

# خشک کردن و پختن

# سرامیک ها

(چاپ دوم)

مؤلف: مهندس محمود سالاریه

مدرس دانشگاه آزاد اسلامی - واحد ساوه

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی - واحد ساوه

سرشناسه	: سالاریه ، محمود ، ۱۳۴۱ -
عنوان و نام پدید آور	: خشک کردن و پختن سرامیک ها/ مؤلف محمود سالاریه.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه آزاد اسلامی (ساوه)، ۱۳۸۸ .
مشخصات ظاهری	: ۵۳۱ ص مصور، جدول ، نمودار .
شابک	: ۹۶۴-۹۲۴۲۶-۵-۱
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: <i>Drying &amp; Firing Of Ceramics: By M. Salarieh.</i>
یادداشت	: کتابنامه
موضوع	: سرامیک
شناسه افزوده	: دانشگاه آزاد اسلامی (ساوه)

نام کتاب : خشک کردن و پختن سرامیک ها

تالیف : محمود سالاریه

ویراستار: زهرا کاشانی

طراح جلد : احسان ترکمنی

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه

چاپ دوم : سال ۱۳۸۸

شمارگان : ۱۵۰۰ جلد

قیمت : ۲۵۰۰۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: مرکز نشر کتب دانشگاهی دانشگاه آزاد

حق چاپ: برای دانشگاه آزاد اسلامی

تقدیم به :

همسرم که در سایه تفاهم و با تقبیل زحمات، زمینه

انجام این مهم را برایم هموار نمودند

دل گرچه در این بادیه بسیار شتافت

یک موی ندانست، بسی موی شکافت

گرچه ز دلم هزار خورشید بتافت

آخر به کمال، ذره ای راه نیافت

(ابوسعید ابوالخیر)

## پیشگفتار

کتاب و نوشتار حاصل، نتیجه سال‌ها زحمت و تجربه در صنعت سرامیک و تجارب دانشگاهی با مهندسين بسيارى است که در صنعت ايران عزيز با بنده همکارى داشته اند، به رشته تحرير در آمده است. از آنجائیکه در صنعت سرامیک با تنوع بسیار گسترده ای از مواد اولیه و معادنی با آنالیز متفاوت از مواد روبرو هستیم و تغییرات بی ضابطه در آمیز و فرمول بندی در هر کارخانه ای دردسر آفرین می باشد و تنوع در ضایعات و خسارات غیر قابل باوری برای مدیران سخت کوش، که بسیاری در تلاش برای شناسائی آن هستند که از کجا دچار این همه ضرر به منابع ملی می شوند، تصمیم گرفته ام آنچه که در این صنعت همواره غم نو دارد را جمع بندی کرده و آنچه را که قابل اجرا برای دانشجویان، محققین و صنعتگران می باشد به رشته تحرير در آورم. امید است متخصصین صنایع سرامیک با بکارگیری دانش فنی، هر چه سریعتر صنعت سرامیک را از دست افراد مبتدی خارج تا از خسارت سنگین به بنیه اقتصادی ایران عزیزمان جلوگیری کنند. در بین کلیه عملیات تولیدی در مهندسی سرامیک شاید بتوان گفت که عملیات مربوط به خشک کردن و بدنبال آن پختن مواد و در نهایت تولید محصولات قابل عرضه به بازار بیشترین کاربرد را دارد. به همین دلیل درک مکانیزم خشک کردن مواد یکی از مراحل مهم و حیاتی در فهم صحیح عیوب و ردیابی ریشه مشکلات و ضایعات پس از پخت می باشد. ارتباط تکنولوژی کوره شامل جامدات، مایعات، گازها و ابزار تبدیل این نوع انرژی ها به انرژی گرمایی توسط مشعل ها و نرخ احتراق و محصولات حاصل از واکنش و تاثیر آن بر فرآیند پخت محصولات سرامیکی از اهم درک فرآیند خشک کردن و پختن محصولات سرامیکی است. از آنجائیکه اغلب

کتاب ها در زمینه مهندسی سرامیک، فصل یا بخشی از یک فصل را به عملیات خشک کردن یا پختن سرامیک ها اختصاص داده اند هدف این کتاب ارائه منبعی است که در آن اصول تئوریک خشک کردن یا پختن محصولات به رشته تحریر در آمده و در عین حال، تقریباً در تمامی شاخه های صنایع سرامیک عیوب، کاملاً تجزیه و تحلیل و راهکارهای بهبود و رفع عیوب به ریز مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به این که کتاب فوق از اولین کتب فارسی زبان در زمینه خشک کردن و پختن محصولات سرامیکی می باشد، ممکن است عاری از اشکال نباشد. امید است با ارائه پیشنهادات به پست الکترونیکی [msalarieh2002@yahoo.com](mailto:msalarieh2002@yahoo.com) من را در بهتر ارائه نمودن چاپ های بعدی یاری نمایید.

با تشکر

محمود سالاریه

بهار ۸۸- تهران

..... فصل اول خشک کردن	
..... (۱) خشک کردن	
..... (۱-۱) مکانیزم های انتقال حرارت	
..... (۲-۱-۱) خشک کردن از طریق جابجایی	
..... (۱-۱-۱) خشک کردن از طریق هدایت	
..... (۱-۲) دسته بندی مواد خشک شونده	
..... (۱-۳) پارامتر های مؤثر در خشک کردن	
..... (۱-۳-۱) انتقال حرارت	
..... (۱-۳-۲) محیط خشک کن	
..... (۱-۳-۳) خواص فیزیکی سیستم های جامد	
..... (۱-۳-۴) خواص مواد جامد	
..... (۱-۴) گروه های مختلف آب	
..... (۱-۴-۱) آب پیوندی یا آب تبلور	
..... (۱-۴-۲) آب خلل و فرج (آب تخلخل)	
..... (۱-۴-۳) آب پلاستیسته	
..... (۱-۵-۱) مقدار رطوبت بحرانی	
..... (۱-۵-۲) عوامل مؤثر بر سرعت خروج آب	
..... (۱-۷-۱) تابش الکترومغناطیس	
..... (۱-۵-۳) انقباض تر به خشک	
..... (۱-۵-۴) اندازه گیری انقباض	
..... فصل دوم پخت بدنه	
..... (۲-۱) پختن یا زینترینگ ( <i>Sintering</i> )	
..... (۲-۵) نیروی محرکه زینترینگ	
..... (۲-۵-۱) نیروهای ماکروسکوپی	

- ..... ۲-۵-۲) نیروی محرکه میکروسکوپیک .....
- ..... ۲-۱-۱-۲) مکانیزم های انتقال جرم در زیتترینگ .....
- ..... ۲-۲) انواع زیتترینگ .....
- ..... ۱-۲-۲) زیتترینگ در حالت جامد (*Solid - State Sintering*) .....
- ..... ۲-۲-۲) زیتترینگ در حضور فاز مایع (*Liquid Phase Sintering*) .....
- ..... ۲-۲-۳) زیتترینگ با ویسکوزفلو (*Viscoseflow Sintering*) .....
- ..... ۳-۲) رشد افراطی دانه ها (*Abnormal grain growth*)
- ..... ۲-۶-۲) دیفوزیون سطحی .....
- ..... ۲-۷) تاثیر متغیرهای زیتترینگ .....
- ..... ۲-۸) زیتترینگ تحت فشار .....
- ..... ۲-۹) نیروی محرکه حاصل از اعمال فشار .....
- ..... ۲-۹-۱) نیروی محرکه ناشی از انرژی سطحی .....
- ..... ۲-۱۰) خزش تحت فشار .....
- ..... ۲-۱۱) موانع عمده در برابر حرکت نابجائی در سرامیک ها .....
- ..... ۲-۱۲) مکانیزم های عمده خزش .....
- ..... ۲-۱۲-۱) صعود نابجائی ها .....
- ..... ۲-۱۲-۲) خزش دیفوزیونی .....
- ..... ۲-۱۲-۳) سریدن در مرز دانه ها (خزش مرز دانه ای) .....
- ..... ۲-۱۳) انتخاب پارامترهای پرس گرم .....
- ..... ۲-۱۴) اثر حرارت بر بدنه های سرامیکی .....
- ..... ۲-۱۴-۱) اکسیداسیون .....
- ..... ۲-۱۴-۳) واکنش های تجزیه ای .....
- ..... ۲-۱۴-۵) گازهای محبوس .....
- ..... ۲-۱۴-۶) شیشه ای شدن (*vitrification*) .....
- ..... ۲-۱۴-۷) خنک کردن .....

- ..... ۲-۱۴-۸) مخلوط های ناهمگن
- ..... ۲-۱۴-۹) بیش پخت (*over Firing*)
- ..... فصل سوم پخت لعاب
- ..... ۳) پخت لعاب
- ..... ۳-۱) انواع پخت لعاب
- ..... ۳-۲) فرآیند پخت لعاب
- ..... ۳-۳) واکنش های ناشی از اثر حرارت بر لعاب
- ..... ۳-۳-۱) خشک شدن لعاب (*Drying*)
- ..... ۳-۳-۲) تجزیه و استحاله لعاب (*Ceramic- Change & Decomposition*)
- ..... ۳-۳-۳) ترک موئی (*Dunting*)
- ..... ۳-۳-۴) شروع ذوب لعاب (*Fusion Starts*)
- ..... ۳-۳-۵) شیشه ای شدن لعاب (*Vitrification Continues*)
- ..... ۳-۳-۶) لایه واکنشی لعاب با بدنه (*Integration*)
- ..... ۳-۴) اصطلاح تطابق و تناسب بین لعاب و بدنه (*Dodd*)
- ..... ۳-۵) سرد کردن لعاب (*Cooling*)
- ..... فصل چهارم راهبری کوره
- ..... ۴- اصول اولیه راهبری کوره
- ..... ۴-۱- طراحی منحنی حرارتی در کوره ها
- ..... ۴-۲) مشعل هوای اضافه و کاربرد آن در صنعت (*Excess Air Burner*)
- ..... ۴-۳) عوامل مؤثر در شکل شعله مشعل مخلوط سر نازل (*NOZZLE MIXING*)
- ..... ۴-۳-۱) شکل شعله در مشعل های مایع سوز
- ..... ۴-۳-۲) اثر شعله پخش کن در شکل شعله
- ..... ۴-۳-۳) اثر فشار هوا در ورودی شعله پخش کن
- ..... ۴-۳-۴) شکل شعله در مشعل های گازسوز
- ..... ۴-۳-۴-۱) عوامل مؤثر در شکل شعله مشعل های گازی



- ..... ۲-۴-۳-۴) اثر شعله پخش کن
- ..... ۳-۴-۳-۴) اثر فشار هوای ورودی شعله پخش کن
- ..... ۴-۴) انواع کوره
- ..... ۱-۴-۴-۴) دسته بندی بر اساس روش کار
- ..... ۲-۴-۴-۴) دسته بندی بر اساس مسیر شعله
- ..... ۳-۴-۴-۴) دسته بندی بر اساس حالت شعله
- ..... ۴-۴-۴-۴) دسته بندی بر اساس نوع سوخت
- ..... ۵-۴-۴-۴) دسته بندی بر اساس کاربرد
- ..... ۶-۴-۴-۴) کوره تونلی
- ..... ۱-۴-۴-۶-۴) ساختار کلی کوره تونلی
- ..... ۲-۴-۴-۶-۴) انواع کوره های تونلی و مشخصه های آن ها
- ..... ۷-۴-۴-۴) کوره رولری
- ..... ۸-۴-۴-۴) کوره الکتریکی
- ..... ۱-۴-۴-۸-۴) مشخصه های کوره الکتریکی
- ..... فصل پنجم روش های مختلف اندازه گیری دما
- ..... ۵) روش های مختلف اندازه گیری دما
- ..... ۱-۵) مقدمه
- ..... ۲-۵) اهمیت اندازه گیری دما در بدنه های سرامیکی
- ..... ۳-۵) ترموکوپل *Thermocouple*
- ..... ۱-۳-۵) تئوری اساس کار ترموکوپل ها
- ..... ۲-۳-۵) طرح کلی ساختمان ترموکوپل ها
- ..... ۳-۳-۵) ترموکوپل های دارای المان های پلاتین و پلاتین-رادیم
- ..... ۴-۳-۵) ترموکوپل های دارای المان های پلاتین - رادیم و پلاتین - رادیم
- ..... ۵-۳-۵) ترموکوپل های دارای المان هایی از جنس فلزات پایه
- ..... ۶-۳-۵) ترموکوپل های دارای المان های کرومیل و کوپل

- ..... ۵-۳-۷) ترموکوپل های دارای المان های کرومیل و آلومیل
- ..... ۵-۳-۸) ترموکوپل های دارای المان های سیلیک و سیلین
- ..... ۵-۳-۹) ترموکوپل های دارای المان های مس و کنستانتان
- ..... ۵-۳-۱۰) ترموکوپل های دارای المان های تنگستن، رنیم و مولیبدن
- ..... ۵-۳-۱۱) ترموکوپل دارای المان هایی با ترکیبات دیرگداز
- ..... ۵-۳-۱۲) جزئیات ساختمانی ترموکوپل ها
- ..... ۵-۳-۱۲-۱) چگونگی اتصال المان ها برای تشکیل اتصال گرم
- ..... ۵-۳-۱۳) پوشش سرامیکی المان ها
- ..... ۵-۳-۱۳-۱) پوشش ترموکوپل های فشار اتمسفری و فشار بالا
- ..... ۵-۴) مخروط های آذرسنجی
- ..... ۵-۴-۱) تاریخچه
- ..... ۵-۴-۲) ویژگی، خواص و موارد کاربرد مخروط های آذرسنجی
- ..... ۵-۴-۳) مزایا و محدودیت های مخروط های آذرسنجی
- ..... ۵-۴-۴) آرایش مجموعه مخروط های آذرسنجی
- ..... ۵-۴-۵) انواع، اندازه و طبقه بندی مخروط های آذرسنجی
- ..... ۵-۴-۶) مواد اولیه
- ..... ۵-۴-۷) مراحل مختلف ساخت مخروط های آذرسنجی
- ..... ۵-۴-۸) روش کاربرد و طرز استفاده از مخروط های آذرسنجی
- ..... ۵-۵-۸-۱) تعیین نقطه ذوب مخروط بوسیله مخروط های زگر کوچک
- ..... ۵-۴-۸-۲) مقایسه کیفی مخروط های جدید
- ..... ۵-۴-۸-۳) قرار دادن صحیح و مناسب مخروط ها
- ..... ۵-۴-۹) تعیین نقطه ذوب مخروط
- ..... ۵-۴-۱۰) واکنش های فیزیکی شیمیایی در حرارت دهی مخروط
- ..... ۵-۴-۱۱) عوامل عمده در نرم شدن مخروط آذرسنجی
- ..... ۵-۴-۱۲) عوامل مؤثر بر نرم شدن مخروط های آذرسنجی از لحاظ شرایط استفاده

- .....محل قرار دادن مخروط در کوره.....(۵-۴-۱۲-۱)
- .....چگونگی قرار دادن مخروط در کوره.....(۵-۴-۱۲-۱)
- .....زاویه قرار گرفتن مخروط روی نشیمنگاه.....(۵-۴-۱۲-۲)
- .....ارتفاع مخروط از روی نشیمنگاه.....(۵-۴-۱۲-۳)
- .....کیفیت مواد نشیمنگاه.....(۵-۴-۱۲-۴)
- .....سوختن چسب آلی (*Organic Gluing Agent*).....(۵-۴-۱۲-۵)
- .....خروج رطوبت و دی اکسید کربن.....(۵-۴-۱۲-۶)
- .....سرعت افزایش دما و پدیده انجماد.....(۵-۴-۱۲-۷)
- .....اتمفسفر.....(۵-۴-۱۲-۸)
- .....انواع خطاهای حین اندازه گیری دما بوسیله مخروط های آذرسنجی.....(۵-۴-۱۳)
- .....نصب و جا سازی ناصحیح آذرسنج ها.....(۵-۴-۱۳-۱)
- .....فقدان هوا.....(۵-۴-۱۳-۲)
- .....وجود گاز های گوگردی.....(۵-۴-۱۳-۳)
- .....گرم کردن سریع.....(۵-۴-۱۳-۴)
- .....فصل ششم چیدمان در کوره (*Kiln Furniture*).....
- .....وسایل مخصوص چیدمان در کوره (*Kiln Furniture*).....(۶)
- .....ساگار و ستر (*setter Saggars*) و علت استفاده از ساگار و ستر.....(۶-۲)
- .....انواع و موارد مصرف ساگار و ستر.....(۶-۲-۱)
- .....وسایل و روش های مخصوص چیدن محصولات در کوره (براساس نوع بدنه).....(۶-۳)
- .....نحوه چیدن ارتن ور (سفالینه ها) (*Erthen ware*).....(۶-۳-۱)
- .....روش چیدن پرسلان نرم (*soft porcelain*).....(۶-۳-۳)
- .....روش چیدن پرسلان سخت (*hard porcelain*).....(۶-۳-۴)
- .....روش چیدن بدنه لعاب دار (*Glazed body*).....(۶-۳-۴)
- .....چیدن ظروف سفره تخت (*Table ware*).....(۶-۳-۵)
- .....چیدن بدنه های توگرد.....(۶-۳-۶)

- .....چیدن کاشی (Tile) (۶-۳-۷)
- .....چیدن مجسمه یا قطعات هنری (Art ware) (۶-۳-۹)
- .....مواد مناسب برای ساخت ساگار ، ستر و وسایل نسوز چیدن مواد در کوره (۶-۴)
- .....ترکیب ساگارها (۶-۵)
- .....فصل هفتم چینی مظروف
- .....مشکلات موجود در بیسکویت چینی مظروف (۷)
- .....تاب برداشتن بدنه (۷-۱)
- .....گرادیان دمائی (۷-۱-۱)
- .....جهت گیری ترجیحی ذرات فلسی شکل رسی (۷-۱-۲)
- .....نیروی اصطکاک بین بدنه و ستر (۷-۱-۳)
- .....طراحی شکل ها (۷-۱-۴)
- .....روش های چیدن (۷-۱-۵)
- .....پیدایش خطوط یا نوار های سیاه در چینی مظروف (۷-۲)
- .....لکه یا خال در چینی مظروف (۷-۲)
- .....راه های رفع لکه در چینی مظروف (۷-۲-۱)
- .....ترک های بوجود آمده در اثر حرارت در چینی مظروف (۷-۴)
- .....لبه های آبی بر روی قطعات پخته شده در چینی مظروف (۷-۵)
- .....ایجاد رنگ زننده در چینی مظروف (۷-۶)
- .....تاول زدگی در چینی مظروف (۷-۷)
- .....متفاوت بودن جذب آب در چینی مظروف (۷-۸)
- .....محصولات تابیده چینی مظروف (۷-۹)
- .....خمیدگی پایه به هنگام پخت بیسکویت در چینی مظروف (۷-۱۰)
- .....ترک های ایجاد شده در اثر خنک کردن در چینی مظروف (۷-۱۱)
- .....چسبیدن یک قطعه به صفحه زیرین در چینی مظروف (۷-۱۲)
- .....ریزش یا خرد شدن لبه ها در چینی مظروف (۷-۱۳)

- فصل هشتم محصولات تک پختی.....
- ۸) روش های پیشنهادی برای اصلاح نواقص محصولات تک پختی.....
- ۸-۱) ترک های ایجاد شده در خشک کن محصولات تک پختی.....
- ۸-۲) ترک های پیش گرم کن کوره محصولات تک پختی.....
- ۸-۲-۱) قاج یا ترک بزرگ محصولات تک پختی.....
- ۸-۳) خطوط سیاه یا آبی رنگ محصولات تک پختی.....
- ۸-۴) تابیدگی محصولات تک پختی.....
- ۸-۵) لکه یا نوار قهوه ای رنگ در محل ورودی دوغاب محصولات تک پختی.....
- ۸-۶) لک (خال) محصولات تک پختی.....
- ۸-۷) تاول زدگی لعاب.....
- ۸-۸) بریدگی لعاب محصولات تک پختی.....
- ۸-۹) لعاب زبر یا کدر محصولات تک پختی.....
- ۸-۱۱) ریزش از سقف (چکه نمودن از سقف کوره) محصولات تک پختی.....
- ۸-۱۲) تیره شدن رنگ سبز لعاب محصولات تک پختی.....
- ۸-۱۳) ریزش و خرد شدن لعاب محصولات تک پختی.....
- ۸-۱۴-۱) منشاء سوزنی بدنه و پین هول لعاب محصولات تک پختی.....
- ۸-۱۴-۲) سوزنی بدنه و عامل های موثر در چینی بهداشتی.....
- ۸-۱۴-۳) حرکت سیالات در لوله ها:.....
- ۸-۱۴-۳) افت فشار در لوله ها.....
- ۸-۱۴-۳-۱) افت فشار محلی.....
- ۸-۱۴-۴) پین هول در چینی بهداشتی.....
- ۸-۱۴-۵) عامل های موثر در سوزنی در چینی بهداشتی.....
- ۸-۱۴-۵-۱) حفرات و سوزنی غیر مدور در بدنه.....
- ۸-۱۴-۵-۲) حفرات مدور با سطوح هموزن در چینی بهداشتی.....
- ۸-۱۴-۶) عامل های موثر در پین هول در چینی بهداشتی.....

- .....(۸-۱۴-۷) اثر کرنات کلسیم و دامنه حرارتی
- .....(۸-۱۴-۸) اثر آمیز بدنه روی پین هول چینی بهداشتی
- .....(۸-۱۴-۹) نتیجه گیری
- .....(۸-۱۴-۹-۱) سوزنی شدن سطح بدنه لعاب دار
- .....(۸-۱۴-۹-۲) پین هول در سطح لعاب دار
- .....(۸-۱۵) ترک شبکه ای لعاب
- .....(۸-۱۶) ترک موئی
- ..... فصل نهم کاشی
- .....(۹-۱) تعاریفی در مورد کاشی
- .....(۹-۱-۱) ارتن ور (*earthenware*)
- .....(۹-۱-۲) کاشی
- .....(۹-۱-۳) کاشی دیواری
- .....(۹-۱-۴) کاشی کف
- .....(۹-۱-۵) انگوب
- .....(۹-۱-۶) کاشی تک پختی
- .....(۹-۱-۷) کاشی دو پختی
- .....(۹-۱-۸) پخت بیسکویت
- .....(۹-۱-۹) رسی ها
- .....(۹-۱-۱۰) پخت کاشی
- .....(۸-۱-۱۱) نفوذ پذیری کاشی
- .....(۹-۱-۱۲) جذب آب در کاشی
- .....(۹-۲) ترک بدنه در کاشی
- .....(۹-۲-۱) عوامل ایجاد قاچ خوردگی در کاشی
- .....(۹-۲-۲) بهبود قاچ خوردگی کاشی
- .....(۹-۳) متورم شدن یا بادکردن بدنه کاشی (*bloating*)

- ..... ۹-۳-۱) راه حل متورم نشدن
- ..... ۹-۴) دو پوست یا لایه ای شدن در کاشی (*Lamination*)
- ..... ۹-۴-۱) روش مشاهده عیب دو پوسته ای شدن در کاشی
- ..... ۹-۴-۲) روش های محاسبه استحکام مکانیکی برای میزان دو پوستی
- ..... ۹-۴-۳) تعیین ضریب شکست ترک در کاشی (*Brittle-Fracture Index*) *BFI*
- ..... ۹-۴-۴) محاسبه رفتار الاستو - پلاستیکی برای دو پوستی
- ..... ۹-۴-۵) ضریب لایه ای شدن در کاشی (*Lamination- Index*)
- ..... ۹-۴-۶) عوامل ایجاد عیب لایه ای شدن در کاشی
- ..... ۹-۴-۶-۱) دانه بندی و رطوبت در کاشی
- ..... ۹-۴-۶-۲) مسائل ضربات اول و دوم و زمان ضربه اول
- ..... ۹-۴-۶-۳) طراحی و ساخت قالب در کاشی
- ..... ۹-۵) عیب تابدار شدن بدنه در کاشی (*Warped Ware*)
- ..... ۹-۵-۱) اثر پلاستیسیته در تاب کاشی
- ..... ۹-۵-۲) تاثیر میزان آب دوغاب در تاب کاشی
- ..... ۹-۵-۳) اثر ضخامت بدنه پرس شده در تاب کاشی
- ..... ۹-۵-۴) تاثیر میزان فشار پرس در تاب کاشی
- ..... ۹-۶) عیب ترک بدنه و عوامل ایجاد آن در کاشی (*Cracking*)
- ..... ۹-۶-۱) انقباض خام بیش از حد در کاشی
- ..... ۹-۶-۳) پائین بودن استحکام مکانیکی کاشی های خام
- ..... ۹-۶-۴) پایین بودن استحکام خشک در کاشی
- ..... ۹-۶-۵) کافی نبودن استحکام پخت در کاشی
- ..... ۹-۷) عیب بریدگی لعاب در کاشی (*Crowling*)
- ..... ۹-۷-۱) بریدگی لعاب در کاشی
- ..... ۹-۸) ترک شبکه ای یا شق لعاب در کاشی (*Crazing*)
- ..... ۹-۸-۱) انواع ترک شبکه ای در کاشی

- ۹-۸-۲) طرز پیدایش شبکه ترک در کاشی .....
- ۹-۸-۳) تغییرات مطابق نظریه زگر .....
- ۹-۸-۳-۱) تغییرات در آمیز بدنه .....
- ۹-۸-۳-۲) تغییرات در آمیز لعاب کاشی .....
- ۹-۸-۳-۳) عیب ترک های تأخیری و راه حل آن در کاشی .....
- ۹-۹) پوسته شدن کاشی (*Peeling*) .....
- ۹-۱۰) عیب پین هول در کاشی (*Pinhole*) .....
- ۹-۱۱) جوش و تاول در کاشی (*Blistering*) .....
- ۸-۱۱-۱) راه های رفع آن .....
- ۹-۱۲) لک شدن لعاب در کاشی (*Speeking*) .....
- ۹-۱۳) کم رنگ شدن و رنگ پریدگی در کاشی (*Blurring- Firing Away*) .....
- ۹-۱۳-۱) عوامل موثر بر نوسان رنگ در کاشی .....
- ۹-۱۳-۲) اثر دانسیته یا وزن لیتری لعاب و انگوب روی کاشی .....
- ۹-۱۳-۳) اثر اپک کننده .....
- ۹-۱۳-۴) اثر شرایط پخت در ایجاد نوسان رنگی .....
- ۹-۱۳-۵) حفظ تعادل کوره .....
- ۹-۱۳-۶) اتمسفر نا مطلوب .....
- ۹-۱۳-۷) اثر سایش لعاب .....
- ۹-۱۳-۸) اثر مطابقت رنگ با ترکیب لعاب .....
- ۹-۱۳-۹) جدایش ذرات سوسپانسیون لعاب .....
- ۹-۱۳-۱۰) عوامل موثر در جدایش لعاب .....
- ۹-۱۳-۱۱) تغییر رنگ به علت تبخیر و مات شدگی .....
- ۹-۱۳-۱۲) تغییر رنگ ناشی از تجمع آب (پس از نصب) .....
- ۹-۱۳-۱۳) تغییر رنگ ناشی از مهاجرت .....
- ۹-۱۳-۱۴) تغییر رنگ بوسیله مواد شیمیایی (خرابی رنگ) .....



- ..... فصل دهم ظروف سنگینه
- ..... (10-1) ظروف سنگینه (*Stone Ware*)
- ..... (10-1-1) ترک های ناشی از گرم کردن ظروف سنگینه
- ..... (10-1-2) مغزه سیاه با رنگ آبی تیره در ظروف سنگینه
- ..... (10-1-3) لعاب تیره و گرفته در ظروف سنگینه (*dull glaze*)
- ..... (10-1-4) تمایل به بریدگی لعاب ظروف سنگینه
- ..... (10-1-5) خال یا لک آهن در لعاب یا بدنه در ظروف سنگینه
- ..... (10-1-6) حباب و سوزنک لعاب در ظروف سنگینه (*Blister*)
- ..... (10-1-7) ترک مویی در ظروف سنگینه
- ..... (10-1-8) قطعات دفورمه (*Deformation*) در ظروف سنگینه
- ..... (10-2) لوله فاضلاب
- ..... (10-2-1) تابیدگی در لوله ها
- ..... (10-2-2) ترک های حرارت دهی
- ..... (10-2-4) مغزه سیاه (*Black Core*)
- ..... (10-2-6) حباب
- ..... (10-2-7) لعاب خفه، گرفته و کمرنگ
- ..... فصل یازدهم ساینده و دیرگداز
- ..... (11-1) ساینده ها (*abrasives*)
- ..... (11-1-1) ترک های حرارت دهی در ساینده ها
- ..... (11-1-2) صفحه برش دارای مرکزیت سیاه یا بی رنگ شده
- ..... (11-1-3) صفحه برش خیلی نرم در ساینده ها
- ..... (11-1-4) صفحه برش خیلی ترد و شکننده در ساینده ها
- ..... (11-1-5) ترک های سرد کردن ( ترک موئی ) در ساینده ها
- ..... (11-2) دیرگداز ها (*Refractorys*)
- ..... (11-2-1) ترک های شبکه ای یا ترک های غیر یکنواخت و نامنظم

- .....۱۱-۲-۲) پدیده کندگی سطحی یا پدیده گل کلمی در آجر
- .....۱۱-۲-۳) ترک های ناشی از افزایش حرارت
- .....۱۱-۲-۴) محصولات با خال های تیره آهن یا رنگ و رو رفته
- .....۱۰-۲-۵) ترک موئی یا ترک های سرد کردن
- .....۱۱-۲-۶) تابیدگی
- .....۱۱-۲-۷) علائم یا رگه پخت
- .....۱۱-۲-۸) حباب
- ..... فهرست منابع

امید است این نوشته به عنوان یک راهنما برای برطرف نمودن مشکلاتی که به هنگام خشک کردن و پختن قطعات در فرآیند تولید در کوره تونلی ایجاد و باعث بروز زیان های بسیاری در صنایع سرامیک می گردند، مورد استفاده قرار گیرد. متخصصان سرامیک در طول سال های متمادی با مشکلاتی روبرو شده و راه حل هایی جهت برطرف نمودن آن ها بدست آورده اند، در اینجا تلاش شده تا مشکلات گوناگونی را که تولید کنندگان برای هر محصول خاص، هنگام فعالیت های کاری، با آن روبرو شده اند، بصورت یک سر فصل معین عنوان و راه حل های مربوطه نیز جداگانه در آن فصل مطرح شود.

در اینجا لازم است به این نکته اشاره شود که در بسیاری از موارد، مشکلات ایجاد شده در پخت و راه های برطرف نمودن آن ها ممکن است در یک یا چند نوع از تولیدات مختلف مشابه باشد و این یک دلیل بزرگ برای تکرار چند باره نکات در این نوشتار می باشد. با توجه به نکته اخیر، پیشنهاد می شود که مسئولین برای برطرف نمودن مشکلات ایجاد شده در تولید محصولی خاص، بهتر است موارد مشابه آنرا که برای انواع تولیدات دیگر نیز پیش آمده مورد مطالعه قرار دهند. این اقدام باعث می شود که دید وسیعتری برای حل مشکلاتی که با آن روبرو شده پیدا نموده و روش هایی نیز برای برطرف نمودن آن ها بکار گرفته شود.

اولین نکته ای که در یک اقدام صحیح برای پخت محصولات در کوره تونلی باید به آن توجه شود، درست بودن حداکثر درجه حرارت در نظر گرفته شده در منطقه جهنم کوره است. با در نظر گرفتن این اصل مهم، که در فرآیند تولید معمولاً درجه حرارت مرکز کوره تا زمان مناسبی

ثابت نگه داشته می شود به دلیل اینکه بیشترین مشکلات ایجاد شده به هنگام تولید و راه حل های پیشنهادی برای برطرف نمودن آن ها مربوط به چینی بهداشتی، چینی مظروف، کاشی دیواری و قطعات هنری و تزئینی می باشد، آن ها را در ابتدا و به ترتیب مطرح کرده ایم و پیشنهاد می شود که همیشه برای حل مسائلی که ممکن است در ساخت محصولات دیگر با آن ها روبرو شوید، این نکات را نیز مطالعه و استفاده کنید. راه حل های عنوان شده در اینجا ساده بوده و تقریباً فهرست وار عنوان شده اند و فقط جهت مراجعه و اقدام سریع برای برطرف نمودن مشکلات احتمالی خطوط تولید مطرح می شوند. نکات ساده و مختصری را نیز که مربوط به پخت قطعات در کوره تونلی می باشد برای مسئولین مستقیم کوره در کارخانه های تولید محصولات سرامیکی مطرح می شود و امید است که مورد استفاده قرار گیرد.

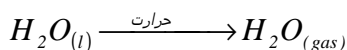
مؤلف

# فصل اول

## خشک کردن

## ۱) خشک کردن

مشخصه ویژه مواد جامد مرطوب (جامد + مایع) در این است که برای خارج کردن رطوبت همراه آن ها، ابتدا آن را به بخار تبدیل نموده و سپس به راحتی بخار آب را از مواد جامد جدا می سازند.



در شرایط عادی از حرارت به عنوان منبع انرژی برای تبخیر مایع استفاده می شود. در پاره ای موارد، اشکال دیگر انرژی نظیر میدان امواج رادیویی، کار مکانیکی، فیلتر پرس و یا فعل و انفعالات شیمیایی بکار گرفته می شوند.

### ۱-۱) مکانیزم های انتقال حرارت

برای خشک کردن فضای تحت کنترل نظیر سالن های تولید از خشک کن استفاده می شود. همان طوریکه در دبیرستان آموخته ایم انتقال حرارت معمولاً از سه فرآیند اصلی انجام می گیرد:

- فرآیند جابجایی (**Convection**)

- فرآیند هدایت (**Conduction**)

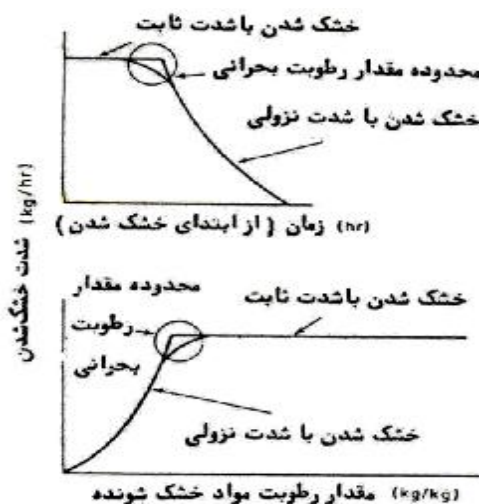
- فرآیند تشعشع (**Radiation**)

مکانیزم انتقال حرارت در خشک کن ها، اکثراً جابجایی و یا هدایت می باشد. اگر چه تقریباً در تمام خشک کن ها بخشی از حرارت از طریق تشعشع انتقال می یابد، ولی این مکانیزم بندرت عامل اصلی انتقال حرارت است. این امر ناشی از این واقعیت است که وسایلی برای انتقال حرارت به طریق جابجایی یا هدایت بکار برده می شوند به طور طبیعی امکان خارج کردن بخار

را فراهم می آورند در حالیکه در انتقال حرارت به طریق تشعشع که نیازی به این وسایل نیست بلکه حرارت فقط با کمک امواج و فوتون جابجا می شود. امکان خارج کردن همزمان بخار آب از سیستم وجود ندارد. به همین علت انتقال حرارت تشعشعی در بیشتر موارد عامل اصلی نیست پس می توان آن را به صورت جزء اصلاحی مکانیزم جابجایی و یا هدایت در نظر گرفت.

### ۱-۱-۲) خشک کردن از طریق جابجایی

در خشک کردن به روش جابجایی چون عامل اصلی انتقال گرما، بخار آب یا آب موجود در قطعه است. لذا ضریب انتقال حرارت در مجموع بالا بوده و در طول فرآیند خشک کردن تغییر زیادی نمی کند. محدودیت شدت خشک شدن در این حالت تا حدود زیادی ناشی از ضریب انتقال جرم است اگر منحنی خشک کردن قطعه ای را رسم کنیم دو ناحیه قابل تفکیک است این امر در دو مرحله متفاوت خشک شدن موسوم به «خشک شدن با شدت ثابت» و «خشک شدن با شدت نزولی» ظاهر می شود. شکل (۱-۱)



شکل (۱-۱) شدت خشک شدن با زمان و رطوبت

در خشک شدن با شدت ثابت، زمان عملیات به وسیله انتقال حرارت به مواد کنترل می شود. زیرا خشک شدن قطعات مانند تبخیر آب از سطح آزاد دریا بوده و قطعات با رطوبت بالا دارای ضریب هدایت حرارتی بسیار بزرگی هستند و روند آن قابل پیش بینی بوده که کم و بیش مستقل از کیفیت مواد نظیر دانه بندی عمل می کند. شکل (۱-۱) در خشک شدن با شدت نزولی، عملیات به وسیله انتقال جرم آب از عمق قطعه به سطح محدود شده و به خواص مواد در حال خشک شدن بستگی دارد.

#### ۱-۱-۱) خشک کردن از طریق هدایت

خشک کردن از طریق هدایت با خشک کردن از طریق جابجایی اندکی تفاوت دارد. در حالت هدایت، مواد جامد مرطوب نظیر آجر فشاری یا چینی بهداشتی در محفظه ای که از بیرون حرارت داده می شود، قرار داده شده و بخارهای حاصله از اگزوزی که در نظر گرفته شده، خارج می شود.



شکل (۱-۲) آجر سفال در حال خشک شدن



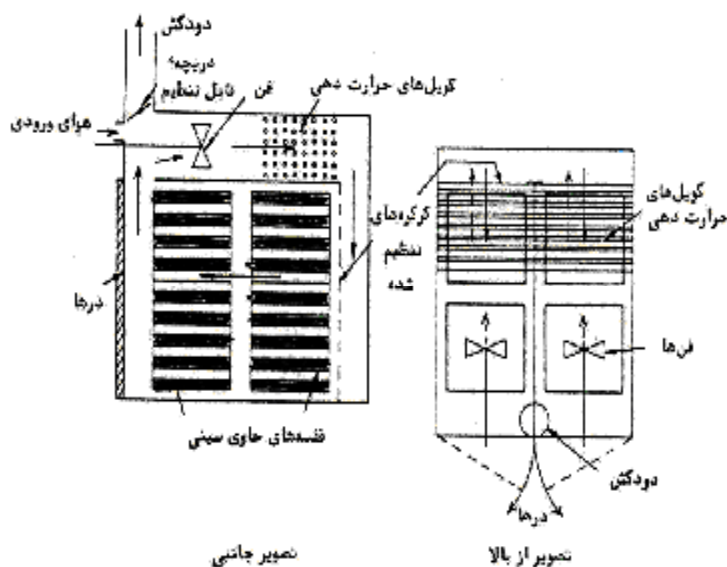
معمولاً فشار محفظه را پایین نگه می دارند تا جابجایی هوای داغ تسریع شده و نیروی محرکه حرارتی افزایش یابد. در حالت جابجایی، گاز داغ که حامل انرژی حرارتی است بر روی سطح مواد جامد مرطوب دمیده و در نتیجه انرژی حرارتی تأمین می شود که بطور همزمان امکان خارج نمودن بخار هم فراهم می شود.

در مدتی که عمل خشک کردن در یک خشک کن هدایتی صورت می گیرد، شدت خشک کردن معمولاً به طور یکنواخت کاهش می یابد که این امر ناشی از کاهش انتقال حرارت از سطح قطعه به عمق مواد جامد در حال خشک شدن می باشد. زیرا یکی از عوامل اصلی انتقال حرارت، آب موجود در خمیر بدنه بوده که به مرور در حال خارج شدن می باشد.

لازم به توضیح است که ضریب هدایت حرارتی آب برابر پودر بدنه یا پودر سرامیکی می باشد. بنابراین می توان تصور نمود که عملیات به وسیله انتقال حرارت از سطح به عمق مواد کنترل می شود و در این رابطه یک ضریب کلی انتقال حرارت از سطح قطعه برای مواد جامد در حال خشک شدن در نظر گرفته شده است با این فرض که دمای مواد جامد در حال خشک شدن را می توان نقطه جوش آب فرض کرد. (می توان بجای نقطه جوش مایع نقطه جوش محلول را در نظر گرفت.)

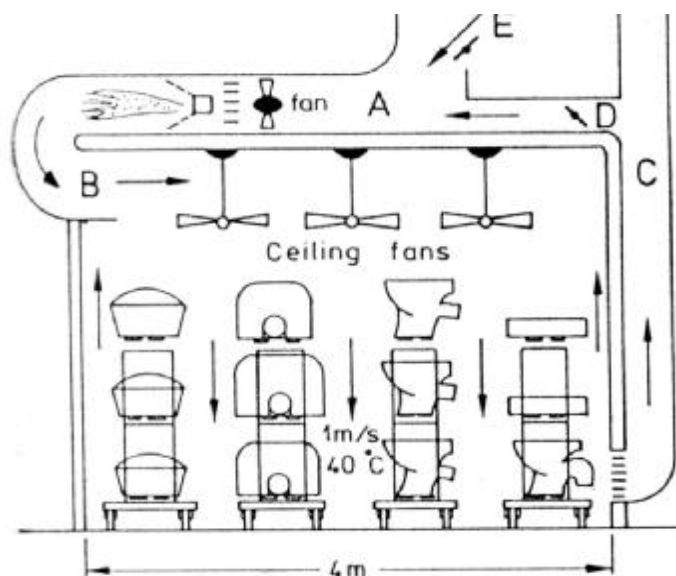
در پایان عمل خشک کردن، به خاطر رسیدن مقدار رطوبت به زیر نقطه چرمینگی (**Leather**) و حذف پیوستگی ستون آب در تخلخل های مجاور، مکانیزم مزبور عمل نمی کند و عمل خشک کردن به تدریج به وسیله سرعت خارج نمودن بخار آب، کنترل می شود زیرا مقدار رطوبت در حد قابل ملاحظه ای کاهش یافته است ولی وجود تخلخل ها دارای آب و کشش

سطحی موجود بین آب با تخلخل عامل کند کننده سرعت خشک شدن یعنی انتقال بخار آب به سطح قطعه است و این مسئله را به وسیله افزایش دما تا بالای نقطه جوش محلول اشباع می توان دید و اینکه این امر معمولاً تأثیر چندانی در خشک کن های هدایتی ندارد. شکل (۱-۳)



شکل (۱-۳) خشک کن با کوئل حرارت دهی و دریچه مکش قابل تنظیم

بنابراین شدت خشک شدن در یک خشک کن هدایتی به سرعت انتقال جرم بستگی چندانی ندارد بلکه به سرعت تبخیر مایع و حرکت از داخل ماده به سطح بستگی دارد. ولی این موضوع به معنای عدم وابستگی شدت خشک شدن به خواص ماده جامد نیست، زیرا که ضریب انتقال حرارت تا حدودی به خواص ماده بستگی دارد. مسئله فوق در حالت انتقال حرارت از طریق جابجایی بسیار متفاوت است. شکل (۱-۴) در یک خشک کن جابجایی، بخش قابل ملاحظه ای از زمان خشک شدن (تقریباً همه زمان) صرف عمل خشک شدن با شدت نزولی می شود، زیرا ضریب انتقال حرارت از حالت هدایت حرارتی به حالت هدایت جرم تغییر می کند. زمان خشک



شکل (۴-۱) خشک کن هدایتی

شدن با شدت نزولی در خشک کن های جابجایی مشابه زمانی است که در یک خشک کن هدایتی درجه حرارت شروع به افزایش می کند که غالباً این عمل در پایان خشک کردن به طریق هدایتی صورت می گیرد.

نقطه ای که در آن خشک شدن با شدت ثابت به شدت نزولی تغییر پیدا می کند، رطوبت بحرانی نامیده می شود و تابعی از هر دو عامل خشک شدن با شدت ثابت (که به شرایط خارجی و شکل هندسی قطعه بستگی دارد) و انتقال جرم (که بستگی به خواص ماده خشک شونده دارد) است. بنابراین مفهوم مقدار رطوبت بحرانی با مفهوم رایج ثابت فیزیکی تفاوت دارد. زیرا هرگز یک نقطه ثابتی ندارد و بر اساس پارامترهای زیادی جابجا می شود.

به بیان دیگر بایستی توجه داشت عامل اصلی در خشک شدن انتقال جرم از مواد جامد مرطوب می باشد. از جنبه نظری هیچگونه شناخت کمی از مکانیزم انتقال جرم از جامد در حال خشک

شدن وجود ندارد. انتقال جرم در این حالت به اندازه، شکل و حالت ذرات تشکیل دهنده مواد جامد و چگونگی خروج مایعات و بخار از تخلخل و خلل و فرج داخل مواد جامد و سطح خارجی آن‌ها بستگی دارد.

در بعضی از انواع خشک کن‌ها (به‌خصوص خشک کن‌های هدایتی) و در بعضی مراحل (معمولاً مراحل اولیه) شدت خشک شدن به وسیله انتقال حرارت به ماده، بجای انتقال جرم از مواد جامد در حال خشک شدن، کنترل می‌شود. تحت این شرایط شدت خشک شدن توسط قواعد روشن انتقال حرارت تعیین می‌شود و تا حدودی مستقل از خواص مواد در حال خشک شدن می‌باشد، اما در حالت کلی، شدت خشک شدن به انتقال جرم از مواد جامد در حال خشک شدن بستگی دارد. با توجه به علائم دوگانه فوق، در عمل بایستی به مطالب زیر توجه نمود:

الف) تعیین شدت خشک شدن ماده فقط از طریق آزمایش امکان پذیر است و از لحاظ نظری قابل پیش بینی نیست.

ب) آزمایشات بایستی با توجه به نوع خشک کنی که مورد استفاده قرار خواهد گرفت، بررسی شود. یعنی شرایط بایستی مطابق محیط خشک کن باشد.

## ۲-۱) دسته بندی مواد خشک شونده

در صنایع، مواد خشک شونده را به طرق مختلفی می‌توان بسته بندی کرد که عبارتند از:

الف) بلورهای مواد آلی یا معدنی و مواد دانه ای شکل (معمولاً در مخلوط‌ها) که غالباً بزرگتر از یک میلی متر هستند.

ب) قطعات جامد متخلخل نظیر بدنه‌های سرامیکی و ذرات لاستیک مصنوعی.

ج) خمیر و مواد گلی شکل حاصل از فیلترپرس ها و سانتریفوژها. شکل (۵)



شکل (۵-۱)

د) پودرهای سیال (**Free Flowing**) که معمولاً کوچکتر از ۲۰۰ میکرون بوده که در حالت

مرطوب به طور نسبی سیال و در حالت خشک همچون گرد و غبار هستند.

ه) مایعات غلیظ که بدون جدا کردن مواد بایستی خشک شوند.

و) مایعاتی نظیر محلول های حاصل از استخراج، امولسیون ها و تعدادی از محلول های دیگر.

۳-۱) پارامتر های مؤثر در خشک کردن

۱-۳-۱) انتقال حرارت

۱- انتقال حرارت از منبع حرارتی به سطح مایع.

۲- انتقال حرارت در لایه بین مایع و جامد.

۳- انتقال حرارت از جامد به مایع.

۴- انتقال حرارت از جامد به مایع از طریق لایه مرزی و از لابلایتخلخل و خلل و فرج توده جامد.

۵- انتقال حرارت از منبع حرارتی به مواد جامد تقریباً خشک.

۶- ضریب هدایت حرارتی مایع .

۷- ضریب هدایت حرارتی مواد جامد مرطوب .

۸- ضریب هدایت حرارتی مواد جامد تقریباً خشک.

۹- گرمای نهان تبخیر مایع .

۱۰- گرمای نیدراسیون. هنگامی که بایستی آب تبلور تبخیر شود.

۱۱- رابطه بین دمای عمل تبخیر و نقطه ذوب ماده مرطوب، برخی از مواد قبل از اینکه تمام رطوبت شان تبخیر شود، ذوب می شوند.

۱۲- اثرات الکترولیت موجود در مایع بر روی مشخصات خشک کردن مواد.

## ۲-۳-۱) محیط خشک کن

۱- فشار و دمای محیط خشک کن.

۲- ترکیب گاز محیط خشک کن، شامل تغییرات فشار جزئی مایع در طول خشک کردن.

۳- سرعت نسبی یا چرخه هوایی داخل خشک کن

۴- فشار بخار مؤثر مایع با در نظر گرفتن تغییرات در افزایش نقطه جوش مایع در طول فرآیند

خشک کردن، به عنوان مثال در مورد خشک کردن **NaOH** .

۵- درجه اشباع محیط خشک کن یا رطوبت نسبی نسبت به قطعه.

### ۳-۳-۱) خواص فیزیکی سیستم های جامد

- ۱- کشش در سطح مشترک بین جامد و مایع. (پدیده تر شوندگی "**Weting**" یا آب دوستی)
- ۲- ضخامت لایه مرزی بین جامد و مایع.
- ۳- نسبت سطح به حجم مایع در داخل تخلخل.
- ۴- ضریب نفوذ بخار بین تخلخل.
- ۵- مکش موئین مایع در تخلخل.
- ۶- اختلاف غلظت مایع در تخلخل.
- ۷- وجود مواد رشته مانند یا کلوخه ای در مواد جامد (آگلومراسیون پودر)
- ۸- اندازه ملکول مایع در رابطه با بعضی از مایعات آلی
- ۹- حداکثر مقدار ناخالصی مایع در ماده خشک شونده. به عنوان مثال رسوب صاف شده ای که به درستی شسته نشده باشد و به علت وجود مقداری از حلال در آن، ممکن است موجب به هم چسبیدن ذرات ماده خشک شود.

### ۴-۳-۱) خواص مواد جامد

- ۱- اندازه ذرات
- ۲- سطح مؤثر مواد جامد
- ۳- تخلخل، یعنی اندازه و طولتخلخل و نحوه انشعاب آن ها
- ۴- حلالیت مواد جامد در مایع، در حالتی که مایع جزئی از ساختمان مواد جامد مرطوب است
- ۵- سفت شدن سطح مواد خمیری شکل در حالت خشک شدن، که سطحی تقریباً غیر متخلخل

ایجاد می شود

۶- تشکیل کیک در حین خشک شدن و استحکام کلوخه ها

۷- مقاومت مواد خشک شده در مقابل سائیدگی

۸- حداکثر مقدار مجاز مایع در محصول خشک شده

#### ۴-۱) گروه های مختلف آب

در این قسمت به گروه های مختلف آب بر اساس نقش و وظایفی که در ساختمان بدنه خام دارند، اشاره می شود که به طور خلاصه عبارتند از:

۱ - آب پیوندی (*Bonded-water*)

۲ - آب خلل و فرج (*Por-water*)

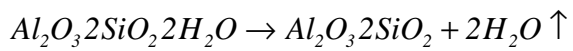
۳ - آب پلاستیسیته (*Plasticity-water*)

#### ۱-۴-۱) آب پیوندی یا آب تبلور

آب پیوندی و یا آب تبلور در حقیقت به صورت مولکول های آب ( $H_2O$ ) نبوده بلکه به صورت گروه های هیدروکسیل ( $OH$ ) است. اگر به ساختار بلوری کانی کائولینیت توجه کنید خواهید دید که گروه هیدروکسیل ( $OH$ ) در لایه بین گیسیت و لایه سیلیسی قرار گرفته است که این آب در واقع به صورت  $H - OH$  حضور دارد. شکل (۶-۱)

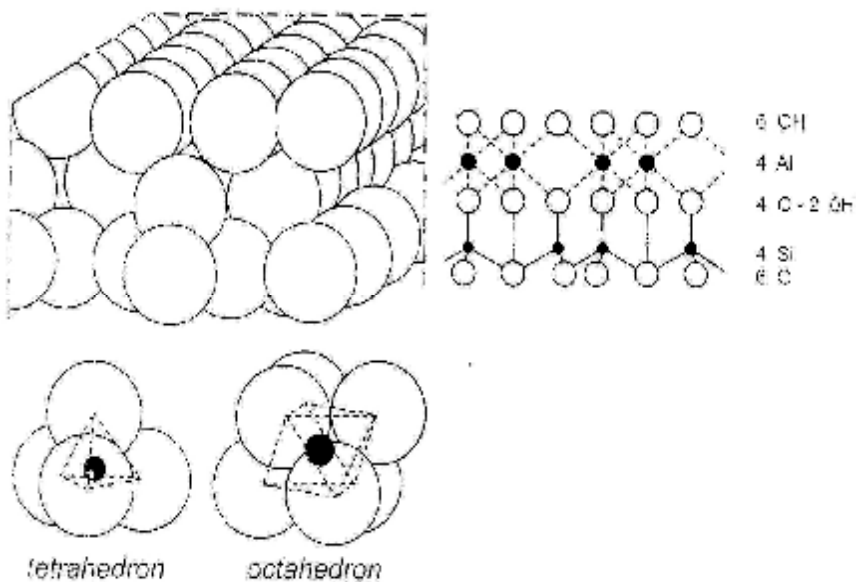
آب پیوندی جزئی از ساختمان کانی های رسی بوده و در مرحله خشک شدن ( $110^{\circ}C$ ) به هیچ وجه خارج نمی شود. خروج آب پیوندی در درجه حرارت های بالا (حدود  $700^{\circ}C - 420^{\circ}C$ ) به وقوع پیوسته و در درجه حرارت های حدود  $550^{\circ}C$  تا  $600^{\circ}C$  به نهایت شدت خود می رسد.





کائولن

متاکائولن



شکل (۱-۶) آب پیوندی در لایه ی کائولنیت