

مواد اولیه صنعت کاشی و سرامیک



مواد اولیه و فرآیند روان سازی

مهندس عزیز جانتظربیان

هنگامی که در صنعت کاشی و سرامیک به خصوص در بخش تهیه بدنه کار می‌کنیم، همواره سوالات مختلفی در خصوص مواد اولیه و فرآیند روان سازی (Deflocculation) در ذهن ما خطور خواهد کرد. این سوالات معمولاً چراها و چگونه‌هایی در مورد یا آنچه انجام می‌دهیم هستند. به طور مثال: ممکن است از خود بپرسیم چرا روان سازی انجام می‌شود؟ روان سازی چگونه انجام می‌شود؟ چگونه روان سازی کنیم؟ روان ساز (Deflocculant) مناسب بر چه مبنایی انتخاب می‌شود؟ نفتی مواد اولیه در فرآیند روان سازی چگونه است؟ به منظور پاسخ دادن به سوالات مذکور، ابتدا لازم است به عناصه‌ها، شناخت مواد اولیه و فرآیند روان سازی بپردازیم. همچنین خواص و ساختار مواد اولیه، به همراه میان‌کنش آنها با ترکیبات موجود در محیط آسیاب تحلیل گردد.

۱-۲ خاک و محیط اطراف ما

مواد اولیه مصرفی در صنعت سرامیک‌های سنتی معمولاً از خاک و صخره‌های طبیعی موجود در اطراف ما تهیه می‌شوند حدود ۸۳ درصد وزنی از پوسته زمین که در برگیرنده انواع صخره‌ها و کانی‌های معدنی است، از سه عنصر (الومینیم، سیلیسیم و اکسیژن) تشکیل شده است (Aluminosilicate). همان‌طور که در شکل ۱ ملاحظه می‌شود، مقادیر سایر عناصر در مقایسه با این سه عنصر مهم، بسیار اندک است. ترکیب این سه عنصر مهم با یکدیگر، کانی‌هایی را بوجود می‌آورد که به عنوان کانی‌های آلومینوسیلیکاتی شناخته می‌شوند و جزء اصلی مواد اولیه صنعت کاشی را تشکیل می‌دهند.

چگونگی تشکیل این صخره‌ها در طول زمان، در خواص کلی‌های موجود در آنها و کاربرد آنها تأثیر گذار خواهد بود.

بطور کلی صخره‌های طبیعی به سه گروه تقسیم می‌شوند:

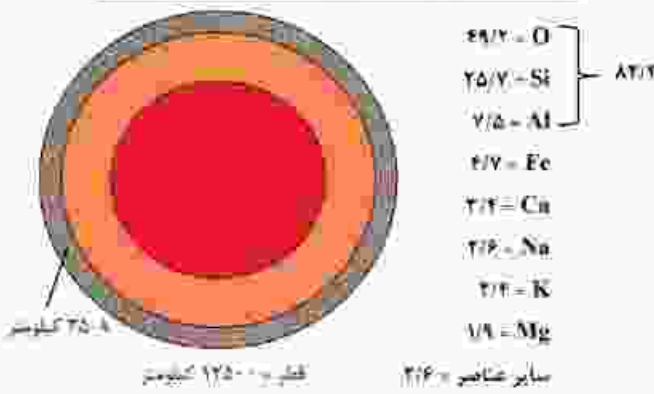
- ۱- صخره‌های آذرین (Igneous Rocks): در اثر سرد شدن ماگمای آتشفشان و تأثیرات محیطی در طول زمان بوجود می‌آیند.
- ۲- صخره‌های رسوبی (Sedimentary Rocks): که در اثر رسوب لایه‌های مختلف زمین و تجمع مواد آلی و بی‌کربن موجودات زنده در بین آن‌ها و در نهایت فعل و انفعالات طولانی و متوسه شیمیایی، فیزیکی تشکیل می‌شوند.
- ۳- صخره‌های دگرگونی (Metamorphic Rock): که در اثر هوازادگی و یا به عبارات دیگر، اثر محیط (آب، باد، حرکت

پهچال‌ها و زلزله و ... بر صخره‌های آذرین و رسوبی تشکیل می‌شوند. بنابراین، مواد اولیه سرامیکی که از این سه گروه صخره‌های طبیعی استخراج می‌شوند، دارای تنوع و خواص مختلفی هستند. در شکل ۲ به موادی از هر گروه نیز اشاره شده است.

۲- مواد اولیه پلاستیک (Plastic Raw Materials)

به مواد اولیه سرامیکی که پس از اضافه نمودن آب، قابلیت شکل دادن پیدا می‌کنند، مواد اولیه پلاستیک گویند. کانی‌های متعلق به گروه رس‌ها

درصد عناصر موجود در پوسته زمین (درصد وزنی)

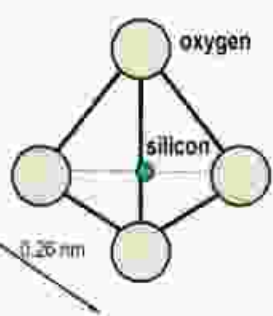


شکل ۱- درصد عناصر تشکیل دهنده پوسته زمین

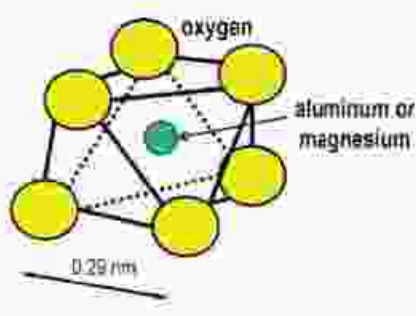
انواع صخره های طبیعی



شکل ۲- انواع صخره های طبیعی، شرایط تشکیل و مثال هایی از آنها

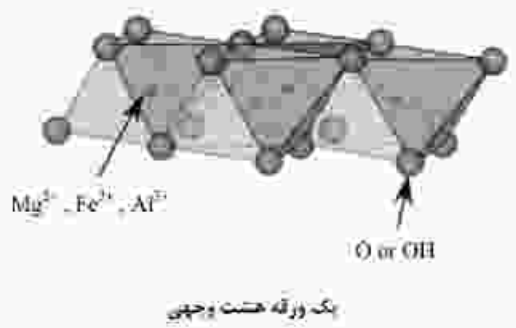


چهاروجهی سیلیسیم

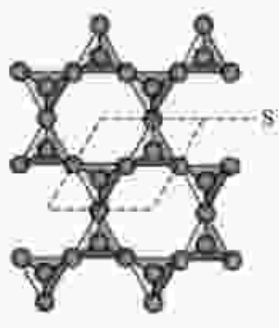


هشت وجهی آلومینیم

شکل ۳- واحدهای ابتدایی ساختار رس

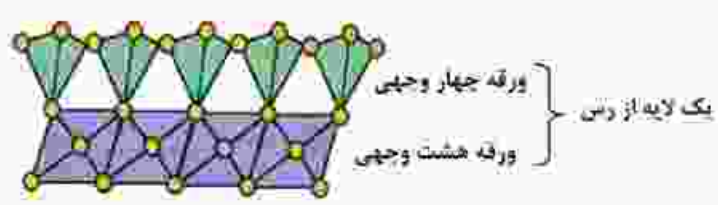


یک ورقه هشت وجهی

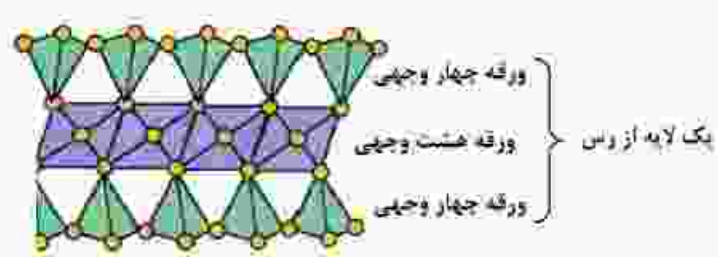


یک ورقه چهار وجهی

شکل ۴- نمایی شماتیک از ورقه های چهاروجهی و هشت وجهی ها



یک لایه از رس



یک لایه از رس

شکل ۵- اتصال دوتایی و سه تایی از ورقه های چهاروجهی و هشت وجهی

مثال های بارزی از این دسته از مواد هستند در گذشته از طریق شکل دادن رسی و سپس پخت آن، انواع و اقسام ظروف سفالی تهیه می شد در این بخش به بررسی ساختار، خواص و کاربرد مواد پلاستیک و به خصوص انواع رسی ها خواهیم پرداخت.

۲-۲-۱ ساختار و انواع رسی ها

رسی ها از واحدهای ابتدایی یا نام چهاروجهی (Tetrahedron) سیلیسیم و هشت وجهی (Octahedron) آلومینیم و یا منیزیم تشکیل شده اند. در چهاروجهی ها، سیلیسیم در مرکز و اکسیژن ها در رئوس چهاروجهی قرار می گیرند در هشت وجهی ها، آلومینیم یا منیزیم در مرکز و اکسیژن با گروه های هیدروکسیل در رئوس خواهند بود. از به هم پیوستن چنین چند وجهی هایی به طرق مختلف ساختار رسی ها تشکیل خواهد شد. شکل ۳ واحدهای ابتدایی تشکیل دهنده ساختار رسی را نشان می دهد.

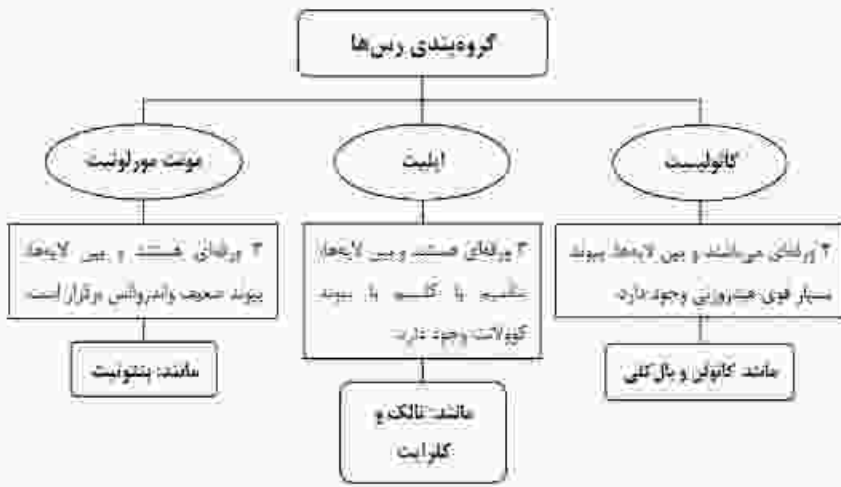
این چند وجهی ها ابتدا به گوه های به هم می پیوندند که ورقه هایی با نام ورقه های چهاروجهی و هشت وجهی (Tetrahedral and Octahedral Sheets) تشکیل می شود. تفاوت در نوع به هم پیوستن و تعداد این ورقه ها باعث بوجود آمدن انواع رسی ها با خواص و ساختار متفاوت می شود. چهاروجهی ها سه گویه از چهار گویه خود را به اشتراک می گذارند و یک ورقه متشکل از چهاروجهی را تشکیل می دهند. آنها اکسیژن های صفحه غایبه خود را به گوه های به اشتراک می گذارند که یک ترتیب همگراگونال ایجاد شود. در اینجا اکسیژن های رسی به نوبی بالا یا پایین هستند فرمول ورقه بصورت T_2O_5 می باشد که در اینجا T غالباً کاتیون های Si, Al و گاه Fe^{2+} و B هستند بر این موقعیت را اشغال می کنند شکل ۴ نمایی شماتیک از ورقه های چهاروجهی را نشان می دهد.

ورقه های هشت وجهی نیز از به اشتراک گذاشتن هشت وجهی هایی بوجود می آید که وجوه خود را به اشتراک گذاشته اند. در این حالت نیز، ورقه هشت وجهی با شکل همگراگونال تشکیل می شود. کاتیون های $Mg^{2+}, Al^{3+}, Fe^{2+}$ و Fe^{3+} می تواند در مرکز هشت وجهی قرار بگیرند شکل ۴ نمایی شماتیک از ورقه های هشت وجهی و چهاروجهی را نشان می دهد.

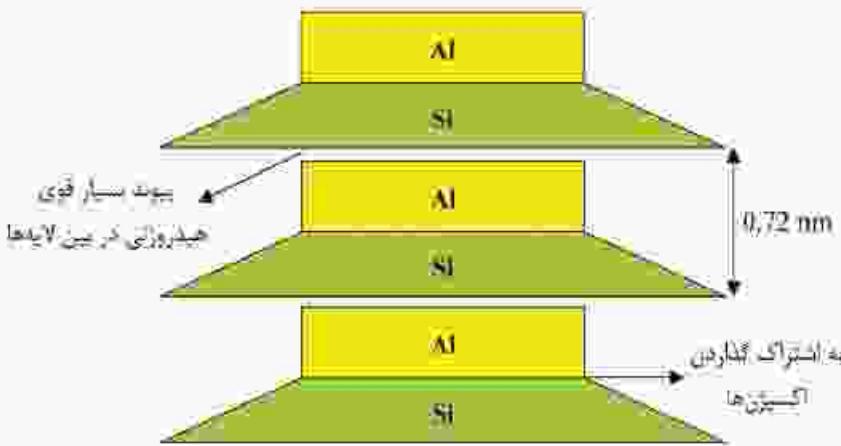
همان طور که اشاره شد تعداد ورقه ها، چگونگی و نوع به هم پیوستن آنها است که ساختار و گروه رسی ها را مشخص می کند. ورقه های چهاروجهی و هشت وجهی ممکن است به صورت دوتایی و یا سه تایی، یا به اشتراک گذاشتن اکسیژن های خود به یکدیگر متصل شوند. به عبارت دیگر، در یک حالت، ورقه های هشت وجهی به یک ورقه چهاروجهی متصل می شود و یا در حالت دیگری ممکن است، یک ورقه هشت وجهی بین دو ورقه چهاروجهی قرار بگیرد. در نهایت، از به هم پیوستن این اتصالات دوتایی و سه تایی با کمک نیروهای گهواتی، هیدروژنی و یا واندر والس است که ساختار رسی شکل می گیرد. شکل ۵، چگونگی اتصال دوتایی و سه تایی از ورقه های هشت وجهی و چهاروجهی را نشان می دهد.

همان طور که اشاره شد و در شکل ۵ نیز ملاحظه می شود، اتصال دوتایی و سه تایی از ورقه های چهاروجهی

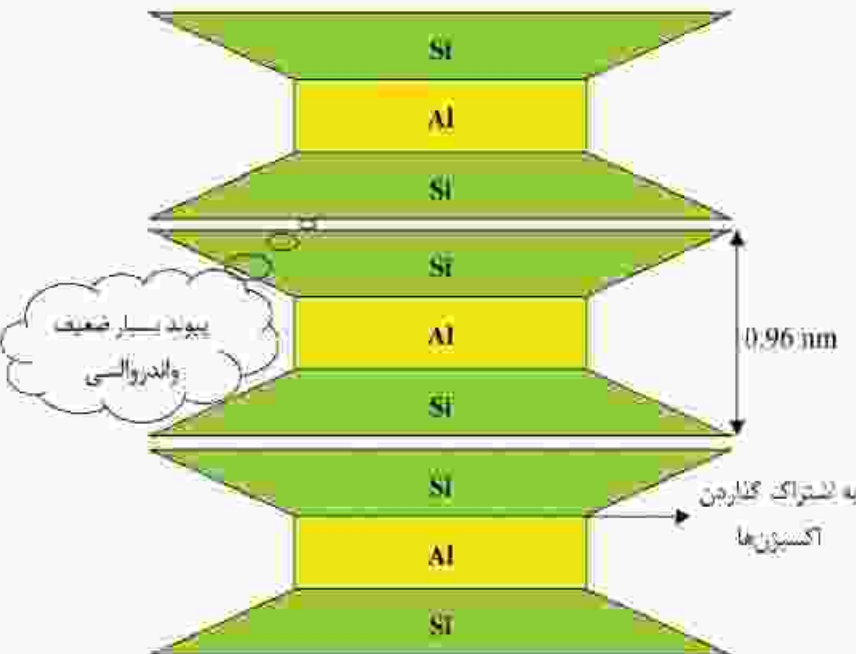
گروه بندی رسی ها



شکل ۶- گروه بندی کانی های رسی، ساختار و مثال هایی از عواید اولیه در هر گروه



شکل ۷- نمایی شماتیک از ساختار رسی های گروه کانولینیت



شکل ۸- نمایی شماتیک از ساختار رسی های گروه مونت مورلونیت

و هشت وجهی. در نهایت لایه های آن رس را بوجود خواهند آورد به همین دلیل است که رس ها به دایره بودن ساختار لایه های معروف هستند. همین ساختار لایه های است که به رس ها خواص ویژه ای می بخشد. نوع اتصال بین این لایه ها (هیدروزی، واندروالی و کوهلات) خواص رس را تحت تاثیر قرار خواهد داد و معیاری جهت تقسیم بندی آنها خواهد بود. بطور کلی، رسی هایی که در صنعت کاشی استفاده می شوند به سه گروه ذیل تقسیم بندی می شوند. این رس ها در شکل ۶ گروه بندی شده اند که در ادامه به ساختار، خواص و کاربرد هر یک از آنها در صنعت کاشی خواهیم پرداخت.

۱- رس های گروه کانولینیت (Kaolinite)

۲- رس های گروه ایلیت (Illite)

۳- رس های گروه مونتمورلونیت (Montmorillonite) در ادامه به منظور ساده سازی در تعاریف ساختار رس ها، ورقه های چهار وجهی و هشت وجهی را به ترتیب Si و Al می نامیم و از این پس، به شکل مستطیل و خورنده نشان خواهیم داد.

۲-۲-۲ کانولینیت ها

همانطور که در شکل ۶ ملاحظه می شود، لایه های کانولینیت دو ورقه ای هستند و لایه ها با اتصال بسیار قوی هندروالی به یکدیگر متصل می شوند؛ در نتیجه لغزش بین لایه ها به سختی اتفاق می افتد. از این جهت است که این رس ها نسبت به سایرین، قابلیت شکل دهی (Plasticity) کمتری دارند. شکل ۷ نمایی شماتیک از ساختار رسی های گروه کانولینیت را نشان می دهد. یک ذره رس از به هم پیوستن حدود ۲۰۰-۱۰۰۰ لایه تشکیل می شود. بنابراین، اندازه ذرات رس، با توجه به ضخامت لایه های آن که در حدود ۰/۷-۰/۹ نانومتر است، به حدود ۰/۱-۱/۰ میکرون خواهد رسید. این ذرات بسیار ریز هستند و قادرند در دوغاب اثر نیروهای بین مولکولی آب معلق نمایند و ذرات دیگر را نیز در بین خود معلق نگه دارند.

در چنین ساختاری هر OH به دو هشت وجهی یا فرمول $(AlOH)_2^-$ وابسته است که آکسیژن در رأس چهار وجهی $(SiO_4)^-$ به جای آن جایگزین می شود و اتصال دو ورقه برقرار می شود. فرمول کلی کانولینیت به صورت زیر است:



از جمله مثال های بارز کانی های متعلق به این گروه، کانولین و بال کلی هستند. این دو کانی، متعلق به گروه کانی های دگرگون شده بوده که نحوه تاثیر محیط بر آنها، تفاوت در خواص شان را باعث شده است. بطوریکه، کانولین مصورت درجا (In Situ Deposit) و در محلی که رسوب کرده است در اثر تاثیرات فشار و دمای محیط تشکیل می شود؛ اما بال کلی در اثر حاجابی بنا نداد، آب، حرکت لایه های زمین و یا شسته شدن با آب های سطحی در یک مسیر طولانی حرکت کرده و در نهایت رسوب و تجمع می کند. بنابراین، به

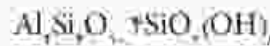
بال کلی رسوب ثانویه (Secondary Deposit) نیز گفته می شود. همین تفاوت در نحوه تشکیل، باعث تغییر در خواص این شو ماده می شود که به اختصار به شرح ذیل است:

۱- بال کلی ها قابلیت شکل دهی بیشتری دارند؛ زیرا علاوه بر اینکه ریزتر هستند، ناخالصی های آلی در طول حرکت و در زمان تشکیل به آنها اضافه می شوند و به شکل دادن آنها کمک خواهند کرد. این ناخالصی ها ممکن است شاخ و برگ درختان، بیکر موجودات زنده و ... باشند به همین دلیل است که معمولاً رنگ بال کلی تیره تر دیده می شود.

۲- رنگ پس از بخت بال کلی ها نیز به دلیل حضور ناخالصی های آلی و غیر آلی نسبت به کائولین تیره تر است.

رس های گروه کائولینیت به بدنه های کاشی اضافه می شوند تا استحکام خام و خشک بدنه را تأمین نمایند. علاوه بر این، واکنش و تبدیلات فازی آنها در حین پخت، به تشکیل فاز مولایت (Mullite)، در کاشی (به خصوص پرسالاتی) و همچنین اضافه نمودن آلومینیم به ترکیب بدنه کمک می کند. فاز مولایت با ساختار سوزنی شکل خود که معمولاً فقط در بدنه های پرسالاتی تشکیل می شود، باعث بهبود خواص و افزایش استحکام می شود. خاک های حاوی کانی های کائولین و بال کلی حدود ۵۰-۴۰ درصد فرمول بدنه را با توجه به نوع کاشی تشکیل می دهند. از کائولین و بال کلی به عنوان عوامل معلق کننده در دوغاب لعاب نیز استفاده می شود.

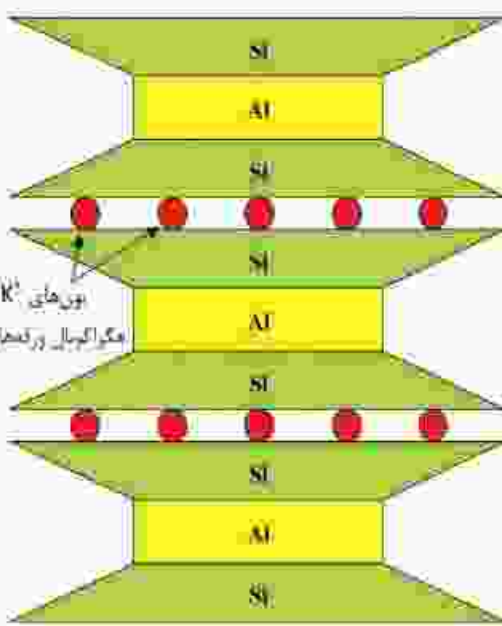
هالوزیت (Halloysite) کانی دیگری از گروه کائولینیت ها می باشد که به مقدار اندک در ترکیب خاک های مورد مصرفی یافت می شود. البته اگر مقدار آن در خاک زیاد باشد، ممکن است تا حدود ۲۰-۵ درصد در کاشی های دیوار و پرسالاتی نیز استفاده شود. این کانی، ساختاری مانند کائولینیت ها دارد که ابعاد آن و به شکل میله ای (Tubular) مشاهده می شود. پس از اینکه در ۲۰۰-۳۰۰ °C آب خود را از دست داد رفتاری مشابه با کائولینیت ها دارد. لازم به ذکر است که فرمول کلی آن به صورت زیر است:



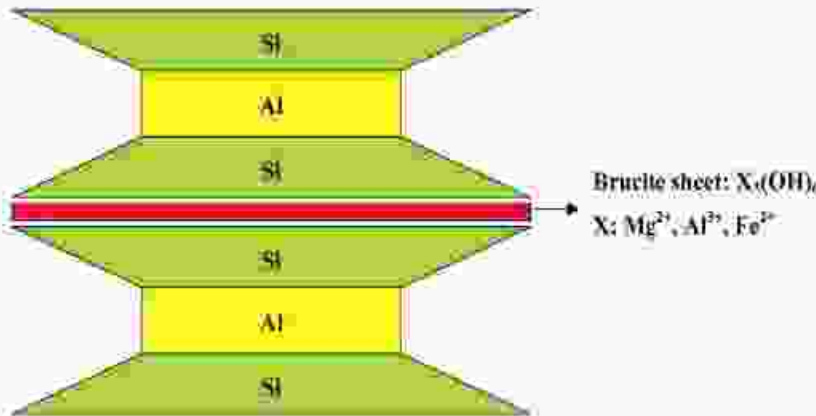
۲-۲-۳ مولت مورلونیت ها

ساختار لایه های این گروه از رس ها در خلاف کائولینیت ها، سه ورقه ای می باشد و اتصال بین لایه ها با پیوند ضعیف و اندولان برقرار می شود. شکل A ساختار این گروه از رس ها را نشان می دهد. وجود چنین پیوند ضعیفی بین لایه ها، باعث می شود که آب به راحتی در بین لایه ها نفوذ کند. جذب آب در بین لایه ها، باعث تغییر شدید در رفتار دوغاب حاوی چنین رس هایی خواهد شد و کنترل رفتار دوغاب را بسیار دشوار می کند. اما بلاستیسیت بالایی این رس ها به افزایش استحکام بدنه خام و خشک کمک خواهد کرد تا در انواع بدنه های کاشی قابل استفاده باشند. اما استفاده از آن ها می بایست کنترل شده باشد تا تغییر شدیدی در رفتار دوغاب بوجود نیاید.

خساک بنتونیت (Bentonite) در میان مواد اولیه رسی نیز بسیار معروف است و معمولاً در دارنده مقداری مولت مورلونیت است.



شکل ۹- نمایش شماتیک از ساختار رس های ایلینی



شکل ۱۰- ساختار کانی کلونیت.

این خساک در ۱۸۰ °C آب بین لایه ای و در ۴۵۰-۴۵۰ °C نیز آب ساختاری خود را از دست خواهد داد. بلاستیسیت بسیار بالایی دارد و در رفتار جریانی دوغاب تأثیر منفی می گذارد. زیرا آب زیادی را جذب کرده و زل کائولینی تشکیل می دهد. به عنوان تعلیق کننده لعاب نیز مصرف می شود اما مقدار آن نباید هرگز بیشتر از ۵ درصد باشد.

۲-۲-۴ ایلینیت ها

لایه های رسی در گروه ایلینیت ها نیز همانند مولت مورلونیت ها سه ورقه ای است. اما اتصال لایه ها، نه کمک کاتیون یناسیم و ما پیوند کوولانت برقرار می شود. در واقع، فرق آن با مولت مورلونیت این است که Al جایگزین Si می شود و لایه های رسی با K خنثی می شوند. هنگامی که یک کاتیون با ظرفیت کمتر (Al³⁺) جایگزین یک کاتیون با ظرفیت بیشتر (Si⁴⁺) می شود، بار منفی به سیستم القا خواهد شد. در اینجا یک بار منفی بوجود می آید که K⁺ می تواند آن را خنثی کند. این اتصال، از پیوند هیدروژنی ضعیف تر، ولی از پیوند واندروالس قوی تر است. شکل ۹ ساختار این گروه از رس ها نشان می دهد. کانی ایلینیت، یک رس متعلق به همین گروه و دارای ساختاری مشابه با آنچه

بیان شده است این کانی، اولین بار در ایالت شمالی آمریکا Illinois کشف شد. خاک‌هایی که حاوی مقدار بالایی از ایلیت می‌باشند، حدود سه تا پنج درصد وزنی بتاسیم قابل شناسایی است. چنین خاک‌هایی در صنعت، با نام خاک صنعتی و یا خاک ایلیتی شناخته می‌شوند و معمولاً مرغوبیت آنها کمتر است.

میکا (Mica) نیز کانی معروفی متعلق به این گروه است که بطور مستقیم و خالص شده در فرمول کانی استفاده

نمی‌شود، اما در خاک‌های صنعتی و ایلیتی به وفور مشاهده می‌گردد. علاوه بر میکا، کلرایت (Chlorite) نیز در خاک‌های صنعتی دیده می‌شود و مقادیر آن متغیر است. ساختار کلرایت تفاوت اندکی با ساختار میکا دارد و همانطور که در شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود، یک ورقه یا نام Brucite جایگزین K می‌شود تا خصای الکتریکی انقباضی بیافتد این کانی همانند میکا ورقه‌ای شکل است.

تالک (Talc) نیز کانی بسیار معروفی در میان رس‌ها است این کانی فاقد آلومینیم می‌باشد و سرچشمه در ورقه‌های هشت‌وجهی بطور کامل جایگزین آلومینیم شده است. بنابراین به این کانی، رس منبویه سیلیکاتی نیز می‌گویند. فرمول کلی آن $(OH)_2 Mg_3 Si_4 O_{10}$ و ساختار آن مشابه با میکا است. در صنعت کاشی با توجه به منابع و فراوانی آن، در موارد ذیل کاربرد دارد:

- ۱- برای کنترل ضریب انبساط حرارتی استفاده می‌شود.
- ۲- در کاشی‌هایی با نمای یخ‌مانند (۱۲۰۰°C)، مقاومت به شوک حرارتی را افزایش می‌دهد.
- ۳- به کاشی‌های متخلخل کف و دیوار افزوده می‌شود تا مقدار انبساط طولی را کاهش داده و مانع از ترک خوردن قطعه و یا لعاب آن شود.
- ۴- نوع فاقد آهن آن در کنار زیرکون، به سفید شدن بدنه‌های پرسلایی کمک می‌کند؛ زیرا نقطه ذوب آن کم است و آب نامطلوب زیرکون در افزایش نمای یخ‌مانند را جبران می‌کند.

ایلمه کانی‌های دیگری در گروه‌های مختلف رسی می‌توان یافت که در صنعت کاشی کاربرد کمتری دارند و یا ممکن است اصلاً کاربرد نداشته باشند، اما دانستن نام و نوع آنها مفید خواهد بود؛ زیرا بعضاً در آنالیز خاک‌های مورد مصرف، مشاهده می‌شوند کانی پیروفیلیت (Pyrophyllite) نمونه‌ای از رس‌های ایلیتی است. پیروفیلیت ساختاری مشابه با تالک و میکا دارد که Al^{3+} در مواضع هشت‌وجهی است. فرمول کلی آن $(OH)_2 Al_2 Si_4 O_{10}$ بوده و هیچ عنصر فلزی یا فلزیایی حاکی در ساختار جایگزین نمی‌شود. در نمای $1200^{\circ}C$ به مولایت $(3SiO_2 \cdot 2Al_2O_3)$ منبسط می‌شود و در نمای $1630^{\circ}C$ ذوب می‌گردد. در نتیجه با توجه به نمای پوش، می‌توان آن را در نگهدار دانست و بیشتر، از آن در ساخت بدنه‌های درگاز استفاده کرد. در صنایع دیگر (به غیر از کاشی) می‌توان از آن به عنوان جایگزین کائولین نیز استفاده نمود.

۳-۲ مواد اولیه غیر پلاستیک (Non-plastic Raw Materials) در مبحث قبلی در مورد مواد پلاستیکی صحبت کردیم که پس از اضافه نمودن آب، قابلیت شکل دهی داشتند. ایلمه ذرات ریز رسی نیز کمک می‌کند که در آب معلق شوند. در اینجا به بررسی موادی خواهیم پرداخت که معمولاً در میان گنش با آب خاص جفتی هستند و در دوغاب تنها قطبایی از طرف را اشغال خواهند کرد. چنین موادی اصطلاحاً غیر پلاستیک نامیده می‌شوند.

نقطه ذوب (°C)	K ₂ O	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	فرمول شیمیایی نظری (Wt.%)
۹۷۰	-	۱۷/۸	۱۹/۵	۶۸/۷	فلدسپار سدیم (آلکستر)
۱۲۰۰	۱۶/۹	-	۱۸/۳	۶۴/۸	فلدسپار پتاسیم (اورتوکلاز)
۱۰۸۰-۱۱۲۰	۵/۸	۱۷/۵	۳۵/۲	۴۱/۵	پتاسین

جدول ۱- آنالیز شیمیایی و نقطه ذوب انواع فلدسپار

۲-۳-۱ سیلیکا (Silica)

سیلیکا یا اکسید سیلیسیم (SiO₂) از جمله موادی است که در صنعت کاشی استفاده فراوانی دارد. این ماده به شکل‌های گوناگونی در طبیعت وجود دارد که معروف‌ترین آنها کوارتز است. سر واقع کوارتز، فاز پایدار سیلیکا در دمای محیط می‌باشد. در خصوص کوارتز، کاربرد و مسائل مربوط به آن در صنعت کاشی، مباحث بسیار گسترده‌ای همچون ساختار بلوری و تبدیلات پلی‌مرفیک (Polymorphic Transformation) کوارتز به تری‌دیمیت (Tridymite) و کریستوبالیت (Cristoballite)، تغییرات حجمی ناشی از تبدیلات پلی‌مرفیک در کوارتز و بروز معایبی مانند ترک در بدنه (Dunting) ترک در لعاب (Crazing) و پوسته‌ای شدن لعاب (Peeling) که ناشی از این تبدیلات است وجود دارد. بنابراین به خوانندگان پیشنهاد می‌شود که در خصوص عناوین مذکور، مراجع پانایی کتاب را مطالعه فرمایند.

کوارتز معمولاً بطور مستقیم به فرمول بدنه (به خصوص بدنه‌های دیواره‌ای) اضافه نمی‌شود. این ماده در خاک‌های رسی بصورت ناخالصی وجود دارد، اما اگر بخواهیم کنترل دقیق بر فرمول بدنه داشته باشیم، می‌توانیم کوارتز را بطور مجزا و با خلوص و دانسیته‌ی مورد نظر خود نیز اضافه نماییم. کوارتز به عنوان ترک‌کننده و اسکلت بدنه شناخته شده است؛ زیرا حضور آن در فاز شیشه بدنه، باعث افزایش استحکام و پایداری ابعادی، به خصوص در بدنه‌های پرسلاتی می‌شود. علاوه بر این، این ماده به تشکیل فاز شیشه و مولایت نیز کمک می‌کند. ذرات کوارتز، ممکن است با ابعاد چند میکرون تا چند میلی‌متر در مواد اولیه وجود داشته باشند. کنترل اندازه ذرات آن می‌تواند در کنترل سرعت واکنش‌ها و خواص نهایی بدنه کمک به سزایی کند.

۲-۳-۲ فلدسپارها (Feldspars)

این کانی‌ها ساختاری شبیه به کوارتز دارند. با این تفاوت که در ساختار آنها Al جایگزین Si می‌شود و جهت خنثی شدن بار، کاتیون‌های K، Na و یا Ca همانند زیرا وارد ساختار بلورین آنها می‌شود:

$$SiO_2 \rightarrow Si_2O \rightarrow AlSiO_3 \rightarrow Na/K-AlSiO_3$$

لازم به ذکر است که بر حسب این که کدامیک از کاتیون‌های Na، K و یا Ca در ساختار باشند، کانی‌های مختلفی با نام‌های ذیل وجود خواهد داشت:

اورتوکلاز (orthoclase) با فرمول: $KAlSi_3O_8$

میکروکلین (microcline) با فرمول: $6SiO_2 \cdot K_2O \cdot Al_2O_3$

آلبیت (albite) با فرمول: $6SiO_2 \cdot Na_2O \cdot Al_2O_3$

انورتایت (anorthite) با فرمول: $2SiO_2 \cdot CaO \cdot Al_2O_3$

نفلین با فرمول: $(Na,K)AlSi_3O_8$

و کانی‌های Oligoclase, Andesine, Labradorite و Bytownite که محتوی CaO و Na₂O است.

این کانی در صخره‌های کریستالی بیشترین میزان را دارد و سختی آن بین ۶ تا ۶/۵ موهس است. معمولاً به صورت دانه‌های کوچک در میان سایر کانی‌ها وجود دارد اما ماده تجاری آن از pegmatites ناشی

جدول ۴- درصد مواد سازنده در بدنه های انواع کاشی (به عنوان مثال آورده شده و کلیت ندارد).

فرمول بدنه (درصد وزنی)			
مواد اولیه	بدنه دیوار تک پخت و سفید	بدنه کف	بدنه پرسلان
کوارتز	۳۰-۴۰	۱۰-۲۵	۲۷-۳۳
کاولن	۴۰-۶۰	۱۵-۳۵	۱۴-۱۸
سنگدانه فلدسپاتی	۱۰-۱۵	۲۵-۳۰	-
فلدسپات	۵-۱۰	۳-۱۰	۴۹-۴۸
کوارتز	۵-۱۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰
کریست کلسیم	۸-۱۰	-	-
تنگ	-	۱-۳	۰-۲
در مجموع با ل.و.ا	-	-	۱۰۰-۱۰۰

جدول ۳- مثال هایی از ترکیب شیمیایی انواع بدنه های کاشی

فرمول شیمیایی (درصد وزنی)			
مواد اولیه	بدنه دیوار تک پخت و سفید	بدنه کف	بدنه پرسلان
SiO ₂	۶۵-۷۵	۸۷-۹۲	۷۰
Al ₂ O ₃	۱۳-۱۵	۱۸-۲۰	۱۸
CaO	۷-۱۰	۱-۲	۱-۲
MgO	۱-۲	۱-۲	۱-۲
Fe ₂ O ₃	۰-۱	۰-۱	۰-۱
Na ₂ O	۰-۱	۰-۱	۰-۱
Fe ₂ SO ₄	۰-۱	۰-۱	۰-۱
TiO ₂	۰-۱	۰-۱	۰-۱
L.O.I	۱۰-۱۵	۲-۴	۵-۱۰

می شود.

وزن مخصوص این کاشی بین ۲۱۵۶ تا ۲۱۶۲ است و نقطه ذوب آن ۱۱۱۰ تا ۱۵۳۳ درجه سانتی گراد است. ضریب شکست این ماده ۱/۵۲۴ تا ۱/۵۸۴ بوده و هیچ کدام از کاشی های محتوی فلدسپات به صورت خالص در طبیعت وجود ندارند. فلدسپات های پتاسیک همواره حاوی مقادیری فلدسپات سدیک و بالعکس فلدسپات سدیک همیشه مقادیری فلدسپات پتاسیم را در ترکیب خود دارد.

فلدسپات ها به عنوان گداز آور جزو بسیاری از محصولات سرامیکی استفاده می شوند و خاصیت پلاستیک ندارند. ناخالصی های آن ها معمولاً میکا و به خصوص کوارتز و البته اکسید آهن است که باید کمتر از ۰/۲ درصد باشد. میزان اکسید آهن در ترکیب فلدسپات های تجاری بین ۰/۴ تا ۰/۱۵ بوده و مقادیر کمتری ناخالصی متزیتم نیز دارد. میزان کوارتز آزاد بسته به نوع محصول می تواند بین ۰/۴ تا ۴۰ درصد متغیر باشد. هر چقدر میزان کوارتز آزاد ترکیب بالاتر باشد دمای ذوب بالاتر رفته و جزو نتیجه خصوصیات گداز آوری محصول کاشی می باشد.

جدول ۲-۱ فرمول شیمیایی و نقطه ذوب این کاشی ها را نشان می دهد. با توجه به اطلاعات این جدول و تجارب به دست آمده در ایران می توان گفت که به ندرت در معادن خوب فلدسپات - مجموع مقادیر سدیم و پتاسیم به بیش از ۱۱ درصد می رسد و اندازه ذرات مورد استفاده نیز معمولاً زیر ۷۵ میکرون است. فلدسپات پتاسیک گداز آور ضعیف تری نسبت به فلدسپات سدیک است. اما فلدسپات پتاسیک نقطه ذوب نامتجانس و حرارت کمتری دارد. این ماده بطور ناگهانی ذوب نمی شود و ابتدا به مذاب و بلورهای لوسایت (Lusite) تبدیل می شود و به همین دلیل از تغییر فرم بدنه جلوگیری می کند. با افزایش

دما، لوسایت نیز به تدریج ذوب خواهد شد. اضافه کردن فلدسپات، ضریب انبساط حرارتی را در بدنه کاهش می دهد و به همین دلیل از تغییر فرم و تحذب بیش از حد پسنگویت لغات خورده جلوگیری می کند. نعلین گداز آوری قوی تر و البته گران تر است. همچنین این ماده، اکسید البومینیم بیشتری را در فرمول بدنه می کند و در نتیجه وینکوزیت را افزایش داده و مقاومت شیمیایی را نیز بهبود می بخشد. با افزایش دما، فلدسپات فعال تر شده و ابتدا شروع به حل کردن رس

جدول ۴- خواص یگای نوع تک خاک کائولن پلاستیک

خواص ماده خام		فرمول شیمیایی (درصد وزنی)	
اندازه ذرات سبز ریز تا چشم غیر ملخص	ماده پر روی الک	۵۹/۱۲	SiO ₂
رنگ: خاکری	۱/۸۲ روی الک ۱۸۰	۲۵/۸۰	Al ₂ O ₃
رطوبت: ۷۱۰٪	۳/۸۰ روی الک ۱۲۵	۰/۴۰	CaO
تولید: CaCO ₃	۶۱۰ روی الک ۶۲	۰/۷۰	MgO
تولید: ۴۵٪	رومی الک ۴۸	۰/۱۰	K ₂ O
تولید: ۱۵٪	نوع ماده باقی مانده روی الک	۱/۰۰	Na ₂ O
تولید: ۲۵٪	کوارتز، کانی های آهن و اندکی فلدسپات	۱/۳۰	Fe ₂ O ₃
تولید: ۱۵٪	فلدسپات	۰/۰۳	TiO ₂
		۰/۱۴	Total Sulfur
		۷/۷۴	Total Carbon
			L.O.I

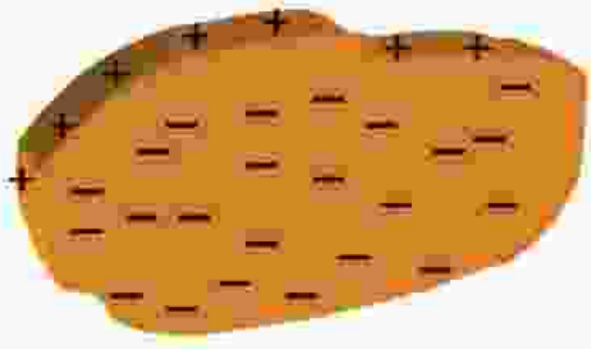
خواص قبل از پخت

۱۱۶۰	استحکام خام (Kg/cm ²)	۳۰۰	فشار پرس (Kg/cm ²)
۳۸۰۰	استحکام خشک (Kg/cm ²)	۵۵۰	رطوبت پور (%)
۰/۷۰	تغیرات معادنی (%)	۱۰۰۰	نسالت پس از پرس (%)

خواص بعد از پخت

نوع کوزه کوزه رولری			
زمان پخت: ۶۰ دقیقه			
۱۱۶۰	۱۱۸۰	۱۱۶۰	۱۱۶۰
۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۳۰	۰/۳۰
۶/۶۰	۴/۵۰	۴/۸۰	۴/۸۰
۳۸۳	۴۵۵	۴۶۵	۴۳۷
رنگ سفید			
شید و لگی: سفید متعادل به صورتی خاکری			
L.O.I در ۱۰۶۰°C: ۷/۶۸			
ضریب انبساط حرارتی (C ⁻¹): ۶۰°C در اینجا اندازه گیری شده است			
White L	White L	White L	White L
قابل اندازه گیری	قابل اندازه گیری	قابل اندازه گیری	قابل اندازه گیری

استفاده نمود آلومینا و زیرکون باعث بهبود رنگ بدنه‌های سفید پرتلاقی می‌شوند. تجلینی که، مقدار بیش از ۵ درصد از آنها بدنه را کابلا سفید می‌کند، بنابراین، از آنها به عنوان سفیدکننده‌های بدنه‌های گرانیتی نیز یاد می‌شود. هر دو ماده مذکور، بنسبت جایگزینی به ازای سیلیس را دارند. جایگزینی آنها به ازای سیلیس، مزایای فراوانی مانند افزایش مقاومت مکانیکی، جلوگیری از ترک خوردن بدنه، بهبود خواص الکتریکی و - را فراهم می‌کند. اما باید به قیمت بالای بدنه نیز توجه داشت. ولانتیته نیز به عنوان منبع تامین کننده کلسیم می‌تواند در لعاب و بدنه استفاده شود.



شکل ۱۲- یک ذره رس با بار کل منفی

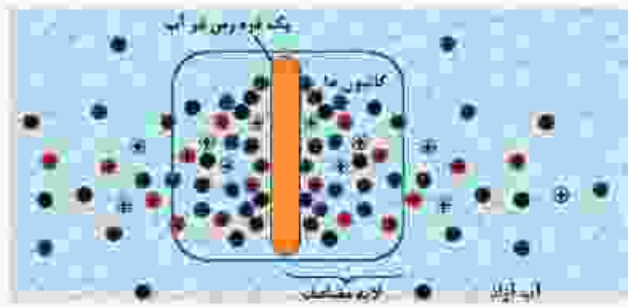
جدول ۵- ظرفیت تبادل یونی و سطح ویژه رس‌ها

نوع گابی	سطح ویژه (m ² /g)	ظرفیت تبادل یونی (meq/100g)
کائولینیت	۹-۲۰	۴۰
ایلیت	۸۰-۱۰۰	۲-۴
مونت مورلونت	۸۰۰	۸۰-۱۲۰
کلرایت	۸۰	۴-۶

۲-۲ انتخاب مواد اولیه و فرمول بدنه

فرمول بدنه ممکن از سه تا هفت نوع ماده اولیه تشکیل شده باشد. فرمول بدنه، بر اساس خواص نهایی مورد نظر و به صورت درصد مواد اولیه و یا فرمول شیمیایی نشان داده می‌شود. به محول مثال در بدنه‌های متخلخل مقادیر کربات‌ها بیشتر است. در حالی که در بدنه‌های با تخلخل اندک، نقش گدازاورها و فلزهای سنگین بیشتر است. وجود کوارتز در اکثر بدنه‌ها، به عنوان اسکلت بدنه ضروری است. درصد مقدار بر رس‌های با پلاستیسیته بیشتر، در افزایش استحکام خام و خشک بدنه، اهمیت فراوانی دارد. در جدول ۲ نمونه‌ای از درصد اجزای سازنده بدنه‌های کاشی دیواره، کف و برسلان آورده شده است. علاوه بر این، جدول ۳ نمونه‌ای از ترکیب شیمیایی بدنه‌های مذکور را نیز نشان می‌دهد.

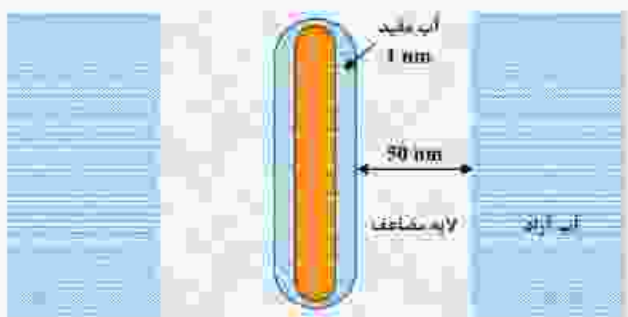
هر خاک بایستی جزئی از ترکیب میرالی و ترکیب شیمیایی فرمول بدنه را تامین نماید. ترکیب میرالی و شیمیایی خاک، معیار خوبی برای انتخاب آن جهت فرمول بدنه است. ترکیب میرالی و شیمیایی خاک-جا را می‌توان به ترتیب با روش‌های پراش پرتو ایکس (XRD) و شیمی تر بدست آورد. البته روش XRF نیز در تعیین فرمول شیمیایی کاربرد دارد؛ اما دقت آن نسبت به روش شیمی کمتر است. فرمول نهایی بدنه را می‌توان با جمع بستن فرمول شیمیایی و میرالی خاک‌ها و در نظر گرفتن درصد هر یک از آنها در فرمول نهایی تعیین رند و طراحی اولیه یا انجام داد. علاوه بر فرمول میرالی و شیمیایی هر خاک، سایر خواص آنها در تعیین درصد مصرف و کاربردشان اهمیت دارد. این خواص عبارتند از: استحکام خام و خشک، رنگ پس از پخت، دمای ذوب و یا پخت، رفتار رئولوژی، درصد رطوبت، میزان ذخیره و یکنواختی صمغ تامین آن و غیره. بنابراین، هنگامی که قرار است یک خاک در فرمول بدنه استفاده شود، آزمون‌های متعددی اسیری می‌کند و نتایج در جدولی مانند جدول ۲-۴ ثبت می‌گردد. تصمیم‌گیری نهایی، با توجه به اطلاعات مندرج در این جدول انجام می‌شود.



شکل ۱۴- یک ذره رس در آب

۲-۵ فرآیند سایش

سایش به منظور کاهش اندازه ذرات مواد اولیه و همچنین همگن‌سازی آنها در دوغاب انجام می‌شود. جهت میل به این هدف، امروزه آسیاب‌های بایبوسته و پیوسته وجود دارند. البته آسیاب بایبوسته به تدریج جای خود را به نوع پیوسته داده است. از نوع آسیاب‌های بایبوسته اغلب در تولید لعاب استفاده می‌شود که در فصول بعدی به آن خواهیم پرداخت. نوع پیوسته از لحاظ برنامه‌ریزی ظرفیت و همچنین نگران بودن دوغاب حاصل، بریت‌بستری دارد. مواد اولیه به همراه روان‌ساز و آب به صورت پیوسته به آسیاب وارد شده و به صورت پیوسته نیز دوغاب از آن خارج می‌شود. کاهش زمان فرآیند، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، عملکرد موثرتر گلوله‌ها و همچنین کاهش نیروی انسانی مورد نیاز، از دیگر برتری‌های آسیاب پیوسته است. شکل ۱۱ دیانگرام فرآیند سایش را نشان می‌دهد. در خروجی آسیاب



شکل ۱۵- لایه مضاعف و مشخصات آن

دوغاب از الک عبور می‌کند تا ذرات درشت جدا شوند. در سیر انتقال دوغاب به مخازن زیرفرینی، آهنرباهای بسیار قوی وجود دارد تا هرگونه آهن موجود در دوغاب را جدا نمایند. این آهنرباهای چرخشی (Drum Magnets) معروف هستند. ورود ناخالصی آهن ممکن است از طریق سنگ شکن، قطعات ماشین‌آلاتی که مواد را جابجا می‌کنند و یا به صورت ترکیب مغناطیسی از مواد اولیه وارد شده باشد. جنس مخففه آسیاب فولادی است و داخلی آن با لاستیک‌های فشرده

پوشیده شده است. علاوه بر حفاظت از محفظه فولادی و بهبود فرآیند سایش، شکل و حجم این استرنی‌ها کمک می‌کند که مواد اولیه به شکل مارپیچی و حرکت یکساخت خاصی در محفظه به جلو روند. شکل ۱۲ تصویری از داخل محفظه آسیاب و شکل و نام استرنی‌های داخلی را نشان می‌دهد.

هنگامی که که دوغاب از آسیاب خارج می‌شود، لازم است که خواص آن کنترل شود. علاوه بر اینکه زبره باید در محدوده مجاز باشد، ویسکوزیته و دانسیته دوغاب نیز اندازه‌گیری می‌شود. نحوه اندازه‌گیری غیر مستقیم ویسکوزیته و همچنین دانسیته دوغاب به شرح ذیل است:

۱- ویسکوزیته دوغاب: برای تخمین و برآوردی از ویسکوزیته دوغاب در کارخانه‌های کالیبی از اندازه‌گیری زمان ریزش دوغاب استفاده می‌شود. برای این منظور از یک ظرف به نام فورداکاپ (Ford Cup) استفاده می‌شود که دارای حجم ۱۰۰ سی‌سی است و قطر سوراخ نازل خروجی آن ۴ mm است. زمان خروج دوغاب از این ظرف، معیاری برای تعیین ویسکوزیته دوغاب خواهد بود. بطور مثال، معمولاً ۲۵-۲۰ ثانیه طول خواهد کشید که دوغاب بدنه از فورداکاپ خارج شود.

۲- دانسیته دوغاب: برای تعیین دانسیته دوغاب از طرف فولادی شربناری با حجم ۱۰۰ میلی لیتر استفاده می‌شود. این ظرف پیکنومتر (Pycnometer) نیز نامیده می‌شود. دوغاب در داخل آن ریخته شده و وزن دوغاب تقسیم بر حجم ظرف، دانسیته را مشخص می‌کند. وزن ظرف معمولاً ۲۰۰ گرم است و دانسیته‌ای که برای دوغاب‌های بدنه بدست می‌آید معمولاً در حدود ۱۶۲۰-۱۵۵۰ g/lit می‌باشد. بدیهی است، هر قدر مقدار دانسیته بیشتر و ویسکوزیته کمتر باشد، خواص جریان دوغاب بهتر تلقی می‌شود و در نهایت گر تاولی با کیفیت بهتر تولید خواهد شد البته لازم به ذکر است که مقدار زبره، دانسیته و ویسکوزیته بدنه به شرایط تولید، نوع مواد اولیه و نوع محصول نهایی بسیار متفاوت است.

۳- زبره برای اندازه‌گیری آن می‌توان از ۱۰۰ سی‌سی دوغاب استفاده نمود و مقدار مانده روی الک را برحسب درصد گزارش کرد. میزان مجاز زبره تقریباً به نوع کاشی معمولاً در حدود ۵-۸ درصد (کاشی دیوار)، ۱۰-۱۵ درصد (کاشی کف) و ۱۸-۲۰ درصد (کاشی پرس‌لان) متغیر است.

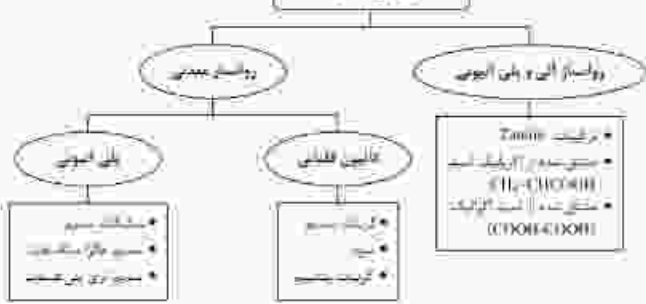
۲-۶ تعاریف ویژه و رفتار مواد اولیه در آب

همان‌طور که اشاره شد هدف در تهیه دوغاب بدنه رسیدن به بیشترین دانسیته و کمترین ویسکوزیته است. البته این هدف باید ظوری نیست. تسود که هیچ‌گونه رسوبی از مواد اولیه در آسیاب، مخازن زبره‌ریزی و مجاری انتقال دوغاب اتفاق نیافتد. به عبارت دیگر، بیشترین مقدار مواد اولیه را ظوری نماییم که ذرات در دوغاب حاصله به صورت کاملاً معلق و پایدار باشند. این مهم بدون استفاده از روان‌سازها ممکن نیست و انتخاب و استفاده از روان‌ساز مناسب نیاز به شناخت دقیق از رفتار مواد اولیه در آب دارد. در گذشته نیز بیان شد که معمولاً مواد رسی با آب وارد می‌آیند. فیزیکی و شیمیایی می‌شوند و مواد غیر پلاستیکی، به صورت ذرات خنثی در دوغاب فرس می‌شوند. در ادامه به ویژگی‌های رس‌ها که رفتار دوغاب را تحت تأثیر قرار می‌دهند و همچنین می‌توانند آنها یا آب می‌پردازیم.

۲-۶-۱ سطح ویژه (Specific Surface)

عبارت است از میزان سطح آزاد رس برای واحد حجم آن. معمولاً بر حسب متر مربع بر گرم (g/m²) بیان می‌شود. هر قدر ذرات رس ریزتر

انواع روان‌سازها



شکل ۱۶- انواع روان‌سازها

جدول ۶- پتانسیل زتا در مورد کاتیون‌های مختلف در لایه مضاعف

نوع کاتیون مفید در لایه مضاعف	پتانسیل زتا (volts)
Ca ²⁺	-۰/۰۱
H ⁺	-۰/۰۷
Mg ²⁺	-۰/۰۴
Na ⁺	-۰/۰۶

باشند این عدد بزرگ‌تر است.

۲-۶-۲ جانشینی ایزومرفی (Isomorphous Substitution)

همان‌طور که اشاره شد، ممکن است کاتیون‌های بیگانه در ساختار رس وارد و جایگزین شوند. جایگزین شدن کاتیون‌های دارای ظرفیت کمتر با کاتیون‌های با ظرفیت بیشتر، باعث می‌شود که بار کلی رس منفی گردد. به عنوان مثال، زمانی که Al³⁺ جایگزین Si⁴⁺ می‌شود و یا کاتیون‌های Fe²⁺، Fe³⁺ و Mg²⁺ و غیره، جایگزین Al³⁺ شوند. تعادل بارها در رس به هم خورده و بار سطوح ذرات رس منفی می‌شود. در این حالت، اضافه شدن کاتیون‌های تک ظرفیتی مانند K⁺ یا Na⁺ بار را خنثی می‌کند و یا رس جهت خنثی شدن، مجبور است به جذب سطحی کاتیون‌ها از محیط تن بدهد. بدیده جذب سطحی اهمیت فراوانی در سازوکار روان‌سازی خواهد داشت؛ زیرا زمانی که رس در محیط آبی قرار می‌گیرد، کاتیون‌های جذب سطحی شده، به راحتی وارد آب می‌شوند و رس مجدداً بارش منفی می‌گردد. علاوه بر این، سطوح شکسته رس نیز باعث تغییر تعادل بار در آن شده و بار مثبت لب‌ها را باعث می‌شود اما به دلیل بزرگ‌تر بودن سطح سطوح رس در مقایسه با لب‌های آن، بار کل رس در نهایت منفی می‌شود. شکل ۱۳ یک ذره رس را نشان می‌دهد که بار کلی آن منفی است.

۲-۶-۳ ظرفیت تبادل یونی (Cation Exchange Capacity)

ذره‌ای که دارای بار منفی است، تمایل خواهد داشت تا ذرات با بار مثبت درون آب را جذب کند. به میزان تمایل رس در جذب کاتیون‌های موجود در آب ظرفیت تبادل یونی گفته می‌شود و واحد آن میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم (۱۰۰ g/meq) است. تمایل رس به جذب کاتیون‌هایی با بار بیشتر و شعاع یونی کمتر، بیشتر است. ترتیب تمایل به جذب کاتیون‌ها در محلول آبی برای یک ذره رس به شرح ذیل می‌باشد:

میدان الکتریکی زیاد به لبه‌های مثبت ذرات رس، بار خالص منفی، رس افزایش می‌یابد. در نتیجه این عمل پتانسیل زتا منفی تر و دافعه بین ذرات بیشتر می‌شود.

۴- افزایش بار منفی کل سیستم (مایع - جامد) به کمک ذرات غیر یونی یا بار منفی.

۵- اضافه کردن کلونیدهای حفاظتی، که ذرات معلق را از عملکرد منعقد کننده‌ها حفاظت می‌کند.

۶- حذف عوامل منعقد کننده به دو روش ذیل:

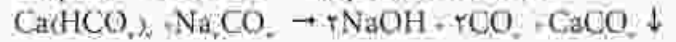
۱. رسوب دادن آن‌ها



۲. از طریق تشکیل کمپلکس‌هایی مانند $[\text{XAlB}]$ که در این ترکیب X می‌تواند Ca^{2+} ، Fe^{3+} و B از انواع پلی فسفات‌ها باشد. در ادامه بطور مختصر توضیحاتی در خصوص انواع خاصی از روان سازها به همراه سازوکار عملکرد آنها ارائه می‌شود.

۲-۷-۱- کربنات سدیم (Na_2CO_3)

کربنات سدیم باعث رسوب یون مزاحم و منعقد کننده Ca^{2+} می‌شود. سدیم نیز با نفوذ به لایه مضاعف پتانسیل زتا را منفی تر می‌کند. واکنش‌ها بصورت ذیل انجام می‌شود:



۲-۷-۲- سیلیکات سدیم ($\text{Na}_2\text{O} - n\text{SiO}_2$)

سیلیکات سدیم به راحتی در آب هیدرولیز می‌شود و پلی واکنش ذیل، pH را به ۱۱ رسانده و یون های Na^+ و OH^- و کلونیدهای سیلیسیم در محیط آزاد می‌کند.



سیلیکات سدیم خاصیت چسبندگی نیز دارد و استحکام تر و خشک، را افزایش می‌دهد. این ماده به نحو مناسبی، فرآیند روان سازی را به کمک ۴ سازوکار از ۶ سازوکار قبل (موارد ۱، ۲، ۵، ۶) بهبود می‌بخشد. این ماده، در مقایسه با سایر روان سازها ارزان است و استفاده از آن باعث کاهش قیمت تمام شده می‌گردد. قدرت روان سازی بالایی دارد و مشکلات ناشی از تشکیل رسوب را ایجاد نمی‌کند. مصرف آن در حدود ۰/۶-۰/۲ درصد وزنی است.

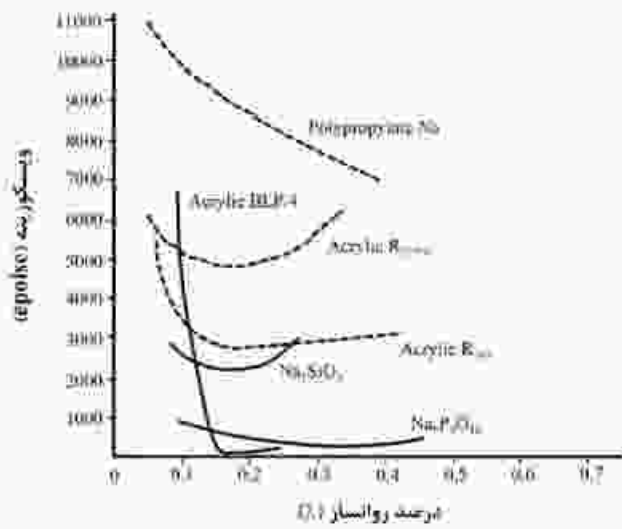
در اینجا جا دارد به این نکته اشاره گردد که سیلیکات سدیم به طور کلی براساس نسبت $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ تقسیم بندی شده و بر این اساس در صنایع مختلف کاربرد دارد. در جدول ۷ نسبت‌ها و کاربردهای مختلف سیلیکات سدیم آورده شده است.

همانطور که از جدول بر می آید، سیلیکات سدیم مورد استفاده در صنایع کاشی-سرامیک در محدوده ۰/۶-۰/۲ میلشد که خود بر اساس انواع رایج به سه دسته زیر تقسیم می‌گردد:

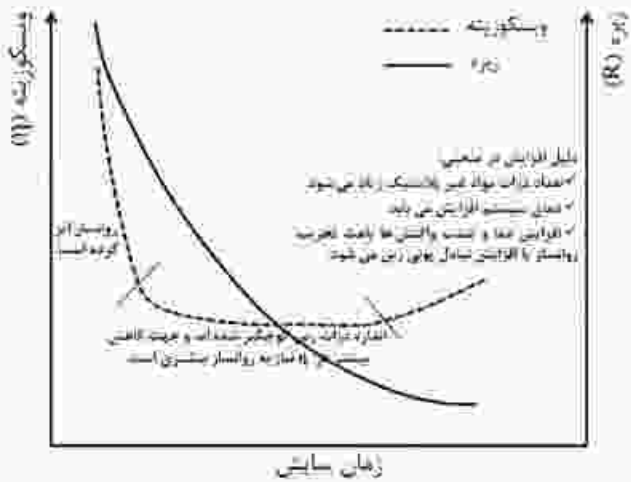
۱. سیلیکات سدیم با نسبت ۰/۱/۳± و با غلظت حدود ۴۷ درصد

۲. سیلیکات سدیم مایع (الکالین) با نسبت ۰/۱/۲± و غلظت حدود ۴۰ درصد

۳. ترکیبات پودر بنامناسیلیکات سدیم به صورت جامد



شکل ۲-۱۸ تغییرات ویسکوزیته بر حسب درصد روان ساز



شکل ۲-۱۹ رابطه بین ویسکوزیته و زبره بر حسب زمان سایش

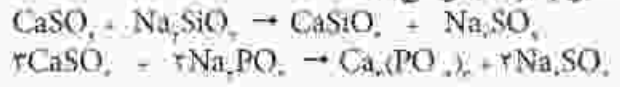
۲-۷-۳- فسفات‌ها و پلی فسفات‌ها

روان سازهای مهمی مانند سدیم هگزامتافسفات ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$) و تری پلی فسفات سدیم ($\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$) بسیار شناخته شده‌اند. یون‌های سفید رنگ از جمله یون‌هایی هستند که ترجیح می‌دهند به ذرات رس چسبیده و بار منفی آن را افزایش دهند. از این طریق، قدر مطلق پتانسیل زتا نیز افزایش می‌یابد. همچنین این اینیون‌ها، می‌توانند یون‌های مزاحم که باعث انعقاد می‌شوند را جذب کرده و با آنها کمپلکس‌هایی به فرمول $[\text{Ca}_3\text{P}_3\text{O}_{10}]^{3-}$ و $[\text{Ca}_6\text{P}_6\text{O}_{18}]^{6-}$ تشکیل دهند علاوه بر دو سازوکار، حضور Na^+ نیز پتانسیل زتا را منفی تر می‌کند. ویسکوزیته دوغاب‌های روان تشنه با پلی فسفات‌ها، با گذشت زمان و افزایش دما، افزایش می‌یابد. این پدیده ممکن است ناشی از تجزیه فسفات‌ها و واکنش ناخواسته آنها باشد.

۲-۷-۴- کربنات باریم (BaCO_3)

سولفات‌ها (SO_4^{2-}) برای روان سازی بسیار مضر هستند و قدر مطلق پتانسیل زتا را کاهش می‌دهند. تشکیل سولفات سدیم که

از واکنش با سیلیکات‌ها و فسفات‌ها تالی می‌شود، راندمان روان‌سازی را کاهش خواهد داد. این اتفاق طی واکنش‌های ذیل رخ می‌دهد و سولفور غار در نهایت بصورت یون در دوغاب باقی می‌ماند و همان‌طور که اشاره شد پتانسیل رتا را کاهش می‌دهد.



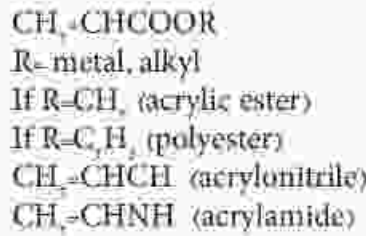
پلیمر این جهت رسوب دادن سولفات سدیم می‌توان از کربنات باریوم و پیلرید واکنش ذیل استفاده نمود.



حلالیت کربنات باریوم محدود است و باید به میزان مورد نیاز جهت رسوب سولفات‌ها استفاده شود. این ماده بایستی قبل از سایر روان‌سازها به دوغاب اضافه شود و مقدار مصرف آن بین ۰.۸-۰.۲ درصد است.

۲-۷-۵ روان‌سازهای آلی مانند مشتقات اکریلیک (Acrylic)

این مواد از اسید اکریلیک ($\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$) بدست می‌آیند. یون‌های Na^+ ، NH_4^+ به راحتی می‌توانند جایگزین هیدروژن شوند و نقش روان‌سازی ایفا کنند. ترکیبات دیگری که یک سر الی (R) دارند نیز قابل توجه‌اند. این ترکیبات به راحتی توسط نوره، دما و پروکسیدها پلیمره می‌شوند و عبارتند از:



اسیدهای پلی‌اکریلیک‌ها در آب اندکی حل می‌شوند اما سایر ترکیبات اکریلیکی، غیر محلول در آب هستند البته کاتیون پلی‌اکریلیک‌ها در آب به راحتی حل می‌شود. ترکیباتی که طول زنجیره آنها زیاد است به دلیل ایجاد ممانعت فضایی بیش از حد زیاد خواهند کرد خاصیت منعقدکنندگی خواهند داشت. زنجیره‌های آمیونی به قدرت رس می‌چسبند و علاوه بر ایجاد خاصیت کلونیدی، بار منفی آن را نیز افزایش می‌دهند. شکل ۱۷ مابین شیمانیتک از اتصال یک زنجیره آلی به رس را نشان می‌دهد.

۲-۷-۶ روان‌سازهای آلی از مشتقات آمونیوم و اسید اگزالیک

ترکیبات متیل امیوادی اتیل امیوادی که در آنها یک رادیکال R با آمونیوم ترکیب شده است، نیز خاصیت روان‌سازی دارند. البته این ترکیبات به قدرت استفاده می‌شوند. مقدار اندکی از نمک‌های سدیم و آمونیوم مشتق شده از اسید اگزالیک COOH-COOH نیز خاصیت روان‌سازی دارند. این ترکیبات باعث رسوب Ca^{2+} می‌شوند.

سایر روان‌سازها مانند نمک‌های سدیم از اسیدهای پلیمره شده انجیل-بفالین-سولفونیک که pHهایی حدود ۵-۱۰ ایجاد می‌کنند نیز قابل استفاده هستند. کربوکسی متیل سلولوز (CMC) به عنوان جنب در صنعت سرامیک استفاده می‌شود. اما خاصیت روان‌سازی آن از طریق اتصال به ذرات و افزایش بار منفی آنها را نباید غماوش شود. CMCهایی که درجه پلیمره شدن آنها کمتر است، خاصیت روان‌کنندگی بیشتری دارند. اکنون با توجه به شناختی که از انواع روان‌سازها و نحوه عملکرد آنها پیدا کردیم، به چگونگی استفاده از آنها در صنعت می‌پردازیم.

۲-۸ آزمون‌های کنترل کیفیت و سنجش رئولوژی

آزمون‌های کنترلی در این بخش را می‌توان به سه گروه ذیل تقسیم کرد:

الف- کنترل مواد اولیه.

الف- شیمیایی، میرالی، درصد رطوبت و خواص دیگر. بایستی مطابق با جدول ۲-۴ ثبت و کنترل شود.

ب- کنترل روان‌سازها و سایر افزودنی‌ها.

اگرچه ممکن است، انجام آزمون‌های دقیق در مورد مواد شیمیایی آلی و غیر آلی در صنعت کاشی، زمان‌بر و مشکل باشد؛ اما استفاده از این مواد در عیاس آزمایشگاهی و مقایسه آنها با نمونه‌های مرجع، معیار خوبی در سنجش کیفیت آنها خواهد بود. در این حالت بهتر است، تا جایی که ممکن است آزمون‌های آزمایشگاهی به شرایط تولید شباهت داشته باشد.

ج- کنترل رفتار جریان دوغاب و سایر منفرها.

رئولوژی دوغاب را می‌توان با کنترل ذالسیته و ویسکوزیته دوغاب و در بازه‌های زمانی مشخص، سریعاً کنترل و بررسی کرد. تا در محدوده مجاز باشد البته امروزه دستگاه ویسکوزیتر چرخشی (Rotational Viscosimeter) نیز در صنعت کاربرد فراوانی دارد و معمولاً در طراحی فرمول، سنجش رفتار خاک و روان‌سازها، تاثیر متغیرهای اسباب و غیره استفاده می‌شود. به کمک این دستگاه می‌توان نمودارهایی تغییر ویسکوزیته بر حسب دما و زمان اسباب را رسم نمود و اطلاعات مفیدی را از آن استخراج کرد. به عنوان مثال، شکل ۱۸ تغییرات ویسکوزیته بر حسب مقدار روان‌ساز را نشان می‌دهد. این منحنی‌ها به کمک ویسکوزیتر چرخشی رسم شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، افزایش روان‌ساز از یک حد به بعد، باعث افزایش ویسکوزیته شده است. این پدیده را بیش‌روان‌سازی (Overdeflocculation) می‌نامند و بایستی از آن بپرهیز شود. با توجه به شکل مذکور به نظر می‌رسد که روان‌سازهای آلی به بیش‌روان‌سازی حساسیت کمتری دارند.

علاوه بر این، می‌توان تغییرات ویسکوزیته بر حسب زمان سایش را نیز به کمک دستگاه ویسکوزیتر چرخشی بررسی کرده و منحنی مانند شکل ۱۹ را رسم نمود. در این منحنی مقدار روان‌ساز ثابت است و پدیده‌هایی که با گذشت زمان در حین اسباب اتفاق می‌افتد نیز در شکل توضیح داده شده‌اند.

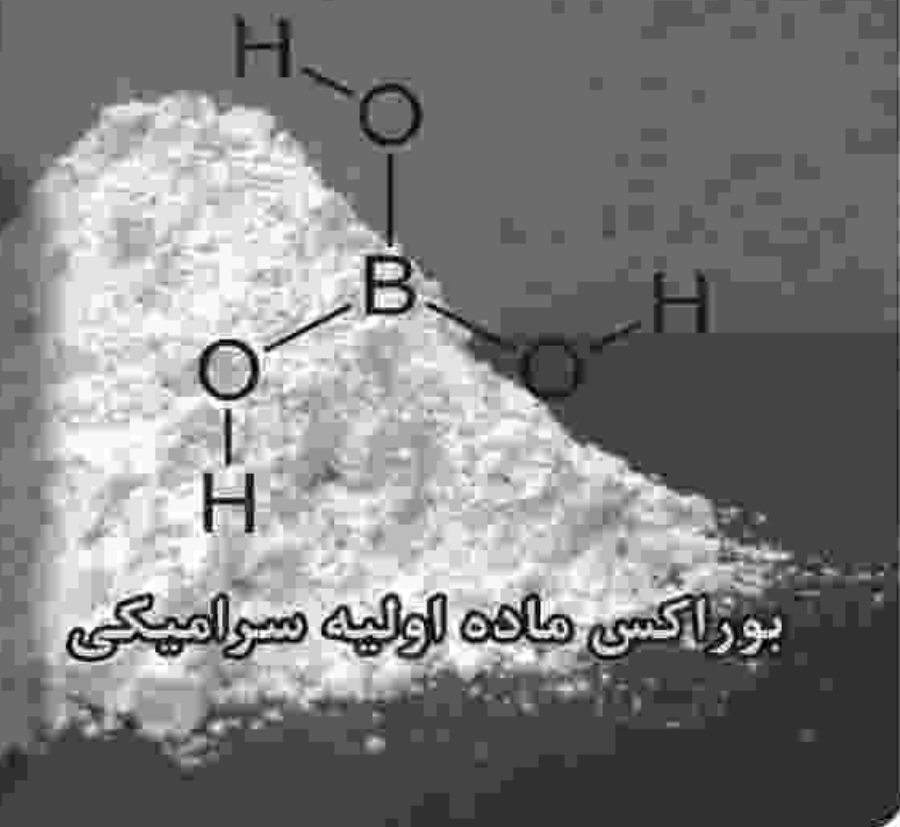
همان‌طور که در شکل ۱۹ ملاحظه می‌شود، افزایش دمای دوغاب در روان‌سازی مشکل ایجاد خواهد کرد؛ زیرا باعث افزایش تبادل یونی رس و یا تخریب روان‌ساز می‌شود. فرایند سایش، مستقیماً بر دمای آب و اندازه ذرات مواد اولیه تاثیر گذار است. افزایش زمان سایش باعث افزایش دمای آب، کاهش اندازه ذرات و حل شدن بیشتر نمک‌های محلول می‌شود که چون باعث افزایش ظرفیت تبادل یونی رس شده و رئولوژی را شدیداً با افزایش ویسکوزیته تحت تاثیر قرار خواهد داد. در سایش دنده‌های کاشی پرسالاتی که دارای میزان زبره زیر ۱ درصد است، ممکن است دما به بیش از ۶۰ درجه سانتیگراد برسد که خود می‌تواند فرایند روان‌سازی را بسیار دشوار کند.

آب مصرفی سایش نیز بر رئولوژی تاثیر گذار است. بهترین شرایط روان‌سازی با آب مقطر حاصل می‌شود. سایر آب‌ها، حتی اگر تصفیه شده باشند، شامل کاتیون‌های منعقدکننده (کوچک و با بار زیاد) مانند: Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Fe^{2+} ، Fe^{3+} و Al^{3+} می‌باشند.

البته در چنین آنهایی، سایر کاتیون‌ها مانند: K^+ ، Na^+ و NH_4^+ و همچنین آمیونی‌هایی شامل سولفات‌ها، کلریدها، کربنات‌ها، بیگنات‌ها و یورات‌ها نیز حضور دارند. پیشنهاد می‌شود که آزمون‌ها و بازرسی‌های دوره‌ای بر روی آب مصرفی به شرح ذیل انجام شود:

- سنجش pH به کمک pH متر

- هدایت الکتریکی دستگاه ساده و قابل حمل آن وجود ندارد. مقدار آن معیاری از غلظت کاتیون هایدروژن است.
- سختی آب به کمک تیتراسیون غلظت کاتیون های سفید کننده کنترل می شود.
- به کمک روش تیتراسیون غلظت مواد آلی موجود در آب نیز کنترل می شود.



بوراکس ماده اولیه سرامیکی

بوراکس بدون آب یا بوراکس فیوز شده:

این ماده دارای فرمول شیمیایی $2B_2O_3-Na_2O$ است. وزن مولکولی این ماده 201.27 و وزن مخصوص آن 2.36 می باشد. نقطه ذوب بوراکس بدون آب 747 درجه سانتیگراد و در آب محلول است، اما میزان خلالت آن در آب از بوراکس در دمای 30 درجه سانتیگراد کمتر است اما در دمای 60 درجه سانتی گراد تقریباً برابر است. ترکیب شیمیایی آن به صورت تتوریک شامل 30.18 درصد اکسید سدیم و 69.82 درصد اکسید بزر است.

به صورت تتوریک این ماده حاوی آب کریستالی در ساختار خود نمی باشد و میزان آب در آن از 0.5 درصد کمتر می باشد تقریباً 53 واحد از بوراکس بدون آب معادل 100 واحد بوراکس اهدار می باشد. برخلاف بوراکس در حین فرایند ذوب، این ماده یف و ساذ نمی کنند در مواردی که نیاز به مصرف مقدار زیادی بوراکس در ترکیب وجود ندارد استفاده از بوراکس بدون آب منجر به افزایش تولید گردد. به دلیل این که این مواد فشردگی بیشتری دارند، بازده استفاده از این مواد بیشتر بوده و برای ذوب آن زمان کمتری مورد نیاز است. به دلیل وجود تخلخل در بوراکس معمولی، که منجر به ایجاد غایق جراتی در حین پخت می شود، استفاده از بوراکس بدون آب منجر به کاهش میزان مصرف انرژی و همین طور نیاز کمتر به فضا برای نگهداری مواد اولیه و سطح صاف تری در محصول نهایی ایجاد می نماید.

بورات در لعاب به عنوان ماده گدازآور در بدنه های آرتنور و سایر بدنه های سرامیکی مورد مصرف قرار می گیرد. اکسید بزر به همراه سیلیس موجود در ترکیب، اجزای اصلی ترکیب شیشه را تشکیل می دهند. بسته

بوراکس با فرمول شیمیایی $10H_2O-2B_2O_3-Na_2O$ یکی از مواد اولیه مورد مصرف در صنعت سرامیک و لعاب سازی است. وزن مولکولی این ماده 381.4 و وزن مخصوص آن در 25 درجه سانتیگراد 1.72 می باشد. این ماده در آب، اسیدها، گلیکول، گلیسرول و سایر حلال ها حل شده و در مجموع ماده ای نرم با سختی حدود 2 است.

ترکیب تتوریک بوراکس شامل 16.25 درصد اکسید سدیم، 76.51 درصد اسید بوریک و 7.24 درصد آب کریستالی است. این آب کریستالی در طول فرایند تولید و ذوب این ماده به همراه دیگر مواد اولیه سرامیکی خارج شده و در نتیجه 52.74 درصد وزنی ماده از سیستم فراتر ترکیب نهایی بدله باقی می ماند. خلوص ماده تجاری آن می تواند حداقل تا 99.5 درصد باشد. عمده ناخالصی موجود در ماده اصلی معدنی معمولاً مقدار رس و یا نمک های محلول است. بوراکس در فرم کریستال های بزرگ، پودر و یا گرانول در دسترس است. در مدت زمان نگهداری محصول در انبار، اندک اندک بوراکس آب خود را از دست می دهد و بنابراین باید همواره قبل از مصرف میزان درصد آب موجود در ترکیب مجاسه شده و در صورت نیاز به آن آب اضافه شود. ماده دیگری که می تواند جایگزین بوراکس در ترکیب شود پنتاهیدرات تتراورات سدیم است.

این ماده با فرمول مولکولی $5H_2O-2B_2O_3-Na_2O$ و وزن مولکولی 286.6 دارای وزن مخصوص 1.815 در 25 درجه سانتیگراد است. ترکیب معمول این ماده دارای 2.116 تا 2.118 درصد اکسید سدیم و 48.18 تا 48.6 درصد اسید بوریک است. به طور تتوریک 76.4 واحد از این ماده می تواند جایگزین 100 واحد بوراکس شود.



ترکیب خود دارند به دلیل این که کمترین میزان ضریب انبساط حرارتی را دارند، از نظر پایداری حرارتی عملکرد بهتری دارند. در مجموع پایداری حرارتی اصلی‌ترین خصوصیتی است که از شیشه‌ها انتظار می‌رود و لذا مقادیر کمتری اکسید پم برای ایجاد خصوصیات مورد نظر در ترکیب فرمول شیشه مورد مصرف قرار می‌گیرد. بطور متوسط میزان مصرف اکسید بر در شیشه‌ها بین ۰.۱۶ تا ۱.۱۵ درصد است. نا استفاده از اکسید بر در ترکیب قرآینه خوب تسهیل می‌شود و حرارت تولید ۲۰ تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد و اگر این مورد نیز ایجاد نشود با ایجاد کاهش دمای ذوب و کاهش ویسکوزیته شیشه، شاهد کاهش میزان مصرف انرژی و همچنین خوردگی تجهیزات کوره ذوب در سیستم خواهیم بود. بوراکس هم‌چنین باعث کوتاه‌کردن زمان کار شده و بنابراین در ماشین‌آلاتی که با سرعت بالا کار می‌کنند استفاده از این مواد یک ضرورت است.

با توجه به موارد مطرح شده استفاده از مقدار کمی بوراکس در ترکیب شیشه‌های سودالایم می‌تواند منجر به افزایش برافیت، استحکام، پایداری و مقاومت حرارتی شیشه شود. هم‌چنین تعادل شیشه به کریستاله شدن را کاهش می‌دهد. در واحدهای بزرگ شیشه‌سازی استفاده از ۱ تا ۱/۵ درصد اکسید بر جهت رسیدن به بیشترین میزان کارکرد ماشین‌آلات لقمه‌گیری و... رایج است. استفاده از بوراکس معمولاً محدود به کارکردن با باریک نموده و در نتیجه از سرعت‌های بالا برای ماشین‌آلات اتوماتیک تولید بطری جلوگیری می‌نماید.

اکسید بر در ترکیب شیشه برای افزایش استحکام ضربه‌ای و کششی طرف نگهدارنده شیشه نیز بکار برده می‌شود. هم‌چنین باعث کاهش ضریب انبساط و افزایش سرعت تبادل انرژی و استحکام می‌شود. در نهایت استفاده از بوراکس در ترکیب شیشه منجر به افزایش درختش شیشه، رنگ بهتر و سطح خالص‌تر می‌شود. البته اکسید بور به خودی خود بر روی رنگ تاثیر نمی‌گذارد ولی به دلیل این که دمای ذوب کاهش می‌یابد، نیاز به استفاده از دی‌کلروارینر در ترکیب کاهش می‌یابد. شیشه‌های مقاوم نسبت به حرارت فقط شیشه‌سیم می‌تواند به عنوان دی‌کلروارینر مورد مصرف قرار گیرد. اگر میزان جایگزینی اکسید بر با کریات سدیم (سودا) بیش از ۵ درصد باشد شاهد کاهش دمای ذوب شیشه خواهیم بود. هم‌چنین جایگزینی اکسید بر به جای سیلیکا و سودا سرعت ذوب و تصفیه شیشه را افزایش می‌دهد.

به میزان و درصدی که اکسید بر با اکسیدهای فلزی ترکیب می‌شود، تنالیزه رنگی ترکیب بدست آمده می‌تواند متغیر باشد. هم‌چنین با افزودن میزان کمی بوراکس، می‌توان ویسکوزیته لعاب را کاهش داد و ویسکوزیته یک لعاب کاملاً ویسکوز را تصحیح کرد. بوراکس هم‌چنین میزان شیشه در ترکیب لعاب را افزایش داده و دمای تبدیل به فاز شیشه را نیز می‌کاهد. افزایش بوراکس موجب ایجاد عیوبی همانند ناوول، ترک، تغییرات رنگی در رنگ‌های زیرلغابی و پایداری و سایر عیوب گردد. در لعابی که می‌خواهیم مقدار سرب در ترکیب لعاب کم باشد و هم‌زمان می‌خواهیم که دمای پخت لعاب همچنان پایین باشد می‌توان از بوراکس استفاده نمود.

با کاهش میزان بوراکس در ترکیب و فرمول لعاب و اضافه کردن معادل همان میزان سیلیکا در ترکیب لعاب، لعاب سخت‌تر شده، برافیت آن افزایش یافته و ماندگاری لعاب بهبود می‌یابد. افزایش میزان اکسید بر در ترکیب منجر به کاهش ضریب انبساط حرارتی بدنه می‌شود و در نتیجه میزان انعطاف ضریب بدنه و لعاب را می‌توان با ایجاد تغییرات در نسبت اکسید بر و سیلیکا کنترل نمود.

بوراکس هم‌چنین یکی از اجزای اصلی لعاب‌های مینا نیز می‌باشد و میزان آن در ترکیب لعاب مینا برای سطوح زیرین می‌تواند بین ۲۰ تا ۴۵ درصد و برای پوشش سطحی بین ۱۵ تا ۴۰ درصد و برای سیستم فرایند خشک بین ۲۰ تا ۴۵ درصد متغیر باشد. بوراکس در این ترکیبات یکی از اصلی‌ترین مواد ایجاد کننده فلزا گذار آور در ترکیب می‌باشد و به دلیل شدت میزان قدرت ترکیب آن با سایر اجزای ترکیب بدنه می‌تواند سرعت فرایند ذوب را برای ایجاد یک سطح یکپارچه افزایش دهد. این ماده هم‌چنین از نظر خواص حرارتی جهت اتصال لعاب مینا به بدنه فلز تیر یکی از اجزای مهم ترکیب است. بوراکس منجر به کاهش دمای پخت لعاب مینا شده و با ایجاد خاصیت لوستر بالا، استحکام و ناقص مناسب و رنگ‌های درختان به ایجاد خواص مناسب در لعاب مینا کمک می‌نماید. حفزانی که در سطح لعاب مینا بعد از فرایند خشک‌کاری ایجاد می‌شود پس از پخت از بین می‌رود.

بوراکس موجب کاهش میزان ترک در لعاب مینا می‌شود اما اگر میزان آن بیش از حد باشد منجر به ترک و هم‌چنین خزش و کاهش کارکرد خاصیت اپاسینه‌کننده‌های ترکیب لعاب می‌شود.

بوراکس هم‌چنین به عنوان یک ماده ضروری در ترکیب شیشه‌های مقاوم نسبت به حرارت، فیبر شیشه و سایر شیشه‌های ویژه برای ایجاد خواصی چون پایداری حرارتی، مقاومت نسبت به خوردگی و سایر خواص ویژه بکار برده می‌شود. می‌توان گفت شیشه‌هایی که میزان بیشتری اکسید بر در