

به نام خدا



# مرکز دانلود رایگان مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



# دیرگدازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

# دیرگذاهای سیلیسی و شبه سیلیسی

از نظر ترکیب و خواص شیمیایی، این نوع دیرگذاها از دسته آجر های اسیدی بوده که ماده اصلی آن **اکسید سیلیسیم** ( $SiO_2$ ) می باشد که ۹۳ تا ۹۸ درصد يك آجر سیلیسی را تشکیل می دهد.

از مواد دیگری که در این دیرگذاها به کار می رود می توان اکسید کلسیم، اکسید آلومینیم و اکسید آهن را نام برد.

## مواد اولیه مصرفی در دیرگذاهای سیلیسی

ماده اصلی مصرفی در ساخت این دیرگذاها سیلیس است که همراه با مقداری آهک و مواد جزئی دیگر به کار می رود. بلور سیلیس در دماهای مختلف به شکلهای مختلفی ظاهر می شود. توجه به ماهیت تحولات چند شکلی فوق از نظر تکنولوژی اهمیت دارد.

مذاب  $\xrightarrow{1723^{\circ}C}$  کریستوبالیت- $\beta$   $\xrightarrow{1470^{\circ}C}$  تری دیمیت- $\beta$   $\xrightarrow{867^{\circ}C}$  کوارتز- $\beta$   $\xrightarrow{573^{\circ}C}$  کوارتز- $\alpha$

بعضی از این استحاله ها با انبساط همراه اند مثلاً تبدیل آلفا کوارتز به بتا کوارتز، که به علت کم شدن چگالی محصول، با افزایش حجم همراه است. تبدیل بتا کوارتز به بتا تری دیمیت نیز با انبساط حجم همراه است ولی این انبساط به آهستگی انجام می گیرد.

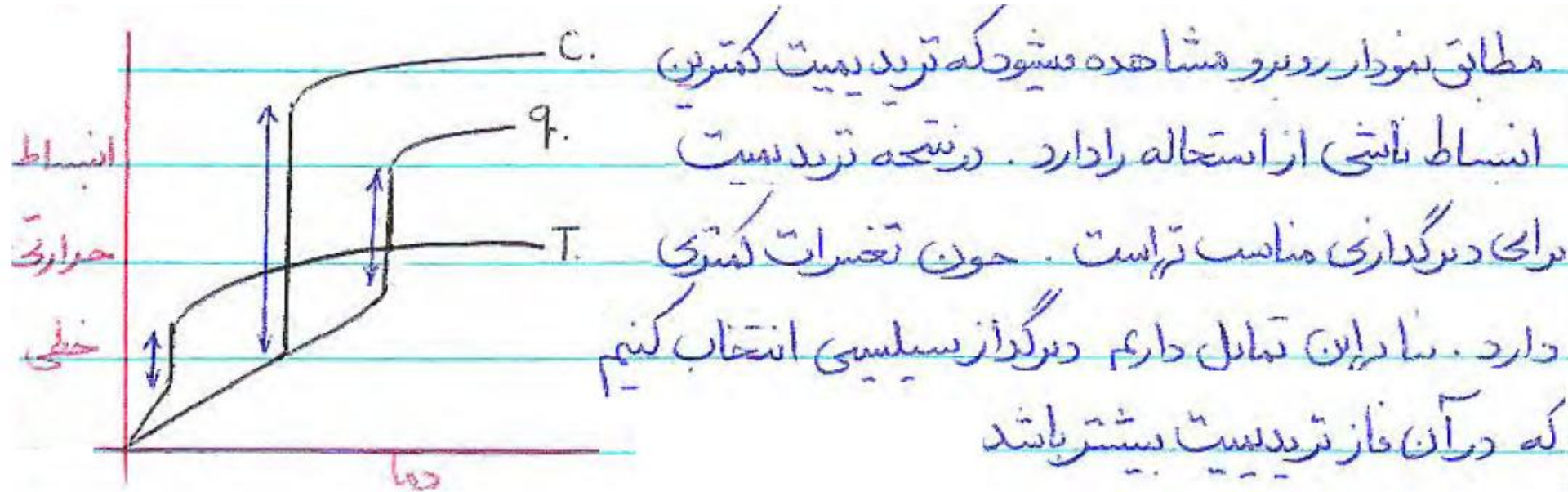
## دیرگذازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

مذاب سیلیس در دمای  $1726^{\circ}\text{C}$  اگر سرد شود به کریستوبالیت  $\alpha$  تبدیل نمی شود بلکه به شیشه تبدیل می شود. (شیشه های سیلیسی: گرانیت)

نوع تبدیل	دمای تبدیل $T^{\circ}\text{C}$	تغییرات حجم
$\alpha Q \rightarrow \beta Q$	573	0.82-1.3
$\beta Q \rightarrow \beta T$	867	14.4-16
$\beta Q \rightarrow \beta C$	1024	15.4-17
$\alpha T \rightarrow \beta T$	1170	0.4-0.5
$\beta T \rightarrow \beta C$	1470	

تغییرات چند شکلی و تغییرات حجمی انواع فازهای سیلیس

# دیرگازهای سیلیسی و شبه سیلیسی



همچنین با توجه به جدول باید سعی کرد که در هنگام پخت دیرگازهای سیلیسی حتی الامکان کوارتز به تری دیمیت تبدیل شود. زیرا این فاز در تبدیل از شکل آلفا به بتا کمتر تغییر حجم می دهد. از طرفی بهتر است این تغییر حجم در هنگام ساخت دیرگاز انجام پذیرد نه هنگام بهره برداری. تحقق این امر، احتیاج به شرایط خاصی دارد که یکی از آنها وجود کاتالیزور است تا این تبدیل به سرعت انجام شود. اکسید کلسیم ( $CaO$ ) به میزان 1 الی 3 درصد مناسبترین کاتالیزور است. حضور آلومینا خطرناک است و باید کمتر از 1 درصد باشد. قلیایی ها نیز مضرند و باید مقدار آنها کمتر از 0.3 درصد باشد.

# دیرگذازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## مواد اولیه سیلیس

مهمترین منابع اولیه سیلیس عبارت اند از کوارتزیت، سیلیس بی شکل، گانیستر، سنگ چخماق (فلینت) و ماسه سیلیسی

### • کوارتزیت

این ماده از دانه های ریز کوارتز که با نوعی پیوند سیمانی (ماده بی شکل همراه با دانه های بسیار ریز کوارتز) به هم متصل شده اند، تشکیل شده است. معادن آن به صورت لایه لایه یافت می شود. اگر دانه های کوارتزیت از نوع لبه تیز باشد و بدون مواد چسبنده به یکدیگر متصل شده باشد به آن کوارتزیت بلوری یا صخره ای گویند.

### • گانیستر و ماسه سیلیسی

از معمول ترین مواد خام سیلیس، می توان گانیستر (کوارتزیت متراکم) و ماسه های سیلیسی را نام برد. قبل از استفاده از برخی از این مواد، آنها را می شویند تا ناخالصیها به کمتر از 0.5 درصد برسد. این ناخالصیها عبارتند از قلیایی ها، آلومیناها و تیتان

# دیرگذازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## • سیلیس بی شکل

یکی دیگر از مواد اولیه برای تأمین سیلیس، سیلیس بی شکل است که معمولاً به دو صورت **اوپال و سیلیس شیشه** ای وجود دارد. سیلیس اوپال به صورت ژل است که گاهی به آن ژل سیلیسی نیز می گویند. سیلیس شیشه ای از ذوب سیلیس و سرد کردن سریع آن به وجود می آید. به همین دلیل این ماده به طور طبیعی در سنگهای آتشفشانی وجود دارد.

## • فلینت

یکی دیگر از مواد معدنی که به عنوان ذخایر سیلیس محسوب می شود فلینت است که به آن سنگ چخماق نیز می گویند. این ماده در طبیعت از هوازدگی انواع کانیهای سیلیکاتی و جدا شدن سیلیس از آنها به وجود می آید و نوعاً دارای کوارتز ریز است. از مشخصات کلی آن داشتن آب مولکولی است که خروج آن از فلینت در دمای بین 600 تا 900 درجه سانتیگراد صورت می گیرد.

سیلیس را به روش سنتزی یا به روش ذوب الکتریکی هم می توان به دست آورد. این نوع سیلیس خلوص زیادی دارد و از نظر حرارتی پایدار و در مقابل شوک حرارتی مقاوم تر است.

# دیرگازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## • ناخالصیها و اجزای جزئی

خلوص کوارتز مصرفی در دیرگازهای سیلیسی بسیار اهمیت دارد به طوری که فقط میزان محدودی از ناخالصیها مجاز است. از عناصر و ترکیبات تثبیت کننده مناسب نیز در دیرگازهای سیلیسی استفاده می شود. ماده ای که معمولاً اضافه می شود اکسید کلسیم است که وجود آن در حدود 1 تا 3 درصد مواد اولیه سیلیسی مفید است. محدوده مقدار ناخالصیهای ترکیبی  $R_2O$  کمتر از یک درصد و آلومینا کمتر از 0.3 درصد می باشد.

## • منابع سیلیس در ایران

مهمترین منابع سیلیس ایران، در نواحی ازنا، سیرجان، همدان، البرز، طبس و جاجرم قرار دارد. سیلیس همدان دارای خلوص زیادی می باشد. قسمت عمده سیلیس به شکل آلفا کوارتز است.



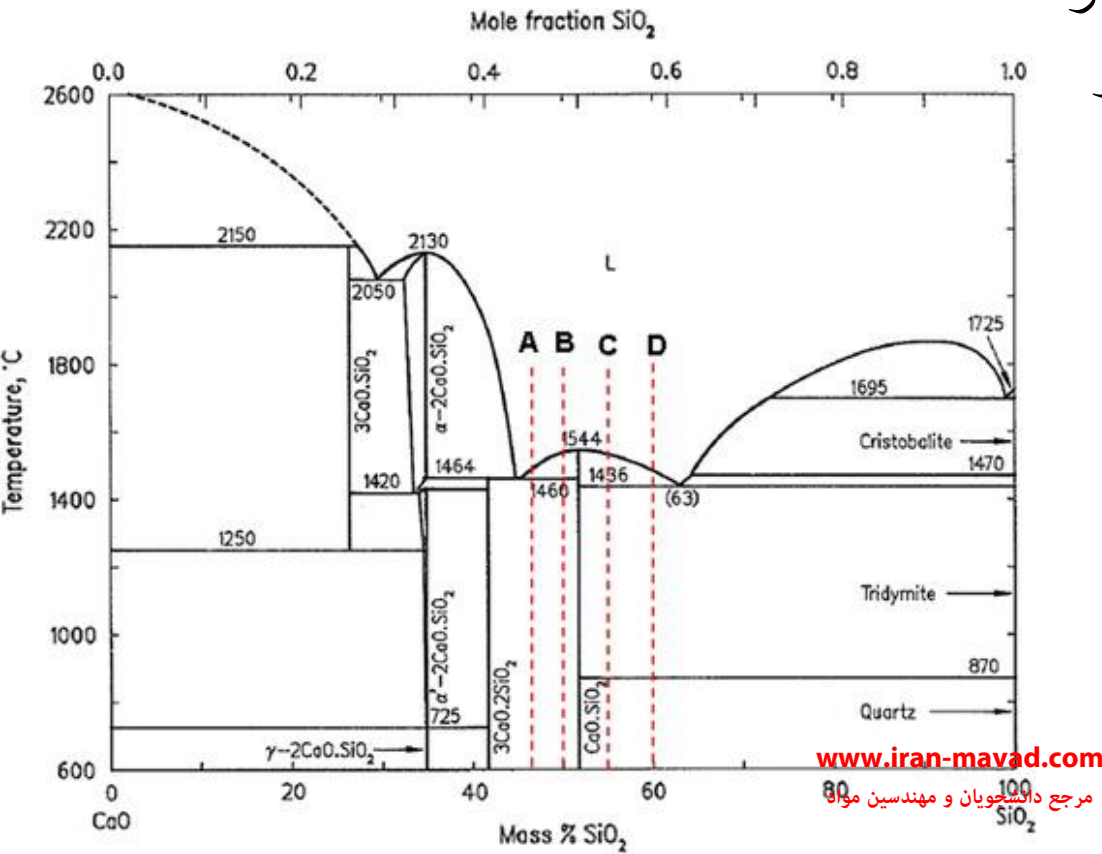
# دیرگدازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## نقش مواد اصلی و ناخالصیها در دیرگدازهای سیلیسی

اگر نمودار  $CaO - SiO_2$  را در نظر بگیریم، منحنی یا خطوط مربوط به شروع انجماد فاز مایع (خط مذاب) و خطوط مربوط به شروع ذوب فاز جامد (خط انجماد) معرفی شده است.

افزایش میزان مایع از نقطه یوتکتیک (65 درصد سیلیس در دمای 1436 درجه) به بالا بسیار کند است و با افزایش مقداری آهک می توان در

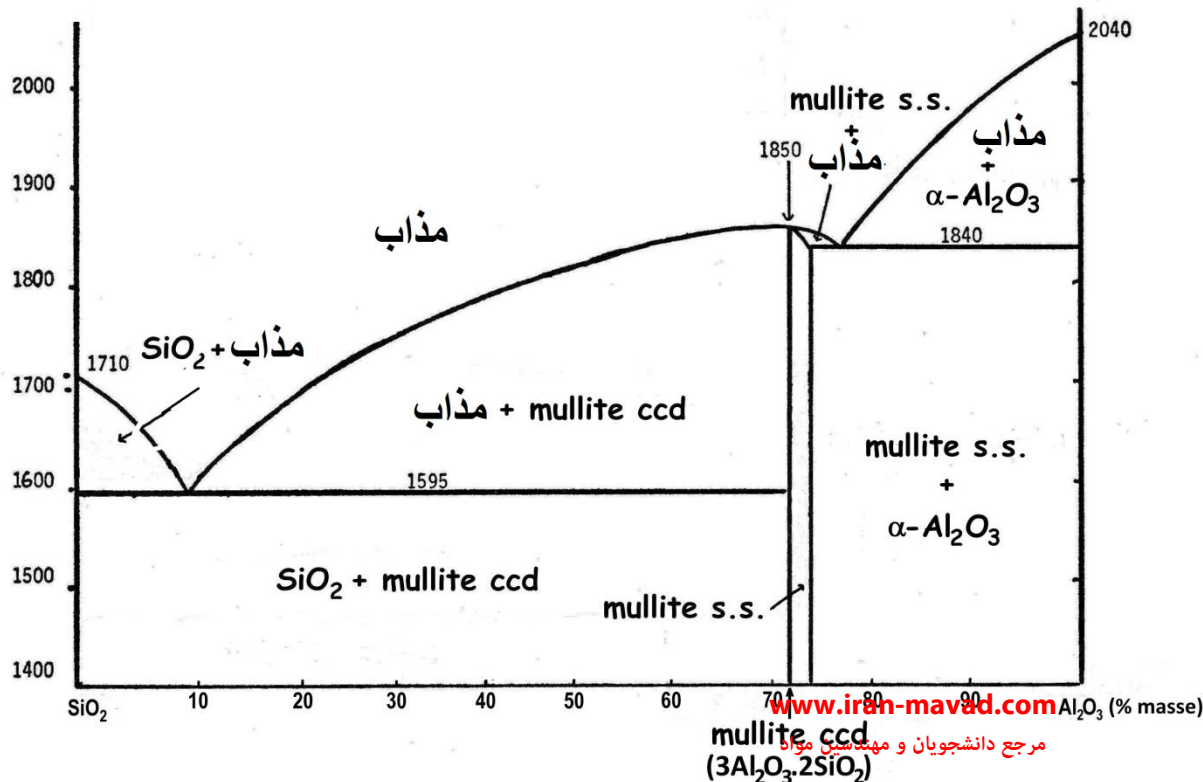
دماهای زیاد فاز مایع تشکیل داد که پس از سرد شدن باعث چسبیدن ذرات به یکدیگر شود. نقش دیگر آهک، تسهیل در استحاله فازی کوارتز به تری دیمیت است که به عنوان ماده کانی ساز عمل می کند و نقش کاتالیزور را ایفا می کند.



# دیرگدازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

مادهٔ سرامیکی دیگر در این دیرگدازها، آلومیناست که حضور بیش از یک درصد آن خطرناک است. حضور مقدار کمی آلومینا باعث کاهش دیرگدازی و افزایش فاز مایع در دمای کاربردی می‌شود، مخصوصاً اثر آهک را نیز خنثی می‌کند.

علت خطرناکی برمی‌گردد به دیاگرام فاز سیلیس و آلومینا. می‌خواهیم 1 درصد آلومینا و 1 درصد آهک را در دیرگداز بررسی کنیم.



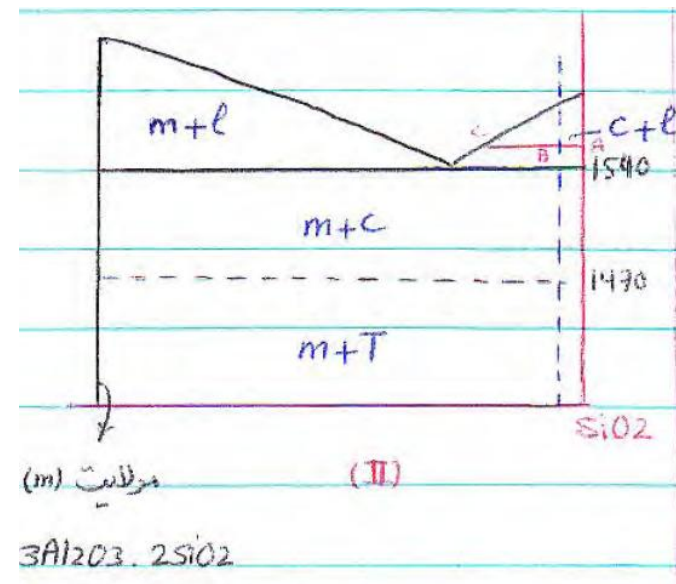
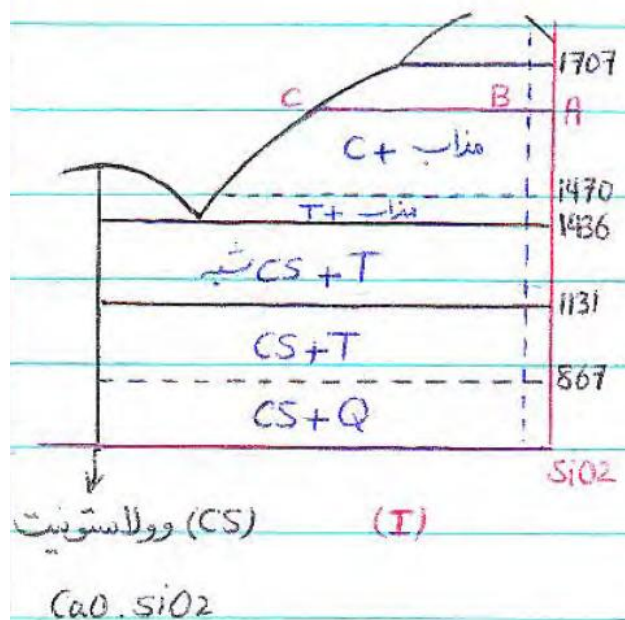
# دیرگازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

اگر برای 99 یا 98 درصد  $SiO_2$  دریاگرام خطی رسم کنیم:

در  $1600^\circ C$  در نمودار II: در نمودار I:

$$\%l = \frac{AB}{AC} \times 100 \sim \frac{100}{30} \% \quad \%l = \frac{AB}{AC} \times 100 \sim \frac{100}{6} \%$$

پس در  $1600^\circ C$  در نمودار  $SiO_2 - Al_2O_3$  فاز مذاب بیشتری پیش می‌دهد و پس دیرگاز را کاهش می‌دهد. پس اولاً مقدار مذاب زیاد است و ثانیاً افزایش فاز مذاب با افزایش دما خیلی شدیدتر است. پس  $Al_2O_3$  خطرناک‌تر است.



# دیرگدازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## مراحل و تکنولوژی تولید دیرگدازهای سیلیسی

پس از انتخاب و شستشوی مواد اولیه، خرد کردن، آسیاب و نیز دانه بندی، متناسب با خواص مورد نیاز در دیرگداز از هر نوع دانه بندی مقدار معینی انتخاب می شود. یکی از پارامترهای مهم، انتخاب دانه بندی مناسب است که معمولاً به صورت 45 درصد ریز، 45 درصد درشت و 10 درصد متوسط می باشد.

مواد انتخابی در مخلوط کنهای مختلف مخلوط می شود. همچنین، تقریباً 2-5 درصد آهک و مقداری محلول سولفیتی به عنوان ماده پیوند دهنده (چسب) نیز افزوده می شود. مواد حاصل به وسیله پرس ضربه ای یا پرس هیدرولیکی به شکلهای مورد نظر در می آیند. این دیرگدازها مدت یک تا دو روز خشک می شود.

برای پخت دیرگدازهای سیلیسی دمای 1450 تا 1550 درجه سانتیگراد و نگهداری طولانی در حداکثر دما لازم است. این دیرگداز بر اثر تغییرات فازی خیلی سریع اکسید سیلیسیم باید به آرامی سرد شوند و گرنه ترک خواهد خورد. زمان پخت دیرگدازهای سیلیسی طولانی است زیرا کنترل تبدیلات فازی در سیلیس در طول فرایند تف جوشی و عملیات حرارتی لازم است. علت دیگر، سینتیک آهسته تشکیل فازهای تری دیمیت و کریستوبالیت است.

# دیرگدازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## فرایند پخت در دیرگدازهای سیلیسی

همانند دیگر سرامیکها در محدوده 100 تا 200 درجه، رطوبت و دیگر مواد فرار که دمای فراریت آنها کمتر از 200 درجه است از آن خارج می شوند. از آنجا که ترکیبات کلسیم دار به صورت کربنات و یا هیدروکسید به سیستم اضافه می شوند، تجزیه این مواد از 400 درجه شروع و در حوالی 950 درجه به پایان می رسد.



تبدیل آلفا کوارتز به بتا کوارتز در 573 درجه رخ می دهد. تبدیل مستقیم دانه های کوارتز به کریستوبالیت در حدود 1200 درجه سانتیگراد صورت می گیرد. در محدوده 1350 تا 1450 درجه فاز کوارتز در فاز مذاب حل می شود و در ادامه فرایند به صورت تری دیمیت رسوب می کند که مورفولوژی سوزنی شکل دارد. تبدیل کوارتز به تری دیمیت در طول فرایند پخت دارای سد انرژی است. استفاده از کانی سازها از جمله آهک باعث تسریع این تبدیل می شود.

# دیرگذازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## بررسی فازهای پس از پخت در دیرگذازهای سیلیسی ❖ فازهای اصلی

دیرگذازهای سیلیسی پخته شده از فازهای بلوری کریستوبالیت، تری دیمیت و مقدار کمی کوارتز تشکیل می شود. باید درصد کوارتز را به حداقل رساند تا مشکل ثبات ابعادی و تضعیف خواص در هنگام کاربرد پیش نیاید. همچنین حضور فاز تری دیمیت نسبت به کریستوبالیت ارجحیت دارد. با مراجعه به خواص ذاتی این فازها، مشخص است که حضور فاز سوزنی شکل تری دیمیت مقاومت به شوک پذیری را بهبود می بخشد. عده ای از محققان معتقدند که توزیع همین فاز سوزنی شکل است که قابلیت تحمل فاز مذاب در سیستمهای سیلیس را افزایش می دهد.

## ❖ فازهای جزئی دیگر

در هنگام پخت دیرگذازهای سیلیسی، از واکنش حالت جامد بین آهک و سیلیس، ابتدا فاز  $2CaO - SiO_2$  (C2S) و سپس فاز ولستونیت  $(CaO - SiO_2)$  و گاهی شبه ولستونیت  $(3CaO - 2SiO_2)$  و فازهای جزئی دیگر نیز تشکیل می شود.



# دیرگذازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## خواص دیرگذازهای سیلیسی

### ❖ انبساط حرارتی

ضریب انبساط حرارتی کل دیرگذازهای سیلیسی با توجه به نوع و درصد فازهای موجود تعیین می شود و تابع ترکیب سیستم است. انبساط برگشت پذیر در نسوزهای سیلیسی عملاً در محدوده 800 تا 1000 درجه خاتمه می یابد.

کیفیت پخت و تف جوشی اثر مهمی بر انبساط حرارتی دیرگذاز دارد. توجه داشته باشید اگر تغییرات فازی کاملاً انجام نگرفته باشد، در دمای بالا در سیستم تغییرات انبساطی شدیدی ایجاد خواهد شد.

از خصوصیات ویژه این دیرگذازها آن است که اختلاف بین دمای آغاز نرم شدن تا نرم شدن کامل در آزمایش دیرگذازی تحت بار (RUL) بسیار کم و فقط در حدود 10 درجه است. در این دیرگذازها در دمای بالا، مقدار کمی فاز مذاب تشکیل می شود. مقدار مذاب در دمای 1600 درجه بین 10 تا 20 درصد است که از 1650 درجه به بالا به شدت افزایش می یابد. به همین دلیل تقریباً تا این دما، نسوزهای سیلیسی به راحتی مورد استفاده قرار می گیرد.

# دیرگازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## ❖ هدایت حرارتی

دیرگازهای سیلیسی دارای هدایت حرارتی ضعیفی اند که علاوه بر خواص ذاتی سیلیس، متأثر از مقدار تخلخل موجود در آن نیز می باشد. افزایش دما باعث ازدیاد هدایت حرارتی این دیرگازها می شود.

## ❖ تغییرات ابعادی

تغییرات ابعادی نسوزهای سیلیسی به کیفیت پخت آنها بستگی دارد. اگر فازهای مورد نظر در حد مطلوب تشکیل شده باشد (رسوب هر چه بیشتر فاز تری دیمیت و حداقل بودن فاز آلفا کوارتز)، آنگاه این دیرگاز حتی تا دمای بالا هم تغییرات ابعادی چندانی نخواهد داشت. در غیر این صورت به علت انجام تبدیلات فازی، تغییرات طولی آهسته و برگشت پذیر حاصل می شود.

تغییرات ابعادی خارج از محدوده استاندارد، به علت اعمال نیروی فشاری باعث پوسته ای شدن دیرگاز یا ایجاد خمش و پیچش می شود.

معلوم شده است که در حین فرایند ساخت، توقف هر چه بیشتر در دمای بالا (حداکثر دمای تف جوشی) باعث ازدیاد درصد فاز تری دیمیت می شود که بسیار مفید است.



# دیرگازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## ❖ دیرگازی و دیرگازی تحت بار

برخلاف بسیاری از دیرگازهای سرامیکی که در آنها دیرگازی کمتر از نقطه ذوب مواد تشکیل دهنده آن می باشد در دیرگازهای سیلیسی، دیرگازی سیستم حتی گاهی تا نزدیک ذوب آن هم می رسد. درصد رفتار فاز مذاب در این پدیده بسیار مهم است. اولاً فاز مذاب زمان زیادی لازم دارد تا فضاهای بین اتصالات تری دیمیت را پر کند، به همین دلیل، با وجود تشکیل فاز مذاب، دیرگازی چندان کاهش نمی یابد. حتی در صورت اعمال فشار و بررسی دیرگازی تحت بار نیز اختلاف چندانی بین نقطه نرم شوندگی و نقطه از بین رفتن دیرگازهای سیلیسی وجود ندارد. البته وجود ناخالصیها آثار نامطلوبی بر خواص نرم شوندگی دیرگاز می گذارند.

## ❖ وزن مخصوص، چگالی و تخلخل

از آنجا که در دیرگازهای مرغوب سیلیسی، درصد فاز آلفا کم است، انتظار می رود که چگالی این دیرگازها با انواع نا مرغوب متفاوت باشد، به شرط آنکه درصد تخلخل آن در محدوده استاندارد و مجاز باشد. کمترین درصد تخلخل برای دیرگازهای سیلیسی مرغوب حدود 15 درصد است که در نسوزهای معمولی تا 25 درصد هم می رسد.

در مقایسه با دیگر دیرگازها دیرگازهای سیلیسی دارای (سبک تر است) دیرگاز

[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

هرچه سبک تر باشد بهتر است چون فشار کمتری بر گازهای زیرین وارد می کند

# دیرگذازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## ❖ مقاومت در برابر سرباره

این نوع دیرگذازها نوعاً مقاومت مطلوبی در برابر انواع سرباره ها دارند که به کیفیت دیرگذازو ترکیب سرباره بستگی دارد. عموماً مقاومت این دیرگذازها در برابر سرباره های حاوی اکسید های آهن، سیلیسیم، آلومینیم و کروم خوب است.

❖ دیرگذازهای ارزان تری هستند. فرایند ساخت آن ها ساده تر و براداری های آن ارزان تر است. رهم چینی در دسترس هم هست.

## کاربردهای دیرگذازهای سیلیسی

این دیرگذازها در صنایع مختلف کاربرد دارند به خصوص به دلیل مطرح شدن نظریه های نو و پیشرفت در طراحی و ساخت کوره های شیشه، کک سازی و گرم کننده های هوا در کوره های بلند. در تولید دیرگذازهایی با تراکم زیاد و ناخالصیهای کم از مواد اولیه مرغوب استفاده می شود.

# دیرگذازهای سیلیسی و شبه سیلیسی

## دیرگذازهای شبه سیلیسی

با کاهش درصد سیلیس موجود در دیرگذازهای حاوی سیلیس به حدود 93-88 درصد، از نظر ترکیبی به نوع دیگری از دیرگذازها می‌رسیم که به **دیرگذازهای شبه سیلیسی** معروف است. به علت کاهش درصد سیلیس و افزایش مواد دیگر و به خصوص کانیهای آلومینو سیلیکاتی، خواص آنها از برخی جنبه‌ها بهبود و از برخی جهات تضعیف می‌شود. به عنوان مثال، بیشترین دمای کاربردی آن کمی کاهش می‌یابد.

در این دیرگذازها علاوه بر سیلیس، از ماسه نیز می‌توان به عنوان ماده اولیه استفاده کرد و استفاده از مواد رسی نیز بسیار معمول است. به علت استفاده از این مواد اولیه، ریز ساختار و خواص نهایی آنها متفاوت با دیرگذازهای سیلیسی خواهد بود. به طوری که درصد فاز شیشه‌ای در این دیرگذازها افزایش می‌یابد.

ادعا شده است که مقاومت به شوک حرارتی این دیرگذازها بهتر از دیرگذازهای سیلیسی است. از جهت نفوذ سرباره با دیرگذاز، سطح دیرگذاز لعاب دار می‌شود که به صورت یک پوشش عمل می‌کند و مانع از نفوذ بعدی سرباره به داخل دیرگذاز می‌شود.