغال شده

به وسیله گلوله های آسیاب و فضای بین آنها، اصطلاح **ضریب بارگیری** اطلاق می گردد. ضریب بارگیری در شرایط خاص می تواند تغییر نماید ولی معمولاً محدوده تغییرات آن از ۴۵ درصد تا ۵۵ درصد حجم آسیاب می باشد. بنابراین چنانچه ضریب بارگیری یک آسیاب ۵۰ درصد باشد فضای خالی بین گلوله ها ۲۰ درصد و فضای واقعی اشغال شده به وسیله گلوله ها ۳۰ درصد خواهد بود. به طور معمول همواره پیشنهاد می شود که در موارد لزوم بارگیری آسیاب در دو یا چند مرحله انجام می شود. به عنوان مثال چنانچه هنگام بارگیری یک بدنه پرسلان در آسیاب گلوله ای مواد سخت مثل سیلیس و فلدسپات همزمان با خاکهای رس بارگیری گردند، مشاهده خواهد شد که سرعت کاهش ابعاد ذرات بسیار آهسته است. علت این موضوع نقش ذرات ریز در جلوگیری از اصطکاک بین ذرات درشت تر می باشد.

در آسیابهای مخروطی عمل آسیاب نمودن به صورت متوالی انجام می شود به این ترتیب که در آسیابهای مخروطی ذراتی که ابعاد آنها تا حد لازم کاهش یافته به طور خودکار از آسیاب خارج شده و مواد درشت از سمت دیگر آسیاب بارگیری می گردند. در این آسیاب به دلیل شکل فیفی و وجود نیروی گریز از مرکز هنگام گردش آسیاب، ذرات و گلوله های درشت و ریز از یکدیگر جدا شده بدین ترتیب که ذرات و گلوله های درشت در قسمتهای ابتدایی آسیاب و ذرات و گلوله های ریز در قسمت انتهایی آن قرار می گیرند. این موضوع انرژی اتلافی را کاهش می دهد. از طرف دیگر بدیهی است که در هنگام چرخش قسمتهایی از آسیاب که دارای قطر بیشتری می باشند، با سرعت بیشتری حرکت نموده و قسمتهای باریک تر حرکت کندتری خواهند داشت. این موضوع نیز به نوبه خود باعث ایجاد ضربات شدیدتر در نواحی قطور آسیاب و ضربات آهسته تر در نواحی بارکتر آن گردیده و بالاخره باعث کاهش سایش گلوله ها و یکنواختی بیشتر محصول تولید شده می گردد. علاوه بر کلیه مزایای فوق، شکل خاص این آسیابها باعث سایش بسیار کمتر جداره می شود.



نوع دیگری از آسیابها که رواج بسیار یافته آسیابهای لرزشی می باشند. در آسیابهای لرزشی نیز عمل سایش و خرد کردن مواد به وسیله گلوله ها انجام می شود. شکل گلوله های مصرفی در آسیابهای لرزشی بر عکس گلوله های آسیابهای گلوله ای و مخروطی که کروی می باشند، استوانه بوده و جنس آنها نیز به طور معمول از بدنه های سرامیک با وزن مخصوص بالا می باشد. تفاوت اساسی بین آسیابهای گلوله ای و آسیابهای لرزشی مقدار و تعداد ضربات وارده به مواد در واحد زمان می باشد. از طرف دیگر در آسیابهای گلوله ای ضربه ای که جهت خرد نمودن مواد اولیه توسط گلوله ها به آنها وارد می شود بسیار بیشتر از مقدار لازم است ولی تعداد ضربات وارده در زمان مشخص کم است. در آسیابهای لرزشی این نقص به وسیله حرکت لرزشی آسیاب بدین صورت رفع شده است که نیروی ضربه تا حدود مورد نیاز کاهش یافته ولی در عوض تعداد ضربه ها به مقدار بسیار زیادی افزایش داده شده است. بدین ترتیب سرعت عمل و نیز مقدار کاهش ابعاد ذرات در آسیاب لرزشی در مقایسه با آسیابهای گلوله ای بسیار بیشتر بوده که در نهایت این عوامل باعث ایجاد بازدهی بسیار زیادتر در آسیاب های لرزشی می گردند.



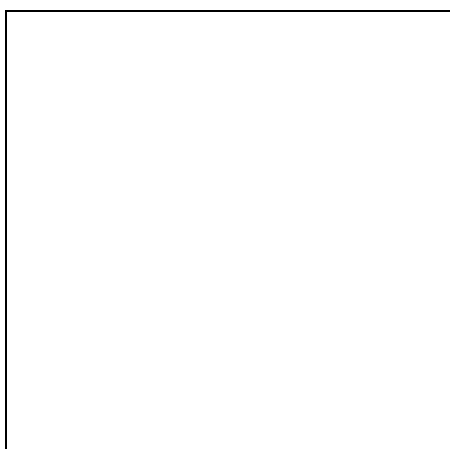
## همزنها

در صنایع تولید کننده فراورده های سرامیکی به طور کلی سه روش مختلف جهت اختلاط مواد اولیه وجود دارد که عبارتند از: روش خشک ، روش پلاستیک و روش تر. اختلاط مواد اولیه به روش خشک، معمولا در مورد آن دسته از فراورده های سرامیک به کار می رود که در بدنه آنها خاکهای رس وجود ندارد، به عنوان مثال بسیاری از انواع فراورده های دیرگداز روش پلاستیک نیز معمولا در تولید فراورده هایی مانند آجرها کاربرد دارد .

مواد اولیه محصولات سرامیکی ظریف، صرفا به روش تر با یکدیگر مخلوط می شوند. در این روش اختلاط مواد اولیه هنگامی انجام می شود که مواد به صورت دوغاب در آمده اند. مهمترین مزایای این روش، اختلاط و همگنی بسیار بیشتر مواد و امکان تصفیه و تخلیص مواد با استفاده از الکها و دستگاه های آهن ربا، و مهمترین نقطه ضعف و یا دردسر آن نیاز به دستگاه فیلترپرس می باشد. زیرا آب اضافی موجود در دوغاب بدنه باید به نحوی خارج گردد. در عین حال باید توجه داشت که خروج آب اضافی دوغاب به معنی خروج نمکهای محلول نیز می باشد که این مورد نیز به نوبه خود می تواند مزیت دیگر این روش محسوب گردد.

مرحله آماده سازی مواد پلاستیک در مورد کائولنهای تخلیص و تغلیظ شده و نیز **بال کلی** ها صورت گرفته و به طور خلاصه عبارت است از اختلاط مواد پلاستیک با آب در داخل همزن. همزنها مخازنی به معمولا به شکل استوانه بوده که دارای پروانه هایی جهت همزدن مواد می باشند. چنین همزنهایی سرعت کمی داشته (حدود ۱۵ دور در دقیقه) و دارای تیغه های بلندی هستند . سرعت کم این همزنها باعث می گردد که زمان هم خوردن رسها در این همزنها نسبتا طولانی باشد (حدود ۲ ساعت). این مورد بزرگترین نقطه ضعف این همزنهاست. در همزن های جدید که اصطلاحا همزن هایی با سرعت زیاد گفته می شود، این نقص رفع گردیده به این ترتیب که به جای پروانه ها

از مخلوط کنندگهای توربینی استفاده شده است. در این همزنها پرههای توربین به نحوی ساخته شده اند که مشابه یک پمپ عمل نموده و دوغاب از وسط مخلوط کن وارد فضای بین پرها شده و سپس با شدت به اطراف پرتاب می شود. با استفاده از مخلوط کن توربینی در همزن هایی با سرعت زیاد، زمان هم خوردن مواد آنچنان کم می شود که تکه های بزرگ بال کلی در عرض ۱۰ تا ۲۰ دقیقه به دوغاب مناسبی تبدیل می گردند .



همچنین همزن هایی با سرعت زیاد باعث کاهش ابعاد ذرات ( در نتیجه افزایش پلاستیسیته و . . . ) می گردند. اثر همزن های جدید در کاهش ابعاد ذرات رس به نحوی است که گفته می شود کاهش ابعاد ذرات رس در اثر هوازدگی در طول زمستان برابر کاهش ابعاد آنها در اثر ۱۰ دقیقه هم خوردن در همزنهایی با سرعت زیاد است .

#### تهیه و آماده سازی دوغاب ریخته گری

چنانچه جهت شکل دادن فراورده ها روش ریخته گری مورد نظر باشد مخلوط مواد اولیه ( بدنه ) لزوما باید به صورت دوغاب مورد استفاده قرار گیرد. به طور صنعتی

دوغابهای ریخته‌گری معمولاً و به‌طور عمده به‌دو روش می‌توانند تهیه‌گردند: با استفاده از کیکهای پالایه و نیز تهیه مستقیم.

انتخاب روش تهیه‌دوغاب به‌طور عمده به‌مقدار دوغاب مورد نیاز در خط تولید بستگی دارد. روش تهیه‌دوغاب با استفاده از کیکهای پالایه معمولاً در شرایطی استفاده می‌شود که روش عمده تولید در کارخانه روش پلاستیک بوده و مقدار تولید به‌روش ریخته‌گری نسبتاً کم است. به‌عنوان مثال در کارخانجات تولید ظروف غذاخوری. در این روش عمل اختلاط و همگنی در همزنها انجام می‌شود به‌این ترتیب که آب به‌مقدار مورد نیاز به‌داخل همزن ریخته‌شده و سپس در هنگام چرخش مخلوط‌کننده کیکهای پالایه به‌مقدار متناسب در داخل همزن بارگیری می‌گردند. بعد از اتمام این عمل، وزن مخصوص دوغاب اندازه‌گیری شده و در صورتی که مقادیر مورد تایید باشند، دوغاب از همزن تخلیه‌شده و در یک حوضچه انبار می‌گردد. این روش معمولاً در مقایسه با روش تهیه مستقیم به‌کارگر و ماشین‌آلات بیشتری احتیاج داشته و بنابر این از این نظر مقرون به‌صرفه نیست. ولی در عین حال باید به‌مهمترین مزیت این روش یعنی خروج نمکهای محلول در هنگام پالایش دوغاب اولیه توجه داشت.

روش تهیه مستقیم به‌طور معمول در شرایطی مورد استفاده قرار می‌گیرد که حجم دوغاب مورد نیاز کارخانه زیاد باشد. به‌عنوان مثال در تولید سرامیکهای بهداشتی که تمامی فراورده‌ها به‌روش ریخته‌گری شکل می‌گیرند، از این روش استفاده می‌شود. در این روش دوغاب ریخته‌گری مستقیماً از اختلاط مواد اولیه (به‌صورت دوغاب و نیز به‌صورت خشک)، روان‌کننده و آب (به‌مقدار متناسب جهت ایجاد وزن مخصوص مورد نظر) بوجود می‌آید.

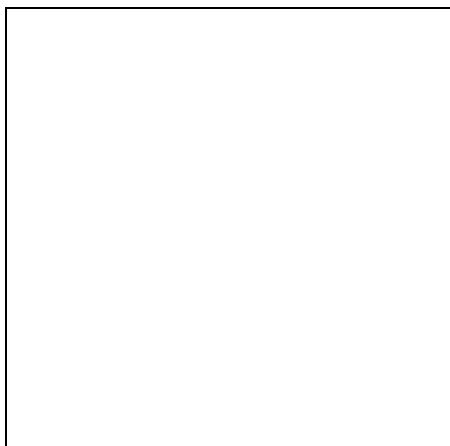
لازم به‌ذکر است که روشهای مذکور جهت تهیه‌دوغابهای ریخته‌گری اگر چه رایج‌ترین روشها می‌باشند ولی تنها روشهای موجود نیستند. به‌عنوان مثال در روشهای مذکور ممکن است به‌جای استفاده از همزن مستقیماً از آسیاب گلوله‌ای

جهت اختلاط مواد استفاده گردد. چنین روشهایی اگر چه در مجموع کمتر مورد استفاده قرار می گیرند، ولی در بعضی از کشورهای اروپایی و نیز در ایران رایج می باشند .

### آهن ربا

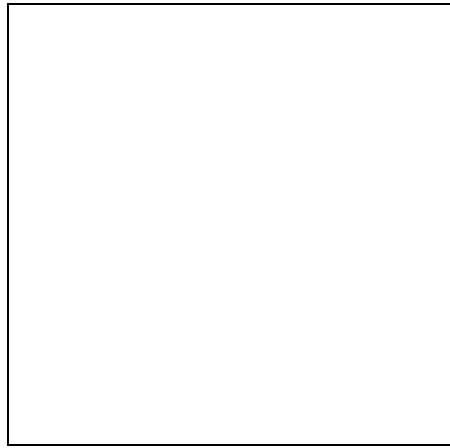
در صنعت سرامیک به روشهای گوناگون از ورود مواد حاوی آهن به داخل مواد اولیه در مراحل مختلف تولید، جلوگیری می شود. با این وجود در عمل علی رغم تمامی توجهات، همواره مقادیری ذرات آهن در مواد اولیه وجود دارد. در تولید محصولات ظریف سرامیکی جهت تخلیص دوغاب و حذف ذرات آهن موجود از دستگاه های آهن ربا استفاده می شود . دستگاه های آهن ربا اگر چه عامل بسیار موثری در حذف آهن و تخلیص دوغاب هستند ولی متأسفانه باید توجه داشت که این دستگاه ها قادر به جذب تمامی مواد و ذرات حاوی آهن نمی باشند .

عملاً آهن رباهایی که به منظور فوق مورد استفاده قرار می گیرند می توانند هم آهن رباهای دائمی و هم الکتریکی باشند . بدیهی است که آهن رباهای دائمی بر عکس آهن رباهای الکتریکی هنگام قطع جریان برق نیز قادرند به کار خود ادامه دهند و این مورد مزیت بزرگ آهن رباهای دائمی است. ولی باید توجه داشت که تمیز نمودن و شستشوی این آهن رباها در مقایسه با نوع الکتریکی، بسیار مشکل تر است .



## پالاینده

دوغاب بدنه بعد از مرحله آهن گیری به طور معمول دارای مقدار آبی حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد وزنی است. از طرفی دیگر، آب موجود در خمیر بدنه که در هنگام شکل دادن فرآورده ها مورد استفاده قرار می گیرد، حدود ۱۹ تا ۲۵ درصد است. در گذشته برای خارج نمودن آب اضافی دوغاب و یا اصطلاحاً پالایش آن از خشک کن استفاده می شد. ولی امروزه این عمل منسوخ گردیده و به جای آنها از پالایه های فشاری استفاده می گردد .



پالایه های فشاری در اساس از سینی ها و یا صفحات فلزی به شکل مربع و یا دایره تشکیل شده اند. این سینی ها دارای شکل خاصی هستند. به این معنی که در مرکز آنها سوراخی وجود داشته و نیز هر سینی از دو طرف دارای قاب برجسته ای می باشد. به علت وجود این قاب، هنگامی که سینی ها در کنار یکدیگر قرار می گیرند، فضای خالی در بین آنها به وجود می آید. این فضاهای خالی به وسیله سوراخ میانی هر سینی با یکدیگر ارتباط دارند. در ابتدا این سینی ها از چوب ساخته می شده اند. بعدها چدن مورد استفاده قرار گرفت و در حال حاضر نیز اگر چه از موادی مثل لاستیک و

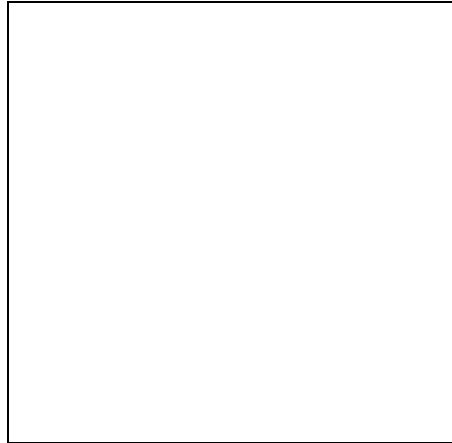
انواع مختلف پلاستیک استفاده می شود ولی به طور عمده سینی ها همچنان از چدن ساخته می شوند. اخیرا نیز سینی هایی از جنس آلومینیوم مورد استفاده قرار می گیرند. این سینی ها بخصوص در تولید چینی های استخوانی که وجود ناخالصی های آهن حتی در مقادیر بسیار کم مسئله ساز است، رواج بسیاری یافته اند .

### ورز دهنده ها

خمیرها و یا اصطلاحا کیکهایی که از پالاینده خارج شده اند، عمدتا به سه دلیل هنوز جهت مصرف آماده نمی باشند: اولاً این خمیرها از نظر مقدار رطوبت موجود در آنها همگن نیستند. ثانيا ذرات مواد اولیه به طور یکنواخت در کیکها پخش نشده اند. ثالثاً در کیکها مقدار زیادی حبابهای هوا وجود دارد که در صورت عدم خروج در هنگام شکل دادن محصولات، مسئله ساز خواهند بود. کیکها بعد از مرحله پالایش برای مدتی انبار می گردند . یکی از علل انبار نمودن کیکها، پخش و انتشار نسبتاً یکنواخت رطوبت در خمیر است. انبار نمودن کیکها به تنهایی نمی تواند به طور موثر باعث انتشار و یکنواختی رطوبت در خمیر گردد.

اصطلاح ورز دادن به طور خلاصه به عمل یا اعمالی اطلاق می شود که باعث اختلاط همگن و هواگیری خمیر می گردد. با این همه، در بعضی موارد انواعی از دستگاههای ابتدایی ورز دهنده نیز مورد استفاده قرار می گیرد. در مقیاس صنعتی ورز دادن خمیر به وسیله دستگاه های ورز دهنده انجام می شود. این دستگاه ها به طور موثر می توانند باعث یکنواختی و هواگیری نسبی خمیر شده و در عین حال به دلیل ایجاد تراکم بیشتر در خمیر باعث افزایش پلاستیسیته و استحکام پس از خشک شدن بدنه نیز می گردند. در تولید فرآورده های ظریف هوای موجود در خمیر الزاما باید خارج گردد. به همین منظور جهت ورز دادن خمیر این گونه فرآورده ها از نوع خاصی از دستگاه های ورز دهنده استفاده می شود. به این معنی که این دستگاهها دارای

محفظه خلا بوده و به همین دلیل اصطلاحاً به آنها ورزدهنده های هواگیر گفته می شود.



ساختمان دستگاه های ورز دهنده در مجموع بسیار شبیه به ساختمان چرخ گوشت هایی است که جهت مصارف خانگی مورد استفاده قرار می گیرند. دستگاه های ورز دهنده هواگیر از سه قسمت تشکیل شده اند که به ترتیب عبارتند از: قسمت تغذیه، محفظه خلا و قسمت تخلیه. اگر دهانه انتهایی این دستگاه ها به شکل دایره باشد، خمیرها به صورت استوانه از دستگاه خارج می گردند. به همین دلیل در این مرحله به خمیرهای خارج شده از دستگاه ورز دهنده اصطلاح ستون خمیر گفته می شود.

امروزه تقریباً در کلیه کارخانجات برای تولید محصولات سرامیکی ظریف از دستگاه های ورز دهنده هواگیر استفاده می شود. ولی به هر حال باید توجه داشت که این دستگاه ها هنوز دستگاه های ایده الی نبوده و قادر نیستند که وظیفه خود یعنی همگنی و هواگیری خمیر را به طور کامل انجام دهند. بنابراین در هنگام کار با این دستگاه ها باید متوجه این نقص بود و از کاربرد کیکهایی با تفاوت زیاد در ترکیب و



مقدار رطوبت، اجتناب نمود. به همین دلیل قسمت میانی کیکها قبل از ورود به دستگاه های ورز دهنده حتما باید جدا شوند. این نکته قابل توجه است که در بعضی موارد ممکن است مقدار رطوبت کیکها بسیار کم شده باشد. در چنین مواردی افزایش آب به کیکها با این امید که عمل اختلاط در دستگاه های ورز دهنده انجام خواهد شد، عملی کاملاً اشتباه و مسئله ساز است.

### چرخ سفالگری

چرخکاری اصطلاحی است که سفالگران ایرانی به روش خاصی از شکل دادن فرآورده ها اطلاق می کنند. در این روش برای شکل دادن فرآورده ها از دستگاه خاصی چرخ سفالگری استفاده می شود. این روش با توجه به کاربرد وسیعی که در تولید سنتی فرآورده های سرامیک در طی قرون متمادی داشته و دارد حتی برای عامه و کسانی که با صنعت سرامیک آشنایی ندارند نیز شناخته شده است.

اولین چرخهای سفالگری که مورد استفاده قرار گرفتند، چرخهایی بودند که به وسیله دست حرکت داده می شدند. چرخهای سفالگری دستی هنوز در نواحی مثل سیستان و بلوچستان و شمال ایران استفاده می شود. ولی با این همه از این مورد یا موارد استثنایی که بگذریم، می توان گفت که امروزه نیروی محرکه تمامی چرخهای سفالگری به طور عمده یا پای سفالگر است و یا موتورهای الکتریکی. در قرن نوزدهم چرخهایی که بوسیله ی نیروی بخار به حرکت در می آمدند باعث تولیدات بیشتری شدند ولی بهره گیری از آنها در تولید کم و نامقدور و غیر ممکن می بود. امروزه چرخهای برقی که با محرک الکتریکی کوچکی به حرکت در می آیند به تدریج متداول شده و جانشین چرخهای پائی می گردد.

چرخ سفالگری دستگاهی است که از چند جزء تشکیل یافته و در یک محفظه ثابت گلی - آجری، به شکل میزی که سه سوی آن بسته باشد، جای دارد. جدیداً

دستگاه چرخ از آهن ساخته می‌شود و قابلیت انتقال دارد. سفالگر بر یک سه‌پایه چوبی یا بر یک نشیمن گلی در پشت این محفظه می‌نشیند و گلی را که می‌خواهد از آن سفالینه بسازد، بر روی صفحه چرخ می‌گذارد. اجزاء چرخ سفالگری عبارت است از:

الف - یک صفحه گرد از چوب گردو به ضخامت ۵ سانتیمتر و قطر حدوداً ۲۰ سانتیمتر که گل را برای ساختن سفالینه روی آن می‌گذارند. این صفحه را «چرخ باشی» (سر چرخ) می‌نامند. در چرخهای امروزی از صفحه فلزی استفاده می‌شود.

ب - یک صفحه گرد دیگر از چوب گردو به ضخامت تقریبی ۷ سانتیمتر و قطر حدوداً ۶۵ سانتیمتر که از میان آن یک چوب نسبتاً قطور استوانه‌ای گذشته‌است. این صفحه از سر چرخ حدود ۷۵ سانتیمتر فاصله دارد و سفالگر هنگام کار با یک پا به روی آن می‌زند و چرخ را به گردش در می‌آورد. وزن این قسمت نسبتاً زیاد است. این صفحه باعث ایجاد حرکت منظمی می‌گردد که در نتیجه ضربات متمادی پای سفالگر بوجود می‌آید. در چرخهای امروزی از صفحه فلزی استفاده می‌شود.

ج - یک چوب استوانه‌ای به قطر ۴ و به طول ۴۰ سانتیمتر که از میان صفحه زیرین می‌گذرد و بخش بزرگی از آن در بالای این صفحه و بخش کوچکی از آن در زیر این صفحه جای دارد. از میان این چوب یک میله آهنی به شرح زیر می‌گذرد.

د - یک میله آهنی استوانه‌ای به طول یک متر که از میان چوب استوانه‌ای در «سرچرخ» فرو رفته و سر دیگر آن در یک بلبرینگ در درون زمین جای دارد.

ه - یک بلبرینگ که در زمین جای دارد و سر میله آهنی در آن می‌گردد. پیش از این بلبرینگ یک تکه چوب سخت به کار می‌بردند. درون این چوب را خالی می‌کردند و در آن روغن چراغ می‌ریختند تا میله آهنی به نرمی و آسانی بچرخد.



علی رغم ظواهر امر، چرخکاری به طور کلی عملی است که نیازمند مهارت بسیار زیادی می باشد. بنابراین یقیناً با توضیحات ساده و مختصر و بدون کسب تجارب عملی، حق مطلب ادا نخواهد شد. اما به منظور کسب نتایج و در درک بهتر روشهای معمول شکل دادن در صنعت امروز، توانایی اجرا و درک صحیح از این روش، بسیار حائز اهمیت است.

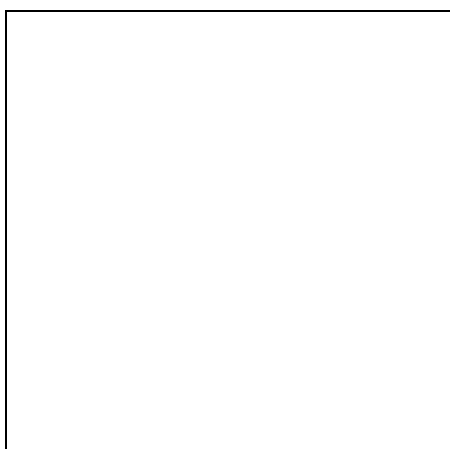
### دستگاه های جیگر و جولی

از آنجا که تهیه و ساخت ظروف چینی به طریق چرخکاری معمولی مشکل و تقریباً غیر ممکن است، دستگاه جیگر در سال ۱۸۲۵ با استفاده از قالب های گچی بوجود آمد.

با استفاده از این دستگاه، می توان قطعات متعدد و مشابه را یکی بعد از دیگری تولید نمود. تقریباً صد سال به طول انجامید که این دستگاه به صورتی خود کار در آید.

این روش از تکامل چرخکاری به وجود آمده و در عین حال مادر روشهای امروزی برای شکل دادن محصولات مدور و متقارن می باشد. دستگاه های جیگر و

جولی از نظر نحوه عمل اختلاف عمده ای با یکدیگر ندارند. زیرا در هر حال خمیر فرآورده ها در بین یک تیغه شکل دهنده و یا قالب گچی که در حال چرخش می باشد، قرار گرفته و شکل می یابد. نقطه متمایز مهم دستگاه های جیگر و جولی در کاربرد این دستگاه ها نهفته است. بدین معنی که دستگاه جیگر برای ساخت و شکل دادن ظروف تخت، مثل بشقاب و دستگاه های جولی برای ساخت و شکل دادن ظروف گود مانند فنجان و کاسه، به کار می رود.



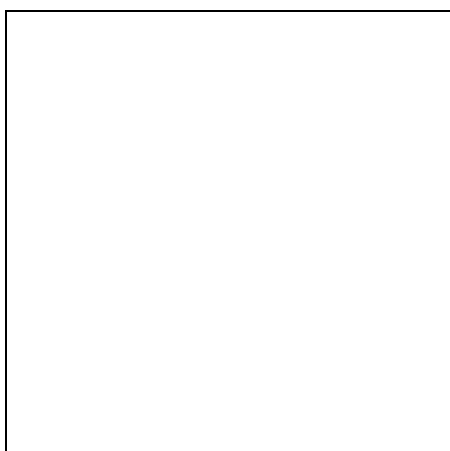
ساخت ظروف تخت و به عبارت دیگر روش جیگر را می توان شامل دو مرحله دانست. در مرحله اول، ورقه های مذکور به وسیله ماشین پهن کننده پهن می گردد. به نحوی که شعاع ورقه های پهن شده، تقریباً کمی از شعاع فرآورده نهایی که باید نهایتاً شکل گیرد، بیشتر گردد. بدیهی است که در این وضعیت، ضخامت ورقه ها نیز کاهش می یابد. نحوه کار دستگاه به این ترتیب است که ورقه خمیر در مرکز قالب گچی مدوری که دارای سطح افقی می باشد، قرار داده می شود. سپس قالب گچی حول محور خود آغاز به گردش نموده و در حالی که قالب و در نتیجه ورقه خمیر در روی قالب در حال گردش می باشد، تیغه مسطحی به روی سطح ورقه فرود آمده و آنرا پهن می سازد. بعد از این مرحله، ورقه پهن شده از روی قالب برداشته شده و دقیقاً در

وسط قالب دیگری که سطح آن به شکل سطح داخلی محصول است، قرار داده می شود. در این لحظه مرحله دوم آغاز می گردد و عمل شکل دادن نهایی به وسیله دستگاه جیگر صورت می پذیرد. به این صورت که قالب مذکور به همراه ورقه خمیر روی محل خاصی که اصطلاحاً سر دستگاه جیگر نامیده می شود قرار گرفته و سپس دستگاه جیگر کار خود را آغاز نموده و قالب گچی را حول محور خود می گرداند. در هنگام گردش قالب کارگر متخصص دستگاه، باید مرتباً فشار کمی را به وسیله دست خود و یا با واسطه یک اسفنج مرطوب به خمیر وارد سازد. این عمل جهت اطمینان از اتصال کامل خمیر به قالب در خلال گردش آنها انجام می شود. باید توجه داشت که هنگام کار، جهت فشار اعمال شده روی ورقه خمیر، باید از مرکز به طرف لبه ها باشد. بعد از این مرحله تیغه ای فلزی که به شکل سطح خارجی محصول و یا ظرف تخت است، به روی خمیر فرود آمده و آنرا شکل می دهد که باعث خروج و پس زدن مقادیر اضافی خمیر می گردد. در هر حال در تمامی مراحل کار، استفاده از آب جهت کاهش اصطحکاک و تنش الزامی است. بعد از شکل یافتن قطعه، قالب و قطعه شکل گرفته از دستگاه جیگر برداشته شده و به خشک کن انتقال می یابد. باید توجه داشت که در این روش، توجه بسیار زیاد به جزئیات اجرا، به خصوص کارهایی که به وسیله کارگر متخصص انجام می شود، اعم از: قرار دادن خمیر در وسط قالبها، انتقال ورقه پهن شده از دستگاه پهن کننده به دستگاه جیگر، اعمال فشار به خمیر در هنگام شکل گیری و غیره، بسیار مهم است. زیرا کوچکترین عدم دقت باعث ایجاد تغییر شکل و ترک در مراحل بعدی تولید (خشک شدن و پخت) می گردد.

در روش جولی تولید محصول عکس روش جیگر صورت می پذیرد. به این معنی که قالب، سطح خارجی فرآورده و تیغه، سطح داخلی آنرا شکل می دهد. به طور کلی روش شکل دادن به وسیله دستگاه جولی ساده تر از شکل دادن به وسیله دستگاه جیگر است. چرا که در این روش این امکان وجود دارد که قطعه ای از خمیر مستقیماً و بدون

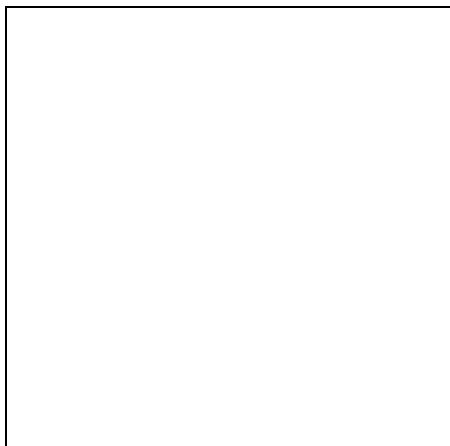
طی مرحله ای مشابه مرحله پهن سازی در مورد ظروف تخت، به داخل قالب دستگاه جولی گذاشته شود و به وسیله انگشتان دست شکل ابتدایی ایجاد گردد .

امروزه دستگاه های غیر خودکار جیگر و جالی به دلیل نقایص بزرگ آنها مانند اعمال تنش و تغییر شکل، نیاز به نیروی انسانی ماهر برای کار با این دستگاه ها و سرعت تولید پایین، در مقیاس صنعتی کاربردی نداشته و مدتهاست که صرفاً در کارگاه ها از آنها استفاده می شود. کاربرد دستگاههای نیمه خودکار و خودکار جیگر و جولی نیز از هنگام ورود ماشینهای گردان به صحنه صنعت، که صرفاً در تولید فرآورده های مدور متقارن است، روز به روز کمتر و کمتر شده است. به نحوی که امروزه معمولاً این دستگاه ها را فقط در کارخانجات نسبتاً قدیمی می توان مشاهده نمود. به هر صورت با تمامی این توضیحات باید توجه داشت که اگر چه امروزه دیگر ظروف خانگی کمتر به این روش ساخته می شوند ولی هنوز استفاده از این دستگاه ها در صنعت در بعضی موارد رایج است .



## ماشینهای گردان

روش شکل دادن به وسیله ماشینهای گردان، روشی است که به طور عمده در چند دهه اخیر رایج شده و با توجه به مزایا و برتریهای آن، امروز رایج ترین روشی است که در کارخانجات جهت تولید ظروف خانگی و سرویسهای غذاخوری مورد استفاده قرار می گیرد. ماشینهای گردان در عین حال که از تکامل دستگاه های جیگر و جولی به وجود آمده اند، ولی دارای تفاوت های عمده ای نیز می باشند. در ماشینهای گردان به جای تیغه شکل دهنده که در دستگاه های جیگر و جولی وجود دارد، یک حجم دوار که اصطلاحاً به آن بمب گفته می شود، عمل شکل دادن را انجام می دهد. در هنگام شکل دادن ظروف، بمب برعکس تیغه های شکل دهنده، در حال گردش است و در عین حال به وسیله گاز و یا الکتریسته، گرم می شود. به علاوه در ماشینهای گردان در اکثر موارد مرحله پهن کردن ورقه خمیر در مورد محصولات گود، حذف گردیده است. ولی با این همه باید توجه داشت که در بعضی موارد، در انواع نیمه خودکار ماشینهای گردان و در مورد قطعات بزرگ عمل پهن کردن ورقه خمیر هنوز انجام می شود.



در مجموع حد خودکاری ماشینهای گردان نیز بسیار بیشتر از حد خودکاری دستگاه های جیگر و جالی است. به نحوی که در انواع تمام خودکار ماشینهای گردان فقط به یک نفر کارگر غیر متخصص جهت قرار دادن قالب در دستگاه و برداشتن آن پس از شکل گیری خمیر احتیاج می باشد. با توضیحاتی که تاکنون داده شد احتمالاً مشخص گردیده که ماشینهای گردان هم برای شکل دادن فرآورده های تخت و گود مورد استفاده قرار می گیرد.

مهمترین نقطه ضعف این روش، ایجاد تنش و عدم یکنواختی جهات صفحات رس و در نتیجه تغییر شکل فرآورده ها در مراحل خشک شدن و پخت است. علاوه بر این مورد، به دلیل خودکار بودن این روش باید کنترل بسیار دقیق بر مراحل تولید، بخصوص مراحل تهیه بدنه و شکل دادن، اعمال گردد. از طرف دیگر استفاده از روش گردان در مورد بدنه هایی با پلاستیسیته کم مثل بدنه های چینی استخوانی، خیلی ساده نیست.

مهمترین مزایای روش شکل دادن با استفاده از ماشینهای گردان را نیز می توان موارد زیر دانست :

- ۱- این روش در مقایسه با روشهایی که تاکنون توضیح داده شده بسیار خودکارتر بوده و بنابر این همان طور که ذکر شد به افراد بسیار کمتری نیاز دارد .
- ۲- به دلیل خودکاری بسیار بیشتر این روش می توان از نیروی انسانی نیمه متخصص و غیر متخصص استفاده نمود .
- ۳- در این روش خمیر می تواند با درصد آب نسبتاً کمتری مورد استفاده قرار گیرد . بنابراین امکان تغییر شکل کاهش می یابد .
- ۴- سرعت تولید و بازده کار در این روش بسیار بیشتر است .



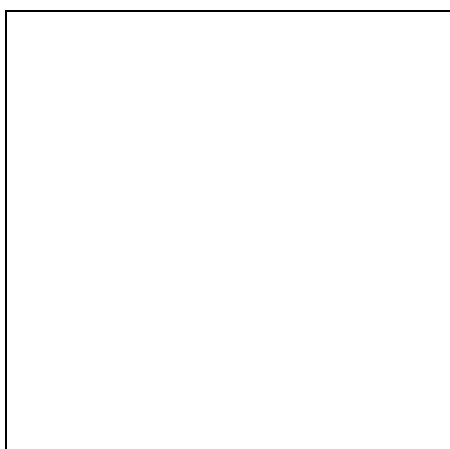
کاربرد ماشینهای گردان مانند دستگاه های جیگر و جالی صرفا قادر به شکل دادن محصولات مدور و متقارن بوده و نمی تواند فرآورده هایی با اشکال پیچیده را بوجود آورند. از طرف دیگر این روش در مقیاس بزرگ تولید کاربرد دارد. تا کنون هیچ روش دیگری قادر به رقابت با این روش نیست. و به همین دلیل علی رغم نقاط ضعف آن امروزه رایجترین روش جهت تولید ظروف خانگی و سرویسهای غذاخوری در کارخانجات می باشد. به هر حال باید توجه داشت که چنین روشهای مدرنی با بازدهی بسیار زیاد هنگامی قابل استفاده می باشند که تنوع شکلهای مورد نیاز کم باشد و به همین دلیل نیز در یکی دو دهه اخیر با رواج ماشینهای گردان تنوع اشکال تولیدی به وسیله کارخانجات تولید کننده ظروف خانگی بسیار کمتر گردیده است.

### دستگاه پرس پلاستیک

همچنان که از نام این روش نیز مشخص است در روش پرس پلاستیک، خمیر پلاستیک بدنه به وسیله فشرده شدن در بین دو قالب گچی شکل می گیرد. عمل فشار دادن خمیر به وسیله یک دستگاه پرس هیدرولیک انجام می شود. خمیر مورد استفاده در دستگاه های پرس معمولا همان خمیری است که در دستگاه های گردان مورد استفاده قرار می گیرد. یعنی همان ورقه و یا برشی از ستون خمیر که از دستگاه ورز دهنده خارج می شود. با این همه لازم به توضیح است که در بعضی موارد، ورقه خمیر قبل از شکل یافتن به وسیله دستگاه پرس، ابتدا به وسیله دستگاه پهن کننده پهن می شود. در این روش برعکس روشهای شکل دادن به وسیله ماشینهای جیگر، جولی و گردان، قطعه شکل داده شده بلافاصله بعد از شکل گیری با استفاده از هوای فشرده از قالب جدا و خارج می گردد.

روش پرس پلاستیک، به طور کلی برای تولید محصولاتی که دارای تقارن دایره ای نمی باشند مورد استفاده قرار می گیرد. بنابر این روش پرس پلاستیک را می توان رقیب اصلی روش ریخته گری دانست.

شاید بتوان مهمترین نقطه ضعف روش پرس پلاستیک را وجود تنشهای ناهمگن در بدنه فرآورده ها دانست. به این معنی که شکل دادن به روش پرس پلاستیک نیز قادر به از بین بردن ناهمگنی های ایجاد شده در ورقه خمیر ناشی از عمل دستگاه پالاینده فشاری و دستگاه ورز دهنده، نمی باشد. در این روش نیز مشابه روش دستگاه های گردان، پهن نمودن ورقه خمیر قبل از قرار گیری در دستگاه پرس، می تواند به رفع این عیب کمک کند. ولی این عمل در هر حال باعث کاهش سرعت تولید می گردد.



#### شکل دادن به وسیله دستگاه های ورز دهنده

در بعضی موارد این دستگاه علاوه بر اینکه مسئولیت ورز دادن خمیر را بر عهده دارد، عمل شکل دادن آنرا نیز انجام می دهد. به این روش شکل دادن، اصطلاح روش اکستروژن اطلاق می گردد. که می توان عنوان روش شکل دادن به وسیله دستگاه های ورز دهنده را معادل آن دانست.

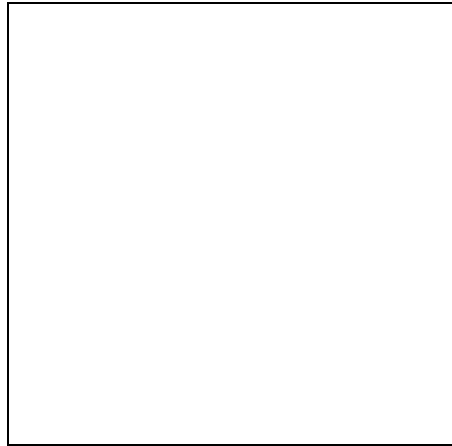
به طور کلی مهمترین مزیت این روش تولید سریع می باشد. این مزیت عمده باعث گردیده که علی رغم نقطه ضعف بزرگ این روش یعنی عدم همگنی کامل خمیر، روش شکل دادن به وسیله دستگاه های ورز دهنده، همچنان در تولید بعضی از

محصولات سرامیک به عنوان روش عمده تولید مورد استفاده قرار گیرد. وجود انواع معایب از جمله ایجاد لبه های مقعر و محدب، تاب خوردگی، وجود ترکهایی به شکل حرف S، ترکهای طولی، ترکهای دایره شکل و موج در سطح فرآورده هایی که به خصوص به این روش شکل داده شده اند، کاملاً معمول بوده که به طور عمده ناشی از عمل حلزونی شکل دهانه خروجی و نیز طراحی دستگاه ورز دهنده می باشند. با توجه به اهمیت این موضوع، تاکنون تحقیقات زیادی در مورد رفع و یا کاهش شدت این نقایص در دستگاه های ورز دهنده هنوز حل نگردیده است. روش شکل دادن با استفاده از دستگاه های ورز دهنده، به طور کلی برای آن دسته از فرآورده ها می تواند کاربرد داشته باشد که دارای سطح مقطع عرضی یکسان و ثابت در امتداد طول خود می باشد. این روش به خصوص در تولید سرامیکهای زمخت به طور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد و کاربرد آن جهت تولید محصولات ظریف به طور نسبی بسیار محدودتر و کمتر می باشد. در حیطه محصولات ظریف، یکی از مهمترین موارد استفاده از این روش، در تولید بعضی از کاشیهای کف می باشد.

### شکل دادن به روش تراش

در بسیاری موارد، عمل تراش فرآورده ها و به عبارت دقیقتر عمل تراشیدن قسمتهای اضافی به عنوان جزئی از اعمال مرحله پرداخت تلقی می گردد. چنین تفکر و برداشتی شاید در مورد اکثر فرآورده های سرامیکی مصداق داشته باشد. ولی در بعضی موارد یعنی در شرایطی که عمل تراش عامل شکل دهنده قطعه می باشد، در این موارد می توان از نوعی روش شکل دادن بحث نمود که به این امر شکل دادن به روش تراش گفته می شود.

تراش بر روی بدنه سرامیکهای نیمه خشک که اصطلاحاً حالت چرم سخت نیز به آنها اطلاق می گردد، ابتدا بوسیله چینی ها، یونانیها و نیز در دوران مسیحیت مورد استفاده قرار گرفت. فرمهای بسیار نازک و دقیق اکثراً از این طریق ساخته می شدند.



روش تراش دادن فرآورده های سرامیکی، مشابه روش تراش دادن فلزات است . بدین ترتیب که قطعات به وسیله یک موتور الکتریکی حول محور خود به صورت افقی یا عمودی گردش داده شده و همزمان با این عمل، قسمت های اضافی محصول با استفاده از ابزاری تیز و برش دهنده تراش داده می شود. این وسیله تیز و برش دهنده می تواند در دست قرار گرفته و اصطلاحاً تراش به وسیله دست انجام شود و یا به صورت خودکار، خود دستگاه این عمل را انجام دهد. شکل دادن تراش مشخصاً در مورد مقره های دکلهای انتقال برق، روش عمده شکل دادن بوده و در این زمینه کاربرد وسیعی دارد. علاوه بر این مورد در حیطه سرامیکهای ظریف، این روش تولید بسیاری از انواع ظروف خانگی و فرآورده های تزئینی و هنری مورد استفاده قرار می گیرد. به عنوان مثال برای شکل دادن پایه های فنجانهایی از جنس چینی استخوانی، از این روش استفاده می شود.

فصل سوم

## کوره های سفالپزی

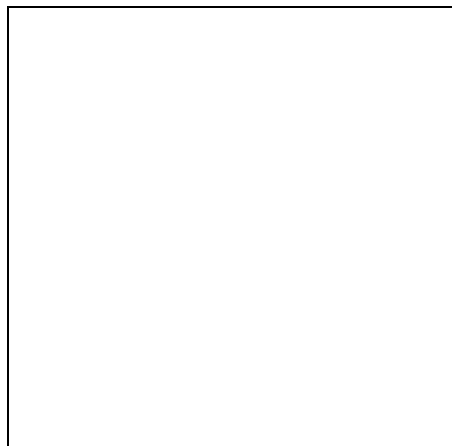
برپا نمودن آتش برای پخت سفال امری بوده که در ابتدا به صورت تجربی و بدون استفاده از اصول صحیح انجام می شد. سفالگری فنی است که مستقیماً با چهار عنصر اساطیری تشکیل دهنده هستی، یعنی آب، باد، خاک و آتش، در ارتباط است. در میان این عناصر، آتش نقش مهمتری را ایفا می نماید. آتش، خاک رس را تبدیل به ماده ای جدید می نماید که بدنه های تشکیل شده از این ماده دارای مقاومت و شکلی ثابت می باشد.

سفالگری باستانی، با اندک تفاوتی در نوع کوره ها و سوخت، نزد اقوام مختلف دارای تکنیک تقریباً مشابه بوده است. سفالگران ماهر، با شامه، چشم و لمس کردن، حرارت را کنترل می کردند. چیدن سفال در کوره، اهمیت اساسی داشت، سفالینه های ظریف، دور از حرارت یا در مخزن قرار داده می شد و سفال اندکی درشت تر را در طبقه بعدی و پشت ظروف بزرگتر محافظت می کردند. در بالای کوره ها، روزنه ای وجود داشته که گهگاه استادکاران از آنجا داخل کوره و محصولات را دیده و کنترل می کردند.

بدون تردید، اولین سوخت کوره های ابتدایی، هیزم، چوب و خاشاک بوده است و سپس انواع آتش از سوختن هیزم، بوته های خار، گیاهان خشک و کاه، آغاز شده تا به فضولات خشک شده حیوانات در این چرخا رسیده است. زغال سنگ نیز قبل از گاز و نفت و الکتریسیته، سوخت متداول و معمول بوده است. با نگاهی به گذشته می بینیم که اجاق خانگی اقوام ماقبل تاریخ، اولین کوره های پخت سفال بوده اند و آتش این اجاق ها از چوب و کنده درختان و بوته های خشک گیاهان تأمین می شده است.

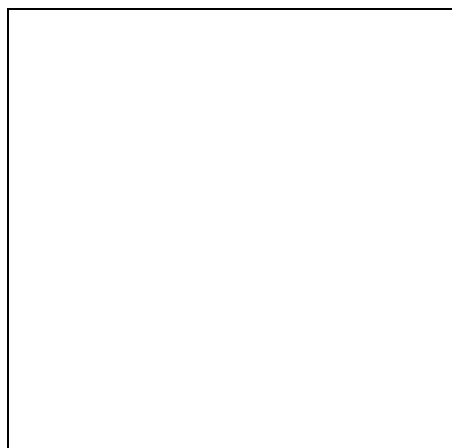
قدمت اولین کوره های پخت سفال، حداقل به ۸۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح برمی گردد و احتمالاً پیش از این نیز، کوره پخت سرامیک وجود داشته است. تعیین شکل و ساختار کوره های پیش از تاریخ، بر پایه حدس و گمان استوار است. اما می توان گفت که کوره های امروزی شکل تکامل یافته کوره های باستانی می باشند.

احتمالاً انسانهای اولیه، چنین مشاهده کردند که خاک رس زیر آتشفهای صحرائی، به صورت ماده ای سخت در آمده و یا سبدهای گل مالی شده به طور تصادفی در آتش افتاده و با سوختن چوب آن، گِل رویی آن به صورت لایه ای سخت و ظرف مانند بر جای مانده است. اگر چنین باشد، اینگونه کشف های بشر گام کوچکی در استفاده کنترل شده از آتش بوده، تا با تمرکز حرارت بر روی اجسام سفالی خام، بدنه های سخت به دست آید. روش ساخت بدنه های سفالی و فن پخت آنها در بین انسانهای اولیه گستردگی خاصی پیدا کرد و عملاً به صورتی مشابه در بعضی از نواحی کره زمین، مثل آسیای مرکزی و آمریکای جنوبی، پخت محصولات سفالی رایج شد. سفالگران اولیه با توجه به منطقه زیست خود کوره سفالگری را در نزدیک معادن رسی و رودخانه ها احداث می کردند و در دسترس بودن سوخت نیز دارای اهمیت بود.



سفالگران بدوی، با توجه به موقعیتهای محلی، از روشهای مختلف پخت، در گودالهای باز استفاده می کردند. در این دوران، پیشرفت اساسی و خاصی که در پخت بدنه های سفالی دیده شده، احاطه کردن بدنه با ذغال سنگ داغ سرخ شده و خاکه های گرم بوده تا به این ترتیب دمای بدنه های رسی، به دمایی معادل دمای قرمز (حدود ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد) رسانده شود. برای انجام این کار، گودالی کم عمق،

حدود ۳۵ تا ۵۰ سانتیمتر، در زمین کنده می‌شد. سپس دیواره‌های کناری و کف این گودال با لایه‌هایی از شاخه و برگ درختان یا نی خیزران پوشیده می‌شد. روی این لایه، ظروف سفالی به گونه‌ای روی هم انباشته می‌شدند که بین آنها حداقل فضای خالی وجود داشته باشد. در اطراف و روی بدنه‌ها را نیز با سوخت می‌پوشاندند. گاهی مواقع، پیش از قراردادن سوخت، از خرده سفالهای پخته شده که عموماً از کوزه و ظروف شکسته فرآیندهای قبلی پخت بر جای مانده بودند، بر روی بدنه‌های می‌چیدند. از آنجایی که سوخت در یک گودال کم عمق مشتعل می‌شد، هوای زیادی به آن نمی‌رسید و به همین علت در ابتدای کار، ماده سوختی به سرعت نمی‌سوخت، اما به تدریج با تشکیل خاکه‌های گرم، گرمای بیشتری حاصل می‌شد. در این موقع سوخت بیشتری به کوره اضافه می‌شد. وقتی که شعله آتش به سطح بالاتر از سطح گودال می‌رسید، شدت آتش نیز بیشتر می‌شد.

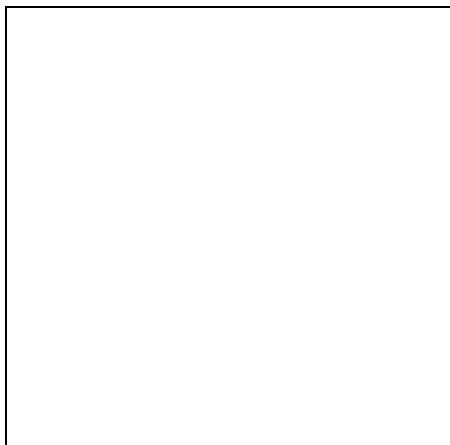


در نقاط مختلف و به وسیله سفالگران مختلف، از سوخت‌های متنوعی برای گرم کردن محصولات استفاده شده است. گاهی مواقع از گیاهان یا علفهای خشک استفاده شده و گاهی مواقع نیز از شاخه‌های نازک درختان. بعضی از سفالگران از کود خشک نیز به عنوان سوخت استفاده کرده‌اند. مزیت این سوخت در این است که با سرعت



بیشتری سوخته و سوختن آن نیز بطور یکنواخت تری انجام می شود و در حین سوختن نیز، بعنوان خاکه گرم، شکل خود را حفظ کرده و بدین وسیله از سرد شدن سریع بدنه جلوگیری می کند.

روش پخت گودالی دارای این مزیت است که در آن به ساختمان خاصی برای پخت بدنه ها احتیاج نبوده و به همین علت، در هر جای ممکن و با هر سوخت در دسترس، می توان بدنه ها را به این روش پخت. البته افزایش دما در روش پخت گودالی فقط تا محدوده معینی امکان پذیر است؛ یا به عبارتی با استفاده از سوخت بیشتر، دما از حد خاصی بالاتر نمی رود. دماهای پخت در گودالهای باز، به ندرت از دمای قرمز کم رنگ، متجاوز می گردد. اگرچه این دماها برای پخت بدنه های سفالی نرم و متخلخل کافی به نظر می رسد، اما برای پخت بدنه های سخت و غیر قابل نفوذ و یا برای پخت لعاب به حد کافی نیست. علی رغم این موضوع، با همین روش پخت در دمای پایین، سفالگران باستانی موفق به ایجاد بدنه هایی شدند که از نظر زیبایی و هنری، دست کمی از بدنه های تولید شده بوسیله استادان چیره دست بعدی نداشتند.



بدنه های بدوی اگرچه متخلخل بوده و استحکام کمتری نیز داشتند، اما با استادی و با تکنیکهای فراوان ساخته می شدند. مثلاً در کشور باستانی پرو، سفالگران از نوعی قالب های رسی و روش قالب بندی با دست استفاده می کردند و قادر بودند تا فرایند پخت را به گونه ای کنترل نمایند که رنگهای جالب بر روی بدنه قالب ریزی شده بدست آید.

از آنجایی که پخت در دماهای نسبتاً پایین انجام می شد، آن دسته از بدنه های سفالی که در حالت خام با سنگ نرم و صاف، صیقل کاری می شدند، پس از پخت نیز سطح صاف و صیقل کاری شده خود را حفظ می کردند. در آن ایام با این کار به بدنه حالت تزئینی می دادند.

مرحله بعدی در پیشرفت کورههای پخت مواد سرامیکی، تغییر دادن گودال به صورتی بود که حرارت را به نحو بهتری حفظ کند و سوخت نیز به گونه ای تغذیه می شد که گرمای حاصل از احتراق سوخت، به صورت بهتری جریان داشته باشد. پیشرفت ساده اما مؤثری که در پخت با روش گودالی ایجاد شده این بود که در قسمتهای پایینتر گودال سوراخهایی برای دمیدن هوا در نظر گرفته شد تا با وارد کردن هوا از این سوراخها، احتراق به نحو بهتری انجام شود. اگر هوای کمی نیز از کف گودال دمیده می شد، دمای فرایند پخت حداقل به اندازه ۱۰۰ درجه سانتیگراد، افزایش پیدا می کرد.

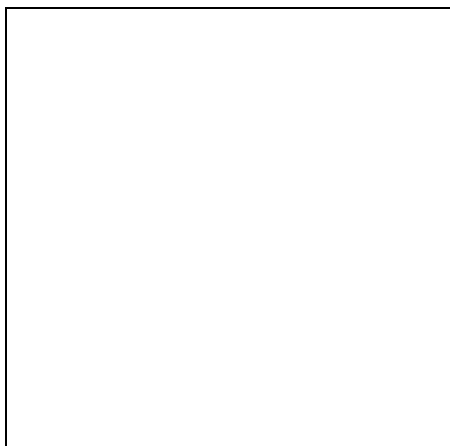


پیشرفت دیگری که در گودالهای حفر شده ایجاد شد، ایجاد دیواره های رسی یا گلی کوتاه در اطراف گودال بود که می توان این مرحله را گامی در ایجاد یک کوره ناقص و اولیه دانست. این دیوارها، در نگه داشتن گرمای خاکه های گرم مراحل پایانی پخت، کمک می کرد. کوره های گودالی از این نوع، هنوز هم در اسپانیا و مکزیک مورد استفاده هستند.

گام بعدی، که پیشرفتی اساسی در تکنیک آتش کردن کوره محسوب می شود تغذیه سوخت به کف گودال یا محفظه می باشد. با این کار اجازه داده شد تا شعله از میان بدنه های چیده شده به بالا رود. با این روش، نسبت به حالتی که بدنه ها در بستری از خاکه های محبوس می شدند، انتقال حرارت به نحو بهتری انجام شد.

### کوره های آسیایی

کوره هایی که در کشورهای مشرق زمین بکار گرفته شدند، مرحله دیگری از پیشرفت طرح کوره ها را به همراه داشتند. این کوره ها اگرچه از جمله کوره های بدوی هستند، اما هنوز در عراق، آفریقای شمالی و یونان کاربرد داشته و بدون شک شباهت زیادی به کوره های توسعه یافته در مصر باستان و بین النهرین دارند و در واقع اولین کوره های پخت محصولات سرامیکی محسوب می شوند.



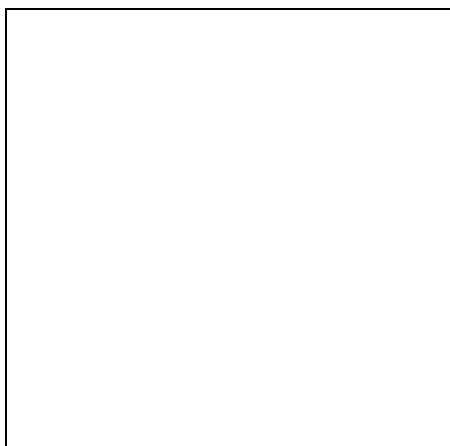
شکل کوره اساساً یک استوانه است که قسمت بالای آن باز بوده و دارای یک دهانه تونلی شکل برای تغذیه یا ورود آتش از کف می باشد. سطح یا صفحه ای که بدنه های روی آن چیده می شدند، سوراخ دار بوده و این سوراخها به شعله های آتش و یا محصولات احتراق اجازه می دادند تا به سمت بالا حرکت کنند. گاهی مواقع برای ایجاد سطحی که بدنه ها را روی آن بچینند، از شمش های رسی پخته و گل رس استفاده می کردند. شمش های رسی پخته را به صورت عرضی چیده و فواصل خالی آنها را با گل پر می کردند به گونه ای که فقط یک سری سوراخ باقی بماند. سپس بدنه ها را، روی سطح تشکیل شده، بر روی یکدیگر می چیدند. از دهانه ورود آتش، به داخل کوره آتش کرده و شعله ها و گازهای گرم حاصله را از میان بدنه ها، به سمت بالا حرکت می دادند.

در سده سوم میلادی در چین، نوع ابتدائی کوره ها به ارتفاع ۲۰۰ و درازای ۱۰۰ تا ۱۶۵ سانتیمتر ساخته می شده و سوخت آن ها از چوب صنوبر یا "ارس Oros" بوده است. در چین باستانی نیز سوخت کوره ها را هیزم معمولی تشکیل می داده است ولی چون سفالگری صنعت پر اهمیتی محسوب می شد، کوره ها بوسیله افرادی که آگاهی و تجربه بسیار از دود و دم چوب آبدار یا خشک داشته اند، روشن می شد و از طریق دودی که از دودکش ها خارج می شد، تشخیص می داده اند که آتش داخل کوره در چه وضعی است. از تغییرات دود، از راه شامه، گوش و چشم درمی یافته اند که آتش را کنترل کنند.

### کوره های مصر و نواحی مدیترانه

کوره های اولیه ای که در مصر و نواحی مدیترانه بکار گرفته شدند، از آجرهای خشتی ماسه ای، آجر پخته، و ماسه سنگ ساخته شده بودند. دیواره های کوره ها با گل رس ساخته شده. اغلب اطراف ساختمان کوره را با استفاده از خاک می پوشاندند. با کپه کردن خاک در اطراف کوره، علاوه بر ایجاد حائلی برای دیواره آن، موجب حفظ

گرمای داخل کوره نیز می شدند. به همین علت اغلب کوره ها را در کناره تپه و یا دیواره طبیعی بنا می کردند.



کوره های بدوی نواحی مدیترانه ای معمولاً از بالا بارگیری می شدند. بدنه های سفالی به گونه ای بارگیری یا چیده می شدند که برای گذر شعله ای بین بدنه ها، جای کافی وجود داشته باشد. قسمت بالای کوره را با استفاده از بدنه های سفالی شکسته به گونه ای می پوشاندند که قطعات شکسته ماند پولک ماهی هم پوشانی داشته و بدین ترتیب تا حدّ زیادی حرارت در کوره حفظ شود. آتشدان یا دهانه آتش کوره به حدی بزرگ ساخته می شد که امکان افروختن آتش تا میزان مورد نیاز وجود داشته باشد. در این کوره ها، با قرار دادن آجر و سنگ در داخل آن، منقلی ایجاد می کردند تا هوا به آسانی به ماده سوختی در حال سوختن برسد. از بوته های صحرایی، نی خیزران، شاخه و برگ درختان، و یا هیزم و چوبهای قطعه شده نیز به عنوان سوخت استفاده می شد.

در این روش، میزان احتراق قابل کنترل بوده و از حالت شعله کم، در شروع فرایند پخت، تا ایجاد شعله هایی با حرارت بسیار زیاد در پایان فرایند پخت قابل تغییر است. دیواره های کوره، حرارت داخل کوره را حفظ کرده و موقعی که سطوح دیواره

به دمای قرمز داغ رسیدند، حرارت را به داخل کوره برگشت می دهند. دهانه بالای کوره را می توان در حین پخت پوشانید تا حرارت بیشتری در کوره حفظ شود، اما معمولاً اجازه داده می شود تا گازهای گرم به مقدار کافی از طریق این دهانه به خارج راه پیدا کند، تا مکش و جریان مناسب در کوره پدید آید.

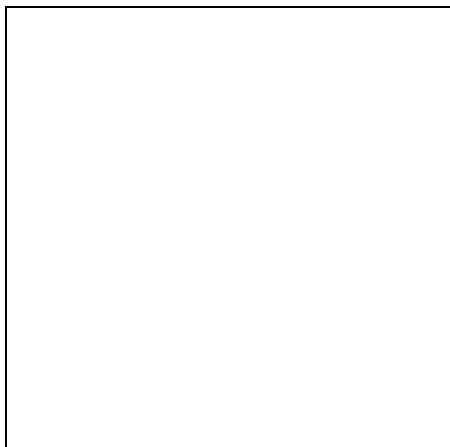
با توجه به محصولات سرامیکی تولید شده در این نوع کوره های بدوی، در مصر، نواحی بین النهرین، کرت (Crete) و نواحی دریای اژه، بدست می آید، دمای کوره بایستی به  $900^{\circ}\text{C}$  و در برخی مواقع به احتمال زیاد تا  $1050^{\circ}\text{C}$  نیز رسیده باشد. این کوره ها قابلیت این امر را داشتند که به تدریج کاربرد لعابهای سرامیکی توسعه پیدا کند.

### کوره های یونان و روم باستان

طرح کوره هایی که در یونان باستان بکار برده شده، با توجه به ظروف باستانی کشف شده، کاملاً شناخته شده است. با توجه به معلومات یونانی ها در مورد چگونگی بنا نهادن طاقهای گنبدی، مردم یونان باستان کوره های خود را شبیه به کندوی زنبور عسل می ساختند. در این کوره ها، آتش در یک آتشدان تونلی شکل افروخته شده و شعله های آتش به داخل محفظه کوره هدایت می شد. با باز و بسته کردن یک سوراخ در بالای محفظه کوره، میزان مکش و خروج هوای گرم، قابل کنترل بود. با توجه به نقاشی های باستانی یونان، کورهها دارای درب بودند.

احتمالاً کوره های یونانی را از آجر یا خشت های پخته می ساختند. با توجه به کیفیت خوبی که ظروف سفالی یونانی داشته و نیز با توجه به رنگهای تزئینی سطح آنها، کوره های یونان باستان قابلیت کنترل خوبی داشته است و سفالگر قادر بود با توجه به نیاز خود، اتمسفر احتراقی اکسیداسیونی و یا احیایی ایجاد نماید. احتمالاً کوره های یونانی بزرگ نبوده اند و قطر دایره محفظه آنها نیز به احتمال زیاد بیش از ۱۸۰ سانتیمتر نبوده است.

کوره های رومی، اساساً از یک سطح یا بوته بزرگ و سوراخ دار تشکیل شده بودند که در زیر این سطح، فضایی برای برافروختن آتش وجود داشت. ظروف یا بدنه هایی که باید پخته می شدند، بر روی این بوته قرار می گرفتند و در روی آنها دیواره ای موقت از گل بنا می شد. قسمت بالای دیواره به تدریج جمع شده و به صورت یک گنبد تبدیل می شد و در نتیجه محفظه اصلی کوره تشکیل می گردید. از آنجا که اطراف این کوره را با گل بنا می کردند این کوره را کوره گلی نامیدند که اصطلاحاً «کوره اسکو» نیز نامیده می شود.



معماری کوره های سفالگری از ابتدا در جهت دستیابی به محوطه ای برای چیدن سفالینه ها، پخت آنها، کنترل آتش، و بهره گیری بدون ضایعه از سوخت، دقت و مصالح بوده است. کوره های اولیه و بدوی در ایران نیز همانند سایر نقاط کره زمین تاز تغییر و تحول زیادی برخوردار است. تکامل کوره ها در ایران سیر منطقی و نسبتاً مشخصی دارد. با کوره سفالگری امکان حفظ گرما، تیز کردن آتش و مهار و کنترل به موقع آن وجود داشت. سفالگر می توانست نسبت به افزایش سوخت، جریان هوا، مکش و نیز ایجاد اتسفر تصمیم بگیرد. در ایران تکنیک کوره ها از قدیم ترین ادوار باستانی بر اساس ایجاد چاله کوره بوده است. کوره های پخت سفال خاکستری-سیاه نیز چاله

کوره هایی بوده اند که از ابتدایی ترین تا کامل ترین آن ها که دو یا سه طبقه و دارای جریان هوا بوده، در پخت سفال نقش اساسی داشته است. آتشیخانه این کوره ها محوطه ای کنده شده در دل زمین بود که سوخت را از مدخلی شیبدار به درون آن سرازیر می کردند. این محوطه را با دیواره ای به دو قسمت کرده روی آن سقف مشبک می زدند و سفال ها را روی این سقف می چیدند. سقف گنبدی یا مخروطی دیگری نیز به طور موقت روی جایگاه سفال ها بنا می کردند و پس از خاتمه پخت، بخشی از قوس آنرا خراب و سفالینه های پخته شده را خارج می کردند. حداکثر حرارت تولید شده در این کوره ها ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد بوده است. کوره ها معمولاً درجایی حفر یا احداث می گردید که دهانه آتشیخور آن ها در جهت باد های موسمی و معروف باشد. چنانچه به هر دلیلی باد به آتشیخور کوره نمی وزید یا کوره در محلی بدون باد حفر می گردید، پخت سفالینه ها با اشکال مواجه می شد.



## دسته بندی انواع مختلف کوره

کوره بر اساس عوامل مختلفی دسته بندی می شود.

## دسته بندی بر اساس روش کار

کوره متناوب یا غیر مداوم (شاتل) - کوره نیمه مداوم - کوره مداوم

## دسته بندی بر اساس مسیر شعله

کوره با مکش افقی - کوره با مکش سمت بالا - کوره به سمت پایین

## دسته بندی بر اساس حالت شعله

کوره با شعله مستقیم - کوره با شعله غیر مستقیم

## دسته بندی بر اساس نوع سوخت

کوره چوب سوز - کوره زغال سنگ سوز - کوره نفت سوز - کوره گاز سوز -

کوره الکتریکی

## دسته بندی بر اساس کاربرد

کوره خام پخت - کوره لعاب پخت - کوره پخت تزئینات

## دسته بندی بر اساس شکل کوره

کوره گرد، کوره چهارگوش، کوره حلقه ای، کوره تونلی، کوره غلتکی و کوره

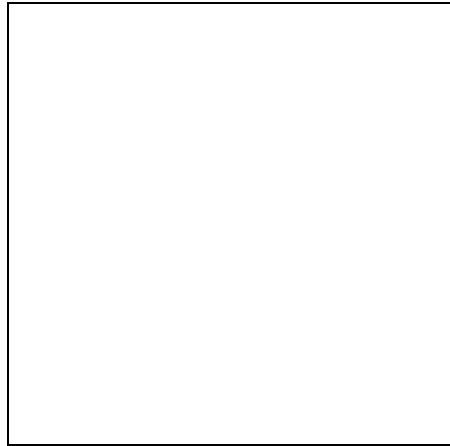
میکرو

## دسته بندی بر اساس ساختمان کوره

چاله کوره ها، کوره های مخروطی، کوره های دو یا سه طبقه دائمی و کوره های تو در تو.

### چاله کوره ها

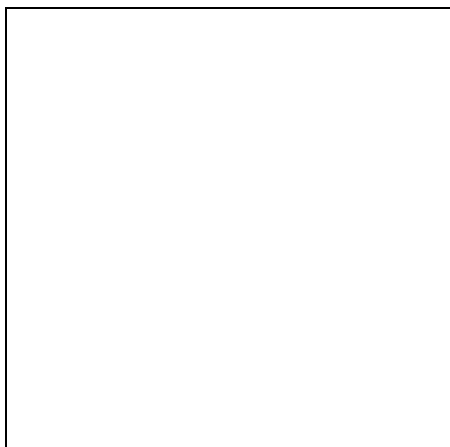
همانطور که در مقدمه بحث بیان شد این نوع از کوره ها با ندک تفاوتی در اکثر نقاط جهان به انوان کوره های لولیه شناخته می شود. آتش در چاله ای مشتعل می گردد که اغلب در بالای آن میله های سفالی چیده شده یا اینکه در وسط چاله ستونی ساخته شده است که میله ها یک سرشان روی دیواره چاله و سر دیگرشان روی ستون قرار دارد و ظروف مورد نظر برای پخت، روی این میله ها قرار می گیرد.



### کوره های مخروطی

این نوع کوره ها که به آنها کوره های بلند نیز می گویند، اغلب به شکل استوانه یا مخروطی بوده و از کوره های چاله ای یا کوره های با جریان هوا به پایین پیشرفته ترند. سابقه استفاده از این کوره ها را می توان در نقاشی مصریان قدیم مربوط به ۲۰۰۰ ق.م بررسی نمود. در کاوشهای باستانشناسی ایران گزارشی از کشف این گونه کوره ها

به چشم نمی خورد. در متون اسلامی متعلق به قرن هفتم، توصیفی از گنبدی بلند شرح داده شده، که ممکن است وصف کوره های بلند باشد. در این کوره ها آتشیوار همسطح زمین تعبیه شده و برداشتن سفال پس از پخت از طریق سقف بوده است.



#### کوره های دو یا سه طبقه دائمی

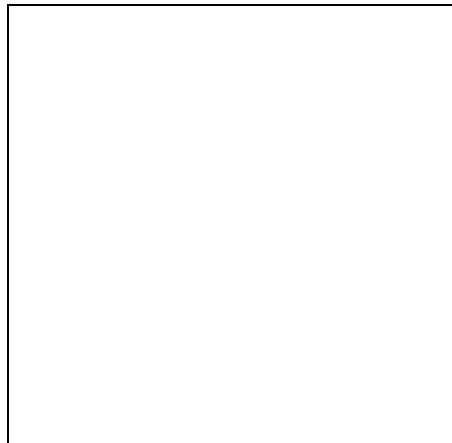
نوعی کوره بلند و استوانه ای است که دسترسی به داخل کوره از طریق دریچه ای در گرمخانه است. این نوع کوره ها بیشتر گنبدی است و فضای داخل گرمخانه به دو یا سه طبقه تقسیم می شود. کوره های بلند تقریباً پیشرفته ترین نوع کوره ها هستند. زیرا به سفالگر امکان می دهد بر حسب ظرافت تولیدات خود دور و نزدیکی به کانون حرارت، در فضاهای تقسیم شده سفالهای خود را بچیند، بدون اینکه بیم عدم دریافت حرارت یا زیادی آن را داشته باشد.



## کوره های تو در تو

این کوره ها که به آنها کوره بسته نیز گویند که ویژه پخت ظروف چینی و سرامیک بوده و ساختمان آن به گونه ای است که مانع تماس شعله آتش با سفال است. در واقع این نوع کوره با ساختن یک دیواره داخلی در کف، اطراف و بالا شبیه گنبدی دو پوش است که درون آن سفال چیده می شود. بیشترین مورد استفاده این کوره پس از چینی پزی برای ظروف لعابدار است، زیرا تماس غیر مستقیم آتش با سطح ظاهری و رویه خارجی لعاب و بدنه ظروف به آنها صدمه ای نمی زند.

فضای کوره قابل مسدود شدن است ، برای پختن ساخته های گلی یا چینی آلات و کاشی که از گذشته های دور ساخت آن معمول بوده است. گاه کوره را پس از هر بار پختن فرو می ریختند و برای استفاده مجدد بازسازی می کردند. ولی امروزه کوره ها دائمی است و از هر کوره صدها بار استفاده می شود. شکل کوره ها معمولاً مستطیل و متناسب با نوع تولیدات است. کوچکترین این کوره ها حداقل در هر بار پخت گنجایش بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کاسه یا گلدان با قطر ۲۰ تا ۲۵ سانتیمتر به همین ارتفاع را دارد. ورودی کوره نزدیک به یک متر، و ارتفاع آن حدود ۴ متر است.



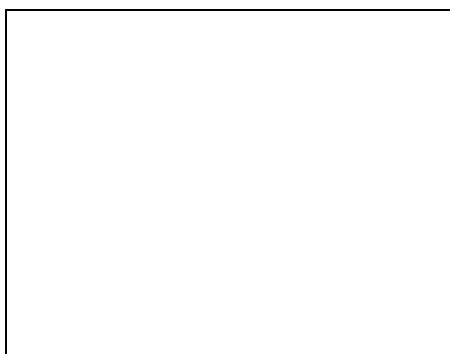
مدت پخت در این گونه کوره ها حدود ۲۴ ساعت است و یک تا دو روز نیز برای سرد شدن کوره لازم است. به قسمت بالای کوره، گرمخانه گفته می شود که روی آن را طاق دیگری به ارتفاع ۱/۵ متر می زنند و این امر به دو دلیل است:

(۱) جلوگیری از برخورد هوای سرد با اطاق کوره ای که در آن ظروف لعابدار پخته می شود.

(۲) جلوگیری نسبی از اتلاف انرژی و خشک کردن ظروف خام. ورودی کوره را سفالپزان معمولاً در جهت وزش باد انتخاب می کنند.

### کوره متناوب با مکش به سمت بالا

این نوع کوره ها از زمانهای بسیار قدیم متداول بوده و موقعیکه طاقهای ضربی در ساختمان آنه رواج پیدا کرد. به صورت مدلی کامل مورد بهره برداری قرار گرفتند. کورههای متناوب با جریان هوا به بالا که در آن آتش در جای مخصوص خود به نام آتشخانه قرار می گیرد و حرارت و دود و گاز حاصله در زیر سفال جریان پیدا کرده، به سمت بالا می رود و از یک یا چند هواکش که در سقف آن تعبیه شده است خارج می شود. این کوره ها عموماً مدور یا بیضی شکل هستند و حداقل یک و گاه چند آتشخوار دارند. محل چیدن سفال در این کوره ها طاقچه ها یا رفهای ایجاد شده در داخل گرمخانه است.

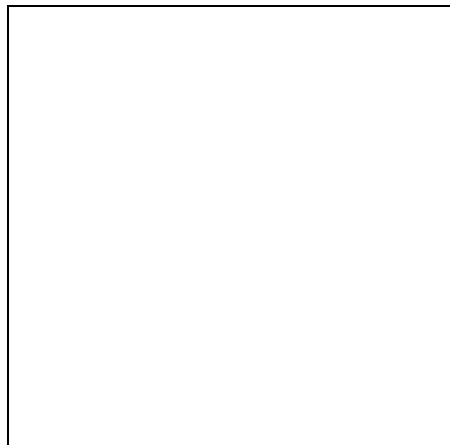


از کوره ساده با مکش به سمت بالا به صورتی گسترده و عمدتاً در کشورهای غربی استفاده شده است. مزیت اصلی این کوره، کم بودن هزینه ساخت و تعمیر و نگهداری است. از سوی دیگر به کارگیری آن آسان بوده و نیاز تخصصی ویژه ندارد.

از نقایص عمده این کورهها، دشواری یکنواخت کردن دما و محیط کوره، از بالا تا پایین محفظه احتراق است. همچنین به دلیل بیش از حد گرم شدن قطعات پایینی امکان واژگون شدن بدنه های روی هم چیده شده نیز وجود دارد. رسیدن به دمای  $1150^{\circ}\text{C}$  در این کوره به آسانی ممکن است، اما برای رعایت ایمنی پخت را در دمای کمتری انجام می دهند. لذا این کوره برای پخت چینی که به دمای  $1300^{\circ}\text{C}$  نیاز دارد مناسب نیست.

### کوره متناوب با مکش افقی

در این نوع کورههای متناوب، شعله ایجاد شده در محفظه احتراق، به صورت افقی در اطراف قطعات جریان پیدا می کند و از دودکش خارج می شود. اختلاف دما در این کوره تقریباً زیاد است. به گونه ای که نزدیک محفظه احتراق دما بالاتر و نزدیک دودکش پایینتر است.

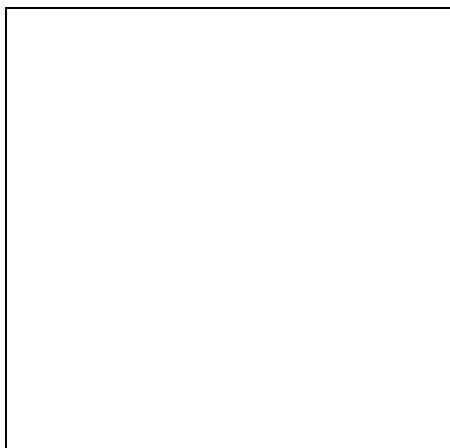


اساس اولیه طرح کوره های کشش افقی ابتدا، بوسیله صنعتگران چین کشف و متداول گردید. این نوع ابداع که به نام کوره های صعودی و یا صعود کننده نیز معروف

می باشد در اوائل عبارت بودند از تونلی تنگ وباریک که با آتشیخانه ای نسبتاً بزرگ در پایین آن بر روی تپه هائی با شیب متوسط احداث می گردید. در میان کوره های افقی می توان از کوره چینگ ته چین (کیتوکوچین) در چین و نیوکاسل انگلستان نام برد. در ژاپن این نوع کوره ها تقریباً متروک شده اند.

### کوره متناوب با مکش به سمت پایین

کوره های با جریان هوا به پایین که بر خلاف کوره های اشاره شده، از میان شکاف بین دیواره کوره و دیواره سد کننده به سمت سقف هدایت می شود و سپس از میان قطعات عبور کرده، به سمت مجرای خروج واقع در کف کوره کشیده شده، از دودکش خارج می شود. و با ایجاد شبکه ها و سوراخهایی دود و گازهای حاصل از احتراق مواد سوختنی به داخل دودکش منتهی و به بیرون هدایت می شود. در این کوره ها معمولاً دهانه آتشیوار باید اندکی پایینتر از سوراخی باشد که از آن دود و گاز به داخل دودکش می رود. شعله های آتش پیش از هدایت از زیر سقف کوره به پایین، با دیواری که به آن دیوار مانع می گویند، تماسی ندارد. در کوره های جریان هوا به پایین، سوخت چوب حرارت بیشتری تولید می کند و صاحب نظران معتقدند که در این کوره ها آسانتر می توان به درجات بیش از ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد دست یافت.



اساس اولیه ساختمان کوره های کشش تحتانی ایجاد دود کش مرتفع است تا بتواند جریان هوای متحرکی با قدرت زیاد تولید نماید. این جریان باعث چرخش حرارت در درون کوره می گردد. کار با آن احتیاج به تبحر و تجربه فراوان دارد. ولی نسبت به کوره های با کشش فوقانی سوخت کمتری مصرف می کند و حرارت بیشتری را در خود نگه می دارد. از این نوع کوره به دلیل مصرف سوخت کم و یکنواختی دما و محیط آن به صورت گسترده ای استفاده می شود.

### کوره نیمه مداوم اژدهایی

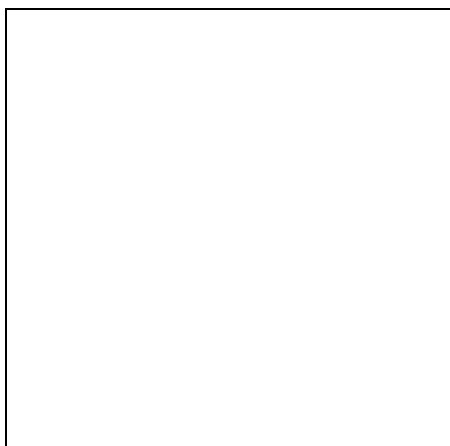
هنگامی که چند سده پیش در چین کوره اژدهایی اختراع شد، تحولی در بازده گرمایی کوره ها صورت گرفت. در کوره های متناوب بخش عمده گاز خروجی تلف می شود. گرمای انباشته شده در قطعات پخته شده نیز پس از باز شدن در به هدر می رود. برای جلوگیری از این افتهای گرمایی، تونل طولی در امتداد شیب یک تپه ساخته شد که آن را کوره اژدهایی نامیدند.

طول کوره از ۲۰ تا ۵۰ متر متغیر است، قطر داخلی کوره در حدود ۱/۸ متر و ارتفاع آن در کوتاهترین قسمت مدخل ۱/۲ متر و در بلندترین قسمت خروجی ۱/۵ متر است. چوب که سوخت کوره محسوب می شود از سوراخهای تعبیه شده در سقف کوره به درون آن بارگیری می شود. براساس فرایند پخت، بارگیری از پایتترین قسمت تا بالاترین قسمت انجام می شود. برای کوره دودکش ساخته نشده است، مکش توسط شیب کوره ایجاد می شود.

چندان طول نکشید که کوره اژدهایی دستخوش تغییر شد و آن را به چندین محفظه تقسیم کردند، کوره جدید کوره بالا رو نامیده شد. این کوره در حدود ۵۰۰ سال پیش به سرعت از چین به ژاپن وارد شد و تا هنگام جنگ جهانی دوم به صورت



گسترده ای مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین، نخستین نمونه کوره بالا رو که همان کوره اژدهایی بود در ژاپن استفاده نشد.



### کوره نیمه مداوم آرام سوز

کوره آرام سوز یکی از گونه های کوره اژدهایی است. این کوره بر روی محلی مسطح ساخته می شود و عمدتاً برای پخت آجر قرمز یا مواد دیرگداز جهت دماهای پایین مورد استفاده قرار می گیرد. در شهر توکونامه ژاپن که ظروف بزرگ یا لوله های سرامیکی تولید می کردند، نوعی کوره غاری مخصوص وجود داشت که تیپوگاما (کوره توپیی) نامیده می شد. نام این کوره باید با توجه به شکل آن که شبیه نوعی توپ قدیمی است انتخاب شده باشد.

نام تیپوگاما باقی ماند و در مورد کوره آرام سوز به کار برده شد. کوره آرام سوز دارای یک محفظه بلند است. چندین تغذیه کننده زغال سنگ در دو طرف کوره تعبیه شده اند. درون کوره دیوار جدا کننده ای وجود ندارد. ولی مجراهایی که برای تغذیه زغال سنگ پیش بینی شده اند کوره را به چندین محفظه جداگانه تقسیم می کنند.

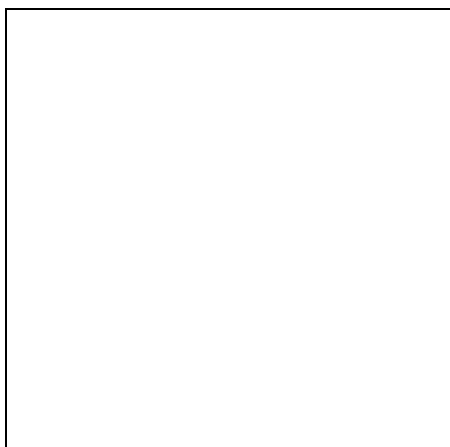


نخست زغال سنگ را از یک سر کوره که در سمت مقابل دودکش قرار دارد، بارگیری می کنند و پخت آغاز می شود. هنگامی که پخت پایان یافت، زغال سنگ به قسمت دوم تغذیه می شود و فرایند ادامه پیدا می کند. به دلیل استفاده از هوای پیشگرم شده بازده گرمایی این نوع کوره از کوره غیر مداوم بیشتر است. اما ناگزیر بعضی از آجرها با زغال سنگ افروخته تماس پیدا می کنند و بر اثر گرم شدن بیش از حد و تماس با خاکستر زغال سنگ خراب می شوند.

### کوره‌های نیمه مداوم بالا رو

این کوره ها شکل تکامل یافته کوره‌های ازدهایی هستند. محفظه پیشگرم کن (P) در پایینترین قسمت کوره قرار دارد که در مقایسه با سایر محفظه ها، کاملاً کوچکتر است. گاهی اوقات محفظه دیگری نیز در کنار آن وجود دارد تا به افزایش تدریجی دما در محفظه اصلی کمک کند. شعله ایجاد شده در محفظه پیش گرم کن، از طریق مجرای مکش (D) وارد محفظه نخست می شود. پخت با تغذیه چوب به محفظه های احتراق (F)، که در هر دو طرف کوره وجود دارند، آغاز می شود. چوب از میان سوراخ کوچکی (W) به داخل ریخته می شود. در این زمان محفظه دوم، پیشگرم می شود.

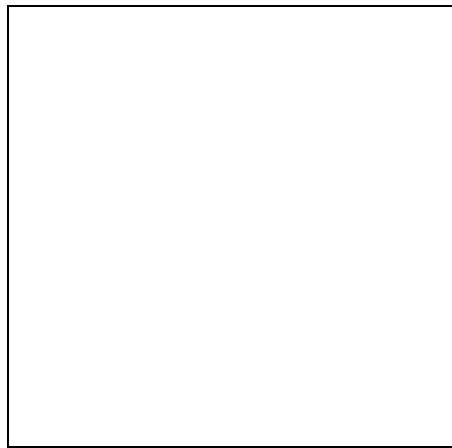
هنگامی که پخت در محفظه نخست پایان یافت، پخت در محفظه دوم انجام می شود. بدین ترتیب فرآیند در محفظه های بعدی تکرار می شود تا به آخرین محفظه برسد. هر محفظه دارای مجرای ورودی، محفظه های احتراق، مجرای مکش و دریچه، بازدید (H) تعبیه شده است. مجراهای مکش و تکیه گاههای موقتی در پایینترین قسمت بین هر محفظه تعبیه شده اند. ضرورت وجود دودکش را نیروی مکشی، که به وسیله شیب کوره بالا رو به وجود می آید، تعیین می کند. بعضی از انواع این کوره که دودکش ندارند به یک محفظه کوچک (K) مجهزند که برای پخت بدنه از آن استفاده می شود و کار دودکش را نیز انجام می دهد.



هنگامی که فن پخت در مراحل ابتدایی بود برای بالا بردن مکش و در نتیجه دستیابی به دمای زیاد، تمایل به افزایش میزان شیب وجود داشت. بعد از اینکه متوجه دشواری یکنواخت نگه داشته دما شدند، میزان شیب را کاهش دادند. اختلاف دما در این نوع کوره ها تقریباً زیاد است. استفاده از این کوره برای پخت چینی و بدل چینی تا سالهای اخیر به صورت گسترده ای در مشرق زمین ادامه داشت.

## کوره مداوم

کوره مداوم، به دلیل بازده گرمایی زیاد، تولید انبوه، و صرفه جویی در نیروی انسانی اختراع شد. اساس کار کوره مداوم به استفاده مؤثر از گرمای تلف شده در گاز خروجی و گرمای انباشته در قطعات پخته شده استوار است. در حقیقت، کوره مداوم پیشرفته ترین کوره مورد استفاده در صنعت سرامیک سازی است، زیرا در این کوره عملیات بارگیری، پیشگرمایش، پخت، سرد کردن و تخلیه را می توان به طور همزمان انجام داد.



## کوره الکتریکی

کوره الکتریکی ماهیتاً، با کوره هایی که شرح داده شدند و از گرمای حاصل از احتراق استفاده می کنند تفاوت دارد، این کوره امتیازهای بسیار دارد:

(۱) به محفظه احتراق و دودکش نیاز ندارد و در نتیجه ساختمان کوره بسیار ساده، و هوای داخل آن تمیز است.

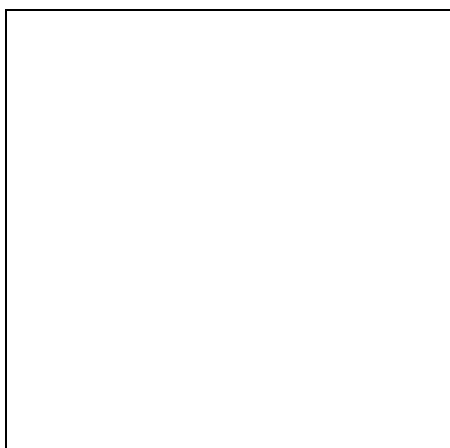
(۲) بهره برداری از کوره بسیار آسان و دمای آن یکنواخت است.

(۳) بازده گرمایی آن بالاست زیرا گرما، از طریق خروج محصولات احتراق تلف نمی شود.

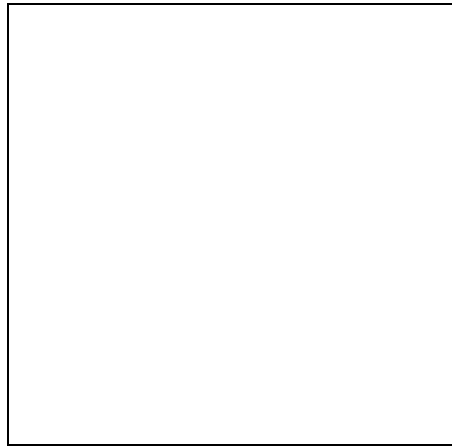
(۴) نیازی به ذخیره کردن سوخت ندارد.

(۵) چون خوردگی ناشی از وجود خاکستر رخ نمی دهد، عمر کوره طولانی است.

(۶) کنترل خودکار آن ساده است.



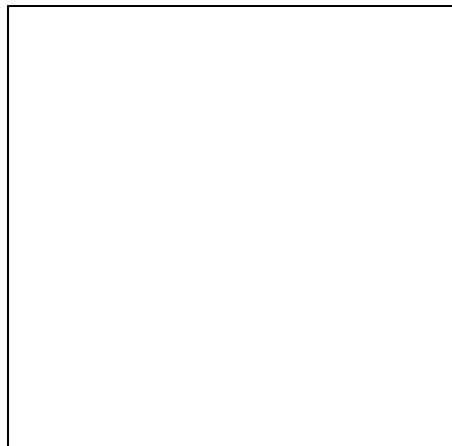
این کوره ها به دو روش گرم می شوند، روش نخست از طریق مقاومت جسم جامد یا مایع (معمولا المنت حرارتی)، و روش دوم از طریق قوس الکتریکی است. کوره اول را کوره مقاومتی و کوره دوم را کوره قوسی می نامند.



آجرهایی که در دیواره های داخلی کوره های الکتریکی مصرف می شوند، باید نسوز باشند. آجرهای معمولی سنگین بوده و فوق العاده متراکم هستند. این آجرها درجه حرارت های بالا را تحمل کرده ولی سریعا آن را هدایت می کنند. کوره ای که با این آجرها ساخته می شود، قسمت اعظم حرارت خود را از طریق دیوارهای آن از دست می دهد. وقتی از آجرهای نسوز استفاده می شود، لازم است لایه ای از مواد عایقی مانند میکا یا پشم شیشه و یا مواد پرکننده معدنی را در اطراف آنها ریخته و سپس لایه ای دیگری از آجر عایق کاری را در بدنه خارجی کوره بوجود آورد. آجرهای عایقی نرم و متخلخل می باشند و حرارت را به راحتی هدایت نمی کنند. اما تحمل درجه حرارت های بالا را ندارند. اگر از این آجرها برای جدار داخلی کوره استفاده شود هنگام حرارت دادن فرو می ریزند. با آجرهای نسوز می توان بر این

مشکل فائق آمد. این آجرها متخلخل بوده و به آسانی حرارت را هدایت نمی کنند و در عین حال در مقابل درجه حرارت های بالا مقاوم هستند.

برای اینکه کف و طبقات کوره در مقابل لعابی که از قطعات می ریزد حفظ شود می توان داخل آنرا با لایه ای به نام پوشش کوره (Kiln wash) رنگ نمود. این رنگ از مخلوطی به مقدار مساوی خاک چینی و فلینت با آب ساخته می شود که به صورت مایع خمیری رقیقی در آمده که می توانید آنرا با قلم موی نرم روی کف و طبقات کوره بزنید. این پوشش باید یکنواخت و نسبتاً ضخیم باشد. این رنگ ضمن عمل پخت، سخت شده ولی ذوب نمی شود. بنابراین حتی اگر لعابی روی طبقه ای از کوره بریزد می توان به راحتی آن را کند. از این پوشش برای سقف و دیواره های اتاقک استفاده نمی شود. زیرا پس از سخت شدن پوسته کرده و هر قطعه لعاب داری که روی آن قرار گیرد خراب می شود.



### تجهیزات داخل کوره

رنگ درون کوره، در هر لحظه، اطلاعات خوبی را در مورد دمای داخل کوره به دست می دهد. از زمانی که حداقل رنگ قرمز قابل رؤیت می شود تا رنگ سفید، هر

یک معرف دمایی است که نشان دهنده اولین مراحل گرم شدن کوره تا دماهای بالای لازم برای پخت می باشد. براساس تجربه، سفالگران معمولاً می دانند که چه موقع دمای کوره را کاهش دهند و یا چه موقع کوره را خاموش کنند. البته برای تعیین درجه حرارت، به طور دقیق، دستگاههای اندازه گیری دقیقتری نیز در دسترس هستند.

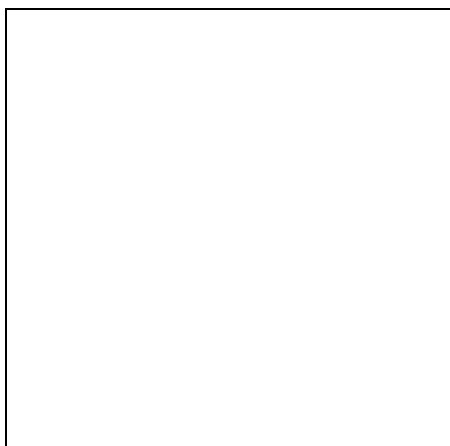
یکی از روشهای اندازه گیری درجه حرارت کوره، استفاده از تریل است که کاربرد گسترده ای نیز در قدیم داشته است. تریلها قطعات آزمایشی کوچکی هستند که گاهی چند تا از آنها را به شکل حلقه در حوالی سوراخ بازدید کوره قرار می دهند. موقعی که فرآیند پخت رو به اتمام است، با استفاده از یک میله آهنی یکی از این قطعات آزمایشی سرامیکی را از کوره خارج کرده، آنرا در آب خنک می نماید و سپس قطعه را مورد آزمایش قرار می دهد تا بگوید که آیا در طی پخت لعاب به حد کافی ذوب شده است یا خیر. برای این منظور ممکن است چندین قطعه آزمایشی یا تریل در فواصل مختلف از کوره بیرون کشیده شوند. به علت سرد شدن سریع قطعات آزمایشی، رنگ آنها شاخص دقیقی برای تعیین وضعیت ظاهری لعاب نیست. اما میزان ذوب شدن لعاب به دقت آشکار و مشخص می گردد. قطعات آزمایشی، تغییرات و تحولات واقعی ایجاد شده در بدنه های سرامیکی را نشان می دهند، اما نشان دهنده میزان درجه حرارت کوره نیستند.

### تکیه گاههای داخل کوره

سفال سازان برای جلوگیری از تماس قطعات لعاب زده به قفسه ها یا کف کوره از انواع مختلف تکیه گاه استفاده می کنند. قطعه را باید در محلی پایدار و ثابت نگاه داشت تا امکان برگشتن و افتادن آن نرفته و حداقل سطح اتکاء را داشته باشد. مناسب بودن تکیه گاهها از نظر اندازه و غیره اکثر احتیاجات سفال گران را برطرف می سازد. پابلند (Stilt)، زمینی (Saddle)، مهمیزی (Spur)، و انگشتانه ای (Thimble) از آن جمله اند. این تکیه گاهها از چینی های بدون لعاب که در درجه حرارت های بالا پخته



شده اند ساخته می شود . انتخاب نوع تکیه گاه ، بستگی به شکل ، اندازه و وزن قطعه ای دارد که روی آن قرار می گیرد .



مواردی پیش می آید که تکیه های معمولی بکار نمی آیند. به عبارت دیگر پایه های تکیه گاه در محل مناسبی نبوده و یا قطعاتی که در کوره می گذارید فوق العاده کوچک اند. اغلب اشیاء زینتی سفالی کوچک و یا اشکالی که تکیه گاه مسطحی ندارند این مشکلات را در بر دارند. در چنین شرایطی به شرط اینکه درجه حرارت کوره بالاتر از مخروط ۰۴ نباشد، می توان با استفاده از گل رس، سیمهای فلزی و حتی میخ، تکیه گاههای ویژه ی قطعه مورد نظر خود را بسازید . برای احتیاط بیشتر مقداری خاکه سفال را با خاک رس مخلوط کنید. این نوع تکیه گاههای دست ساز را نمی توان در کارهایی که به حرارتهای بالا نیاز دارد بکار گرفت زیرا فلز بکار رفته در آنها ذوب می شود.

### لوازم مخصوص چیدن محصولات در کوره

در روزگاران پیشین، غالباً بدون استفاده از پایه و یا قفسه های مخصوص چیدن مواد، عمل پخت انجام می شد. ادوات نسوزی که برای چیدن محصولات در کوره

مورد استفاده قرار می گیرند را می توان از ابداعات جدید دانست. اگر بدنه سرامیکی، بدون لعاب باشد و نیز اگر دمای پخت پایین تر از دمای شیشه ای شدن بدنه قرار داشته باشد، می توان قطعات را بدون حائل و بطور دلخواه در کوره، روی هم، چید. در ابتدای امر نیز بدون در نظر گرفتن روش صحیح چیدن مواد، بدنه ها را همینطور روی یکدیگر می چیدند. با پیدایش لعاب، لازم شد تا قطعات به گونه ای چیده شوند که از بهم چسبیدن آنها ممانعت گردد. روشهای متفاوتی نیز در این رابطه بکار برده شد.

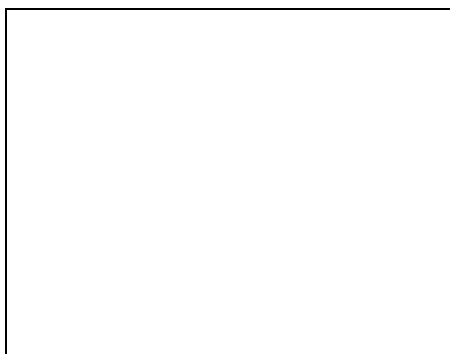
یکی از این روشها استفاده از ساگار است.

ساگار یا ساگر به یک قطعه جعبه مانند رسی اطلاق می شود که بدنه ها را در کوره نگه می دارد. از ساگار به سه دلیل استفاده می شود:

اول اینکه حائلی مناسب برای بدنه های سرامیکی وجود داشته باشد.

دوم اینکه بتوان با استفاده از ساگار، بدنه های را تا ارتفاع معینی در کوره چید، بدون اینکه بدنه های زیرین، تحت فشار، خرد شده یا دفرمه شوند.

سومین و مهمترین علت کاربرد ساگارها این است که بدنه های سرامیکی را از قرار گرفتن در معرض شعله مستقیم و یا گازهای گرم حاصل از احتراق محافظت نمایند.



در کوره های چوب سوز و ذغال سنگ سوز، اگر بخواهیم تا بدنه، بطور کاملاً یکنواخت لعاب داده شود و یا اگر بخواهیم تا محصولات رنگی در اختیار داشته باشیم، استفاده از ساگار عملاً ضرورت پیدا می کند. اگر بدنه ها در تماس با محصولات احتراق چوب یا ذغال سنگ پخت شوند، تحت تأثیر خاکستر همراه محصولات احتراق، در معرض یکی از نارسایی های زیر قرار می گیرند:

- تغییر رنگ موضعی لعاب یا بدنه که اصطلاحاً «فلاشینگ» نیز نامیده می شود.

- بد رنگ شدن لعاب.

- ناصاف به نظر رسیدن سطح لعاب، ناشی از قرار گرفتن ذرات خاکستر در زیر لعاب.

- لعاب در رفتگی یا ایجاد لکه های لعاب نگرفته بر روی قطعه.

اگرچه این گونه نارسایی ها از دید یک سفالگر سنتی قابل گذشت است، اما در صنعت، ایجاد این گونه نارسایی ها در سطح لعاب، ناخوشایند است. مخصوصاً در ارتباط با کوره های ذغال سنگ سوز کاربرد ساگارها کاملاً اهمیت پیدا می کند، زیرا در محصولات احتراق ذغال سنگ، ترکیبات گوگردی وجود دارد و اگر این ترکیبات در تماس مستقیم با لعاب در حال ذوب شدن قرار گیرند، موجب حبابی یا متورم شدن سطح لعاب می شوند.

ساگارها یا استوانه ای شکل هستند و یا مقطع مربع مستطیل شکل دارند و یا شکل شبیه به دو دانه در هم رفته دارند که به این شکل اصطلاحاً «بانجو» گفته می شود. گاهی در گذشته، برای افزایش ارتفاع ساگارها به جهت در بر گرفتن قطعات بلند، از چند استوانه دیر گداز استفاده می شد. با توجه به بلندی قطعه ای که باید در ساگار قرار گیرد، چندین قطعه استوانه ای را روی یکدیگر قرار می دادند. با استفاده از خرده

های سفال، قطعات مجزا را به گونه ای روی یکدیگر قرار می دادند که اولاً استوار قرار گیرند و ثانیاً محصولات ، امکان راه یابی به داخل ساگار را نداشته باشند.

کاربرد ساگارها به تدریج در حال منسوخ شدن است. استفاده از سوخته های نفتی و یا گازی، ایجاد اتمسفری تمیز و با احتراق اکسیداسیونی امکان پذیر شده و همین موضوع، نیاز به استفاده از ساگارها را کاهش داده است. برای پخت بدنه های با لعاب سربی، امروزه عموماً از کوره های الکتریکی استفاده می شود. سفالگری که برای پخت بدنه های خود از اتمسفر احیایی (اتمفری دودی) استفاده می کند، عمداً می خواهد رنگهایی بر روی بدنه خود بدست آورد که با استفاده از ساگار امکان دست یابی به چنین زیبایی را نداشته است.

قفسه های یا طبقات نسوز ، از جمله مؤثرترین حائل های مناسب برای چیدن محصولات در کوره محسوب می شوند. با استفاده از آنها می توان، مثل قفسه بندی های یک آشپزخانه، محصولات را در کنار یکدیگر در کوره چید. طبقات نسوز را می توان از خاک نسوز ساخت. این نوع حائل های دیرگداز رسی چندان گران قیمت نیستند اما دوام و استحکام آنها نیز زیاد نیست. به همین علت باید آنها را تا آنجا که ممکن است ضخیم ساخت تا از شکستن آنها جلوگیری شود. در نتیجه طبقات مذکور بوده و حمل و نقل آنها نیز پُر زحمت است. تولید کنندگان ظروف چینی، با توجه به نیاز تولیدشان، انواع و اشکال مختلفی از حائل های دیرگداز (نسوز) را طراحی کرده اند. بسیاری از آنها در سیستم تولید انبوه مورد استفاده قرار می گیرند و هنرجویان سفالگری، بیشتر از طبقات یا قفسه های دیرگداز، استفاده می کنند.

## انتقال حرارت و حفظ گرما در کوره

از دوران قدیم تا امروز، کوره اساساً محفظه ای از جنس مواد دیرگداز بوده که با روشهای مناسب، حرارت در آن ایجاد شده و این حرارت برای انجام کار در کوره حفظ گردیده است. بررسی چگونگی انتقال حرارت از یک جسم به جسم دیگر در تشریح اصول کار کوره سودمند خواهد بود.

حرارت به یکی از سه روش زیر منتقل می شود:

هدایت، جابجایی و تشعشع.

### هدایت Conduction

در این روش انتقال حرارت باید گفت که فعالیت مولکولی اجسام با افزایش حرارت بیشتر می شود. همین موضوع باعث می شود تا گرمای از یک مولکول جسم به مولکول بعدی منتقل شده و به این ترتیب در کل جسم توزیع شود. در یک جامد، حرارت یا گرما از نقطه ای که دمای بیشتری دارد به طرف نقطه ای که دمای پایین تر دارد منتقل می شود. مواد مختلف، از نظر انتقال حرارت، قابلیت هدایت حرارت بسیار متفاوتی دارند. میزان انتقال با واحد «btu در ساعت» نشان داده می شود. هر چه میزان «btu» بیشتر باشد، میزان انتقال حرارت جسم بیشتر و هر چه میزان آن کمتر باشد میزان انتقال حرارت جسم کمتر و یا در اصطلاح عایق است.

مقدار گرمایی که از طریق «هدایت» از اجسام عبور می کند به عوامل مختلفی بستگی دارد، که عبارتند از:

- ۱) سطح مقطع انتقال دهنده حرارت. هر چه مقطع انتقال دهنده حرارت سطح بیشتری داشته باشد، حرارت بیشتری انتقال پیدا می کند.
- ۲) ضخامت ماده انتقال دهنده حرارت.

۳) اختلاف دمای بین دو طرف ماده ای که حرارت را انتقال می دهد.

۴) زمان انتقال حرارت.

۵) جنس ماده انتقال دهنده حرارت.

### جابجایی Convection

راه دیگری برای انتقال حرارت، انتقال حرارت به روش «کنوکسیون» یا «جابجایی» است. این روش در مایعات یا گازها صدق می نماید. به این صورت که حرارت، سیال را به حرکت درآورده و در این حرکت سیال، حرارت از نقطه ای به نقطه دیگر انتقال می یابد. در ارتباط با کوره ها، کنوکسیون موقعی رخ می دهد که گازهای گرم از میان کوره عبور می کنند و در نتیجه قسمتی از گرمای موجود در گازهای گرم به سطوح در تماس با آنها انتقال پیدا می کند. گازهای گرم حاصله از سوخت  $\text{CO}_2\text{-CO-N-H}_2\text{O}$  و غیره، از جای گرم کوره به نقاط سردتر رفته و در نهایت از کوره خارج می شوند. هر چه جریان بوجود آمده دارای گردش بهتر و با سرعت بیشتر باشد، جابجایی بهتر انجام می شود. از آنجایی که این روش مهمترین طریقه انتقال حرارت در کوره می باشد، در طراحی کوره توجه به بالا بردن گردش و سرعت گرمای موجود در آن از اهمیت بالایی برخوردار است.

### تشعشع Radiation

حرارت، تولید امواج الکترومغناطیسی می نماید و این امواج در فضا حرکت می کنند و در برخورد با جسم دیگر باعث انتقال حرارت می گردند. زمانی که قسمتهای نزدیک منبع حرارت به دمای بسیار بالایی می رسند، هر نقطه با تشعشع حرارت را انتقال می دهد.

انتقال به روش تشعشع در کوره هایی که پر از بدنه باشند، بهتر صورت می گیرد زیرا هر بدنه با جذب حرارت، خود به منبع تشعشع تبدیل شده و بدنه دیگری را مورد تابش قرار می دهد و در نتیجه بازده کوره بالاتر می رود. به همین دلیل در کوره هایی با فضای خالی روش تشعشع نقش کمتری ایفا می نماید.

در فضای داخل کوره، حرارت با روشهای جابجایی و تشعشع انتقال پیدا کرده و توزیع می شود. موقعی که سوخت در کوره سوزانده شود، در گازهای گرم حاصل از احتراق، شامل دی اکسید کربن ( $CO_2$ )، مونوکسید کربن ( $CO$ )، نیتروژن و هوا، حرکت ایجاد می شود به صورتی که گرما از نقطه گرمتر به نقطه سردتر فضای کوره منتقل شده و در نهایت به خارج از کوره راه پیدا می کند. در حین اینکه گازهای گرم از بین اجسام داخل کوره حرکت می کنند، قسمتی از گرمای موجود در گازهای گرم به سطوح سردتری که با آنها تماس می یابند، انتقال پیدا می کند. هر چه گازهای گرم با سرعت بیشتری از روی سطوح سردتر عبور کنند، گرمای بیشتری به آن سطوح انتقال داده می شود. روشن است که اگر قرار باشد تا در کوره، ماکزیمم انتقال حرارت از طریق جابجایی گازهای گرم حاصل از احتراق بدست آید، باید در همه جای کوره گازهای گرم به خوبی جریان داشته و محفظه کوره و محتویات آن نباید از منشأ حرارت فاصله زیادی داشته باشند.

از آنجایی که روش جابجایی مهمترین طریقه انتقال حرارت در کوره های سرامیک است، حرارت نیز بیشتر با تشعشع به همه قسمتهای داخل کوره انتقال پیدا می کند. موقعی که نقاط نزدیک به منبع حرارت به دمای بسیار زیاد رسیدند، هر نقطه با تشعشع به سطوح یا نقاط دیگر، حرارت را انتقال می دهد. کوره هایی که از محصولات سفالی کاملاً پر باشند، نسبت به کوره هایی که فضای خالی دارند، به صورت یکنواخت تری حرارت کسب کرده و در نتیجه بازده بیشتری دارند. سطوح صاف و براق و سفید نسبت به سطوح تیره و ناصاف، بطور مؤثرتری حرارت را تشعشع می دهند.

## فرایند حرارتی کوره

هنگامی که با گل رس کار می‌کنیم، به علت آب موجود در آن نرم و شکل پذیر است که آب پلاستیسیته نامیده می‌شود. پس از تکمیل سفالینه و خشک شدن آن، آب پلاستیسیته تبخیر شده و گل رس سخت و غیر قابل کار کردن می‌شود. با این وجود هنوز دارای مقداری آب است. در واقع دو نوع آب وجود دارد.

یکی بصورت رطوبت اتمسفری است. زیرا گل رس تحت تاثیر رطوبت هوای اطراف خود واقع شده و در روزهای بارانی رطوبت بیشتری را جذب می‌کند. این موضوع را باید مخصوصاً موقع حرارت دادن قطعات بزرگ به خاطر سپرد. زیرا با اینکه قطعات ظرف مدت چند هفته خشک می‌شود، هنگام گذاردن در داخل کوره هنوز کاملاً خشک نگردیده است، مگر آنکه در اتاق خشک کن قرار داده و یا آنرا حرارت داده باشند.

خاک رس علاوه بر رطوبت اتمسفری دارای رطوبت شیمیایی نیز می‌باشد. این رطوبت در ساختمان ملکولی ذرات خاک رس وجود دارد که نمی‌توان آنرا لمس کرد ولی حضور آن، باعث می‌شود تا خاک رس قابلیت کار کردن مجدد را پیدا کند. وقتی آب شیمیایی خاک رس خارج می‌شود دیگر با آسیاب کردن یا خیساندن در آب نمی‌توان آن را مجدداً نرم ساخت.

## دود دادن آب

شروع مرحله حرارت دادن کوره را دوره دود دادن آب می‌نامند. این عمل موقعی صورت می‌گیرد که آب اتمسفری از گل رس خارج می‌شود. این امر بخش مهمی از حرارت دادن کوره است. به ویژه اگر قطعه بزرگی در کوره باشد، این مرحله را به صورت به کندی انجام می‌دهند تا تمام رطوبت گل، بدون اینکه خساراتی به قطعه وارد شود، امکان خارج شدن از آن را پیدا کند. در کوره‌های سوخت فسیلی این



رطوبت از دود کش خارج می شود. در کوره های الکتریکی که دود کش ندارند، بایستی در اولین ساعت پخت دریاچه کوره را مختصری باز گذاشت تا رطوبت از آن خارج شود.

### آبگیری (آب زدائی)

پس از آن که آب جوی کلا خارج شد، تغییر بعدی در خاک رس خارج شدن آب شیمیایی آن است. این عمل قبل از آنکه درجه حرارت کوره به ۱۰۰۰ درجه فارنهایت برسد یا دقیقاً قبل از سرخ شدن گل اتفاق می افتد. این دوره نیز به نوبه خود مهم است و باید مراقب بود. به ویژه اگر قطعات بزرگی در کوره قرار دارد، بایستی بالا بردن درجه حرارت آن را به آهستگی انجام داد. نقطه آبگیری (آب زدائی) حداقل باید دو ساعت طول بکشد. در مورد کوره های بزرگتر این زمان طولانی تر خواهد بود.

درست بالاتر این درجه حرارت یعنی ۱۰۶۳ درجه فارنهایت، تغییر فیزیکی در سیلیس صورت گرفته و آنرا منبسط می کند. این درجه حرارت نقطه بحرانی در مدار حرارتی کوره هاست که گاهی قطعات بزرگ در این نقطه می شکنند.

با بالا رفتن درجه حرارت فضای داخل کوره شروع به سرخ شدن کرده و به رنگ قرمز در می آید. حال اگر از سوراخ کوره به داخل آن نگاه کنید، می توانید حدود اشیاء داخل آنرا تشخیص دهید. در شروع حرارت دادن به کوره های الکتریکی، تشخیص درجه حرارت از روی رنگ آن غیر ممکن است، زیرا با سرخ شدن عناصر حرارتی، فضای داخل کوره روشن شده و دیدن اشیاء در آن قبل از آنکه در واقع داغ شده باشند، ممکن می گردد.

### مواد آلی

فرایند گرم شدن کوره را می توان از ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه فارنهایت با سرعت بیشتری انجام داد. مگر آنکه کوره حاوری قطعاتی از گل رس معمولی و تصویه نشده

باشد. در مدت این دوره مواد آلی موجود در گل رس سوخته و بنابراین اگر گل زیادی از این نوع حرارت داده می شود، بایستی حرارت را با کندی بالا برد. لازم به ذکر است که لعابکاری حتما باید بر روی بدنه های سفالی انجام شود که این مرحله را در پخت اولیه گذرانده باشند.

### پخت کامل

دوره گرم شدن کوره از ۱۵۰۰ تا ۲۱۰۰ درجه فارنهایت را برای ظروف بدون لعاب می توان سریع انجام داد. در این دوره که آب گل رس خارج شده و نقطه بحرانی تغییر سیلیس گذشته است، می توان حتی الامکان درجه حرارت را سریعاً افزایش داد. این امر در مورد کوره هایی که حاوی ظروف لعاب زده بوده و به توجه خاصی نیاز دارند صدق نمی کند.

اغلب گلهای رسی در این محدود حرارتی به درجه حرارت پخت کامل خود می رسند. خاکهای رسی که پس از پختن به رنگ قرمز در می آیند، قبل از همه یعنی حدود ۱۹۰۰ درجه فارنهایت، پخته می شوند. برای گل رس های زرد باید درجه حرارت را بالا برد. این گل به ندرت در پائین مخروط ۱ به پخت کامل می رسد. محدود پخت گل قرمز بسیار کوتاه است. گل رس قرمزی که در مخروط ۴ به پخت کامل می رسد، در مخروط ۱ شدیداً حرارت دیده و رنگ و شکل آن از بین می رود ولی اکثر گل رس های زرد محدود حرارتی وسیعی دارند و می توانند بین مخروط ۹ تا ۱۰ بدون تغییر شکل و آسیب دیگری پخته شوند.

### شیشه ای شدن گل رس

هر قدر گل رس را در درجه حرارت بالاتری قرار دهیم سخت تر می شود. سیلیس و مواد کمک ذوب موجود در گل رس پس از گذشتن از درجه حرارت پخت کامل، ذوب شده و تشکیل شیشه می دهند. اگر بتوان گل رس را بدون فرو ریختن تا

درجه حرارت های بالا حرارت داد وقتی از کوره خارج می شود، ظاهری شیشه ای پیدا کرده که فوق العاده سخت و در مقابل آب غیر قابل نفوذ است.

### سرد کردن کوره

وقتی کوره به درجه حرارت لازم رسید، می توان آنرا خاموش کرد. روند سرد شدن کوره بایستی تدریجی باشد. اکثر کوره ها اصولاً به اندازه کافی عایق بندی شده اند و بنابراین باید تنها کوره را خاموش کرده و تحمل کرد تا سرد شود. معمولاً سرد کردن یک کوره بزرگ دو روز طول می کشد. حتی یک کوره کوچک الکتریکی را نیز باید قبل از باز نمودن برای مدت ۲۴ ساعت سرد کرد. هرگز قطعه ای را قبل از آنکه کاملاً سرد شده باشد بطوریکه بتوان با دست آن را برداشت، از کوره خارج نکنید.

### حفظ حرارت کوره

هر کوره اصولاً یک اجاق است. اجاقی که برای رسیدن به درجه حرارت های بسیار بالا ساخته شده است. یک کوره باید حرارت را از طریق مواد سوختی یا بوسیله الکتریسیته تامین نماید و می بایستی حرارت را در محفظه خود، جایی که قطعات قرار می گیرند، محبوس نگاه دارد. اطراف شعله و دیواره داخلی محفظه کوره بایستی از مواد نسوز ساخته شده باشد تا درجه حرارت های بالا را تحمل کند. در اطراف این مواد باید لایه هایی از مواد عایق کننده وجود داشته باشد تا از فرار حرارت جلوگیری بعمل آورد.

در هر کوره پخت سفال، استقامت دیواره دارای اهمیت می باشد. زیرا دیواره کوره باید درجه حرارت بالایی را تحمل نماید و در هر بار پخت برای سازنده سفال مشکل مرمت و باز سازی کوره را ایجاد ننماید.

هر سه روشی که باعث انتقال حرارت از یک ماده به ماده دیگر می شوند، در طراحی کورهها کاربرد مهمی دارند. سرعت هدایت حرارت از دیواره کوره، بر میزان

تلفات حرارت کوره مؤثر است و در نتیجه بر توانایی کوره برای حفظ حرارت نیز مؤثر واقع می شود. حفظ حرارت در کوره برای پخت سفالینه ها حیاتی است. این امر با داشتن دیواره عایق و با ضریب هدایت پایین امکان پذیر خواهد بود. دیواره ها حرارت زیادی را به خود جذب می نمایند و کارایی آنها در عدم انتقال حرارت است. حتی اگر فلزی را در نظر بگیریم که استقامت کافی در دماهای بالا داشته باشد، نمی توان به عنوان ماده ای مناسب برای ساخت دیواره کوره محسوب نمود. زیرا فلزات به سرعت حرارت را به خارج از کوره انتقال می دهند.

در هر کوره با ویژگیهای خاص خود، ممکن است مقداری از حرارت ایجاد شده از بین برود.

در ساخت دیواره کوره سه عامل مهم و تأثیر گذار دخیل می باشد :

الف- استقامت دیواره .

ب - عایق بودن.

ج - ضخامت دیواره .

ممکن است چنین تصور شود که کوره های با دیواره های ضخیم تر، راندمان بهتری نیز دارند، اما چنین چیزی صحیح نیست. دیواره های کوره مقادیر زیادی حرارت جذب می کنند و اگر زمان پخت طولانی نباشد، پیش از اینکه دیواره های کوره به حد کافی گرم شوند فرآیند پخت به اتمام می رسد. در چنین حالتی دیواره های ضخیم تر نه تنها کاری انجام نمی دهند، بلکه موجب طولانی شدن زمان خنک شدن بدنه ها نیز می شوند. ولی برای فرآیندهای پخت طولانی مدت، دیواره های ضخیم تر کارایی بیشتری خواهند داشت.

برای ساخت دیواره کوره سرامیک، آجرهای نسوز عایق حرارت بسیار مناسبی هستند. این آجرها از استقامت و کارایی کافی برخوردار بوده و بطور قابل ملاحظه ای

حرارت را در کوره حفظ می کنند. در بیشتر فرآیندهای پخت محصولات سرامیکی، استفاده از دیوار با ضخامت حدود ۲۲ سانتیمتر از آجر نسوز سخت، کارایی مطلوبی خواهد داشت. دیواری با ضخامت ۶۵ سانتیمتر نیز می تواند کفایت کند.

# بخش دوم

## مواد اولیه

## فصل چهارم

# خواص و ویژگیهای رس

## رس

رس در دو معنی به کار برده شده است، اول اینکه این واژه در مورد ذرات کوچکتر از  $0/004$  میلیمتر صرفنظر از ترکیب شیمیائی آن بکار رفته، دوم اینکه در علم کانی‌شناسی به یک سری از کانی‌ها با ترکیب شیمیائی و ساختمان بلوری خاصی اطلاق گردیده است. اگر چه بسیاری از ذرات کوچکتر از  $0/004$  میلیمتر نیز در همین سری، به نام رس ارزیابی می‌گردند، ولی در هر حال اصطلاح رس بیشتر با تعریف کانی‌شناسی آن شناخته می‌شود.

رس بسته به کاربرد و یا دانشی که بدان می‌پردازد، معانی و تعاریف مخصوص به خود می‌گیرد و نامی نیست که نزد همه مفهوم یکسان داشته باشد. از واژه رس، بسته به کاربرد آن، برداشت‌هایی به شرح زیر به عمل می‌آید:

۱- از دیدگاه کانی‌شناسی، به گروهی از خانواده کانی‌های سیلیکاتی ورقه‌ای که دارای یون  $(OH)^-$  در ساختمان بلوری می‌باشند، کانی‌های رسی (clay minerals) گفته می‌شود.

۲- در سنگ‌شناسی به نوعی سنگ اطلاق می‌گردد.

۳- در رسوب‌شناسی با توجه به اندازه ذرات تعریف می‌شود.

تعریف رس به عنوان یک سنگ، دشوار است. زیرا مواد گوناگون دیگری نیز در ترکیب این سنگ‌ها شرکت دارند، لذا تعریفی که در اینجا از رس به عمل می‌آید، تا حدودی کلی می‌باشد:

"رس" خاکی است طبیعی، مواد آن ریزدانه و عموماً از گروهی کانی‌های متبلور به نام کانی‌های رسی و کانی‌های بی‌شکل به نام آلوفان (Allophane) تشکیل شده است.



آلوفان، یک اسم عام برای ژله‌های بی‌شکل آلومینوسیلیکات است و شامل یکی از چند گروه مواد بی‌شکل متداول در خاک می‌شود. ترکیب شیمیائی آلوفان تا حد زیادی متغیر است، اما بیشتر شامل  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  می‌باشد. معمولاً مقادیر جزئی از  $\text{Na}^+$ ،  $\text{K}^+$  و  $\text{Mg}^{2+}$  نیز در آن وجود دارند. نسبت  $\text{SiO}_2$  به  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در آلوفان اغلب بین ۱ و ۲ است.

بسیاری از رس‌ها چنانچه رطوبت به خود بگیرند، ویژگی شکل‌پذیری نشان می‌دهند، ولی این خاصیت در برخی از رس‌ها مانند هالوئیزیت (Halloysite) و رس حاوی فلینت بسیار ناچیز است. رس به عنوان یک کانی مشخص کننده اندازه دانه‌های تشکیل دهنده آن، معرف ریزترین ذرات است. ماکزیمم اندازه دانه‌های رس در درجه‌بندی‌های گوناگون مقادیری ناهمسان دارد. محققان خاک‌شناس و کانی‌شناسان، ۲ میکرون را بالاترین مرز اندازه ذرات می‌دانند، در حالیکه مقیاس معروف ونت ورث (Venth Worth) رس را ماده‌ای با ذرات ریزتر از ۴ میکرون تعریف می‌کند.

رس‌ها به شکل چند کانی و تک کانی دیده می‌شوند. واژه چند کانی در مورد رس‌هایی بکار می‌رود که هیچکدام از کانی‌های رسی آن‌ها از ۵۰ درصد تجاوز نکند. اگر یکی از ترکیبات کانی‌های رسی بیش از ۵۰ درصد باشد، رس را تک کانیایی می‌نامند و معمولاً آن را به نام همین کانی نیز نام‌گذاری می‌کنند. یکی از انواع رس‌های تک کانیائی (monomineralic)، کائولین است که بیش از ۵۰ درصد از ترکیب آن را کانی کائولینیت تشکیل می‌دهد.

بعضی از رس‌ها در اثر حرارت، دارای سختی، نفوذناپذیری و رنگ‌های زیبا می‌شوند که آن‌ها را برای صنعت سرامیک ارزشمند هستند. مواد آلی به دو صورت در رس‌ها وجود دارند:

۱- به شکل ذرات ریز ذغالی یا لجن نیمه ذغال‌سنگی که باعث ایجاد رنگ خاکستری در رس‌ها می‌شود. وجود اینگونه ناخالصی در رس‌ها، سبب ایجاد تخلخل زیاد و پائین آمدن کیفیت فنی و فیزیکی فرآورده‌های رسی خواهد شد.

۲- به شکل ترکیبات کربنی و یا باکتری که به صورت دانه‌های بسیار ریز و نرم در رس‌ها پراکنده می‌باشند.

### کانی‌های رسی

کانی‌های رسی همگی جزء فیلوسیلیکات‌ها (phyllosilicates) وازه‌ای است یونانی به معنی ورقه) یا سیلیکات‌های ورقه‌ای به شمار می‌روند. در این سیلیکات‌ها به صورت بلور چهار وجهی و ورقه‌هایی در یک سطح قرار می‌گیرند و هر بلور به وسیله اکسیژن‌های سه گوشه به بلورهای مجاور متصل است و ترکیب عمومی این سیلیکات‌ها  $(\text{SiO}_4\text{O}_{10})^{4-}$  می‌باشد.

به علت وجود عناصر مختلف در شبکه بلوری کانی‌های رسی، این کانی‌ها خاصیت فیزیکی و شیمیایی متنوع نشان می‌دهند و محیط تشکیل آنها متفاوت است. پولکی و دانه‌ریز بودن کانی‌های رسی از مهمترین ویژگی‌های آنها است و باعث پیدایش فرآیندهای فیزیکی ویژه در این کانی‌ها می‌گردد.

دو عامل اصلی، سبب ایجاد رفتارهای گوناگون در خاک‌های رسی می‌شوند که عبارتند از: نوع کانی‌های رسی و آب.

مجموعه کانی‌های رسی که به صورت گوناگون، خاک‌ها و سنگ‌های رسی را پدید می‌آورند، عمدتاً از  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{H}_2\text{O}$  تشکیل شده‌اند. در بعضی از آنها عناصری مانند Na, K, Ca, Mg, Fe وجود دارد. این عناصر در شبکه‌های بلوری کانی‌های رسی به شکل‌های گوناگون در کنار هم قرار می‌گیرند. با این وجود تجزیه شیمیائی یک خاک رس نمی‌تواند مشخص کننده کامل نوع کانی‌های رسی باشد. رفتار

هر یک از کانی‌های رسی در مقابل اسیدها، قلیائی‌ها و آب بسیار متفاوت است. کانی‌های رسی در برابر آب فرآیندهایی را به وجود می‌آورند که از ویژگی‌های مهم رس‌ها محسوب می‌شود. از آن جمله پلاستیسیته، چسبندگی، انقباض، جذب آب، تورم، نشست و حالت خمیری را می‌توان نام برد. کم و زیاد شدن درصد آب در خاک‌های رسی، سبب ایجاد تغییر در فرآیندهای مزبور می‌شود.

## رنگ خاک

رس‌ها معمولاً دارای رنگ سفید هستند، ولی وجود ناخالصی‌ها در آنها باعث تغییر رنگ می‌شود

مهمترین عناصری که باعث رنگی بودن خاک می‌شوند عبارتند از:

ترکیبات آلی، اکسیدها، سولفورها، سولفات‌ها و کربنات‌ها. رنگ روشن خاک یعنی سفید یا متمایل به سفید بودن، تابعی است از ترکیبات معدنی که خود بی‌رنگ یا سفید هستند از قبیل: کوارتز، سیلیس، سنگ آهک و مینرال‌ها می‌باشد.

اکسیدهای گوناگون منگنز رس‌ها را به رنگ قهوه‌ای در می‌آورند. مواد آلی در رس‌ها رنگی تیره ایجاد می‌کنند. به طور مثال رنگ تیره (سیاه و یا قهوه‌ای) ناشی از هوموس (Humus) می‌باشد. وجود ترکیبات آهن در خاک عموماً رنگ‌های زرد، نارنجی و قهوه‌ای را باعث می‌شود. مثلاً لیمونیت (Limonite) رس‌ها را به رنگ زرد متمایل به قهوه‌ای، هماتیت (Hematite) آنها را به رنگ قرمز تیره مبدل می‌سازد.

## پلاستیسیته

پلاستیسیته رس‌ها خاصیتی است که بر اثر آن رس تحت تأثیر نیروی خارجی تغییر شکل می‌دهد، ولی یکپارچگی خود را حفظ می‌نماید و پس از حذف این نیرو به همین شکل باقی می‌ماند. به عبارتی دیگر، اگر ماده اولیه مخلوط شده با آب را تحت فشار قرار دهیم و قطعه پس اتمام نیروی وارده، حالت خود را حفظ نماید و به حالت قبل از اعمال نیرو باز نگردد، دارای پلاستیسیته است.

پلاستیسیته عاملی است که بر بسیاری از ویژگیهای انواع خاک رس تأثیر گذاشته و با این ویژگیها، رابطه ای موازی و یا معکوس دارد. به طور مثال مشخص شده است که هر وقت مقدار پلاستیسیته بیشتر باشد، میزان استحکام خشک، انقباض خشک و نیز آب پلاستیسیته بیشتر خواهد بود. رسها به دلیل حضور کائولنیت و سایر مینرال های رسی در آنها دارای پلاستیسیته اند که ناشی از ورقه ای بودن ذرات مینرالهای رسی است.

روشهایی جهت اندازه گیری میزان پلاستیسیته وجود دارد که در تمامی این روشها در حقیقت خواصی اندازه گیری می شوند که رابطه نزدیکی با پلاستیسیته دارند. به طور مثال در روش پلاستیسیته ففرکورن (Fefferkorn)، پلاستیسیته مستقیماً اندازه گیری نمی شود، بلکه درصد آبی که ماده اولیه را به شرایط خاص شکل پذیری می رساند، اندازه گیری می شود. باید توجه نمود که در هر صورت چنین روشهایی همیشه دقیق نبوده و نتایج حاصله در بسیاری موارد ممکن است گمراه کننده نیز باشند.

اندازه ذرات و پولکی بودن کانیهای رسی موجود در یک نمونه (اعم از بدنه خام و یا یک نمونه خاک رس)، از مهمترین عوامل موثر در مقدار پلاستیسیته است. به عنوان مثال بال کلی ها در مقایسه با کائولن ها دارای پلاستیسیته بیشتری هستند. هر نوع عملی که باعث ریزتر شدن ذرات رس گردد، مثل آب و هوازگی رسها و یا هم

خوردن رسها در همزنهایی با سرعت زیاد، یقیناً باعث افزایش پلاستی سیتة خواهد شد. یکی از دلایل افزایش پلاستیسیته در نتیجه انبار نمودن خمیر رسها و بدنه ها نیز همین مورد است. در این شرایط نفوذ آب در لابلای ذرات رس باعث خرد شدن آنها می گردد.

مایع جذب شده در سطح رس و نوع آن نیز یکی دیگر از عوامل ایجاد کننده و موثر در پلاستی سیتة است. مولکولهای مایعات قطبی در سطح ذرات رس جذب گردیده و بدین وسیله باعث لغزش و ایجاد سهولت در حرکت صفحات رس می گردد. بنابراین اختلاط ذرات رس با هر نوع مایع قطبی مثل آب و الکل می تواند باعث ایجاد پلاستیسیته در خمیر گردد. در حالی که چنانچه مایعات غیر قطبی مانند بنزن مورد استفاده قرار گیرند، هیچ نوع پلاستیسیته ای بوجود نخواهد آمد. در هر صورت باید توجه داشت که پلاستیسیته حاصل از هیچ یک از مایعات قابل مقایسه با پلاستی سیتة حاصل از اختلاط آب نیست.

به طور کلی نمونه هایی که دارای پلاستیسیته زیادی هستند، آب بیشتری نیز جذب می نمایند. مقدار آبی که یک نمونه جهت ایجاد یک خمیر مناسب جهت شکل دادن، جذب می نماید به آب پلاستیسیته مشهور است. بدیهی است که مقدار آب پلاستی سیتة یکی از مهمترین عوامل شناخت شخصیت یک رس است. برای تعیین آب پلاستی سیتة از روش بسیار ساده و موثری استفاده می شود به مقدار مشخصی از نمونه خشک آنقدر آب اضافه می شود که خمیر مناسبی به دست آید. معمولاً مقدار آب پلاستیسیته محدوده خاصی دارد که اصطلاحاً به آن "محدوده قابلیت کار" و یا "محدوده آب پلاستیسیته" گفته می شود. اگر مقدار آب مصرفی کمتر از محدوده مذکور باشد، خمیر حاصل بسیار سفت بوده و نمی تواند به راحتی شکل بگیرد و چنانچه مقدار آب پلاستیسیته از محدوده قابلیت کار باشد، خمیر حاصل بیش از حد نرم و چسبنده بوده و نتیجتاً غیر قابل مصرف خواهد بود.

از عوامل مهمی که باید به آن توجه داشت، تاثیر فشار بر مقدار آب پلاستی سبته است. به عنوان یک قانون باید به خاطر داشت که با افزایش فشار می توان پلاستیسیته یکسانی را با مقدار آب کمتر به دست آورد. در صنعت سرامیک از این قانون کاملاً بهره گرفته شده است و بسیاری از فرآورده ها را به وسیله فشار و با مقدار آب بسیار کمتر شکل می دهند. باید به خاطر داشت که آب کمتر به معنی انقباض تر به خشک کمتر بوده که نتیجتاً تنش کمتری در حین خشک شدن در بدنه به وجود خواهد آمد. این موارد نهایتاً به معنی احتمال کمتر وقوع ترک و شکست در فرآورده های خام است.

رس ها با توجه به خاصیت پلاستیسیته به گروه های زیر تقسیم می شوند:

۱- رس با خاصیت پلاستیسیته عالی (بیش از ۳۵ درصد رطوبت).

۲- رس با خاصیت پلاستیسیته خوب (۲۵ تا ۳۵).

۳- رس با خاصیت پلاستیسیته متوسط (۱۵ تا ۲۵).

۴- رس با خاصیت پلاستیسیته کم (۷ تا ۱۵).

۵- رس بدون خاصیت پلاستیسیته (کمتر از ۷).

علاوه بر عوامل ذکر شده، وجود مواد آلی ریز نیز در خاکهای رسی ویژگی پلاستیسیته را افزایش می دهد. همچنین ترکیب کانی شناسی و وجود مواد کلوئیدی در خاک های رسی از عوامل مؤثر در ویژگی پلاستیسیته آنها است. بالاترین میزان پلاستیسیته در رس های مونت موریلونیت (Montmorillonite) و به دنبال آن در کائولینیت و سپس ایلیت وجود دارد. با افزایش میزان ظرفیت مبادله یونی کانی های تشکیل دهنده یک خاک رس، بر پلاستیسیته آن نیز افزوده می شود.

جنس یون های مبادله شونده نیز در خاصیت پلاستیسیته خاکها نقش مهم ایفا می کند. خاکهایی که از یون  $H^+$  اشباع شده باشند، دارای پلاستیسیته بیشتری هستند. اگر

یون‌های  $H^+$  به وسیله یون‌های  $Na^+$  جایگزین شوند حد ارتجائی خاک کم شده ولی در مقابل فاصله حد ارتجائی تا حد گسیختگی زیاد خواهد شد. این بدان معنی است که جسم در مرحله‌ای است که حالت روان شدن و رقیق شدن پیدا می‌کند. خاک‌های رسی حاوی یون  $Ca^{2+}$ ، از نظر پلاستیسیته در حد فاصل بین خاک‌های حاوی یون  $H^+$  و یون  $Na^+$  قرار دارند.

چنانچه خاک‌های رسی دارای ویژگی پلاستیسیته خوب باشند، خاک‌های پلاستیک یا چرب (fat clay) و اگر قابلیت پلاستیسیته آن‌ها کم باشد، خاک‌های غیر پلاستیک یا غیر چرب (lean clay) و یا لاغر نامیده می‌شوند. معمولاً پلاستیسیته رس‌ها به ترتیب زیر خواهد بود:

بتونیت < بال کلی < رس نسوز < کائولین

### قابلیت کار و استحکام تر

قابلیت کار مجموعه‌ای از سه خاصیت موجود در یک نمونه حاوی رس یعنی پلاستی سیته واقعی، استحکام تر و تیکسوتروپی (Thixotropy). تفاوت بین قابلیت کار و پلاستیسیته هنگامی مشخص می‌گردد که اندازه ذرات کانیهای رسی موجود در یک نمونه بسیار ریز و در عین حال در یک محدوده خاص و یا به عبارت دیگر حدوداً یکسان باشد. بدیهی است که به علت ابعاد بسیار ریز ذرات مقدار پلاستی سیته بسیار زیاد خواهد بود. ولی در عمل چنین رسی قابل استفاده نیست. به عبارتی دیگر این نمونه علی‌رغم پلاستیسیته زیاد خود، دارای قابلیت کار کمی است. دلیل این موضوع فقدان استحکام کافی (استحکام تر) در این نمونه است. به بیان روشن‌تر، یکی از عوامل ایجاد استحکام تر در یک نمونه حاوی رس، اصطکاک بین ذرات آن است. در دانه بندی یکسان، اصطکاک بین ذرات به دلیل مشابهت و یا یکسانی ابعاد ذرات، بسیار کم بود و در نتیجه این عامل باعث فقدان قابلیت کار مناسب می‌گردد.

در چنین مواردی جهت ایجاد اصطکاک بین ذرات و در نتیجه ایجاد استحکام کافی و نهایتاً قابلیت کار مناسب، معمولاً از موادی مثل سیلیس و یا انواع مواد پخته شده (با دانه بندی ریز حدوداً کمتر از ۱۵۰ میکرون) استفاده می شود. بنابراین یکی از دلایل استفاده از پرکننده ها، اصلاح بافت بدنه خام است. در هنگام افزایش پرکننده ها به چنین خمیرهایی باید به مقدار آنها توجه شود. مقدار افزایش نباید بیش از حد کم و یا زیاد باشد.

در بعضی موارد عدم وجود استحکام تر کافی در یک نمونه و وجود بیش از حد پلاستیسیته، با عدم وجود پلاستیسیته کافی اشتباه می شود. در مواردی که تجربه کافی وجود نداشته باشد لمس چنین خمیرهایی ممکن است باعث گمراهی گردد. در هر صورت باید توجه داشت که خمیرهایی که دارای پلاستیسیته بیش از حد و استحکام تر کم هستند، بسیار نرم و چسبنده بوده و با کوچکترین نیرویی تغییر شکل داده و قدرت تحمل وزن خود را ندارند. در این موارد پلاستیسیته بیش از حد خمیر امکان تغییر شکل نمونه را در اثر وزن خود فراهم می سازد. از طرف دیگر نمونه هایی که دارای پلاستیسیته کم و استحکام تر بیش از حد هستند دارای قابلیت کار کمی بوده و بنابر این قابل استفاده نیستند. چنین نمونه هایی می توانند تنش های فشاری را تحمل نمایند ولی به هیچ وجه قادر به تحمل تنش های کششی نمی باشند.

یکی دیگر از عوامل ایجاد کننده استحکام تر در یک نمونه تراکم بیشتر ذرات آن است. این عمل می تواند به وسیله ورز دادن خمیر با دست و یا استفاده از دستگاههای ورز دهنده و نیز ایجاد خلاء و هواگیری از خمیر یا انبار نمودن آن انجام شود. در هنگام انبار نمودن خمیر رس و یا بدنه نیروی وزن ذرات باعث حرکت تراکم بیشتر آنها می گردد.

### چسبندگی



چسبندگی رس‌ها خاصیتی است که بر اثر آن ذرات مواد دیگر به وسیله رس به هم متصل می‌شوند و پس از خشک شدن، توده محکم و یکپارچه به وجود می‌آورند. چسبندگی به پلاستیسیته رس‌ها بستگی دارد. رس‌هایی که پلاستیسیته زیاد دارند، اغلب به نام رس‌های چسبنده معروف هستند. اینگونه رس‌ها پس از مخلوط شدن با آب و اضافه کردن حتی بیش از ۵۰ درصد مواد لاغر کننده، می‌توانند خمیری شکل‌پذیر تشکیل دهند. میزان چسبندگی با آزمایش مقاومت مکانیکی توده رسی تعیین می‌گردد.

### جذب آب

این خاصیت بر مبنای مقدار آبی که رس به خود جلب کرده تا شکل‌پذیر شود و به دست نچسبد، مشخص می‌شود. جذب آب نیز به میزان پلاستیسیته رس بستگی دارد، طوری که هر چه پلاستیسیته رس بیشتر باشد، آب بیشتری برای تهیه توده شکل‌پذیر آن لازم است. ساختار لایه‌ای، ارتباط بین ورقه‌های مواد رسی، پیوندهای شکسته، باردار بودن سطح ذرات و حضور برخی یون‌های خاص، سبب تمایل مواد رسی به جذب آب می‌گردد. همین تمایل به جذب است که بسیاری از خواص رس‌ها، از جمله پلاستیسیته را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

توانائی و امکان نفوذ آب بین ورقه‌های رس‌ها در برخی از آنها کم و در بعضی دیگر بیشتر است. این توانائی نفوذ آب، بسیاری از خواص اصلی رس‌ها، مانند پلاستیسیته و تورم را سبب می‌گردد.

خاصیت جذب آب در خاک رس مطلق و یا نسبی است که به ترتیب با رابطه‌های زیر به دست می‌آیند:

$$W_0 = \frac{b-a}{b} \times 100$$

$$W_0 = \frac{b-a}{a} \times 100$$

توده خاک رس خشک a

توده خاک رس مرطوب در حالت خمیری و شکل پذیر **b**

جذب آب مطلق در رس دارای پلاستیسیته زیاد از ۳۵ تا ۴۵، در رس با پلاستیسیته متوسط از ۲۵ تا ۳۵ و در راس با پلاستیسیته کم از ۲۰ تا ۲۵ تغییر می‌کند.

### تورم

تورم به خاصیتی گفته می‌شود که در اثر آن حجم رس پس از جذب آب، افزایش می‌یابد. تورم به ترکیب کانی‌شناسی خاک رس، نوع کاتیون‌هایی که کانیهای رسی از آنها اشباع شده‌اند و ترکیب دانه‌بندی آنها بستگی دارد. رس‌های مونت مورینیتی و بایدلیتی از حداکثر تورم برخوردار هستند، ولی رس‌های کائولینیتی تورم کم نشان می‌دهند.

### خاصیت جذب یا جاذب بودن (رنگزدایی)

برخی از رسها می‌توانند مواد رنگی را از قبیل نفت، چربی‌ها، واکس‌ها و غیره را جذب کنند. این عمل رنگزدایی نامیده می‌شود و نباید آن را با عمل فیلتراسیون اشتباه گرفت. این خاصیت رسها را می‌توان همانند رنگ‌آمیزی پارچه تشبیه نمود که در آن رنگ از محلول جدا می‌شود و جذب پارچه می‌گردد و با شستن پارچه از آن جدا نخواهد شد.

### خاصیت کلوئیدی

خاصیت کلوئیدی در برخی از مواد به علت قطر کم ذرات تشکیل دهنده آنها با اندازه کمتر از یک میکرون یافت می‌شود. ذرات کلوئیدی با میکروسکپ پلاریزان نوری، قابل تشخیص نیستند و ساختار نهان بلورین دارند. کلوئیدهای رسی دارای خاصیت الکترونگاتیو (electronegative) هستند، یعنی مولکولهای آنها از بار الکتریکی منفی برخوردار بوده و یونهای مثبت را به سوی خود جلب می‌نمایند و هاله‌ای از

یون‌های مثبت که ممکن است کاتیونهای مختلف و یا هیدروژن باشند، در اطراف خود جمع می‌کنند. این کلوئیدها در محیط اسیدی تجمع می‌یابند که در این صورت (Gel) نامیده می‌شوند و در محیط قلیائی پراکنده می‌گردند که به نام سل (Sol) معروف هستند.

### ظرفیت تبادل کاتیونی

ذرات رس در آب باز شده و متفرق می‌گردند. این ذرات دارای بار الکتریکی منفی هستند. ایجاد این بار منفی در ذرات رس می‌تواند به دلیل جانشینی ایزومورفی (isomorphous substitution) در شبکه بلوری رس صورت پذیرد، مثلاً یون  $Ca^{2+}$  می‌تواند تا حدودی جایگزین  $Mg^{2+}$  یا  $Fe^{2+}$  در شبکه بلوری رس شود. با توجه به اینکه این کاتیونها دو ظرفیتی هستند، تنها در ترکیب شیمیایی رس تغییراتی ظاهر می‌شود، ولی هیچگونه بار الکتریکی در ذرات رس پدید نمی‌آید. چنانچه یک کاتیون به طور جزئی جایگزین کاتیون دیگری که دارای ظرفیت متفاوت است، گردد، بار الکتریکی در ساختمان بلوری رس ایجاد می‌شود، مثلاً کائولینیت دارای فرمول ایده آل  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  می‌باشد، کاتیون  $Al^{3+}$  در مواردی در برخی نقاط شبکه بلوری جانشین  $Si^{4+}$  می‌گردد که در اثر این اختلاف بار الکتریکی، یک بار منفی در شبکه بلوری کائولینیت ظاهر می‌شود.

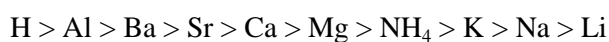
معمولاً جانشینی یونها در شبکه بلوری رس‌ها محدود است و این جانشینی می‌تواند باعث ایجاد برخی تغییر شکل در ساختمان بلوری رس شده و پایداری شبکه را کاهش دهد. رسهایی که قابلیت جانشینی ایزومورفی بسیار کم دارند، (wellordered) نامیده می‌شوند، چنانچه جانشینی قابل توجهی در شبکه بلوری رس صورت گیرد، آن را (disordered) می‌نامند. رس‌هایی که دارای شبکه بلوری disordered باشند، از پایداری کمتری برخوردار هستند و در نتیجه در آنها پلاستیسیته بیشتر و انقباض خشک بالا

دیده می شود. Disordered بودن ساختمان بلوری رس، به میزان توانائی و قابلیت جذب کاتیون‌ها به وسیله رس بستگی دارد.

عامل دیگری که سبب ایجاد بار الکتریکی در رس می‌گردد، شکسته شدن پیوندهای ظرفیتی است. در لبه بلورهای رس، پیوندهای ظرفیتی ناخواسته به وجود می‌آید. جایی که شبکه بلوری رس به انتها می‌رسد، پیوندهای شکسته شده‌ای در هر دو طرف مثبت و منفی موجود در لبه بلورهای رس پدید می‌آیند. بنابراین ذرات رس علاوه بر دارا بودن بار الکتریکی منفی بر روی بلورها، حاوی بار مثبت و منفی در لبه‌های بلور می‌باشند، لذا بلورهای رس قادر به جذب کاتیونها و آنیونها بر روی سطح خود خواهند بود.

این پدیده بر روی خصوصیات فیزیکی رس تأثیرگذار است. پلاستیسیته بسیار بالا در رس‌ها، به ظرفیت تبادل کاتیونی آنها بستگی دارد. رس‌هایی که دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالا می‌باشند، از پلاستیسیته زیاد برخوردار هستند.

تمایل طبیعی رس‌ها به جذب برخی از کاتیونهای موجود در محیط بیشتر از بقیه می‌باشد. میزان تمایل طبیعی رس‌ها به جذب کاتیون بعضی از عناصر تحت عنوان سری هوفمایستر (Hofmeister) به شرح زیر نشان داده می‌شود:



سری فوق نمایانگر تمایل به جذب کاتیون  $Ca^{2+}$  توسط ذرات رس، بیشتر از تمایل این ذرات به جذب  $Na^+$  است.

### چگونگی وجود آب در رس‌ها

آب به چهار صورت در خاک‌های رسی وجود دارد:

۱- آب جذبی: آبی است که روی سطوح دانه‌ها می‌نشیند و سبب مرطوب شدن سنگ یا خاک می‌شود.

۲- آب تخلخلی: آبی است که میان دانه‌ها و در خلل و فرج سنگ‌ها وجود دارد.

۳- آب میان لایه‌ای: آبی است که میان پولک‌های خاک رس وجود دارد و افزایش حجم (تورم) توده خاک را در پی دارد.

۴- آب شبکه‌ای: ملکول آبی است که در واحد شبکه بلور کانی‌های تشکیل دهنده خاک رس وجود دارد.

چنانچه خمیری از خاک رس در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد، آب از دست می‌دهد، کاهش وزن پیدا می‌کند و در برابر آب نفوذناپذیر می‌شود، همچنین خاصیت پلاستیسیته و اسیدی بودن خود را از دست می‌دهد. مجموعه این رفتارها و ویژگی‌ها، یعنی شکل‌پذیری، پخته شدن در اثر حرارت و نفوذناپذیر شدن از آب پس از پخت، خاک‌های رسی را به عنوان برجسته‌ترین ماده اولیه در صنایع نسوز و سرامیک مطرح می‌سازد.

خاک رس به هنگام پخت ۱۰ تا ۱۲ درصد کاهش حجم پیدا می‌کند، در صورتیکه دما در سیلیس سبب افزایش حجم می‌گردد. این دو رفتار متضاد، پایه‌ای است که زمینه مصرف آن‌ها را در فرآورده‌های سرامیکی فراهم آورده است، زیرا با آمیختن این دو ماده یعنی رس و سیلیس و مواد دیگر (اکسید فلزات قلیائی و قلیائی خاکی) خمیر لازم را تهیه می‌کنند. خاک رس در این آمیزه، به عنوان یک ماده پلاستیک و سیلیس به مانند یک ماده غیر پلاستیک عمل می‌کند. سیلیس باعث کاهش نقطه ذوب نمی‌شود، ولی قلیائی‌ها نقطه ذوب را پائین می‌آورند. بنابراین چنانچه ماده غیر پلاستیک که با خاک رس آمیخته می‌شود از نوع دیرگداز باشد، فرآورده حاصل نیز از گونه‌های نسوز خواهد بود. بر پایه این قاعده، از خاک‌های رس خشت تهیه می‌کنند و پس از پخت در درجه

حرارت معین (حدود ۷۰۰ درجه سانتیگراد)، تا جایی که خاک رس دیگر قادر به جذب آب نبوده و ویژگی پلاستیسیته خود را از دست داده باشد، آن را آسیاب کرده و دوباره با خاک رس خام که توان جذب آب و در نتیجه دارای خاصیت پلاستیسیته است می‌آمیزند و از این آمیزه مجدداً آجرهای دیرگداز می‌سازند که به آن آجرهای شاموتی گفته می‌شود. نسبت آمیختن این دو ماده برای فرآورده‌های گوناگون متفاوت است.

### انقباض خام

کاهش حجم رسها پس از خشک شدن در هوای آزاد، "انقباض هوایی" و پس از پخت "انقباض حرارتی" نامیده می‌شود. میزان انقباض به نوع رس، پراکندگی ذرات آن و رطوبت توده شکل‌پذیر بستگی دارد. انقباض هوایی معمولاً بین ۱/۵ تا ۱۰ درصد نوسان نشان می‌دهد و به ندرت به ۱۳ درصد می‌رسد. انقباض حرارتی در دمای مختلف پخت متفاوت است و در دمای ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد به ۲۳ درصد می‌رسد. جهت کاهش انقباض رسها به آنها مواد لاغر کننده مانند ماسه کوارتزی، شاموت و غیره می‌افزایند.

اصطلاحاً به کاهش ابعاد محصولات سرامیکی در زمان خشک شدن قطعه خام، انقباض خام یا به صورت دقیقتر، انقباض "تر به خشک" نیز گفته می‌شود. انقباض عاملی است در ایجاد تنش و در نهایت ایجاد ترک در بدنه. آب پلاستیسیته به سادگی در حرارت ۱۰۰ درجه سانتیگراد تبخیر شده و این عمل با انقباض بسیار زیادی همراه است بطور خلاصه می‌توان گفت خروج آب پلاستیسیته مهمترین عامل ایجاد انقباض خام است. اگرچه مقدار زیاد انقباض تر به خشک، باعث شده است که مرحله خشک شدن به یکی از حساس ترین مراحل تولید تبدیل شود، ولی مقدار کم آن، همیشه مورد نیاز و مطلوب می‌باشد و دلیل آن ایجاد سهولت در خروج محصول شکل یافته از قالب است.

## استحکام خشک و پخت

منظور از استحکام خشک، استحکام مواد بعد از شکل گیری و خشک شدن و قبل از پخت می باشد. بدنه های خام بعد از خشک شدن و یا در خلال آن پرداخت شده و احتمالاً به یکدیگر چسبانده می شوند. تمامی این اقدامات به معنی اعمال تنش به بدنه خام است و بدنه باید این کنش ها را تحمل نماید که به استحکام خشک آن مربوط می شود. عوامل مؤثر در استحکام خشک همان عوامل مؤثر در پلاستیسیته هستند .

از سوی دیگر بر خلاف فلزات یا پلیمرها، سرامیکها موادی سخت و مقاوم در برابر حرارت هستند. افزون براین، تشکیل سرامیکها از طریق تغییر شکل پلاستیک امکان پذیر نیست. بنابراین سرامیک ها دارای خواص مکانیکی زیر هستند.

۱- استحکام زیاد در دمای بالا. از آنجایی که سختی زیاد سرامیک ها، ماشین کاری دقیق را امکان پذیر می سازد، می توان آنها را به عنوان قطعات مکانیکی بسیار دقیق به کار گرفت.

۲- سرامیک ها دارای استحکام بالا ولی ترد هستند. بنابراین میزان انرژی مکانیکی مورد نیاز برای شکستن آنها، بسیار کم می باشد.

۳- ساخت قطعات سرامیکی بزرگ مشکل است.

### استحکام شکست

استحکام تئوریک یک ماده، حداکثر تنشی است که برای شکستن پیوند بین اتم ها و ایجاد سطحی جدید لازم است. استحکام کششی اندازه گیری شده مواد، بسیار کمتر از استحکام تئوریک آنهاست.

تصور بر این است که کاهش استحکام به دلیل وجود ترک و شکافهای میکروسکوپی در مواد است. وقتی تنشی بر بالای یک ترک وارد شود، با افزایش طول ترک و کاهش شعاع انحنا بالای آن، این نیرو بیشتر می شود. با رشد سریع ترک

تحت یک تنش کششی، شکست رخ می دهد. قدرت شکست بستگی به شکل و اندازه شکاف و نیز روش وارد آمدن نیرو دارد.

به منظور استفاده از سرامیکها به عنوان مواد سازه ای ساخت سرامیک با ریز ساختارهای همگن، متراکم و بدون نقص، ضروری می باشد. فاکتورهای ریز ساختاری سرامیک ها، که بر استحکام مکانیکی آنها تاثیر می گذارد، اندازه دانه و تخلخل در آنها است. با افزایش تخلخل، استحکام سرامیک به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

### نقطه ذوب

مواد آلی ذاتاً باعث کاهش درجه گدازندگی نمی شوند، ولی چنانچه به صورت ظاهر سبب پائین آمدن درجه گدازندگی گردند، در اثر حضور آهن و منگنز موجود در آنها خواهد بود

سرامیکها در مقابل گرما بسیار مقاوم هستند. در مقایسه با دیگر موارد مشابه، مانند بسپارها و فلزات، این امر کاملاً ملموس است. وجود این ویژگی برای افزایش کاربردهای فیزیکی مواد در دماهای بالا ضروری می باشد. بنابراین برای کاربردهای حرارتی بالا انتخاب سرامیکهایی با نقاط ذوب بالا حائز اهمیت است.

مقاومت در برابر خوردگی ویژگی دیگری است که در دماهای بالا مطلوب می باشد. حتی اگر ماده ای دارای مقاومت بالا در مقابل گرما باشد، تنها در صورتی می تواند در دماهای بالاتر مورد استفاده قرار گیرد که نسبت به خوردگی مقاوم باشد. در مقایسه با فلزات، اغلب سرامیکها در اتمسفرهای اکسید کننده، مقاوم هستند. برخی سرامیکها خصوصیات الکتریکی مناسبی در دماهای بالا از خود نشان می دهند. بعضی دارای ویژگی مکانیکی فوق العاده ای در این دماها می باشند. بنابراین به عنوان موادی با سختی و مقاومت بالا در درجه حرارت های بالا مورد استفاده قرار می گیرند.



نقطه ذوب یک ماده معدنی رابطه مستقیمی با پیوند شیمیایی آن دارد. عموماً نقطه ذوب به ترتیب زیر افزایش می یابد: بلورهای ملکولی، بلورهای فلزی، بلورهای یونی (اکسیدها و هالیدهای قلیایی) و بلورهای پیوند کووالانسی (اکسیدها، نیتريدها و کاربیدها). نقطه ذوب رابطه نزدیکتری با انرژی تشکیل یک جامد دارد که برابر با شبکه یک بلور یونی می باشد.

انرژی تشکیل یک جامد رابطه نزدیکتی با ساختار بلوری آن دارد و روابط زیر در اکسیدها مشاهده می شود:

(۱) هرچه عدد همسایگی یا کوردیناسیون یک کاتیون بالاتر باشد، نقطه ذوب اکسید بالاتر خواهد بود.

(۲) هر چه نسبت بین کاتیون و آنیون به واحد نزدیکتر باشد و یا ترکیب شیمیایی ساده تر باشد، نقطه ذوب بالاتر خواهد بود. این عبارت به این حقیقت مربوط می شود که وقتی دو اکسید دارای کاتیونهایی با عدد کوردیناسیون همسان هستند، اکسیدی که آنیون های آن دارای عدد کوردیناسیون بالاتر باشد، نقطه ذوب بالاتری دارد.

(۳) انحراف کمتر از شعاع یونی ایده آل باعث نقطه ذوب بالاتر می شود. این روند در هالیدهای قلیایی خاکی ملاحظه شده است.

(۴) هر چه ساختار اتمی کاتیون به گازهای نادر بیشتر باشد، یا دارای ظرفیت اتمی پایارتتری باشد، نقطه ذوب بالاتر خواهد بود.

(۵) کوردیناسون نزدیکتر کاتیونها و آنیونها به تقارن کروی، نقطه ذوب بالاتری را باعث می شود.

عبارات اول و دوم از این حقیقت نشأت می گیرند که اکسیدهایی که دارای ساختارهای بلوری با عدد کوردیناسیون بالاتر هستند، دانسیته تراکم بالاتر و بنابراین انرژی های تشکیل بالاتری دارند. عبارات سوم، چهارم و پنجم، نشان می دهند که ترکیباتی که دارای پیوند های شیمیایی و نیز ساختارهای بلوری همگن تر و پایدارتری هستند، نقاط ذوب بالاتری دارند.

## هدایت حرارتی

در سرامیک ها انتشار گرما از طریق ارتعاشات شبکه و به عبارت دیگر هدایت حرارتی به وسیله فوتونها صورت می گیرد. علی رغم اینکه الکترونها می توانند در هدایت حرارتی مشارکت داشته باشند، اثر آنها در هدایت حرارتی سرامیک ها کاملاً ناچیز است. در دماهای بالا، گرما می تواند به وسیله تابش فوتونها نیز انتشار یابد. هدایت حرارتی از نظر کمکی می تواند با هدایت حرارتی که نتیجه گرمای ویژه، تحرک حامل (سرعت صوت برای هدایت فوتون ها) و همچنین میانگین پویش آزاد حامل می باشد، بیان شود. به طور معمول هدایت حرارتی سرامیک ها از فلزات می باشد.

عواملی که هدایت حرارتی در سرامیک ها را تحت تأثیر قرار می دهند، نوع پیوند های شیمیایی، خلوص و چگالی می باشند. هدایت حرارتی بالا در بلورهایی مشاهده می شود که:

(۱) دارای پیوند های قوی باشند.

(۲) چگالی انباشتگی بالای اتم ها در ساختار بلوری مشاهده شود.

(۳) تقارن بلوری بالایی داشته باشند.

(۴) از بلورینگی بالایی برخوردار باشند.

(۵) عناصر سبک داشته باشند.

بلورهایی با این ویژگی، به دلیل تحرک بالا، پویش آزاد و میانگین زیاد فوتونها، دارای هدایت حرارتی بالا هستند. به طور مثال شیشه ها دارای بلورینگی ضعیفی هستند.

انتشار فوتونها بر اثر نقص های شبکه در ساختارهای بلوری، خلل وفرج، مرز دانه ها و رسوبات در زیر ساختارها صورت می گیرد. در نتیجه، هدایت حرارتی با حضور این نقصها کاهش می یابد. افزون بر این ثابت شده است که تشکیل یک محلول جامد نیز هدایت حرارتی را کاهش می دهد.

مواد اولیه مدارهای مجتمع (IC) مثالهای خوبی از موادی هستند که دارای هدایت حرارتی بالا می باشند. با افزایش تجمع، گرمای بیشتری تولید می شود. به منظور کارکرد صحیح IC ها، پراکندگی گرما با استفاده از موادی با هدایت حرارتی بالا مورد نیاز است.

به طور کلی، مواد پلیمری، دارای هدایت کمتری هستند و بنابراین به عنوان مواد اولیه برای IC های با تجمع بالا نمی توانند به کار روند. آلومینای چند بلوری به طور گسترده ای به عنوان ماده مورد استفاده در IC ها کاربرد دارد. علاوه بر این SiC و AIN که دارای هدایت حرارتی بالاتری نسبت به آلومینا هستند، به صورت تجاری به عنوان پایه IC استفاده می شوند. به طور مثال الماس که به عنوان بالاترین رسانای حرارتی شناخته شده است، از نظر تجاری به عنوان ماده مورد استفاده در IC ها معرفی شده است.

### انبساط حرارتی

هنگامی که دو ترکیب یا بیشتر تحت گرما قرار می گیرند، انبساط حرارتی نقش مهمی را ایفا می کند. در سطوح بین دو ماده با ضریب انبساط حرارتی متفاوت، موادی که ضریب انبساط بالاتری دارند، تنش فشاری را در طول گرما تجربه می کنند و موادی که دارای ضریب انبساط حرارتی پایین تری هستند تنش کششی را تحمل می کنند. در نتیجه ترک های ریزی در طول چرخه های دمایی (گرم و سرد کردن) شکل می گیرد که ویژگیهای حرارتی و مکانیکی را تغییر داده و در نهایت موجب شکست می شود.

ارتعاش شبکه با افزایش دما افزایش می یابد. به طور همزمان، میانگین فاصله اتمی نیز افزایش می یابد. عدم تقارن در پتانسیل اتمی با جاذبه کولمبیک بزرگتر از پیوند های کووالانسی است.

بطور کلی، مواد دارای پیوند های یونی نسبت به پیوند های کووالانسی از ضریب انبساط حرارتی بالاتری برخوردار هستند. ارتعاش شبکه به طور یکسان در سراسر بلورهایی که چگالی تراکم بالایی دارند انتشار می یابد. از سوی دیگر، انبساط حرارتی در بلورهایی با چگالی کمتر می تواند به طور غیر مستقیم، به وسیله تغییر در زاویه پیوند ایجاد شود. بنابراین، انبساط حرارتی در بلور های با چگالی بیشتر، بالاتر است. افزون بر این، بلورهای با عدد کوردیناسیون بالاتر و پیوندهای شیمیایی ضعیف تر، ضریب انبساط حرارتی بالاتری دارند. بنابراین بلورهایی که دارای نقطه ذوب پایین هستند، ضریب انبساط حرارتی بالا دارند.  $\text{SiO}_2$ ، شیشه، که با عدد کوردیناسیون ۴ دارای ساختاری با چگالی کم است، ضریب انبساط حرارتی پایینی دارد. اضافه کردن  $\text{CaO}$  و  $\text{Na}_2\text{O}$  شیشه های سیلیکاتی را چگال تر می سازد و عدد های کوردیناسیون آنها را افزایش می دهد.

مواد معدنی سیلیکاتی که دارای فضاهای خالی بسیاری به شکل حلقه ها و شبکه های سه بعدی هستند، مانند کوردیریت ( $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ ) ضرایب انبساط حرارتی بسیار کوچکی دارند (در راستای محور C انبساط حرارتی منفی است). این مواد معدنی دارای پیوند های ضعیف و نیز قوی هستند و انبساط حرارتی پیوند های قویتر می تواند با چرخش ساختارهای حلقوی همساز گردد.

### خواص الکتریکی

در سرامیکها گسترده وسیع و متنوعی از ویژگیهای الکتریکی مهم مانند عایق الکتریکی، ویژگیهای دی الکتریکی و مغناطیسی و هدایت الکتریکی (نیمه رساناها) را دارا می باشند. این تنوع در ویژگیهای الکتریکی به دلیل گوناگونی ترکیبات شیمیایی،

ساختار بلوری، زیر ساختارها و روشهای تهیه سرامیکها است. این تنوع و گوناگونی مختص سرامیکها می باشد.

توانایی کنترل خواص الکتریکی با تشکیل محلولهای جامد، یکی از جنبه های منحصر بفرد سرامیکها است. دراصل، خواص الکتریکی به وسیله اتم ها و ترکیبهای آنها، یعنی ساختار بلوری، تعیین می شود. با جانشین کردن یک نوع اتم به جای اتم دیگر، یعنی با تهیه محلول جامد، می توان خواص الکتریکی را به نحو چشمگیری تغییر داد. با کنترل میزان جانشینی، مقدار تغییر در ویژگیهای الکتریکی قابل کنترل خواهد بود

امکان کنترل خواص الکتریکی به وسیله دستکاری و ایجاد تغییرات در زیر ساختارها، خصوصیات منحصر بفرد دیگر سرامیکها است. ترکیبات چند بلوری زینتر شده از ریز ساختارهای پیچیده ای برخوردارند که شامل دانه ها، مرز دانه ها، منفذ ها و سطوح می باشند. بنابراین خواص الکتریکی کاملاً متفاوتی نسبت به تک بلورها دارند. تعدادی از مواد سرامیکی منحصر بفردی که با ایجاد تغییر در ریزساختارها، تهیه و توسعه داده شده اند شامل مقاومت های PTC، وریستورهای ZnO، خازن های لایه ای مرزی (با ایجاد تغییر در ویژگیهای مرز دانه ها)، حسگر های گازی و نیمه هادی های لایه نازک گوناگون (با ایجاد تغییر در ویژگیهای سطح) می باشند .

سرامیکهایی که هدایت الکتریکی آنها کمتر از  $10^{-8} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$  است، نارسانای الکتریکی نامیده می شوند. برخی از معمول ترین نارسانای سرامیکی متداول، چینی، که از رس، فلدسپات و کوارتز تهیه می شود ، آلومینا ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )، مولایت (  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  ) ، استیتایت ( $\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ) ، فورستريت ( $2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ) ، بریلیا ( $\text{BeO}$ )، نیتريدها مانند  $\text{Si}_3\text{N}_4$  و شیشه های سیلیکاتی گوناگون هستند.

فصل پنجم

مواد موجود در خاکها

## خاک رس

خاک رس ماده ای است طبیعی که از زمین استخراج می شود. این خاک از تجزیه سنگهای فلدسپاتی تشکیل می گردد. فلدسپات مرکب از آلومین و سیلیس که با پتاس و سودا ترکیب یافته و طی یک فرایند آب و هوایی که قرن‌ها بطول می انجامد، پتاس و سودا حل شده و از فلدسپات خارج می شوند و آلومین و سیلیس باقی می مانند. این دو ماده ی سازنده اصلی خاک رس هستند به عبارت دیگر خاک رس ترکیبی از آلومین، سیلیس همراه با آب و تعدادی ناخالصی های معدنی است .

یا به وسیله عوامل مختلف طبیعی (معمولا به وسیله آب) به نقاط دیگر حمل گردند .. به رسهایی که در همان محل پیدایش اولیه (محل سنگهای مادر) خود باقی مانده اند «رسهای پس مانده» یا «رسهای اولیه» «residual clay» گفته می شود. مهمترین و عمده ترین نوع رسهای اولیه خاک چینی و یا کائولن می باشد. خاک رس ته نشین شده زبر بوده و گل آن چندان نرم نیست. بنابراین کار کردن با این مواد که فوق العاده نسوز و در مقابل حرارت مقاوم می باشد، مشکل است. در حقیقت درجه حرارت پخت کامل این خاک به قدری بالاست که پختن اشیاء ساخته شده از این خاک در کوره های معمولی امکان ندارد. مگر آنکه با مواد دیگری مخلوط شود تا درجه حرارت پخت پایین بیاید.

بزرگترین امتیاز این خاک رنگ آن است. زیرا اکثر این نوع خاکها پس از پختن به رنگ سفید زیبایی در می آیند. خاک رس ته نشین شده به دلیل دشواری استفاده و درجه حرارت پخت بالا، به تنهای قابل مصرف نیست. ولی جزء ترکیبی مهمی در چینی آلات و وسایل گلی سفید به شمار می رود. کائولین و گل چینی از خاک رس های ته نشین شده می باشند.

خاک رس پس از تشکیل ، اغلب به وسیله آب و باد، مسافتهای زیادی را طی کرده و در بسترهای زمین، جایی که ما آنها را می یابیم، رسوب می کند. خاک رسی که

به مکانهای دیگری منتقل شده و در آنجا رسوب نموده، خاک رس رسوبی "Sedimentary clay" نامیده می شوند. خاک رسهای رسوبی نرمتر از خاک رس های ته نشین شده می باشد، ولی در جریان حرکت های خود ناخالصیهای زیادی را به خود گرفته و بدین جهت از نظر رنگ تیره تر است. اکثر خاک های رسوبی پس از پخت به رنگ قرمز یا رنگ زرد نخودی در می آیند. این خاکها از تنوع بالایی برخوردارند. بعضی از آنها دارای آن چنان خواص کاری خوبی هستند که می توان مستقیماً پس از استخراج از زمین مصرف نمود. برخی دیگر را باید با مواد مختلف مخلوط کرد و گل رس صنعتی ساخت.

### کائولین

کائولن نام خود را از کلمات «kao-liang» به معنی کوه مرتفع گرفته است. قبل از میلاد مسیح کائولین به صورت کوهی بلند در منطقه جائوجائو واقع در شمال چین کشف شده است. در قرون گذشته سنگهای این محل جهت ساختن ظروف چینی مورد استفاده قرار گرفته است، از این رو واژه خاک چینی (china clay) نیز در مورد آن بکار می رود. این خاکها معمولاً در انگلستان با نام خاک چینی (Chin clay) و در آمریکا و دیگر نقاط جهان با نام کائولن (Kaolin) مشهور است. بیشترین عاملی که در تبدیل سنگهای گرانیتی به کائولن دخالت دارد، عامل هیپوژنیک می باشد. به این صورت، که بخار آب فوق العاده داغ و گازهای اسیدی داغ از مرکز زمین منتشر شده و این گازها از بین ترکها و شکافهای سنگهای گرانیتی عبور کرده و باعث تبدیل این سنگ به کائولن شده اند. واکنشهای شیمیایی که در طی این فرایند صورت می پذیرد، کاملاً شناخته شده نیستند.

کائولن ها دارای مقادیر مختلفی مینرال کائولینیت می باشند. به همراه کائولن ممکن است کوارتز، میکا، فلدسپات و کانیهای دیگری نظیر اکسید آهن  $Fe_2O_3$ ، هیدروکسید آهن (FeOOH)، پیریت  $FeS_2$ ، روتیل  $TiO_2$  و ترکیبات کربناتی یا مواد



آلی به همراه داشته باشد. وجود این ناخالصی‌ها در کائولین رفتار فیزیکی فرآیند تولید را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد. پلاستیسیته کائولین به علت داشتن ذرات درشت‌تر، ضعیف یا متوسط است. امروزه تقریباً نیمی از خاک کائولین که از معادن مختلف در جهان استخراج می‌گردد، به مصرف صنایع سرامیک رسیده و ما بقی بصورت یک ماده پرکننده در صنایع شیمیایی، کاغذ سازی - لاستیک سازی و نساجی و برخی دیگر به مصرف می‌رسد. ناخالصی‌های موجود در خاک کائولین، این خاک به روشهای مکانیکی شستشو و تغلیظ می‌گردد. با توجه به درشتی ابعاد ذرات ناخالصی‌ها در خاک کائولین این عمل نسبتاً به سادگی انجام می‌شود.

کائولن در مقایسه با رسهای ثانویه دارای دانه بندی درشت تر و پلاستیسیته کمتر است. کائولن منطقه زت لیتز Zettlitz به عنوان پلاستیک ترین و نه خالص ترین نوع کائولن مشهور است. کائولنها دارای رنگ سفید بوده و در صورتی که بسیار خالص باشند، بسیار دیر ذوب بوده و معمولاً ۱۷۵۰ درجه سانتیگراد، نقطه خمیری آنها می‌باشد. رنگ سفید کائولنها بعد از پخت باعث شده که این خاکها به عنوان خالصترین نوع رس در ساخت محصولات کاملاً سفید و نیمه شفاف به خصوص چینی، مورد استفاده قرار گیرد.

در ادامه به بررسی ویژگیهای شیمیایی و فیزیکی کائولن اشاره می‌شود:

#### الف: ترکیبات

به خاطر روش خاصی که در تولید در انگلستان وجود دارد، کائولن می‌تواند به عنوان یک منبع مهم در تهیه کائولنیت مورد استفاده قرار بگیرد. زیرا که عمده مینرال موجود در کائولن، کائولنیت می‌باشد. بر طبق آنالیزهای انجام شده میزان  $Al_2O_3$  و  $SiO_2$  موجود در رس کائولن، باید مطابق اندازه آنها در کائولنیت باشد. یعنی ۳۹ درصد  $Al_2O_3$  و ۴۶ درصد  $SiO_2$ . اگر تطابق برقرار باشد، نشان دهنده خلوص بالای کائولن

فرآوری شده، است. میزان یونهای قلیایی در کائولن کمتر از ۲ درصد می باشد و میزان اکسید آهن  $Fe_2O_3$  بین ۰/۱۵ درصد و ۱/۲ درصد است.

ب: اندازه ذرات

ذرات کائولن همانند بالکلی ها، یک محدوده وسیع را در بر نمی گیرند. کوچکترین ذراتی که در کائولن دیده شده است، ذرات کوچکتر از  $0/02\mu$  میکرون می باشد، اما با این حال، وجود ذرات کوچکتر از  $0/3\mu$  میکرون در کائولن غیر معمول می باشد و معمولاً ذرات از  $0/3\mu$  میکرون بزرگترند.

ج: پلاستیسیته

مقدار ذرات ریز در کائولن از بالکلی کمتر می باشد و در نتیجه میزان پلاستیسیته کائولن کمتر از بالکلی هاست، به عبارت دیگر، نیروی اتصال کائولن در حالت تر، کمتر است. بدنه هایی که شامل کائولن هستند و میزان بالکلی در آنها کم است و یا اصلاً وجود ندارد، از لحاظ شکل پذیری در حالت پلاستیک کارایی کمتری دارند.

د: انقباض

مقدار آب کارپذیری که کائولن به آن نیازمند است، در مقایسه با بالکلی بسیار کمتر می باشد، از این رو طبق تحقیقات انجام شده، انقباض تر به خشک کائولن به میزان قابل توجهی کمتر از بالکلی هاست.

میزان انقباض خطی در مورد خاک کائولنی که در دمای  $1280$  درجه سانتی گراد پخت شده است حدود (۱۰-۱۳) درصد می باشد.

ه: استحکام

میزان مقاومت خام کائولن، هنگامی که این خاک کاملاً در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد خشک شده باشد، به مراتب کمتر از بالکلی ها است. علت این امر، شاید این باشد که میزان ذرات ریز و مواد آلی کائولن خیلی کمتر از بالکلی هاست.

و: رنگ بعد از پخت

از آنجا که کائولن شامل کمترین ناخالصی ها در مقایسه با دیگر رسها، خصوصاً از لحاظ اکسیدهای آهن است. لذا، جزء سفید ترین رسها به حساب می آید.

در صورتی که کائولن بسیار خالص باشند، دارای دیرگدازی بالایی ( حدود ۱۷۵۰ درجه سانتیگراد ) نیز می باشند. رنگ سفید کائولنها بعد از پخت، باعث گردیده که این خاکها به عنوان خالص ترین نوع رسها در ساخت فراورده های کاملاً سفید و نیمه شفاف مورد استفاده قرار گیرند.

## رسهای ثانویه

در بحث اخیر اشاره گردید که رسهای ثانویه و یا رسوبی معمولاً به وسیله آب از محل پیدایش خود انتقال داده شده و در محل دیگری انباشته گردیده اند به عبارت دیگر این رسها به صورت طبیعی شستشو داده شده اند . باید ادذعان داشت که عمل شستشوی طبیعی رسها ، در مقایسه با عمل شستشوی مصنوعی که به وسیله بشر انجام می شود باعث افزایش بیشتر خاصیت پلاستی سیته و استحکام خشک رسها ( در اکثر موارد ) گردیده . ولی به این موضوع نیز باید توجه نمود که طبیعت با این عمل خود معمولاً ناخالصی های رنگی را نیز در کلیه رسهای ثانویه ایجاد می نماید .

هنگامیکه رسها پس از تشکیل از محل تشکیل خود به محل دیگری حمل شده و در آنجا رسوب نمایند، «رسهای رسوبی» و یا «رسهای ثانویه» بوجود می آیند .

اکثر رسها به استثنای کائولن ، جزو رسهای ثانویه هستند ولی هر یک از آنها ویژگی مخصوص به خود را داشته و آنها را از دیگری متمایز می نماید . مینرال اصلی رسها را معمولاً کائولینیت تشکیل می دهد.

اکثر رسها ( تقریباً کلیه رسها به استثنای کائولن ) جزء رسهای ثانویه هستند ولی با این همه انواع رسهای ثانویه نیز هر یک ویژگی مخصوص به خود داشته و از دیگر رسهای ثانویه متمایز می باشند . اینک به طور خلاصه به بررسی مشهورترین انواع رسهای ثانویه می پردازیم :

## انواع رسهای ثانویه

## رس گلوله‌ای یا بال کلی

همانطوریکه کائولین مهره اصلی مواد در صنایع سرامیک ظریف جهان است سایر خاکهای سفید پخت نیز که دارای چسبندگی زیاد (زیادتری از کائولین) و استحکام عالی قبل از پخت هستند از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. از عمده‌ترین این مواد خاک بال کلی را می‌توان نام برد.

نام بال کلی Ball clay به هیچ وجه ربطی به ساختمان بلوری این خاکها نداشته، بلکه از روش استخراج این نوع خاکها در دوران گذشته اقتباس گردیده است. در حدود ۶۵ سال پیش در انگلستان، این خاکها به صورت قطعات مربع شکلی (Balls) به ابعاد حدود ۲۵ سانتیمتر و به وزن ۵ کیلوگرم استخراج می‌شدند. بال کلی در محیط باطلاقی تشکیل می‌شود. گفته می‌شود که کروی بودن سنگ‌های متشکل از بال کلی که در اثر غلطیدن در رودخانه‌ها این شکل را به خود گرفته‌اند. بال کلی به صورت خام دارای رنگ‌های متفاوت می‌باشد که از آن جمله آبی به علت شکست نور توسط بلورهای بسیار ریز، سیاه به علت وجود مواد آلی یا رنگ عاج به علت اکسید آهن را می‌توان برشمرد.

در بال کلی‌ها به همراه کائولینیت معمولاً کوارتز و نیز کانیهای میکا دار به عنوان عمده‌ترین ناخالصی‌ها یافت می‌گردند. بدیهی است که وجود کانیهای میکا دار به معنی وجود فلاکس در بال کلی‌ها بوده که نهایتاً باعث کاهش حد دیر گدازی بال کلی‌ها می‌گردند. در کنار ناخالصی‌های عمده‌ای که نام برده شد، مواد آلی، کانیهای مونت موریونیت، ترکیبات آهن، تیتانیم و نمک‌های محلول و غیره نیز می‌توانند در بال کلی‌ها وجود داشته باشند. مواد آلی موجود در بال کلی‌ها اگر چه باعث ایجاد تسهیلاتی در ریخته‌گری بال کلی‌ها همچون افزایش پلاستیسیته و استحکام خشک می‌گردند، ولی در هنگام پخت نیز می‌توانند باعث بروز مشکلاتی مثل ایجاد لکه‌های سیاه رنگ گردند. یکی از اثرات مخرب وجود نمک‌های محلول در آب مواد اولیه از جمله بالکلی،

ایجاد لکه های کم رنگی روی بدنه و بخصوص در سطح لبه های محصول است. این امر به دلیل تبلور نمکهای محلول در هنگام خشک شدن صورت می پذیرد. از اثرات مخرب دیگر نمکها پوسته پوسته کردن لعابها «peeling» می باشد. نمکهای محلول در ریخته گری دوغابی نیز باعث ایجاد مشکلاتی می گردد.

به طور کلی ابعاد ذرات کائولینیت ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) در بالکلی، به مراتب کوچکتر از ذرات کائولینیت در کائولن است. این مورد بهترین عامل پلاستی سیتیه و مقاومت خشک زیاد بال کلی هاست. ضمنا باید اشاره گردد که به طور کلی به علت ابعاد ریزتر ناخالصی های موجود در بال کلی، شستشو، تغلیض و جداسازی مکانیکی در بال کلی ها، به سادگی امکان پذیر نیست. باید توجه داشت که بال کلی ها در حقیقت به وسیله طبیعت شستشو داده شده اند. به همین دلیل نیز معمولا شستشو و تصفیه بال کلی ها به آن مفهومی که در مورد کائولنها مطرح می گردد ضرورتی نداشته و معمولا انجام نمی شود.

به طور خلاصه می توان مهمترین امتیازات بالکلی ها را پلاستیسیتیه و استحکام خام نسبتا زیاد دانست و مهمترین نقایص بالکلی ها رنگ تیره تر بعد از پخت و دیر گدازی کم آنها می باشد.

یکی از موارد کاربرد بال کلی، استفاده از آن در تولید فرآورده های نسوز می باشد. خاصیت چسبندگی آن سبب سهولت اتصال و شکل پذیری مواد دارای پلاستیسیتیه پائین می شود.

#### الف: اندازه ذرات

از آنجا که بالکلی ها محدوده بسیار وسیعی از اندازه و مواد مختلف با اندازه های مختلف را در بر می گیرند، لذا بهترین روش برای تعیین اندازه ذرات استفاده از روش دانه بندی به کمک الک می باشد.

آشکار است که برای تعیین کیفیت و کاربرد رس تنها مراجعه به درصد کل ذرات کوچکتر از ۱ میکرون کافی نیست و باید جزء جزء دانه بندی ذرات مورد توجه قرار گیرد. به طور مثال ممکن است میزان ذرات کوچکتر از ۱ میکرون برای دو بالکلی تقریباً برابر باشد، اما یک از آن دو شامل مقادیر بیشتری از ذرات کوچکتر از ۰/۰۵ الی ۰/۱۰ میکرون باشد، لذا این رس نسبت به رس دیگر برای کاربردهای کلوئیدی مناسب تر می باشد.

#### ب: پلاستیسیته

پلاستیسیته یک فاکتور بسیار مهم می باشد که خواص متعددی، از جمله، نیروی ذرات رسی به حالت مرطوب، آب کارپذیری، قابلیت شکل پذیری و عدم دفرمه شدن را در بر می گیرد.

در مورد بالکلی، به جرات می توان گفت که بالکلی یکی از پلاستیک ترین رسها می باشد و میزان این پلاستیسیته با حضور بعضی از مواد می تواند باز هم بیشتر شود. برای مثال، بالکلی ای که میزان مواد آلی در آن زیادتر باشد، پلاستیسیته آن هم بیشتر خواهد بود که از طریق روشهای گوناگون اندازه گیری پلاستیسیته می توانیم این امر را مشاهده کنیم.

#### ج: انقباض

به طور کلی اختلاف زیادی از نظر تراکم در موقع خشک شدن مابین بالکلی های گوناگون وجود دارد. میزان انقباض تر به خشک بالکلی ها بالاست. در برآوردی که بر روی بالکلی ها انجام شده است، میزان این انقباض بالاتر از ۱۵ درصد می باشد و انقباض از حالت تر به حالتی که رس کمی خشک می شود، بالاتر از ۱۰٪ است. حتی در مورد بعضی از بالکلی ها این میزان به ۳۵٪ هم می رسد. اما این میزان انقباض برای تولید محصولات به روش پلاستیک اصلاً مناسب نبوده و بایستی با اضافه کردن مواد

دیگر، از این میزان انقباض کاست. به طور کلی، میزان انقباض خام یک بالکلی برای تولید به روش پلاستیک نباید بیشتر از ۱۲ درصد باشد.

#### د: استحکام

بالکلی استحکام خشک بسیار بالایی دارد و شاید همین امر بتواند جوابگوی این مسئله باشد که چرا در تولید چینی و پرس به روش پلاستیک، از مقادیری بالکلی استفاده می شود. مقدار استحکام بالکلی به ریزدانه بودن ذرات خاک، تعویض کاتیونی و مقدار مواد آلی موجود در رس بستگی دارد.

معمولاً رسهای حاوی یونهای  $\text{Ca}^{2+}$ ،  $\text{H}^+$ ،  $\text{Mg}^{2+}$  استحکام کمتری نسبت به  $\text{K}^+$  یا  $\text{Na}^+$  دارند. همچنین اگر مقادیر ریز افزایش پیدا کند، استحکام بیشتر می شود. البته اگر بالکلی حاوی مقادیر زیادی مواد آلی (بالکلی های سیاه رنگ) باشد، مقدار استحکام خام باز هم بالاتر خواهد رفت.

#### ه: رنگ بعد از پخت

رنگ بعد از پخت یک رس به طور عمده بستگی به مقدار حضور اکسیدهای آهن، درجه اکسید آهن، مقدار فاز شیشه حاصل و عوامل متعدد دیگر دارد. به طور کلی، در مورد بالکلی ها، اکسیدهای کلسیم و منیزیم سبب روشن شدن رنگ و مواد آلی با ننگ داشتن اکسید آهن به فرم  $\text{FeO}$  سبب تیره شدن رنگ می شوند.

در تولید یک محصول سرامیکی یکی از فاکتورهای مهمی که باید مورد توجه قرار بگیرد، رنگ بعد از پخت می باشد. که معمولاً می خواهیم بعد از پخت، یک بدنه سفید رنگ یا حداقل بدنه ای که از لحاظ رنگ به سفید نزدیک باشد، داشته باشیم. خوشبختانه اکثراً بلکالی ها این خواسته ما را برآورده می کنند. در صنایع سرامیک جهان قسمت اعظم بال کلی در ساخت ظروف بدنه سفید مورد استفاده قرار می گیرد. در ساخت چینی های شفاف و ترانسپارانت میزان مصرف بال کلی به صفر کاهش پیدا



نموده. بدین جهت اگر چه استفاده از خاک بال کلی موجب تسهیل در کار کردن با گل پرسیلن می گردد، ولی این خاک به دلیل ترکیبات ویژه آن باعث کدروی بدنه ظروف چینی می شود.

### دلایل استفاده از بال کلی

- ۱- افزایش قابلیت کار کردن با گل در مرحله پلاستیکی آن. به خصوص زمانیکه جهت ساخت ظروف از دستگاه جیگر استفاده می شود.
- ۲- افزایش میزان استحکام قطعه در حالت خشک قبل از پخت.
- ۳- افزایش میزان سیالیت دوغاب های ریخته گری. اگر چه در این گونه موارد تنش ظروف نیز بالا رفته و انعطاف حرارتی پخت نیز در نقطه کم می شود.
- ۴- استفاده به عنوان یک عامل گدازنده (فلاکس) جهت اتصال ذرات کوچکتر به یکدیگر و یا ایجاد تراکم بیشتر در موقع پخت.

### مضرات استفاده از خاک بال کلی

- ۱- مصرف زیاد بال کلی در درجات ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد، موجب دفرمه شدن می گردد.
- ۲- وجود اکسید آهن و تیتان در بال کلی به ساخت بدنه های سفید رنگ به خصوص زمانی که بال کلی مرغوب نباشد، آسیب می رساند و در ظروف بدنه شفاف، مقدار کمی از این مواد، ماتی محصولات را افزایش می دهد.
- ۳- تنوع شیمیائی و نیز در صد مونت موریلنویت در بال کلی متنوع بوده و کنترل دو غاب را همواره مشکل می سازد .
- ۴- برخی از بال کلی ها دارای مقادیر فراوانی نمکهای محلول بوده و در هنگامی که محصول از قالب خارج و خشک شد، این نمکها به سطح خارجی آمده و ایجاد اشکال می نمایند.(مخصوصا در ظروف ساخته شده به طریقه دوغابی)

## خواص فیزیکی بال کلی

- ۱- اندازه ذرات - بطور کلی خاک بال کلی نرمتر از خاک کائولین است. اما اختلاف زیادی ما بین انواع مختلف بال کلی وجود دارد.
- ۲- پلاستیسیته -اطلاعات کمی درباره ی این موضوع موجود می باشد. در حقیقت شناخت خواص چسبندگی بال کلی بتنهائی مورد نظر نبوده و خواصی که هنگام مخلوط شدن با سایر مواد از خود نشان می دهد مهم است. مطمئنا می توان گفت که بدون استثنا افزودن بال کلی خواص کار بدنه ها را بهتر می کند.
- ۳- انقباض هنگام خشک کردن -بطور کلی اختلاف زیادی از نظر تراکم در موقع خشک شدن مابین بال کلی های گوناگون وجود دارد. بعضی از انواع سیلیس دارها تقریبا هیچ انقباضی ندارند. درحالیکه بعضی از رس های تیره تا حدود ۱۵ درصد متراکم می شوند.
- ۴- استحکام حالت خام -بال کلی با قدرت کشش زیاد. استحکام بدنه ها را افزایش می دهد.
- ۵- خواص پخت -خواص پخت بال کلی های مختلف در مورد آنچه مربوط به خودشان می شود دارای اهمیت زیادی نیست بلکه بیشتر اهمیت این خواص بخاطر اثر آنها روی نفوذ رس در بدنه های مصالح می باشد..

## بتونیت

بتونیت ها (Bentonite) از تجزیه خاکسترهای آتشفشانی به وجود آمده و دارای پلاستیسیته بسیار می باشند. آنها می توانند تا ۵ درصد حجم خشک خود آب جذب نمایند. به همین دلیل، انقباض حین خشک شدن این خاک رس بسیار زیاد می باشد. ساختار اصلی تشکیل دهنده بتونیت ها، مونت موریلونیت می باشد. اندازه ذرات بتونیتها کمتر از ۰/۵ میکرون است. وضعیت خاص قرارگیری ورقه های مونت موریلونیت باعث می گردند که در بتونیتها نه تنها لمس چرب بلکه حالت لیزی و

کلوئیدی خاصی مشاهده گردد. کانی‌های دیگر مانند کوارتز، فلدسپات، ژپس ( $\text{CaCO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ )، کلسیت ( $\text{CaCO}_3$ ) و سایر ناخالصی‌ها می‌توانند در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد در آن وجود داشته باشند. این نوع خاکها دارای نقطه خمیری (دیرگدازی) پایینی هستند. در صنعت سرامیک بتونیت‌ها به مقدار بسیار کم جهت افزایش پلاستیسیته بدنه و در لعاب جهت جلوگیری از ته نشینی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بتونیت فوق العاده نرم بوده و تقریباً نرمترین ماده ای می باشد که شناخته شده است. افزودن درصد کمی بتونیت به خاک رسهای زبر، آن را نرم و قابل کار می سازد. از بتونیت در ساخت اجسامی که ماده اصلی آن تماماً خاک نبوده و ترکیبی از سنگ خارائی به نام "Ceramispar" است نیز استفاده شده است. به خاطر نرم بودن زیاد بتونیت، می توان از ماده حاصله مانند گل رس معمولی استفاده نمود. بتونیت تحت نام خاک رس آتشفشان نیز فروخته می شود.

ظرفیت افزایش حجم بتونیت و تورم حاصل در آن بر اساس نوع کاتیونی که در آن موجود است. بستگی دارد و به شرح زیر متفاوت است:

- بتونیت سدیم‌دار با ظرفیت تورم زیاد.
- بتونیت کلسیم‌دار با ظرفیت تورم کم.
- بتونیت با مخلوط سدیم و کلسیم که دارای ظرفیت تورم متوسط می‌باشد.
- بتونیت مصرفی در صنعت نسوز.

بتونیت‌های سدیم‌دار در صنعت سرامیک دارای ارزش بیشتری هستند. نقطه ذوب بتونیت به علت وجود ناخالصی اکسید آهن تا حدود ۳ تا ۴ درصد و همچنین وجود مواد قلیائی، پائین است. دمای ذوب پایین و رنگ پس از پخت نامناسب و تیره، تمایل زیاد به جذب آب و تغییر حجم سبب شده تا استفاده از این ماده در ترکیبات سرامیکی بسیار محدود گردد. بتونیتها معمولاً در مقادیر بسیار کم در حدود ۱ یا ۲

درصد در بدنه جهت افزایش پلاستیسیته و به مقدار بسیار کمتر، حدود ۰/۵ درصد در سوسپانسیون لعاب جهت جلوگیری از ته نشینی مواد مورد استفاده می گیرد. بدیهی است که استفاده از مقدار بیشتر بتونیت، باعث تغییر رنگ فراورده ها می گردد. درصد کمی از بتونیت به منظور افزایش پلاستیسیته و تعلیق دوغابهای لعاب بکار می رود. گاهی در صنعت نسوز بتونیت را تا حدودی جایگزین بال کلی می نمایند.

### رسهای سرخ و یا رسهای آجر سازی

رسهای مخصوص آجرهای ساختمانی در دوره های مختلف زمین شناسی، از دوره دونین تا دوره حاضر تشکیل شده است، بنابراین به راحتی می توان براساس دوره ای که تشکیل شده، آنها را دسته بندی نمود.

خاک رسهای که پس از پختن به رنگ قرمز دیده می شوند جزو خاک رسهای معمولی هستند. این خاک برای ساختن آجر استفاده می شود. رنگ قرمز گل، از اکسید آهن است که خاک ضمن حرکت خود آنرا جذب کرده است. خاک رسهای معمولی فراوان یافت می شود. درجه حرارت پخت این خاک پایین تر از تمام خاکها می باشد. این امر برای سفالگرانی که با کوره الکتریکی کار می کنند مطلوب است. مهمترین ویژگی این رسها اکسید آهن زیاد در آنها است. مقدار (۵ تا ۱۰) درصد اکسید آهن موجود در این رسها، باعث ایجاد رنگ نارنجی تا قهوه ای بعد از پخت می شود. همچنین اکسید آهن به صورت گداز آوری قوی عمل می نماید. بنابراین معمولا نیازی به افزایش مصنوعی گداز آور به این خاکها وجود ندارد. دمای کاربرد این رسها معمولا حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد است. این رسها دارای پلاستیسیته خوبی هستند و بدین دلیل ماده اصلی سفالگری محسوب می شود.

این خاکها می توانند دارای ترکیبات بسیار متفاوتی باشند. با این همه معمولا کانی رسی موجود در این خاکها از گروه کائولینیت ها یا ایلیت ها می باشند.

مینرالهای موجود در سطح مخصوص آجرهای ساختمانی، عبارتند از: کائولینیت، کلریت، ایلیت، کوارتز و مواد آلی. بیشتر رسهایی که در ساخت آجرهای ساختمانی به کار می روند حاوی مقادیر قابل توجهی از اکسیدهای آهن و کربنات کلسیم می باشند. به خاطر ترکیب گسترده مینرالی این رس و خصوصاً وجود کلریت، تا حدی آنالیز مینرالی این خاک نسبت به بقیه رسها دشوارتر می باشد و به سادگی بالکلی ها نیست.

اکثر نمونه های رس مورد بحث شامل مقادیر زیادی از اکسیدهای آهن و اکسیدهای کلسیم هستند. از نمکهای محلول می توان به سولفات کلسیم اشاره نمود که بعضی اوقات همین نمکها باعث شوره زدن آجرهای ساخته ، می شوند.

#### الف: اندازه ذرات

در جدول ۱۹، درصد دانه های کوچکتر از  $2\mu$  را برای چند نمونه از رسهای آجرهای ساختمانی مشاهده می کنید. اگر چقدر جدول مذکور این درصد ذرات، با عنوان درصد ذرات کوچکتر از  $2\mu$  نامگذاری شده است، اما این اعداد زیاد قابل اعتماد نیستند، چرا که، بعضی از ناخالصی های غیر رسی که در رس وجود دارند، اندازه شان کوچکتر از  $2\mu$  می باشد، اما با وجود این، از لحاظ تقریبی، یک تقریب خوبه شمار می رود. متوسط درصد اندازه ذرات کوچکتر از  $2\mu$  که در جدول آمده است، نتیجه میانگین ۵۰ الی ۱۰۰ نمونه، برای هر رس می باشد که اندازه گیری شده است.

#### ب: مقدار رطوبت کارپذیری

میزان رطوبتی که رس باید داشته باشد تا بتوان برای تولید محصولات به روش پلاستیک از آن استفاده نمود به خواص مینرالهای موجود، مساحت سطحی ذرات رس، نوع و مقدار تویض کاتیونی که انجام شده بستگی دارد. از آنجا که ترکیب شیمیایی و توزیع اندازه ذرات رسهای ساختمانی برای انواع گوناگون، مختلف می باشد؛ لذا، شاهد

رطوبت کارپذیری متفاوتی برای انواع رسهای ساختمانی هستیم. با این وجود ممکن است میانگین درصد ذرات کوچکتر از  $2\mu$  در خاکها مشابه باشد، اما میزان رطوبت کارپذیرشان با هم متفاوتند و این تا حدی به خاطر تفاوت توزیع ذرات زیر  $2\mu$  در خاکها است. همچنین، ممکن است میزان و نوع یونهای تعویضی برای خاکهای فوق با هم متفاوت باشد.

### ج: انقباض پخت

برای به دست آوردن انقباض پخت برای رسهای مختلف و مقایسه آنها با یکدیگر، اولین راهی که به نظر می رسد این است که همه رسها را در یک درجه حرارت یکسان پخت کنیم و بعد میزان انقباض آنها را با هم مقایسه کنیم. اما این روش عملاً غیر ممکن است. زیرا قابلیت ذوب رسها با یکدیگر تفاوت دارد و ممکن است در یک درجه حرارت مشخص، یک رس به طور کامل ذوب شود، به طوری که دیگر نتوان میزان انقباض را اندازه گرفت و این در حالی است که ممکن است رس دیگر تا نقطه ذوب فاصله دمایی زیادی داشته باشد و هنوز، جا برای انقباض داشته باشد.

بعضی اوقات، هنگامی که یک رس در دمای بالا حرارت می بیند، گازهایی از آن متصاعد شده که این گازها سبب باد کردگی نمونه رسی شده و در کل از میزان انقباض نمونه، در طی فرایند پخت بکاهد. عامل فوق و عوامل دیگر، باعث می شود تا ایجاد یک رابطه منطقی بین انقباض پخت و دیگر خواص رسی کمی مشکل شود. اما از آنجا که انقباض یک نمونه در طی فرایند پخت سبب می شود، مینرالهای رسی به وسیله واکنشهایی به یکدیگر متصل شود؛ لذا، می توان درصد انقباض را به درصد ذرات کوچکتر از  $2\mu$  مرتبط کرد.

د: رنگ بعد از پخت

رنگ بعد از پخت محصول سرامیکی عموماً به میزان اکسیدهای آهن وابسته است. اما از دیگر عواملی که بر روی رنگ بعد از پخت موثر است، می توان به وضعیت اتمسفر کوره (اتمسفراحيایی یا اکسیدی)، دمای پخت و میزان دیگر مواد موجود در رس، همچون  $MgO, CaO, Al_2O_3$  اشاره کرد. در یک اتمسفر اکسیدی، اکسیدهای آهن، تولید رنگ قهوه ای می کنند، اما اگر اتمسفر کوره ای احیایی شود، رنگ بدنه سفید تر خواهد شد. همچنین، اگر دمای پخت افزایش یابد، باعث می شود تا رنگ بدنه تغییر کند. از آنجا که اکسیدهای سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم جزء اکسیدهای زودگذر هستند، وجود آنها در یک بدنه سرامیکی سبب افزایش شیشه ای شدن می شود. رسهای مخصوص ساخت آجرهای ساختمانی شامل مقادیر قابل توجهی از  $CaCO_3$  می باشد که در نتیجه این رس را برای شیشه ای شدن آماده کرده و در مقام مقایسه، درجه حرارت پخت این رس نسبت به دیگر رسها پایین تر می باشد که برای ساخت آجرهای ساختمانی این دما بین ۹۵۰ الی ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد است.

### رس نسوز (fire clay)

به طور مشخص اصطلاح خاکهای نسوز (Fire clay) باید در مورد آن دسته از رسهای دیرگداز که به صورت توده های سختی بوده و در حالت طبیعی دارای خاصیت پلاستی سیته نمی باشند بکار رود. رس نسوز جزو رسهای رسوبی است که اکثراً با ذغال سنگ هم دوره و با هم یافت می شوند. از این گونه رسها در ساخت کاشی های مقاوم، آجرهای مهندسی و نسوز، چینی بهداشتی استفاده می شود. خاک رس نسوز درجه حرارتهای بالا را تحمل می کند و در صنعت برای ساخت اشیائی نظیر آجر کوره ها به کار می رود. این خاک ها دارای بافتی زبر و درشت است که کار کردن با آن آسان نیست. ولی در ساخت اشیاء سفالی بسیار سخت جزء مواد سازنده با ارزش است.

خاک نسوز معمولاً بصورت یک توده بزرگ استخراج شده و پس از خرد و آسیاب کردن دارای چسبندگی می باشد. این رسوبات به خاطر عمق زیادی که نسبت به سطح زمین دارند، مواد زیادی روی آنها را پوشانده و در معرض فشار قابل توجهی قرار دارند. در نتیجه، اکثراً به صورت یک توده متراکم یافت می شوند. حتی بعضی از این رسوبات به خاطر فشار و درجه حرارت بالای داخل زمین به صورت تخته سنگ درآمده اند. معمولاً رسهای نسوز از لحاظ تشکیل شدن، به دو دسته تقسیم می شوند:

۱- رسهایی که بلافاصله در زیر رگه ذغال سنگ یافت می شوند. ظاهری شبیه به خاکهای رس دیگر داشته و کمی پلاستیک می باشند. این دسته از رسها در حقیقت محل رشد و بستر گیاهان تشکیل دهنده زغال سنگ بوده اند.

۲- پلمه سنگ به صورت ورقه ورقه و لایه لایه هستند که ورقه ها به طور متناوب از رس و ذغال سنگ می باشند. به صورت توده های سخت و دارای سطح شکست صدفی می باشند. آن دسته از رسهای دیرگداز که به صورت توده های سختی بوده و در حالت طبیعی دارای پلاستیسیته نمی باشند، به این گروه تعلق می گیرند. این رسها زمانی دارای پلاستیسیته می شوند که کاملاً خرد شده و به صورت پودر آیند.

رسهای نسوز دارای آلومینای زیاد و گدازآور کم می باشند و به همین دلیل از دیر گدازی بالایی برخوردارند. به طور کلی کانیهای اصلی تشکیل دهنده رسهای نسوز کائولینیت ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) و کوارتز ( $SiO_2$ ) می باشند.

به طور کلی کانیهای اصلی تشکیل دهنده خاکهای نسوز کائولینیت و کوارتز می باشند. علاوه بر این دو مواد آلی، میکا، پیریت و سیدریت، ترکیبات اسیدی و... نیز می توانند در خاکهای نسوز وجود داشته باشند. ولی معمولاً مقدار گداز آورها در خاکهای نسوز زیاد نیست.

الف: پلاستیسیته



اگرچه رسهای نسوز، به خاطر داشتن دانه های درشت تر، نسبت به بال کلی ها از پلاستیسیته کمتری برخوردارند، اما همین مقدار پلاستیسیته هم برای تولید آجرهای نسوز و دیگر تولیدات کافی می باشد. حتی در صورتی که خرده آجر شاموتی به رس نسوز اضافه شود، باز هم پلاستیسیته کافی به نظر می رسد. رسهای نسوزی که بلافاصله در زیرلایه های ذغال سنگ یافت می شوند در مقایسه با پلمه سنگها دارای مقادیر کمتری سیلیس آزاد، و دیگر ناخالصی ها می باشند و به همین علت از پلاستیسیته بیشتری برخوردارند.

از آنجا که، هرچه سطح مخصوص دانه هایی که با آب در تماسند افزایش یابد، میزان پلاستیسیته هم افزایش پیدا می کند؛ لذا در مورد رسهای نسوز اگر رس را بعد از مخلوط کردن با آب، در معرض هوا بگذاریم تا مخلوط شود، به علت خرد شدن دانه های درشت تر، پلاستیسیته مخلوط هم افزایش پیدا می کند.

رس های نسوز را بر حسب میزان پلاستیسیته آنها تحت عنوان رس های پلاستیک (Plastic clay)، رس های نیمه پلاستیک (semi plastic clay) و رس های غیر پلاستیک (flint clay) دسته بندی می کنند.

رس های غیر پلاستیک معمولاً دارای بافتی فشرده با سطح شکست صدفی می باشند. رس های نسوز حاوی مجموعه ای از کانی های هیدروسیلیکات آلومینیم هستند که ممکن است فاقد یا دارای سیلیس آزاد باشند. اینگونه رس ها معمولاً مقداری کانی دیاسپور (AlOOH) نیز در بر دارند و وجود دیاسپور در این رس ها، به آنها رس دیاسپوری گفته می شود که جزء نسوزهای غنی از آلومین به شمار می آیند. افزایش مقدار دیاسپور یا هدرآرژیلیت در رس ها، کاهش میزان پلاستیسیته را در پی دارد که با آمیختن مقداری رس نسوز پلاستیک، این نقصان جبران خواهد شد.

ناخالصی ها و مواد قلیائی موجود در رس باعث پائین آمدن نقطه ذوب می گردند. رس های نسوز به صورت زیر از رس پلاستیک تا رس سخت تغییر می کنند:

رس پلاستیک ← رس نیمه پلاستیک ← رس نیمه سخت ← رس سخت  
← رس خیلی سخت ← رس با آلومین بالا

#### ب: انقباض پخت

رسها عموماً هنگام پخت دچار انقباض می گردند و علت آن این است که فضاهای خالی که بین ذرات وجود داشته، تدریجاً با مواد مذاب پر شده و مواد مذاب بعد از سرد شدن فرم شیشه را به خود گرفته و تولید فاز شیشه می نمایند. اگر زمان پخت به اندازه کافی طولانی باشد، تمام فضاهای خالی به وسیله فاز شیشه پر شده و در انتها، یک بنده بدون تخلخل خواهیم داشت. مواد غیررسی هم می توانند بر روی انقباض پخت، تاثیر بسزایی داشته باشند، طوری که امروزه برای ساخت آجرهای نسوز، خرده آجرهای شاموتی را به رس نسوز اضافه کرده تا از میزان انقباض پخت بکاهند. علاوه بر این، کوارتز طی حرارت دادن تبدیل به تریدیمیت و کریستوبالیت شده که این فرایند با انبساط قابل توجهی همراه است. اگر میزان کوارتز در بنده زیاد باشد، می تواند سبب کاهش انقباض پخت گردد. همچنین اگر میزان میکا در بنده زیاد باشد، باعث افزایش انقباض پخت می گردد، علت این امر شاید این باشد که میزان یونهای قلیایی موجود در میکا، تولید مقادیر زیادی ماده مذاب در درجه حرارت پخت می نماید.

تخلخل ظاهری این آجرها ۹ الی ۲۲/۵ درصد و وزن مخصوص آن از ۱/۹۶ تا ۲/۳۶ گرم بر سانتیمتر مکعب است. از شکل ۲-۳ پیداست که تا دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد همراه با انبساط حرارتی است و پس از آن به دلیل تجزیه شدن بعضی از مواد اولیه به مولایت، تا دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد دچار انقباض می شود. سپس انبساط آجر دوباره شروع می شود که این انبساط در اثر تجزیه مواد سولفیدی، سولفاتی یا کربناتی است که در حین فرایند تولید تجزیه نشده اند. پس از این انبساط، دوباره انقباض شروع می شود و تا  $1400^{\circ}\text{C}$  ممکن است به ۲٪ برسد.

### ج: نسوزندگی

نسوزندگی یک ماده یعنی توانایی یک ماده در درجه حرارت بالا بدون تغییر شکل. برای تعیین نسوزندگی یک ماده، مخلوطی از همان ماده در اندازه استاندارد (مخلوط زگر) ساخته و سپس مخروط A را در کنار مخروطهای استاندارد دیگری که نسوزندگی آنها مشخص است، در داخل یک کوره با سرعت گرم کردن مشخص حرارت می دهیم و عمل حرارت دادن را تا جایی ادامه می دهیم که مخروط A شروع به ذوب شدن نمود، عمل حرارت دادن را متوقف نموده و مخروطها را از کوره خارج می کنیم. در مرحله بعد، یک مقایسه بین مخروط A و دیگر مخروطهای استاندارد زگر انجام می دهیم تا متوجه شویم از لحاظ خم شدن، مخروط A مانند کدام یک از مخروطها می باشد و دمای نسوزندگی را مشخص می نمایم.

با توجه به بیانات فوق، رسی برای تولید آجر نسوز مناسب می باشد که درجه نسوزندگی آن طبق مخروط زگر شماره ۳۰ باشد. به عبارت دیگر نسوزندگی آن درجه ۱۶۷۰ درجه سانتی گراد باشد.

بالاترین درجه نسوزندگی را بین رسهای نسوز انگلستان، رس نسوز اسکاتلند دارا می باشد. (مخروط زگر بالای ۳۵ یا نسوزندگی بالای ۱۷۵۰ درجه سانتی گراد).

از آنجا که فاکتورهای زیادی در نسوزندگی یک ماده تاثیر دارد، برقراری یک ارتباط بین ترکیب شیمیایی و درجه نسوزندگی یک رس، قدری مشکل است. اما با رسهای نسوزی که بیشترین درجه نسوزندگی را دارند، شامل بیشترین مقدار  $Al_2O_3$  و کمترین مقدار قلیایی ها ( $K_2O, Na_2O$ ) می باشند. معمولاً رسهای نسوز با درجه نسوزندگی بالای شامل ۴۰٪ یا بیشتر  $Al_2O_3$  هستند. لازم به ذکر است که در ایران معادلی برای رس نسوز وجود ندارد و معمولاً از کائولن هایی که شامل  $Al_2O_3$  بالا هستند، برای این منظور استفاده می کنند.

د: رنگ بعد از پخت

در رسهای نسوز به دلیل وجود مقادیر زیاد اکسید آهن، رنگ بعد از پخت غالباً به صورت زرد کم رنگ و یا نخودی است با لکه های قهوه ای رنگ آهن در سطح خاک و یا قرمز متمایل به قهوه ای می باشد. به این دلیل، رس نسوز برای کاربرد در بدنه های سفید پخت اصلاً مناسب نمی باشد.

### دیرگدازها

نسوزها یا دیرگدازها برای همه صنایعی که با حرارت بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد سروکار دارند، مانند ذوب فلزات، شیشه، سیمان و سرامیک، دیگهای بخار، مجاری تصفیه ای، پاتیلها، کوره های الکتریکی و... مورد استفاده قرار می گیرند. این

مواد به جز مقاومت در برابر حرارت، باید مقاومت لازم را در برابر شوکهای مکانیکی، سایش و مواد شیمیایی داشته باشند. به عبارت دیگر دیرگذاها موادی هستند که تحمل دماهای بالا را داشته و در برابر فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مقاوم و پایدار باشند.

مواد دیرگذا معمولاً از کانیهای طبیعی مثل کوارتزیت، رس، آلومینوسلیکاتها، منیزیت، دولومیت، کرومیت، گرافیت و دانه های زیرکن به دست می آیند؛ اما چند ترکیب که معمولاً مهمترند عبارتند از: ترکیبات منیزیم حاصل از آب دریا، کاربرد سیلیکون (Silicon carbide) آلومینوسیلیکاتها و مولایت. مواد دیرگذا بر حسب کاربرد، تهیه می شوند و سپس به شکل و اندازه استاندارد در می آیند.

کاربرد مواد دیرگذا را می توان در سه مورد زیر خلاصه کرد :

۱- محافظت بدنه کوره ها، مجاری تصفیه ای و مخازن شیشه ای از تأثیرات شعله یا مواد مذاب و گداخته.

۲- کاهش میزان انتقال حرارت به خارج.

۳- جذب حرارت و انتقال آن به مواد مذاب.

با توجه به مطالب فوق، نوع هر دیرگذا بر اساس پدیده فیزیکی و شیمیایی موجود در محیطی که به کار گرفته می شود، انتخاب می گردد. این پدیده ها در واقع تعیین کننده ویژگیهای موادی هستند که در تولید فرآورده های دیرگذا مصرف می شوند. از آنجا که شناخت رفتار دیرگذا در برابر فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی بسیار مهم است، پیش از پرداختن به کاربرد آنها، می بایست تأثیر این فرآیندها را بر آنها بررسی کنیم.

**رفتار نسوزها در برابر پدیده های حرارتی**

الف: هدایت حرارتی (Thermal Conductivity):

همان‌طور که در فصل قبل بیان شد، این پدیده یکی از ویژگی‌های فیزیکی اجسام است که توان جابجایی انرژی حرارتی را از یک جسم به محیط و یا به اجسام پیرامون معین می‌کند. نسوزها باید دارای هدایت حرارتی ضعیفی باشند، زیرا بالا بودن توان جا به جایی حرارتی علاوه بر انتقال سریع حرارت از محفظه کوره ها به بیرون و افت دمای درون محفظه، اختلالاتی را در مکانیزم تولید، در پی خواهد داشت. بالعکس، برخی از صنایع به نسوزهایی نیاز دارند که دارای حداکثر توان جا به جایی دما باشند. نظیر کوره های گرافیتی که برای ذوب بعضی از مواد به کار می آیند. ویژگی‌های شیمیایی و کانی شناسی دیرگذاها و وجود یا نبود مواد بی شکل درون آنها، در توانایی جابجایی حرارت تأثیر به سزایی دارد. به طور کلی هدایت حرارتی مواد متبلور، بیش از مواد بی شکل است. توان هدایت حرارتی نسوزها با بالا رفتن دما (به جز مرحله آغازین در منیزیت و فورستریت) افزایش می یابد. افزایش تخلخل، هدایت حرارتی را کاهش و افزایش جرم مخصوص آن را افزایش می دهد. همچنین رطوبت موجود در خلل و فرج سنگها باعث بالا رفتن توان هدایت حرارتی آنها می شود. فلزات به واسطه داشتن هدایت الکتریکی دارای توان هدایت حرارتی بالایی هستند. به همین جهت، همراه بودن کانیهای فلزی نظیر پیریت، هماتیت و غیره در مواد اولیه نسوزها، علاوه بر کاهش نقطه ذوب آنها باعث بالا بردن توان جا به جایی حرارتی آنها می شود.

#### ب: ظرفیت حرارتی (Heat capacity)

ظرفیت حرارتی عبارت است از مقدار گرمایی که برای بالا بردن دمای یک سیستم به اندازه یک درجه لازم است. ظرفیت حرارتی در کانیها و سنگها با کاهش چگالی افزایش می یابد. مواد فلزی دارای ظرفیت حرارتی پایینی هستند

### ج: پایداری حرارتی (Thermal Stability)

پایداری یا مقاومت حرارتی عبارت است از پایداری یک دیرگداز در برابر تغییرات ناگهانی و تند درجه حرارت، بدون اینکه پوسته شدگی، ترک خوردگی و شکستگی در آن پدید آید. به این عامل با تعداد چرخه های حرارتی (یک چرخه گرم و سرد شدن) مشخص می شود. در این چرخه های حرارتی پس از سرد و گرم شدن نمونه ای از ماده نسوز، در نهایت نمونه مورد آزمایش در یکی از مراحل خرد می شود یا ترک بر می دارد. هر چه شعاع این چرخه های حرارتی افزایش یابد و آجر یا جسم نسوز در برابر آن مقاومت کند، دارای پایداری حرارتی بیشتری است. مواد یا آجرهای نسوزی که کمترین انبساط حرارتی را دارند، دارای بیشترین پایداری حرارتی اند.

ویژگی پوسته شدن آجرهای رس دیرگداز بیشتر به مقدار سیلیس موجود در رسهای خام و همچنین به اندازه و جورشدهگی ذرات آنها بستگی دارد. رسها دارای مقاومت زیادی نسبت به پدیده پوسته شدن حرارتی اند. دیرگدازهای غنی از آلومین نیز دارای پایداری بسیار زیادی در برابر پدیده پوسته شدن حرارتی هستند. در حالی که دیرگدازهای سیلیسی در حرارت بیش از ۶۵۰ درجه سانتیگراد دارای پایداری زیاد ولی در دمای کمتر از ۶۵۰ درجه سانتیگراد پایداری آنها نسبت به پوسته شدن حرارتی کم است.

### تالک

تالک عنصری جدید در صنعت سفال است. این ماده یکی از اجزاء ترکیبی با ارزشی می باشد که درجه مقاومت سفال را در مقابل شوکهای حرارتی بالا می برد. بنابراین در ساخت وسائلی که در کوره ها به کار می رود، مفید است. تالک یا تالک

کمک ذوب سریع است که ضمن کاهش انقباض، در درجه حرارت های پائین تولید سختی می کند، به طوریکه لعاب را بهتر می توان روی بدنه نشانده. با استفاده از تالک می توان زمان حرارت دادن را نیز کوتاهتر نمود.

در تالک، ناخالصی هایی از قبیل آهک، اکسید آهن، آلومین، سیلیس و گاهی سودا و پتاس، وجود دارد. این ناخالصی ها بر تاثیر تالک در خاک رس صنعتی اثر می گذارد. یکی از معایب تالک ها، محدوده حرارتی کوتاه مدت آنها در تولیداتی است که با درجه حرارت بالا پخته می شود.

### ترکیب شیمیایی

فرمول شیمیایی تالک  $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$  است.

آنالیز شیمیایی این کانی MgO حدود ۳۲ درصد،  $SiO_2$  حدود ۶۳ درصد و  $H_2O$  حدود ۵ درصد می باشد. معمولاً بخشی از MgO به وسیله FeO درصد جایگزین می گردد. در موارد نسبتاً زیاد  $Al_2O_3$  تا ۲ درصد و گاهی NiO به مقدار کم (تا چند دهم درصد) در تالک وجود دارند.

### خواص فیزیکی

تالک در سیستم مونوکلینیک متبلور می شود. این کانی به ندرت شکل هگزاگونال و یا اورتورومبیک کاذب به خود می گیرد. شکل ظاهری تالک ورقه ای یا پولکی است که اغلب توده های متراکم به نام استتیت می سازند.

رنگ تالک سبز روشن یا سفید با ته رنگ زرد، قهوه ای یا زرد، قهوه ای یا سبز می باشد. ورقه های نازک تالک شفاف هستند، آنها قابلیت خم پذیری دارند، ولی فاقد خاصیت الاستیسیته می باشند. جلای تالک شیشه ای و مرواریدی و سختی آن در مقیاس موهس ۱ است. تالک در دست احساس چربی ایجاد می نماید. این کانی بر روی



ورقه‌های حاصل شده، به شکل ستاره شش پر ظاهر می‌شود. وزن حجمی تالک ۲/۷ تا ۲/۸ گرم بر سانتیمتر مکعب است. تالک قابلیت هدایت حرارتی و الکتریکی خوبی ندارد و دیرگداز است و پائین‌تر از ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد ذوب نمی‌گردد.

تالک در اثر حرارت در مراحل مختلف آب خود را از دست داده و در ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد و در کمتر از ۱۲۶۰ بلورهای انستاتیت و در بالاتر از آن بلورهای پروتو انستاتیت همراه با بلورهای کریستوبالیت ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد به وجود می‌آیند.

### موارد مصرف تالک

تالک به صورت پودر و گاهی به شکل قطعه در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. پودر تالک در صنعت کاغذسازی به مصرف می‌رسد. علاوه بر این تالک در صنعت لاستیک سازی به عنوان پرکننده برای ایجاد افزایش حجم یک ماده بدون ایجاد تغییر در خواص ماده مزبور به کار می‌رود. انواع بدون آهن تالک، در ارتباط با لوازم آرایش برای تولید پودر، پماد، کرم و همچنین به صورت پودر برای جلوگیری و رفع عوارض ناشی از عرق سوز در نوزادان و کودکان مورد استفاده قرار می‌گیرد. تالک در صنعت رنگ‌سازی برای تهیه رنگ‌های نسوز و مقاوم در برابر نور مصرف می‌شود. در صنعت نساجی از تالک برای سفید کردن پنبه، پاک کرده لکه‌ها و غیره استفاده می‌گردد. پودر تالک در صنعت سرامیک برای تولید عایق‌های فشار قوی برق، عایق‌های مشعل، لامپ‌های کاربیدی، ظروف نگهداری اسیدها و قلیائی‌ها کاربرد دارد. تالک‌هایی که ناخالصی منیزیت زیادی را در بر دارند، به عنوان نسوزهای ویژه مطرح می‌باشند و این ماده برای پوشش کوره‌های متالورژی بکار می‌رود.

در محدوده محصولات ظریف سرامیکی، یکی از مهمترین کاربردهای تالک در بدنه ارتن ورهاست. سابقا قبل از آنکه اثر Mgo به عنوان یک کاتالیزور در تبدیل سیلیس آزاد به کریستوبالیت شناخته شده باشد، به تجربه مشخص شده بود که استفاده از تالک باعث جلوگیری از ترک لعاب می‌گردد. به همین دلیل تالک در حدود ۵۰

درصد در کاشیهای دیواری ارتن ور و نیز تا حدود ۱۰ درصد در ظروف غذاخوری ارتن ور مورد استفاده قرار می گیرد. علاوه بر این موارد تالک در بدنه های استون ور نیز جهت افزایش مقاومت فرآورده در برابر شوکهای حرارتی استفاده می شود. این موضوع ظاهراً متناقض با مورد قبل به نظر می رسد و ممکن است در برخورد اول باعث تعجب شود چرا که ایجاد کریستوبالیت در بدنه باعث کاهش مقاومت فرآورده در برابر شوکهای حرارتی می گردد. ولی باید توجه داشت که در این مورد Mgo موجود در تالک به صورت تولید کننده کریستوبالیت و یا به عبارت دیگر کاتالیزور عمل نموده بلکه به صورت گداز آور عمل می نماید.

هنوز تصویر روشنی از ارتباط ما بین تالک و سایر مواد معدنی دیگر وجود ندارد. تغییرات مداوم توسط دو مکانیسم زیر در ترکیب آنها بوجود می آیند:

الف-توسط تعویض یونهای نظیر Mg به Al

ب-توسط مخلوط یا شکسته شدن طبقات

بر حسب اینکه در کانیهای تالک به صورت زنجیری یا صفحه ای قرار گرفته باشند، این کانیها به شکل مطبق، نوک تیز، سوزنی یا ریش دار هستند. کانیهای مزبور علاوه بر تالک محتوی کلریتها (Chlorites) و آمفیبولها (Amphiboles) و هم چنین بسیاری از کانیهای شبیه آنها می باشند.

### پرکننده ها (Filler)

یکی دیگر از اجزاء سازنده خاک رسها، ماده پرکننده می باشد. این اجسام موادی هستند زبر که برای تامین خلل و فرج و مقاومت در سفال به آن اضافه می شود. خاک

رسی که بسیار نرم باشد فوق العاده ریز بوده و بافت فشرده ای دارد. چنین گلی ضمن پختن تاب برداشته و بنابراین ماده پرکننده یاد شده، این عیب را اصلاح می کند.

پرکننده ها مواد غیر پلاستیکی هستند که به بدنه اضافه می گردند و معمولاً دارای نقطه ذوب بالا و مقاومت شیمیایی خوبی هستند. مهمترین وظایف آنها جلوگیری از تغییر شکل بدنه در خلال پخت، ایجاد انبساط حرارتی مناسب و کنترل انقباض خام و پخت می باشد. علاوه بر این موارد، پرکننده ها در تعیین درصد تخلخل و رنگ بدنه، اتصال مناسب لعاب به بدنه و اصلاح بافت بدنه خام، نقش بسیار مهمی را ایفا می نمایند. مهمترین و رایج ترین پرکننده ها سیلیس آزاد ( $\text{SiO}_2$ ) و آلومین ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) هستند. سیلیس آزاد به صورت کوارتز ( $\text{SiO}_2$ )، ماسه، ماسه سنگ (کوارتزهای رسوبی)، کوارتزیت (ماسه سنگ دگرگون شده) و فلینت در طبیعت یافت می شود. از دیدگاه صنعت سرامیک سیلیس در مجموع یک پرکننده و یا به طور کلی یک ماده اولیه ایده آل نیست زیرا در بسیاری از موارد باعث ایجاد مشکلاتی می شود. به عنوان مثال: مصرف سیلیس آزاد احتمال ترک در هنگام پخت را افزایش می دهد. حضور سیلیس آزاد در بدنه های ظروف پخت و پز باعث کاهش شدید مقاومت این ظروف در برابر شوکهای حرارتی می گردد. به همین دلیل پرکننده مناسب دیگری مورد نیاز است که بتواند تا حدودی نقش سیلیس آزاد را ایفا نماید. آلومین جایگزین مناسبی برای سیلیس آزاد است و مزایای زیر را به همراه دارد. در تغییرات زیر مؤثر خواهد بود:

۱- امکان تولید بدنه های ظریف تر (نازکتر) بوجود می آید.

۲- در هنگام پخت تغییر شکل کمتری را باعث می شود.

۳- امکان پخت سریعتر فراهم می کند.

۴- باعث روشن شدن رنگ بعد از پخت بدنه می شود.

دیرگدازی بدنه را افزایش می دهد.

کوارتزیت سنگ رسوبی یا دگرگونی است. پیوند دانه‌های کوارتز در کوارتزیت رسوبی بیشتر به وسیله سیلیس ثانویه صورت می‌گیرد که به صورت سیمان دانه‌های کوارتز را به یکدیگر متصل می‌کند. استحکام پیوند دانه‌های کوارتز در کوارتزیت حاصل از فرآیند دگرگونی، به علت فقدان سیمان بین دانه‌های کوارتز، اتصال مستقیم و تراکم بلورهای کوارتز به مراتب بیشتر از کوارتزیت رسوبی است.

### سیلیس

سیلیسیم به صورت عنصر (Si) در طبیعت وجود ندارد. ولی اکسید سیلیسیم و یا سیلیس  $\text{SiO}_2$  در پوسته زمین بیشتر از هر اکسید دیگری یافت می‌گردد. سیلیس می‌تواند در ترکیب با اکسیدهای دیگر (سیلیکاتها) و یا به صورت آزاد وجود داشته باشد. بعد از اکسیژن سیلیسیم یکی از وافرترین عناصر در روی کره زمین است. این ماده به صورت اکسید خالص و یا همراه با سایر اکسیدهای فلزی به شکل سیلیکاتها موجود است. سیلیکاتها خالص در طبیعت به طور فراوان و تقریباً به صورت یکی از خالص‌ترین مواد یافت می‌گردد. سیلیکاتها به فرمهای متفاوت در دماهای مختلف کریستالین شده و لیکن آنجائی که این تغییرات بسیار بطئی صورت می‌گیرد انواع بی‌ثبات آن همراه با نوع متداول تثبیت شده آن که بنام کوارتز آلفا مشهور است در طبیعت موجود می‌باشد.

سیلیس آزاد در طبیعت به صور مختلف به صورت بلورین مثل کواتز صخره‌ای و ماسه سنگ و یا به صورت بلور مخفی (Cryptocrystalline) مثل فلینت و کلسدوئن (chalcedony) و یا به صورت بلور مخفی آبدار مثل اپال (opal) وجود دارد.

### ساختار کریستالی

سیلیس ماده ای است جامد که از اتمهای سیلیسیم و اکسیژن تشکیل شده است. بیشتر مواد جامد، کریستالین یا بلورین هستند و از اتمهای آنها با نظم و ترتیب خاصی چیده شده به طوری که تشکیل شبکه می دهند. شبکه یک ساختار متوالی است که توانایی گسترش نامحدود را دارد و اگر بعد از اندازه خارج شویم همانند یک طرح روی کاغذ دیواری بارها و بارها تکرار می شود که به آن طرح تکرار شونده گوید. اتم ها به طور اشتراکی ما بین تکرار شونده ها قرار گرفته اند. باندهای پیوندی در کریستالها به دو صورت می تواند وجود داشته باشد:

۱- پیوندهای یونی: در این گونه پیوندها یک اتم دچار کمبود الکترون و اتم دیگر دارای الکترون اضافی می باشد و مکانیزم به این صورت است که، اتمی که الکترون زیادی دارد الکترون مازاد خود را در اختیار آن اتمی قرار می دهد که دچار کمبود الکترون می باشد و به این طریق، دو اتم پایدار شده و تحت این امر، یک جاذبه الکتروستاتیکی ما بین دو اتم تشکیل شده و باند پیوند به وجود می آید.

۲- پیوندهای کوالانت: در این نوع پیوندها برخلاف پیوندهای یونی که یک اتم دهنده و اتم دیگر گیرنده الکترون بود، دو یا چند اتم الکترونها را به اشتراک گذاشته و به یک ثبات و پایداری می رسند که پیوندهای ما بین اتم های مشابه مثل  $O_2, N_2$  و... از این دسته اند.

## کوارتز

وجود کوارتز به عنوان ناخالصی در رسها ناشی از پایداری این کانی در فرآیندهای دگرسانی بوده و چنانچه اندازه دانههای کوارتز کمتر از ۴ میکرون باشد. می تواند با رسها همراه شود. اگر سنگ به صورت آزاد تحت تأثیر کاتولینزایی قرار گیرد، کوارتز به همراه آن وجود خواهد داشت، زیرا رسها از دگرسانی سنگهای حاوی کانیهای آلومینیم دار، نظیر فلدسپاتهای همراه کوارتز یا میکا بوجود می آیند. کوارتز موجود در رسها به هنگام گرم شدن، بسته به دمائی که در آن قرار می گیرد

می تواند تغییر فاز دهد. این تغییر فاز با تغییرات حجم همراه بوده و اثرات نامطلوبی بر روی فرآیندهای نسوز رسی خواهد داشت.

کریستالهای کوارتز در صخره های اولیه، گرانیت ها، گنیس ها و غیره یافت شده هم چنین به صورت رگه هایی مابین سایر کانی ها پیدا می شود. عوامل آب و هوایی تقریباً هیچگونه تاثیری بر روی کوارتز نداشته و رگه های آن کاملاً خالص است. کوارتز از نوع سنگهائی است که جریانات آب هوایی آن را شسته و با خود می برد و ممکن است در محلی دیگر ذخیره و یا همراه کانی دیگری موجود باشد که کائولین ناخالص از این نوع است.

#### ساختار کوارتز

در کوارتز ما باندهای Si-O-Si را داریم که چهاروجهی های  $SiO_4$  را به هم متصل می کند و اتصال چهاروجهی ها به صورت خط مستقیم نمی باشد. بلکه چهار وجهی ها به صورت منحنی یا زنجیر مارپیچ به یکدیگر متصل شده اند. سرتاسر ساختار شامل این چنین زنجیرهای مارپیچی است که از طریق اشتراک یونهای  $Si^{4+}$  به هم متصل اند.

اگر مدل های فوق و مدل های اتمی که متعاقباً خواهید دید را ملاحظه کنید در می یابید که ما بین اتمها بیش از حد فاصله وجود دارد و نسبت شعاعهای یونی هم، رعایت نشده است. این امر به این دلیل است که در مدل ابعادی که همه اتمها پیوند دارند، تشخیص باندهای پیوندی مشکل است و از این رو، اندازه ها رعایت نمی شود.

#### فلینت یا سنگ چخماق

فلینت نوعی سیلیس طبیعی کریستالی است که ناخالصی موجود در آن تقریباً کمتر از ۵ درصد است. فلینت دارای رنگ های متنوع از روشن تا قهوه ای تیره و سیاه است. وجود دانه های بلوری بسیار ریز در فلینت به آن خاصیت شیشه ای می دهد.

فلینت حاوی ۳ تا ۴ درصد آب و ۳ تا ۴ درصد کربنات کلسیم می‌باشد. آب در درون حفره‌ها محبوس شده است.

فلینت که عملاً سیلیس  $\text{SiO}_2$  خالص است. کوارتز، بلور کوهی یا شن پودر شده می‌باشد و بهترین ماده پرکننده برای خاک رس است. بسیاری از سفالگران معتقدند که افزودن ۵ تا ۱۰ درصد فلینت به هر گل رسی خاصیت لازم را عملاً در آن ایجاد می‌کند. فلینت خلل و فرج گل رس صنعتی را کمتر نموده، تاب برداشتن آن را کاهش می‌دهد و باعث می‌شود تا لعاب روی آن بهتر بنشیند. از آنجائیکه گل رس، خود دارای سیلیس است، افزودن فلینت موجب افزایش مقدار این ماده در گل رس شده و پخت کامل گل را بیش از ۱۰ درصد بالاتر می‌برد. افزودن فلینت به بدنه‌های سرامیکی خاصیت غیر پلاستیک و دیرگدازی آن را افزایش می‌دهد و باعث سفیدی بدنه می‌گردد و ایجاد خاصیت ضد شقه شدن را در اثر تبدیل به کریستوبالیت فراهم می‌آورد، زیرا فلینت در اثر پخت به دلیل ماهیت کریپتوکریستالی و وجود اکسید کلسیم به عنوان کاتالیزور به راحتی به کریستوبالیت تبدیل می‌شود.

خاک رس‌های طبیعی دارای شن بوده که نقش پرکننده را ایفا می‌نمایند. هر قدر مقدار شن گل رس زیادتر باشد نرمی آن کمتر می‌شود. این نقصیه را می‌توان با سرند کردن خاک و خارج نمودن شن و یا با اضافه کردن گل کوزه گری یا بنتونیت اصلاح نمود.

## آلومین

از دیدگاه صنعت سرامیک سیلیس در مجموع یک پرکننده ایده آل و یا به طور کلی یک ماده اولیه ایده آل در صنعت سرامیک نیست. زیرا سیلیس می‌تواند در بسیاری موارد مشکلات و مسائلی را ایجاد نماید. به عنوان مثال با مصرف سیلیس همیشه احتمال ترک در هنگام پخت سریع محصولات وجود دارد و به همین دلیل نیز سیلیس یکی از مهمترین عواملی است که امکان پخت سریع فرآورده‌ها را به شدت

محدود می کند. از طرف دیگر مصرف سیلیس در بدنه های ظروف پخت و پز باعث کاهش شدید مقاومت این ظروف در برابر شوکهای حرارتی می گردد. علاوه بر این سیلیس در مقایسه با بعضی مواد دیگر مقاومت مکانیکی بدنه ها را نیز کاهش می دهد. به همین دلیل صنعت سرامیک همواره در پی ماده دیگری بوده که بتواند به عنوان یک پرکننده جانشین سیلیس گردد. در چند سال اخیر آلومین توانسته است تا حدودی نقش سیلیس را در فراورده های سرامیک ایفا نماید.

آلومینیوم بعد از سیلیسیوم و اکسیژن فراوانترین عنصر در پوسته زمین است. آلومین و یا اکسید آلومینیوم در طبیعت می تواند به صورت ترکیب با مواد دیگر و یا به تنهایی مثل قوت کبود و قرمز وجود داشته باشد. علاوه بر این موارد آلومین به صورت هیدراته (آبدار) نیز در طبیعت وجود دارد. آلومین آبدار می تواند دارای سه مولکول آب و یا یک مولکول آب باشد. ژبیسیت (در بعضی مواقع به آن هیدراژیلیت Hydrergillite نیز می گویند) و یا بریت (Bayarite) دارای سه مولکول آب می باشند. ولی دیاسپور (Diaspore) و بوهمیت (Bohmite) فقط دارای یک مولکول آب هستند. به طور کلی ژبیسیت و بوهمیت در طبیعت فراوانترند. باید توجه کرد که در بعضی از موارد این فراوانی را برای بوکسیت (Bauxite) در نظر می گیرند. ولی به طور کلی بوکسیت یک کانی نبوده بلکه عمدتاً از دو کانی ژبیسیت و بوهمیت تشکیل شده است.

عملاً منبع تامین اکسید آلومینیوم جهت مصرف در صنعت سرامیک بوکسیت است. آلومینی که عملاً در صنعت سرامیک مصرف می گردد بوکسیت خام کلسینه نبوده بلکه از تصفیه و تخلیص بوکسیت به وجود می آید.

آلومین معمولاً به روش تر و یا به روش مشهور به میکرونیزه (Micronising) خرد و پورد می گردد. چنانچه در روش تر از گلوله های فلینت جهت خرد نمودن آلومین استفاده شود، ممکن است حتی تا حدود ۳ درصد سیلیس نیز وارد آن گردد. جهت انجام این عمل می توان از گلوله های آلومینا در آسیاب استفاده نمود. ولی این



عمل نیز ممکن است باعث سایش آستر آسیاب گردیده و بدین ترتیب ذرات جداره آسیاب با پودر آلومینا مخلوط خواهند شد. در روش میکرونیزه ذرات آلومین در طوفان و گرد و باد شدیدی از هوا قرار گرفته و بدین ترتیب باعث سایش یکدیگر می گردند. در این روش اگر چه ناخالصی وارد آلومینا نگرده و ولی ابعاد ذرات آلومین نیز در مقایسه با روش تر بزرگتر خواهد بود.

به طور کلی آلومین در صنعت سرامیک بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از مهمترین موارد مصرف آلومین در ساخت فراورده های دیرگداز است. زیرا نقطه ذوب آلومین ۲۰۵۰ درجه سانتیگراد بوده و به همین دلیل همیشه به عنوان یک دیرگداز خوب مورد توجه بوده است. آلومین طبق جدول موهس دارای سختی ۹ است. به همین دلیل آلومینا در ساخت ساینده ها و سمباده ها وسیعاً مورد استفاده قرار می گیرد. آلومین هیدراته نیز معمولاً در انواع مختلف لعابها مصرف می شود به هر حال موارد استفاده از آلومینا در صنعت سرامیک صرفاً به این موارد خلاصه نشده بلکه بسیار بیشتر از مواردی است که به آنها اشاره شد و به همین دلیل نیز آلومینا در صنعت سرامیک به عنوان یکی از مهمترین مواد مصرفی نقش بسیار مهمی را به عهده دارد.

هنگامی که یک قطعه لعابدار جهت ذوب لعاب وارد کوره می گردد این احتمال وجود دارد که لعاب در هنگام ذوب، جاری شده و به اصطلاح شره نماید و در محل تکیه گاه باعث چسبیدن قطعه به صفحه دیرگدازی که زیر آن قرار گرفته گردد. جهت جلوگیری از بروز چنین مشکلاتی از آلومین استفاده می گردد. به این ترتیب که دوغاب و یا سوسپانسیون آلومین روی صفحه دیرگداز اسپری گردیده و روکشی از آلومین، روی صفحه ایجاد می شود. این روکش باعث جلوگیری از چسبیدن قطعه به صفحه دیرگداز می گردد.

در سالهای اخیر مصرف آلومین به عنوان پرکننده در بدنه های سرامیکهای ظریف مخصوصاً در ظروف خانگی و سرامیکهای بهداشتی رواج بسیاری یافته است. در این

بدنه ها آلومین جایگزین سیلیس گردیده و بسیاری از خواص فراورده را تغییر می دهد. مصرف آلومین به عنوان یک فیلر به جای سیلیس عمدتاً تغییرات زیر را به وجود خواهد آورد :

۱- مقاومت مکانیکی قطعه به طور محسوسی افزایش یافته و در نتیجه امکان تولید فراورده های نازکتر وجود نخواهد داشت.

۲- باعث کاهش تغییر شکل قطعه در خلال پخت شده و محدوده پخت را افزایش می دهد.

۳- احتمال ایجاد ترکها را کاهش داده و یا از بین می برد و در نتیجه امکان پخت سریعتر فراورده وجود خواهد داشت.

۴- باعث بهبود سفیدی رنگ فراورده شده ولی باعث کاهش عبور نور از بدنه می گردد.

۵- خواص الکتریکی قطعه بهبود یافته و مقاومت شیمیایی آن به طور محسوسی افزایش می یابد.

۶- به علت کاهش مقدار مصرف سیلیس احتمال ایجاد بیماری سیلیکوز را کاهش می دهد.

۷- وزن مخصوص قطعه افزایش یافته و در نتیجه وزن آن نیز افزایش می یابد. به وسیله کاهش قطر بدنه می توان از افزایش وزن قطعه جلوگیری نمود.

۸- به دلیل قیمت گران آلومینا در مقایسه با سیلیس و نیز نیاز به درجه حرارت بیشتر جهت پخت، به نظر می رسد تولید قطعه مستلزم هزینه بیشتری باشد.

علیرغم تمامی مزایای مذکور، مورد اخیر باعث می گردد که هنوز آلومین به عنوان یک پرکننده نتواند به طور گسترده مورد استفاده قرار گیرد.

## دولومیت

دولومی سنگی است که از کربنات کلسیم و کربنات منیزیم با فرمول  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  تشکیل شده است. کانی آنرا دولومیت می نامند. دانه های بلورین آن در زیر میکروسکپ دارای برجستگی و حدودی مشخص تر از کلسیت بوده و غالباً یکنواخت و کوچک است. سختی دولومیت ۳ موهس می باشد و چاقو آن را خط می اندازد. رنگ آن خاکستری کم رنگ است. دولومی خالص خیلی نادر است و غالباً با کربنات کلسیم مخلوط می باشد. این سنگ بر حسب در صد دولومیت موجود در کانی به اسامی مختلفی نامیده می شود.

سیستم بلوری کانی دولومیت تریگونال می باشد. از خصوصیات ساختمان بلوری دولومیت این است که یون های  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  به طور متناوب در راستای محور درجه ۳ بلور قرار می گیرند. بلورها اغلب شکل رومبوندری (لوزوجهی)، rhombus واژه ای است لاتینی به معنی لوزی، herraon واژه یونانی به معنی «وجه» و «سطح» دارند و اکثراً به صورت آگرگات های دانه ای، منفذدار و به ندرت سوزنی شکل، سلولی و کروی دیده می شوند.

دولومیت در طبیعت به رنگ سفید متمایل به خاکستری و گاهی با ته رنگ زرد، قهوه ای و سبز دیده می شود و دارای جلای شیشه ای است. سختی دولومیت ۴-۳/۵ در مقیاس موهس و وزن حجمی آن ۲/۹-۲/۸ گرم بر سانتیمتر مکعب است. این کانی ترد و شکننده بوده و انواع دولومیت که در طبیعت به شکل پودر وجود دارند که اصطلاحاً خاک دولومیت نامیده می شوند.

## ویژگی های دیرگدازی

معمولاً برای تولید فرآورده های دولومیتی، ماده اولیه دولومیتی را در دمایی بین ۵۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد کلسینه می کنند. در این فرآیند حرارتی، شبکه بلوری

کربنات منیزیم موجود در دولومیت شکسته می‌شود، در حالیکه کربنات کلسیم بدون تغییر می‌ماند. با افزایش دما، در ۹۰۰ درجه سانتیگراد، شبکه بلوری کربنات کلسیم هم شکسته می‌شود و در پایان آمیخته‌ای از  $\text{CaO}$  ,  $\text{MgO}$  باقی می‌ماند که دولوما نامیده می‌شود. چنانچه در این مقطع فرآیند حرارتی متوقف شود، فرآورده‌های تولید شده علاوه بر تخلخل زیاد، گرایش ترکیبی شدیدی در آب نشان خواهند داد. برای جلوگیری از این واکنش و از بین بردن تخلخل مواد، فرآیند تکلیس را تا دمای ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد ادامه می‌دهند. پس از انجام این فرآیند حرارتی دو فاز پریکالاز و آهک تشکیل می‌گردد که گرایش آن‌ها به جذب آب تا حد زیاد تقلیل می‌یابد.

مواد اولیه‌ای که برای تولید نسوزهای دولومیتی به کار می‌روند، معمولاً دارای حدود ۴۰ درصد  $\text{CaO}$  و ۳۵ درصد  $\text{MgO}$  می‌باشند. ناخالصی‌هایی مانند  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{SiO}_2$  نیز در مواد خام وجود دارند که مقدار آنها نباید بیش از ۳ درصد باشد، زیرا بالا بودن مقدار سیلیس و آلومین می‌تواند نقطه ذوب را از ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد به ۱۴۰۰ درجه سانتیگراد کاهش دهد.

عمده اشکال دولومیت کلسینه شده، این است که گرایش زیادی دارد تا با آب ترکیب شده و به فرم هیدراته تبدیل شود، در نتیجه، آجرهای نسوزی که از آن ساخته می‌شوند، خرد می‌شوند. گرایش زیاد به هیدراسیون در دولومیت را به درصد بالای آهک آن نسبت می‌دهند که حتی با کلسینه کردن در ۱۶۰۰ درجه سانتی‌گراد هم آب خود را از دست نمی‌دهد. برای از بین بردن این عیوب، دولومیت را می‌توان با مخلوط سیلیکات‌ها مثل استاتیت (تالک) حرارت داده و به فرم پایدار تبدیل نمود که در این صورت، سیلیکات با آهک ترکیب شده و سیلیکات کلسیم ایجاد می‌کند.

در صورتی که آجرهای نسوز دولومیتی به صورت نیمه پایدار شده باشد می‌توان با استفاده از یک لایه ضد آب (مثل قیر) آجرها را در برابر رطوبت محافظت نمود.

دولومیت نسبت به منیزیت، در برابر حمله سرباره های غنی از آهن بیشتر مورد حمله قرار می گیرد اما از لحاظ دیگر خواص شیمیایی، رفتاری بسیار مشابه به منیزیت دارد.

### فلدسپات

فلدسپات یک کمک ذوب طبیعی می باشد که در درجه حرارت های بالا تنها کمک ذوب مورد احتیاج است. فلدسپاتهای بسیاری مانند گادفری سپارت "Godfrey spart"، یوریکاسپات "Eureka spar" بکینگهام سپات "Buckingham Spar" و غیره وجود دارند. همه فلدسپاتها علاوه بر آلومین ( $Al_2O_3$ ) و سیلیس ( $SiO_2$ ) دارای مقادیر متغیری از سودا ( $Na_2O$ ) و پتاس ( $K_2O$ ) می باشند. بعضی از فلدسپاتها فقط سودا و برخی دیگر تنها پتاس دارند. ولی اکثر آنها دارای ترکیبی از هر دو می باشند. فلدسپاتهای دیگری نیز وجود دارند که حاوی آهک ( $CaO$ ) هستند.

وجود چهار وجهی های سیلیس و آلومینیم اشباع نشده در شبکه بلوری فلدسپاتها باعث ایجاد ناپایداری در آنها می شود، طوری که فلدسپاتها حتی در آب خالص هم تجزیه می گردند. رسها معمولاً حاصل دگرسانی فلدسپاتها می باشند. اگر فلدسپاتها در مرحله اولیه تجزیه باقی نمانند و شرایط محیط باعث خروج همه مواد قلیائی از آنها شود، به خاک رس تبدیل می شوند. چنانچه این دگرسانی با پیشرفت کامل همراه نباشد، بقایای کانی های فلدسپات به صورت ناخالصی در خاک رس باقی می مانند. اکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی اثرات خود را عمدتاً به صورت کاهش دمای پخت و دیرگدازی مواد نشان می دهند.

### ساختار بلوری فلدسپاتها

ساختمان بلوری هر یک از فلدسپاتها را می توان به این صورت تصور نمود که از چهار واحد  $[SiO_4]^{4-}$  تشکیل شده و اتم Al به جای یک یا دو اتم از چهار اتم Si جایگزین گردیده و کمبود بار مثبت آن با یک اتم Na, K یا Ca تکمیل می شود. اتم های

سیلیسیم و اکسیژن به شکل حلقه‌های چهار عضوی به یکدیگر اتصال دارند و هر حلقه شامل چهار اتم اکسیژن می‌باشد. در آل‌بیت و اورتوکلاز حلقه‌ها دارای سه اتم سیلیسیم و یک اتم آلومینیم هستند، ولی این حلقه‌ها در آنورتیت شامل دو اتم سیلیسیم و دو اتم آلومینیم می‌باشند. این حلقه‌های چهار عضوی به حلقه‌های مشابه متصل می‌شوند و زنجیره‌هایی را به وجود می‌آورند که به نوبه خود با زنجیره‌های مشابه به وسیله گروه‌های Si-O-Si اتصال عرضی تشکیل می‌دهند و بدین ترتیب یک شبکه سه بعدی می‌سازند. یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم در درون حفرات این شبکه قرار می‌گیرند. اتم‌های سیلیسیم و آلومینیم با اکسیژن پیوند کئوردیناسیون طبیعی چهار لایه تشکیل می‌دهند.

### تقسیم‌بندی فلدسپات‌ها

فلدسپات‌ها بر اساس ترکیب شیمیایی به سه زیر گروه تقسیم می‌شوند:

۱- فلدسپات‌های سدیک- کلسیک یا پلاژیوکلازها که به طور نامحدود محلول جامد می‌سازند. اغلب  $K[AlSi_3O_8]$  به صورت کم در پلاژیوکلازها وجود دارد.

۲- فلدسپات‌های سدیک- پتاسیک که می‌توانند در دمای بالا محلول جامد تشکیل دهند. این محلول جامد به هنگام کاهش آرام حرارت به دو بخش  $Na[AlSi_3O_8]$  به نام آل‌بیت با علامت اختصاری Ab و  $K[AlSi_3O_8]$  به نام اورتوکلاز که علامت اختصاری آن Or است، تجزیه می‌شود. ناخالصی ایزومورفی  $Ca[Al_2Si_2O_8]$  به مقدار بسیار کم در آن یافت می‌گردد.

۳- فلدسپات پتاسیم- باریم که هیالوفان (Hyalophane) نامیده می‌شود و مخلوط می‌سازد. نام کانیائی  $Ba[Al_2Si_2O_8]$  سلزیان (Celsian) است.

<sup>۱</sup>- افت حرارتی (LOI= Loss on Ignition)، منظور درصد مواد فراری است که در اثر حرارت از ماده خارج می‌شوند. این مواد علاوه بر آب، گازهای مختلف مانند  $SO_2$ ,  $CO_2$  و غیره را شامل می‌گردد.

## کاربرد فلدسپات

فلدسپات ها از نظر ترکیب شیمیایی سیلیکاتهای آلومین قلیلی و قلیلی خاکی می باشند . در صنعت سرامیک بخصوص فلدسپاتهای قلیایی دارای ارزش بسیار بوده و وسیعا مورد استفاده قرار می گیرند . به طور کلی خواص انواع فلدسپاتها ( حتی هنگامی که کاملا خالص باشند ) با یکدیگر متفاوت اند . ولی عمدتا بر حسب مقدار و نوع گداز آور موجود ، دارای نقطه ذوبی حدود ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد تا ۱۵۳۲ درجه سانتیگراد وزن مخصوصی حدود ۲/۵۶ تا ۲/۶۳ می باشد . سختی فلدسپاتها نیز بر اساس مقیاس مهس کمتر از ۶ نبوده و حدود ۶ ال ۶/۵ است . اگر چه به طور کلی گداز آورها دارای خاصیت پلاستی سبته نمی باشند ولی ندرتا و در موارد بسیار خاصی بعضی از فلدسپاتها از خود خاصیت پلاستی سبته ضعیفی بروز داده و در مقابل روان کننده های عکس العمل نشان می دهند .

فلدسپات به علت پائین بودن بهای آن و به عنوان یکی از منابع نادر ترکیبات قلیایی از اهمیت زیادی در صنعت سرامیک برخوردار است و مدت هاست که به عنوان ترکیب اصلی بدنه کاشی، لعاب کاشی، افزودنی به شیشه و چینی بهداشتی به کار گرفته می شود. مصرف عمده فلدسپات عبارت است از:

- به عنوان کمک ذوب در بدنه ها و لعاب های سرامیکی بکار می رود.

- در صنعت ساخت قطعات سرامیکی مانند چینی، کاشی، سفال، سرامیک های ساختمانی و غیره مصرف می شود.

- در ساخت لعاب مورد استفاده قرار می گیرد. برای تولید لعاب باید از یک ماده چسبنده استفاده شود که در این رابطه رس ها به عنوان ماده چسبنده مطلوب می باشند، زیرا علاوه بر خاصیت چسبندگی، در تشکیل سوسپانسیون نیز ایفای نقش می کنند. فلدسپات در طی ذوب شدن، کشش سطحی بالا دارد، لذا وجود بیش از حد فلدسپات

در یک لعاب می‌تواند سبب ایجاد عیب «جزیره‌ای شدن» در لعاب گردد. باید توجه داشت که مشکل چسبیدن لعاب به بدنه قبل از پخت، منجر به شقه شدن آن خواهد شد.

- در صنعت ساخت شیشه مانند ظروف شیشه‌ای، لوله تصویر تلویزیون، شیشه‌های الیافی و غیره.

- برای تولید رنگ‌ها، درزگیرها و پلاستیک‌ها.

- به عنوان ساینده در ترکیب پاک کننده‌ها.

### مواد کمک ذوب (گداز آورها) flux

اگر در کوره‌ها، محدودیتی برای درجه حرارت وجود نداشت، اکثر مسائل و مشکلات در سفال از بین می‌رفت و می‌توانستیم از هر نوع خاک رس ته نشین شده‌ای استفاده کنیم و در صورت پختن در درجه حرارت‌های کاملاً بالا، وسائلی به دست آوریم که از دوام، استحکام و زیبایی بسیاری برخوردار باشد. ولی کوره‌ها محدوده حرارتی دارند، بنابراین باید در پی روشهایی باشیم تا بتوان گل را در درجه حرارت کوره به پخت کامل رساند. این عمل را با افزودن مواد کمک ذوب انجام دهیم.

کمک ذوب ماده‌ای است که به مواد دیگری افزوده شده و یا با آنها ترکیب می‌شود تا نقطه ذوب را پایین بیاورد. خاک رس‌های معمولی کمک ذوب خود را دارند، ناخالصیهای موجود مخصوصاً آهک و آهن به عنوان کمک ذوب عمل می‌کنند. به همین دلیل است که این خاک‌ها در درجه حرارتی حدود ۱۸۵۰ درجه فارنهایت پخته می‌شوند. خاک ته نشین شده به هر حال احتیاج به مواد کمک ذوب دارد.

موادی هستند که جهت کاهش دیر گدازی به بدنه و نقطه ذوب لعاب مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنها در هنگام سرد شدن فازشیشه را در بدنه ایجاد می‌نمایند



اکسیدهای سدیم ، پتاسیم ، کلسیم و منیزیم مهمترین گداز آورها در بدنه های سفالین می باشند. اکسیدهای سرب (PbO)، بور ( $B_2O_3$ )، روی (ZnO)، باریم (BaO) به عنوان گدازآور در لعاب به کار می روند. فلدسپاتها به عنوان ماده اولیه غیر محلول در آب که دارای اکسیدهای قلیایی هستند، از مهمترین تأمین کننده گداز آورهای مصرفی می باشند.

گداز آورهایی که در صنعت سردامیک مورد استفاده قرار می گیرند بسیار متنوع هستند . اکسیدهای سدیم ، پتاسیم ، کلسیم و منیزیم مهمترین گداز آورهای بدنه های فرآورده های سرامیک می باشند گدازآورهایی که در لعاب مورد استفاده قرار می گیرند داری تنوع بسیار بیشتری هستند . علاوه بر اکسیدهای مذکور بسیاری از ترکیبات دیگر مثل اکسیدهای سرب ، بر ، روی ، باریم و .. به عنوان گداز آور در لعابها به کار می روند . فلدسپاتها دارای اکسیدهای قلیایی و یا قلیایی خاکی هستند مهمترین تأمین کننده گدازآورهای مصرفی در بدنه و لعابها (به خصوص در لعابها و بدنه درجه حرارت بالا ) می باشند .

هر ماده ای که بتواند باعث کاهش دمای نرم شدگی و دمای ذوب گردد، کمک ذوب نامیده می شود. کمک ذوبها به دو دسته تقسیم می شوند:

۱- موادی مانند اکسید سرب، قلیائی ها و بورات ها که دارای نقطه ذوب پائین هستند و فلدسپات ها که در دمای بالاتر از مواد فوق ذوب می شوند و مذابی تشکیل می دهند که اجزای دیر گدازتر را به تدریج در خود حل می نمایند. چون این دسته از کمک ذوبها نقطه ذوب پائین دارند، فاقد کنش های اوتکتیک می باشند.

۲- کمک ذوبهایی نظیر  $MgO$  ,  $CaO$  که به تنهایی مواد دیر گداز محسوب می شوند، ولی با ترکیبات اوتکتیک شیشه‌هایی تولید می کنند که دارای نقطه نرم شدگی پائین تر هستند.  $MgO$  ,  $CaO$  معمولاً به شکل ترکیب شده به عنوان کمک ذوب عمل می کنند.

به جز موارد ذکر شده مواد دیگری نیز به عنوان کمک ذوب مورد استفاده قرار می‌گیرند که کم و بیش از اهمیت برخوردار هستند و عبارتند از:

- نفلین سینیت: سنگی است از نوع آذرین درونی که در اثر انجماد ماده مذاب در اعماق پوسته زمین به وجود می‌آید و دارای حدود ۵۰ درصد آلبیت، ۲۵ درصد میکروکلین و ۲۵ درصد نفلین ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) می‌باشد.

- خاکستر استخوان: کمک ذوبی است که در اثر کلسینه کردن استخوان حاصل می‌شود و عمدتاً برای ساخت چینی استخوانی بکار می‌رود.

کربولیت  $\text{Na}_2[\text{NaAlF}_6]$  ، اسپودومن  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$  ، لیدولیت  $\text{KLi}_2\text{Al}[(\text{f.OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}]$  ، ولستونیت  $(\text{CaSiO}_3)$  و فلئوریت  $(\text{CaF}_2)$  و انواع اکسیدهای فلزی، بسته به کاربرد، میزان گدازآوری و نوع محصولات، به عنوان کمک ذوب در صنعت سرامیک مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### خصوصیات کمک ذوب‌ها

کمک ذوب‌ها دارای خصوصیات زیر هستند:

۱- کمک ذوب‌ها شبیه یکدیگر عمل نمی‌کنند، بلکه هر یک از آن‌ها خصوصیات منحصر به خود دارد، گرچه در برخی خواص مشترک هستند.

۲- کمک ذوب‌ها در اثر حرارت ذوب می‌شوند و به هنگام ذوب شدن با سایر اجزاء تشکیل دهنده بدنه واکنش می‌کنند. علاوه بر این در تسریع واکنش سایر اکسیدها مؤثر می‌باشند.

۳- کمک ذوب‌ها به هنگام ذوب شدن سیلیس را در خود حل نموده و به مقدار محدود و کنترل شده شیشه می‌سازند. آن‌ها با تشکیل شیشه سبب ایجاد پیوند بین

ذرات بلوری تشکیل دهنده بدنه می‌شوند و در نتیجه باعث بالا رفتن مقاومت و استحکام بدنه پخته شده می‌گردند.

۴- کمک ذوب‌ها نقطه ذوب سیلیس موجود در لعاب‌ها را کاهش می‌دهند. برای مواد سیلیسی مؤثرترین کمک ذوب‌ها موادی هستند که غنی از اکسیدهای قلیائی، مانند  $Li_2O, K_2O, Na_2O$  باشند.

تعداد چندین مواد فعال با نقطه ذوب پایین موجود است که باعث تقلیل درجه پخت بدنه و لعابهای سرامیکی می‌گردد. اینها شامل ترکیبات فلزات قلیائی، لیتیم، سدیم، منیزیم، پتاسیم، قلیائی‌های خاکی مانند کلسیم، استرانسیم، باریم، بر، روی، سرب و بیسموت هستند.

### Sodium Compounds ترکیبات سدیم

#### Cryolite کریولیت

سدیم - آلومینیوم فلوراید با فرمول  $AlF_3$  و  $3NaF$  عمدتاً در گرین لند - کلرادو آمریکا و اورال روسیه یافت می‌شود. سه نوع مختلف از این کانی بطور طبیعی ثبت شده که بهترین آن شامل ۹۸٪ سدیم - آلومینیوم فلوراید و ۱.۵٪ سیلیس - ۰.۲۵٪ اکسید آهن و ۱٪ لایم می‌باشد.

کریولیت به صورت فلاکس در لعابهای بدون سرب و بر نیز در لعابهای بوتیله‌های آزمایشگاهی و همچنین در برخی از بدنه‌های سرامیکی بکار برده می‌شود. قبل از استفاده لازم است که فریت شده و موجب تاول و پوسته شدن لعاب نگردد.

#### $Na_2O$ اکسید سدیم

اکسید سدیم به تنهایی مصرف نشده ولیکن خود وسیله‌ای جهت تشریح میزان مصرف سدیم در ترکیبات مختلف و بار کوره‌ها می‌باشد.

وزن مولکولی آن ۶۱/۹۹۴ می باشد . این اکسید ۱۲۷۵ درجه سانتی گراد تصفیه شده و در درجات بالاتر از بین می رود. لعابهای سدیمی تولید فریت انبساط حجمی زیادی کرده و موجب تاثیرات بعدی از جمله ایجاد ترک می نماید .

### کربنات سدیم $\text{CO}_3\text{Na}_2$

کربنات بعنوان کمک ذوب در لعابهای ضریب شده اضافه می گردد. این ماده با سایر مواد در صنایع سرامیک موارد استفاده فراوانی داشته که بعداً توضیح داده خواهد شد.

### ترکیبات پتاسیم **pottassium Compounds**

#### اکسید پتاسیم - $\text{K}_2\text{O}$

اکسید پتاسیم خود به تنهایی مصرف نشده بلکه جهت تشریح میزان پتاسیم در مواد خام - بدنه و لعابها بکار برده می شود. وزن مولکولی آن ۹۴/۱۹۲ می باشد. این اکسید در لعابها از اکسید سدیم بهتر بوده و لعاب مرغوبتری ایجاد می نماید.

#### کربنات پتاسیم $\text{Co}_3\text{K}_2$

کربنات پتاسیم بعنوان فلاکس در لعابها استفاده شده و لیکن بر روی برخی از رنگها تاثیر می گذارد.

#### منیزیت

منیزیت یکی از گروههای نسوز قلیایی به شمار می رود. عبارت منیزیت رد واقع به معنای کربنات منیزیم،  $\text{MgCO}_3$  می باشد که در ترکیب سنگهای رسوبی موجود بوده و از تجزیه سنگهایی با منشا قلیایی که شامل الیوین و دیگر سیلیکاتهای منیزیتی بودند، ایجاد شده است. منیزیت اغلب همراه سنگ آهک و دولومیت یافت می شود.

#### اکسید لیتیم

اکسید لیتیم و یا لیتیا با نقطه ذوبی حدود ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد به عنوان یک گداز آور قوی و حتی قویتر از اکسیدهای سدیم و پتاسیم، در بدنه ها و لعابها عمل نموده و بنابراین مانند دیگر گداز آورها، باعث کاهش درجه حرارت پخت بدنه و ذوب لعاب کاهش تخلخل و غیره می گردد ولی در هر صورت مهمترین دلیل استفاده از ترکیبات لیتیم در بدنه ها و لعابها کاهش انبساط حرارتی آنهاست. زیرا وجود لیتیم در مقادیر مشخص در بدنه های سرامیکهای ظریف باعث ایجاد انبساط حرارتی بسیار کم صفر و حتی منفی می گردد و به همین دلیل نیز به عنوان مثال در استون ورهای مقاوم در برابر شعله و یا دیگر ظروف پخت و پز مثل ظروف لیتیم دار و غیره مورد استفاده قرار می گیرد. از طرف دیگر وجود اکسید لیتیم در ترکیب بدنه به همان دلیل مذکور باعث ایجاد امکان پخت سریعتر فرآورده ها و کاهش احتمال وقوع دانتینگ (Dunting) در بدنه می گردد. کانیهای اسپودومن (Spodomene) یا تریفان (Triphan) با سختی حدود ۶/۵ تا ۷ و وزن مخصوص ۳/۱ تا ۳/۲ gr/cc پتالیت (Petalite) با سختی حدود ۶/۵ و وزن مخصوص ۲/۴ و لپیدولیت یا میکای لیتیم دار و با سختی حدود ۳ و وزن مخصوص ۲/۸ تا ۲/۹ مهمترین منابع تامین اکسید لیتیم در ترکیب بدنه ها و لعابها هستند. لازم به توضیح است که اسپودومن و پتالیت اگر چه در حقیقت جزء فلدسپاتها نمی باشند ولی اصطلاحاً در بسیاری موارد با عنوان فلدسپات و یا شبه فلدسپات از آنها نام برده می شود.

کانیهای مذکور تنها کانیهای حاوی لیتیم نمی باشند. لیتیم موجود در ترکیب لعابها و بدنه ها می تواند از منابع دیگر مثل کانی آمبلیگونیت (Amblygonite) و غیره نیز تامین گردد که با توجه به مصرف و اهمیت بسیار کمتر این کانیها در مورد آنها بحث نمی گردد. علاوه بر کلیه منابع طبیعی مذکور، باید از کربنات لیتیم  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  نیز به عنوان یکی دیگر از منابع تامین لیتیا نام برد. کربنات لیتیم به صورت طبیعی در طبیعت وجود نداشته و به طور مصنوعی از کانیهای حاوی لیتیم تهیه می گردد. کربنات لیتیم

نیز مانند کربنات سدیم و پتاسیم در آب محلول بوده ( البته با شدت بسیار کمتر ) و باید قبل از مصرف فریت گردد .

### موارد استفاده

۱- پایین آوردن درجه شیشه ائی شدن و کاهش تخریخ انتهائی پرسیلن های سخت،الخصوص پرسیلن های الکتریکی و پرسیلن های مقاوم در برابر اسید ها ،در این قسمت فلداسپار بوسیله لیپدولیت ،اسپودیمن و پتالیت جایگزین میشود.

۲- جهت افزایش مرغوبیت پرسیلن های فریت شده که نتیجتاً انبساط کم و مقاومت اسیدی خوب حاصل می نماید. مقادیر  $۰.۲/۵$  -  $۰.۶/۶$  لیتا ( که بهتر است به فرم لیپدولیت یا اسپودیمن یا پتالیت بوده ) و قدری لیتیم فلوراید نیز لازمست که اضافه گردد. در این شرایط میتوان بدنه ای با شفافیت عالی و تلالو سطحی ایجاد نمود.

۳- کاهش درجه سینتر نمودن بدنه های تینانیت و زیرکنیومی که در این حالت از لیتیم تینانیت و زیرکیت می توان استفاده نمود. میزان انبساط نیز به همین نسبت تقلیل پیدا کند.

۴- بدنه های سیلکاتی - آلومینیم - لیتیم که به دقت در صفر تنظیم گردیده و میزان انبساط حرارتی منفی و یا مثبت آن بسیار کم است.

۵- بعنوان یک فلاکس جهت منظم کردن انبساط و ترکیبات لعاب با بدنه

### اکسیدهای فلزات قلیایی خاکی و منابع تامین آنها

بعد از اکسیدهای سدیم و پتاسیم اکسیدهای کلسیم و منیزیم مهمترین گدازآورهایی هستند که در بدنه ها لعابهای سرامیکهای ظریف مورد استفاده قرار می گیرند . نقطه ذوب اکسید کلسیم  $۲۵۷۰$  درجه سانتیگراد و اکسید منیزیم  $۲۸۰۰$  است . همچنان که مشاهده می شود این دو اکسید به طور نسبی دارای نقطه ذوب بالایی بوده و به همین دلیل نیز در تولید دیرگدازهای قلیایی بسیار مورد توجه می باشند ( به قسمت ۱-۲ : دیرگدازها ، جدول شماره ۲ مراجعه شود ) این خصوصیت اکسیدهای

مذکور باعث گردیده که در بسیاری از مآخذ و متون فنی سرامیک این اکسیدها جزء مواد دیرگداز تقسیم بندی گردند. با این همه باید توجه داشت که چنانچه اکسیدهای کلسیم و منیزیم به صورت گدازآور عمل نموده و باعث کاهش نقطه ذوب بدنه و لعاب می گردند. در بدنه ها و لعابهای سرامیکهای ظریف، معمولا و در غالب موارد اکسیدهای کلسیم و منیزیم به همراه مواد دیگر و به مقدار کم و در نتیجه به عنوان گدازآور به کار رفته و به همین دلیل نیز در این کتاب تحت عنوان گدازآورها مورد بحث قرار می گیرند. اکسید باریم (Bao نقطه ذوب ۱۹۲۳) نیز مانند اکسیدهای کلسیم و منیزیم البته در مقیاس محدودتر در بدنه ها و لعابهای فرآورده های ظریف مورد استفاده قرار می گیرد. اکسید استرانسیوم (Sro نقطه ذوب ۲۴۳۰) صرفا در لعابها کاربرد داشته و به ندرت در بدنه ها مصرف می گردد. با این مقدمه به بحث اصلی خود یعنی منابع تامین اکسیدهای کلسیم، منیزیم، باریم و استرانسیوم در ترکیب بدنه ها و لعابها می پردازیم:

#### منابع تامین اکسید کلسیم:

در صنعت سرامیک و بخصوص در تولید سرامیکهای ظریف مهمترین منبع تامین اکسید کلسیم، سنگهای حاوی کانی کلسیت (کربنات کلسیم  $\text{CaCO}_3$ )، سختی ۳، وزن مخصوص ۲/۷۱) و به طور مشخص سنگ آهک، مرمر و گل سفید می باشند. به طور عمده این سنگها از دسته سنگهای رسوبی با منشا شیمیایی و بیوشیمیایی بوده و دارای سختی حدود ۳ تا ۴ هستند. در کنار این سنگها مارلها یا مارنهای (رسهای حاوی کربنات کلسیم) منابع دیگر تامین اکسید کلسیم در ترکیب بدنه ها و لعابها به شمار می آیند.

#### منابع تامین اکسید منیزیم:

دولومیت با فرمول  $\text{CaCO}_3$ ،  $\text{MgCO}_3$  (کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم) با سختی حدود ۳/۵ تا ۴ و وزن مخصوص ۲/۹ - ۲/۸ مانند تالک از مهمترین منابع تامین

MgO به خصوص در تولید سرامیکهای ظریف است. با توجه به فرمول مذکور نباید تصور شود که دولومیت مخلوط ساده ای از کربنات کلسیم و منیزیم است بلکه در واقع دولومیت یک بلور واحد و مشخص است. البته در بسیاری موارد و شاید معمولا مقدار منیزیم موجود در یک نمونه دولومیت کمتر از مقدار تئوریک آن است. در مورد کاربردهای دولومیت در تولید سرامیکهای ظریف باید اشاره گردد که همچنان که مکررا تاکنون به طور غیر مستقیم بیان شده دولومیت عموما به عنوان گداز آور به خصوص در لعابهای با نقطه ذوب بالا (مانند لعابهای چینی ها) مورد استفاده قرار می گیرد. با این همه در بعضی از لعابها دولومیت با ایجاد بلورهای سیلیکات کلسیم و منیزیم باعث ایجاد سطوح ماتی می گردد. به این لعابها اصطلاح لعابهای مات دولومیت اطلاق می گردد. در خارج از محدوده سرامیکهای ظریف، مهمترین کاربرد دولومیت در تولید دیر گدازهای دولومیتی است که وسیعا در صنایع مختلف کاربرد داشته ولی در هر حال در بحث فعلی مورد توجه نیستند.

منیزیت  $MgCO_3$  با سختی حدود  $3/5$  تا  $4$  و وزن مخصوص حدود  $2/8$  تا  $3$  و نیز بروسیت  $Mg(OH)_2$  با سختی  $2/5$  و وزن مخصوص  $2/39$  از منابع دیگر اکسید منیزیم بود که با توجه به اهمیت بسیار کمتر آنها، به خصوص در تولید سرامیکهای ظریف به همین اشاره مختصر اکتفا می گردد.

علاوه بر منابع فوق باید از منیزیای آب دریا نیز به عنوان منبع دیگر تامین MgO نام برد. اگر چه منیزیای آب دریا در تولید سرامیکهای ظریف به ندرت مورد استفاده قرار گرفته و عمدتا جهت تولید آجرهای دیرگداز کاربرد دارد ولی در هر صورت لازم است به طور خلاصه چگونگی تولید MgO از آب دریا بیان گردد برای انجام این عمل ابتدا آهک و یا دولومیت را تکلیس کرده تا به CaO و MgO تبدیل گردند سپس این مواد را با آب به صورت دوغاب در آورده و با آب دریا مخلوط می کنند. در نتیجه نمکهای محلول منیزیم موجود در آب دریا به صورت  $Mg(OH)_2$  رسوب می نمایند.



باید توجه داشت که این روش در حقیقت مدیون حلالیت کمتر ئیدراکسید منیزیم (در آب) در مقایسه با ئیدراکسید کلسیم است.

### اکسیدهای بر، سرب و روی و منابع تامین آنها

تمامی این اکسیدها به خصوص اکسیدهای بر و سرب به طور گسترده به عنوان گداز آور در لعابها مورد استفاده قرار می گیرند. اکسیدهای برو سرب معمولا در لعابهایی با نقطه ذوب پایین کاربرد داشته و به طور دقیق پر اهمیت ترین گداز آورها در چنین درجه حرارتهایی هستند در حالی که اکسید روی معمولا در لعابهایی با نقطه ذوب متوسط و بالا مورد مصرف دارند. از اکسید روی می توان به صورت خام (فریت نشده) نیز استفاده نمود در حالی که اکسید بر به علت محلولیت اکثر ترکیبات آن در آب، و نیز اکسید سرب به دلیل سمیت اغلب ترکیبات خود در بیشتر موارد به صورت قریب مورد مصرف قرار می گیرند. این موارد را شاید بتوان مهمترین نقص اکسیدهای سرب و بر دانست. با این همه و علی رغم این موارد، اکسیدهای سرب و بر به دلیل امتیازات فراوان و خصوصیات مطلوب آنها در مقیاس وسیعی کاربرد داشته و ترکیبات دیگری تاکنون نتوانسته اند جانشین آنها گردند. ترکیبات سرب در میان یکی از اصلی ترین و سنتی ترین فلاکس ها در لعاب قرار دارد. آنها به لعاب نقطه ذوب پایین و ویسکوزیته خوب میدهند که نتیجه ی آن شفافیت، لاستر و صافی بسیار عالی است. هم چنین ترکیبات مزبور کمتر نسبت به اشتباهات در ترکیب و پروسه تولید هنگام ساخت حساسیت نشان می دهند. گر چه ترکیبات سرب از نظر مصرف بسیار گسترش دارد و نیز خطرات سمیت استفاده از آن چه از نظر مصرف کننده و نیز تولید کننده کاملا شناخته شده است. در این رابطه تاکنون تحقیقات فراوان و قوانین مختلف در زمینه تاثیرات سرب بر روی سلامت انسان و وضع شده که نتایج آن افزایش ترکیبات فریت شده سرب است. به طور مثال در این مورد سیلکاتهای سرب خطرات کمتری از خود نشان داده اند

## اکسید بر :

کانیهای برآکس و یا تنه کار ( نام اصیل فارسی آن ) با فرمول  $10H_2O$  ،  $2B_2O_3$  ،  $Na_2O_2$  سختی  $2/5 - 2$  و وزن مخصوص  $1/7$  ، کرنیت و یا راسوریت با فرمولی مشابه برآکس با سختی  $3$  و وزن مخصوص  $1/95$  و نیز ساسولین یا اسید بوریک با فرمول  $B_2O_3$  ،  $3H_2O$  سختی  $1$  و وزن مخصوص  $1/48$  جزئی از کانیها و منابع تامین اکسید بر هستند که همگی در آب محلول بوده و بنابراین قبل از مصرف باید فریت گردند . براتهای سدیم طبیعی یعنی برآکس و کرنیت معمولا تخلیص و تغلیظ شده و با توجه به جنبه های اقتصادی به براتهای سدیم بدون آب و یا با آب کمتر تبدیل می گردند . کلمانیت با فرمول  $CaO_2$  ،  $3B_2O_3$  ،  $5H_2O$  با سختی  $4/5 - 4$  و وزن مخصوص  $2/42$  و نیز پاندرمیت با فرمول  $4CaO$  ،  $5B_2O_3$  ،  $7H_2O$  از دیگر کانیهای حاوی اکسید بر هستند . این کانیها اگر چه در آب تقریبا نامحلول بوده و بنابراین می توانند به صورت خام ( فریت نشده ) مصرف شوند ولی در بسیاری موارد جهت تهیه اسید بوریک مورد استفاده قرار می گیرند چرا که در بسیاری از فرمولهای لعابها صرفا اکسید بر نیاز بوده و بنابراین امکان استفاده از براتهای سدیم و کلسیم وجود ندارد . در این شرایط ضرورتا باید از اسید بوریک استفاده شود .

## اکسید روی

اکسید روی و یا توتیا ( نام اصیل فارسی آن ) با وزن مخصوص  $5/6 - 5/5$  و با نقطه ذوب حدود  $1975$  بر خلاف اکسیدهای سرب و بر و علی رغم نقطه ذوب بالای خود، یک گدازآور فعال در لعابهایی با نقطه ذوب بالاست. با این همه در صورتی که اکسید روی در مقادیر زیاد در ترکیب لعابها وجود داشته باشد به عنوان یک عامل بلور ساز عمل نموده و لعابهای متبلور بسیار زیبایی را به وجود می آورد .

اکسید روی در آب نامحلول بوده و بنابراین می تواند مستقیما و به صورت خام مورد استفاده قرار گیرد. اگر چه در بسیاری موارد، اکسید روی به صورت فریت شده

نیز مصرف می شود و در صنعت سرامیک به طور کلی هیچ یک از کانیهای روی مستقیماً مصرف نمی شوند. اکسید روی مصرفی در این صنعت، معمولاً یا به روش فرانسوی یعنی اکسیده نمودن بخارات روی حاصل از جوشاندن فلز آن و یا به روش آمریکایی یعنی احیا نمودن کانیهای روی به وسیله ذغال سنگ و در نتیجه تبخیر روی و سپس اکسیده نمودن بخارات حاصل به دست می آید. اکسید روی مصرفی در صنعت سرامیک ایران در قرون گذشته نیز به وسیله حرارت دادن کانیهای روی و سپس اکسیده نمودن بخارات حاصل به دست می آمده است.

همچنان که ذکر شد اکسید روی هنگامی که در مقادیر کم مورد استفاده قرار گیرد به عنوان یک گدازآور عمل می نماید ولی باید توجه داشت که حتی در چنین شرایطی نیز، اکسید روی در درجه حرارتهای کمتر از حدود ۱۰۸۵ گداز آور فعالی نیست در حقیقت، نقش اکسید روی به عنوان یک گداز آور فعال در درجه حرارتهای بالاتر از حدود ۱۱۰۰ آغاز می گردد. اکسید روی معمولاً در درجه حرارتهایی بین ۱۲۵۰ - ۱۱۵۰ مورد استفاده قرار می گیرد. با این همه نقطه ذوب بالای این اکسید مویید این مطلب است که در واقع و به طور معمول محدوده خاصی برای حداکثر درجه حرارت استفاده از این اکسید به عنوان یک گداز آور وجود ندارد.

در لعابها به طور کلی اکسید روی نمی تواند به تنهایی و به عنوان گداز آور اصلی مورد استفاده قرار گیرد چرا که در چنین شرایطی یعنی بدون حضور گدازآورهای دیگر اکسید روی معمولاً در کمتر از ۱۳۵۰ قادر به ایجاد یک سیلیکات مذاب مناسب جهت ایجاد یک لعاب مطلوب نیست. به همین دلیل اکسید روی را در حقیقت می توان یک گداز آور کمکی دانست. به طور معمول مقدار مصرف اکسید روی به عنوان یک گداز آور در لعابها بیشتر از حدود ۰/۳ مول نیست. در مواردی که اکسید روی بیشتر از این مقدار مصرف می شود معمولاً خصوصیات بلور سازی آن مورد توجه است. ضمناً باید توجه داشت که معمولاً مقادیر کم اکسید روی به عنوان مثال حدود یک درصد وزنی در ترکیب لعاب به طور موثری باعث ذوب بهتر لعاب می گردد.

علاوه بر خصوصیات فوق، اکسید در بسیاری موارد به عنوان یک عامل ضد ترک مورد استفاده قرار می گیرد. در چنین مواردی اکسید روی ضریب انبساط لعاب را کاهش داده و در نتیجه از وقوع ترکهای ناشی از ضریب انبساط زیاد لعاب جلوگیری می نماید. به همین دلیل نیز در بسیاری موارد اکسید روی تا حدودی جانشین گدازآورهای دیگر با ضریب انبساط بالا مثل اکسید سدیم و پتاسیم می گردد.

علاوه بر سمی بودن ترکیبات روی، مهمترین نقاط ضعف آن، تمایل به ایجاد لعاب نگرفتگی و نیز حساسیت زیاد در شرایط احیاست. اکسید روی تقریباً دارای تنش سطحی بالایی است. ضمناً اکسید روی در اولین مراحل که در معرض حرارت قرار می گیرد دارای انقباض زیادی می باشد. این انقباض قبل از انجام عمل ذوب صورت می پذیرد. این دو عامل یعنی تنش تقریباً بالای روی و انقباض زیاد آن می توانند باعث ایجاد لعاب نگرفتگی گردند. جهت مقابله با انقباض زیاد اکسید روی معمولاً آن را قبل از استفاده کلسینه می نماید.

به طوری که ذکر شد اکسید روی در محیط احیا نیز سریعاً با آزاد نمودن اکسیژن به فلز روی تبدیل می گردد. نقطه جوش روی حدود ۹۵۰ است، بنابراین احیا اکسید روی باعث تبخیر فلز آن گردیده و در نتیجه بخارات روی وارد محیط اطراف می گردد. این بخارات سمی بوده و می توانند باعث مسمومیت گردند بنابراین باید همواره به خاطر داشت که از اکسید روی صرفاً در شرایط اکسیداسیون کامل استفاده شود.

#### منیزیت

منیزیت یا کربنات منیزیم ( $MgO=47/80$   $CO_3=52/20$ ) به دو شکل در طبیعت یافت می شود. نوع کریپتوکریستالین یا منیزیت فشرده و نوع کریستالهای زبر منیزیت. نوع فشرده آن متداول تر بوده و از تجزیه سیلکات منیزیم مانند سر پرنتین، تالکم، آلومین بوسیله کربناتها آب ناشی می شود. نوع کریستالین آن یک شکل گیری متامورفیک سنگ آهک در مجاورت منیزیم می باشد. این کانی دارای مقادیر متنوعی

اکسید آهن است. یکی دیگر از مینرالهای منیزیم بروسیت یا منیزیم هیدرواکسید است که در کانادا و نوادای آمریکا استخراج می شود. از منابع عمده منیزیم که امروزه کشف شده است آب دریا می باشد که در انگلستان بزرگترین منبع منیزیم صنایع دیر گداز آب دریا است.

#### موارد استفاده اکسیدهای کلسیم و منیزیم

گر چه هر دو به خودی خود دیر گداز هستند اما آنها با سیلیس و سودا وارد عمل شده و یک محصول درجه ذوب پایین ایجاد می کنند. بنابراین این مواد در بدنه و لعابهای سرامیکی بعنوان یک فلاکس عمل کرده و بطور عمومی آنها با خاک فیلینت و فلداسپار ترکیب شده و اتصالی شیشه ای ایجاد می نمایند. ترکیب مزبور، موجب افزایش استحکام شده، تخلیص را تقلیل می دهد اما انقباض را اضافه می نماید لایم و دولومیت ممکن است در برخی بدنه های ارتن ور یا سفالین-لوازم بهداشتی، کاشی های کف و دیواری مصرف شده و اینگونه بدنه ها از ۲۰٪-۲۳٪ مواد مزبور در آن موجود می باشد.

منیزیت و دولومیت بطور گسترده برای ساخت آجر های دیر گداز برای صنایع فلزی و کوره ای سیمان مصرف می شود. اخیرا تحقیقاتی در زمینه ساخت آجر های نسوزی که زیر فشار زیاد در درجات حرارتی بالاتر و نیز خوردگی آب مقاومت داشته باشد بعمل آمده است.