

خلاصه و نکات مهم

خشک کردن و پختن سرامیک ها

پایه دوازدهم کد ۲۱۲۵۰۹

توضیحات:

- حیطه تخصصی
- خلاصه + نکات مهم
- با قابلیت پرینت

برای دانلود رایگان جدیدترین سوالات استخدامی هنرآموز سرامیک، اینجا بزنید

همچنین جهت مشاهده آخرین اخبار استخدامی آموزش و پرورش، اینجا بزنید

« انتشار یا استفاده غیر تجاری از این فایل، بدون حذف لوگوی ایران عرضه، مجاز می باشد »



## فهرست مطالب (برای مراجعه به هر بخش، روی آن بزنید)

- ❖ فصل اول: خلاصه خشک کردن و پختن سرامیک ها پایه دوازدهم کد ۲۱۲۵۰۹ - صفحه ۳
- ❖ فصل دوم: نکات مهم خشک کردن و پختن سرامیک ها پایه دوازدهم کد ۲۱۲۵۰۹ - صفحه ۴۱



## ❖ فصل اول: خلاصه خشک کردن و پختن سرامیک ها پایه دوازدهم کد ۲۱۲۵۰۹

### خشک کردن و پختن سرامیک ها

#### پودمان ۱ بارچینی کوره و خشک کن

قفسه بندی علاوه بر نظم و زیبایی، باعث محافظت و جلوگیری از شکست و تغییر شکل قطعات میشود. همچنین دسترسی راحت تر به قطعات برای قراردادن و برداشتن آنها را ممکن میسازد.

#### چیدمان در خشک کن

قطعات سرامیکی پس از شکل دهی مرطوب هستند. قطعات خام و مرطوب استحکام کمی دارند و در اثر ضربه و فشار ناچیزی میشکنند؛ بنابراین برای کاهش رطوبت و خشک شدن، به خشک کن منتقل میشوند. به دلیل استحکام کم، برای انتقال این قطعات و چیدن آنها در خشک کن از قفسه های مشبک چرخدار استفاده میشود. قفسه های مورد استفاده برای خشک کردن قطعات معمولاً از جنس فولاد زنگ نزن یا چوب است. محدوده دمایی خشک کردن قطعات سرامیکی کمتر از ۱۴۰ درجه سلسیوس است.

چیدمان قطعات در خشک کن باید به شکلی باشد که تمام وجوه قطعه آزادانه و به صورت یکسان در معرض جریان هوای گرم قرار گیرد.

نکته: برخی محصولات پس از شکل دهی، حالت پلاستیک و شکل پذیر دارند. در این حالت ممکن است صفحات مشبک بر روی محصول نقش و اثر بگذارند.

#### چیدمان در کوره

پس از تکمیل فرایند خشک شدن، قطعات خام به کوره منتقل میشوند تا براساس نوع و آمیز محصول در دمایی بیش از ۹۰۰ درجه سلسیوس پخت شوند. برای چیدمان قطعات در کوره نیز به قفسه بندی نیاز داریم.

تغییرات ابعاد قطعات سرامیکی در مرحله پخت، زیاد است و اگر در داخل یکدیگر چیده شوند، امکان شکسته شدن آنها افزایش می یابد. بنابراین پیشنهاد میشود علاوه بر رعایت فاصله، قطعات به نوعی بر روی یکدیگر قرار داده شوند که تا حد امکان از تماس آنها با یکدیگر کاسته شود. برای نمونه، باید کاسه ها و فنجان ها به صورت لبه روی لبه و کفه روی کفه چیده شوند.

نکته: چیدمان لبه روی لبه و کفه روی کفه، به برابری قطر دهانه ها با یکدیگر و برابری قطر کفه ها با یکدیگر نیز کمک میکند تا محصولات پخت شده با شکل یکسان، تفاوت ابعاد کمتری با یکدیگر داشته باشند. همچنین میتوان پخت محصولات چندتکه

مانند قندان بدون لعاب را به صورت مونتاژ شده و با قرار دادن در بر روی قندان انجام داد تا پس از پخت نیز از نظر ابعاد، همخوانی داشته باشند.

در صنعت سرامیک، برای قفسه بندی و چیدمان محصولات در کوره و محافظت آنها، از قطعات دیرگدازی استفاده میشود که به آنها وسایل قفسه بندی کوره یا مبلمان کوره گفته میشود. به عبارت دیگر، مبلمان کوره مجموعه ای از صفحات، پایه ها و اتصالات دیرگداز است.

دیرگدازی، استحکام بالا در دمای پخت قطعات و مقاومت به شوک حرارتی از ویژگیهای اصلی مبلمان کوره است.

جدول ۱- ویژگی های مبلمان کوره

ردیف	ویژگی	توضیح
۱	دیرگدازی	قابلیت حفظ کردن شکل و ذوب نشدن در دمای بالا را داشته باشد.
۲	استحکام بالا در دمای بالا	در دمای بالا و تحت تأثیر نیروی وارد بر آن تغییر شکل ندهد.
۳	مقاومت به شوک حرارتی	قطعه در اثر تغییرات ناگهانی دما و استفاده متناوب در کوره نشکند.

### ترکیبات مورد استفاده در تهیه مبلمان کوره

استفاده از شاموت در تهیه مبلمان کوره بسیار رایج است. علاوه بر شاموت، استفاده از دیرگدازهای مولایت - کوردیریتی نیز معمول است. این دیرگدازها از ترکیب آلومینا ( $3Al_2O_3$ )، سیلیس ( $2SiO_2$ ) و منیزیا ( $MgO$ ) در دمای بالا ساخته میشوند.

دمای کاری دیرگدازهای مولایت - کوردیریتی در محدوده  $1250^{\circ}$  تا  $1350^{\circ}$  درجه سلسیوس است و برای دماهای بالاتر نیز از دیرگدازهای آلومینایی، سیلیکون کاربیدی و زیرکونیایی استفاده میشود.

اگر از مبلمان کوره به صورت صحیح استفاده نشود، احتمال ریزش و شکستن محصولات در کوره زیاد خواهد شد که در این صورت ممکن است به کوره نیز خسارت وارد شود. در انتخاب مبلمان کوره باید علاوه بر ابعاد محصولات، وزن و دمای پخت آنها نیز در نظر گرفته شود.

در چیدمان قطعات سرامیکی برای انجام پخت باید سه نکته اساسی در نظر گرفته شود:

۱- وزن قطعات متناسب با قابلیت تحمل مبلمان باشد تا صفحات مبلمان دچار شکست نشوند.

۲- قطعات و مبلمان دارای تعادل و پایداری باشند تا ریزش و شکستن قطعات در کوره اتفاق نیفتد.

۳- دیرگدازی و محدوده تحمل دمایی مبلمان بیش از دمای کوره باشد تا در اثر حرارت بالا ذوب نشود.

### اجزای مبلمان کوره

صفحات به عنوان طاقچه قفسه برای چیدن محصولات در مرحله پخت استفاده میشوند. این صفحات میتوانند با ابعاد کوچک و ضخامت کم مانند کاشی یا به صورت لوح ها و ورقه های ضخیم و طویل استفاده شوند. صفحات در سه نوع ساده، کانالدار و سوراخدار تولید و بهکار گرفته میشوند.

**الف) صفحات ساده:** صفحات پرس شده همانند کاشی که شکل ساده آنها باعث افزایش دوام و استحکام بیشتر آنها میشود.

**ب) صفحات کانال دار:** وجود کانال در طول این صفحات موجب کاهش وزن و در نتیجه کاهش میزان انرژی حرارتی مورد نیاز میشود. معمولاً برای چیدمان محصولاتی مانند چینی بهداشتی بر روی واگنها استفاده میشوند. این صفحات به روش اکستروژن گِل پلاستیک تولید میشوند و به نوع اکستروژنی نیز معروفند.

**ج) صفحات سوراخ دار:** این صفحات، سوراخدار یا مشبک هستند تا علاوه بر کاهش وزن، به گردش هوای داغ کوره نیز کمک کنند. به دلیل وجود سوراخهای زیاد، معمولاً استحکام کمتری دارند و برای چیدمان محصولات سبک به کار میروند.

### پایه ها

پایه ها برای نگهداشتن صفحات در چیدمان مبلمان کوره استفاده میشوند؛ این قطعات به روش پرس و اکستروژن قابل تولید هستند و در شکلهای و ابعاد متنوع با در نظر گرفتن استحکام و پایداری مورد نیاز ساخته میشوند. همچنین براساس طول پایه ها میتوان قفسه هایی با ارتفاعهای مختلف برای چیدمان انواع محصولات در کوره ساخت.

### ۳ رابط ها و اتصالات

به شکلهای طوقی، کلاهی، قلع ای و متصل کننده وجود دارند و به عنوان قطعات بین نشین برای اتصال پایه ها، صفحات و بیم ها استفاده میشوند.



قلع ای



متصل کننده



طوقی



کلاهی

### ۴ بیم ها

معمولاً از جنس سیلیکون کارباید هستند و به همراه پایه ها و اتصالات، ساختاری قفسه ای و مناسب برای قرار گرفتن صفحات و نهایتاً چیدمان محصولات سنگین ایجاد میکنند.

## ۵ ساگار

ساگار از جنس دیرگداز است که قطعه در داخل آن قرار میگیرد و از آن در برابر شعله مستقیم کوره محافظت میکند. ساگار در انواع مربعی و دایره‌ای شکل ساخته میشود. استفاده از ساگار برای پخت قطعات ریز بدون لعاب نیز بسیار معمول است.



## ۶ سترهای تخت

بسیار سبک هستند و استفاده از آنها وزن مبلمان کوره را بسیار کاهش میدهد و به جریان هوای کوره در اطراف قطعه کمک میکند. از این نوع سترها بیشتر برای پخت قطعات لعابدار استفاده میشود.

## ۷ سترهای پروفیلی

برای نگه داشتن محصولات سرامیکی کم ارتفاع مانند بشقاب، کاسه یا فنجان به کار میرود.

## ۸ سترهای کاشی

این سترها شانه‌ای شکل هستند و میتوانند به دو صورت عمودی و افقی استفاده شوند. معمولاً برای محصولاتمانند کاشی مناسب هستند.

## ۹ کاشی چنگک

شبه ستر کاشی است؛ با این تفاوت که دارای دو قاعده نگهدارنده است.

## ۱۰ انگستانه

با چیده شدن بر روی یکدیگر، پایه‌هایی با طولهای قابل تغییر و با قابلیت چیدمان انواع بشقاب و صفحه را تشکیل میدهد.

## ۱۱ سه پایه

لعاب در دمای بالا نرم میشود و به صفحات مبلمان میچسبد؛ بنابراین از سه پایه استفاده میشود. این قطعات ستاره‌ای شکل و در ابعاد کوچک هستند که به دلیل اینکه سطح تماس بسیار کمی دارند، برای پخت ظروف لعاب خورده مناسب هستند.



## آماده سازی کف برای قفسه بندی

کف کوره ها برای آغاز قفسه بندی و قرار دادن مبلمان کوره باید آماده سازی شود. در کوره واگنی نیز قفسه بندی در واگن هایی با قابلیت حرکت روی ریل انجام میگیرد؛ بدین منظور، ابتدا واگن از کوره خارج میشود و سپس قفسه بندی پایه ها و صفحات با توجه به ابعاد محصول مورد نظر انجام میگیرد. پس از تکمیل قفسه بندی مبلمان کوره و چیدمان قطعات، واگن به داخل کوره هدایت میشود.

قبل از قفسه بندی مبلمان کوره بر روی واگنها و داخل کوره باید به موارد زیر دقت داشت:

\* سطح واگن تمیز و بدون آلودگی، کندگی و قطعات شکسته باشد.

\* سطح واگن تراز باشد.

\* در صورت انجام قفسه بندی در داخل کوره نیز باید کف کوره تراز، تمیز و صاف باشد.

**نکته:** باید از مواد مناسب برای ساخت واگن استفاده کرد. دیرگدازهای متراکم مناسبترین انتخاب هستند و مواد متخلخل مانند آجرهای متخلخل عایق که در طول زمان میشکنند یا تغییر ابعاد میدهند، مناسب نیستند.

در قفسه بندی مبلمان کوره ابتدا پایه ها به همراه قطعات گذاشته میشوند، سپس صفحات با فاصله کمی نسبت به قطعات بر روی پایه ها قرار میگیرد. در هنگام چیدمان قطعات بر مبلمان کوره یا تخلیه آن باید به موارد زیر دقت کرد:

از تکیه دادن نردبان به مبلمان کوره برای بالا رفتن از مبلمان خودداری شود. از چهارپایه ها با ارتفاع مناسب استفاده شود.

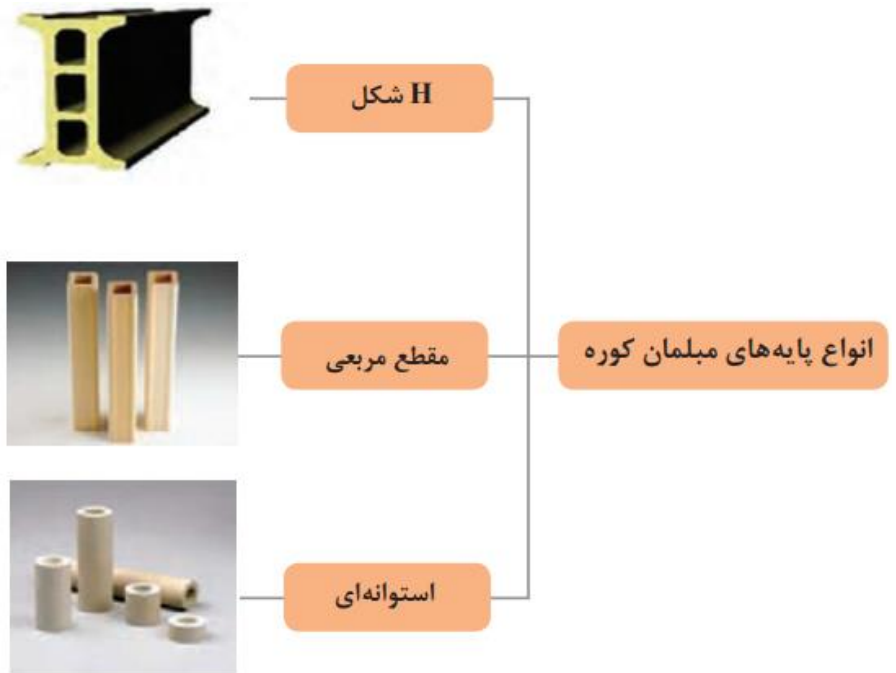
پایه ها بر روی صفحات به آرامی قرار داده شود و از ضربه زدن خودداری شود.

در صورت استفاده از صفحات کانال دار، از بیم های سیلیکون کاربایدی برای نگهداشتن آن استفاده میشود. راستای بیم باید عمود بر راستای کانال های صفحه باشد تا صفحات نشکنند.

استفاده از پایه ها به تنهایی به عنوان نگه دارنده صفحات کانال دار صحیح نیست.

پایه های متنوعی برای استفاده در مبلمان کوره وجود دارد. انواع پایه ها به صورت زیر است:





پایه های H شکل، با توجه به سطح اتکای زیادی که در دو طرف قاعده خود دارند، میتوانند بدون رابط استفاده شوند؛ ولی پایه های ساده برای حفظ تعادل و افزایش سطح اتکا، به رابط و اتصالات نیاز دارند.



میتوان از اتصالات قلعه های برای ساخت پایه هایی با ارتفاع دلخواه استفاده کرد. همراه با اتصالات قلعه ای، از دیسک هایی مخصوص برای افزایش سطح اتکا با صفحات استفاده میشود.





افزایش طول پایه با استفاده از اتصال قلعه‌ای



ساخت پایه با ارتفاع دلخواه با اتصالات قلعه‌ای



اتصال قلعه‌ای



قرارگرفتن اتصال قلعه‌ای بر روی دیسک



دیسک مخصوص اتصالات قلعه‌ای

## سترها

سترها صفحات سبکی هستند که برای چیدمان ظروفی مانند بشقاب استفاده میشوند.

سترها در انواع تخت و پروفیلی استفاده میشوند. هرچه این سترها سبک تر باشند، باعث کاهش وزن میلمان و در نتیجه، کاهش مصرف انرژی برای افزایش دما میشوند.

### انواع سترهای تخت سبک



برخی از سترها دارای پایه و برخی بدون پایه هستند.



**سترهای پایه دار:** چیدمان سریعتری دارند ولی در صورت شکسته شدن یک پایه، ستر قابل استفاده نیست. چیدمان سترهای پایه دار بر روی یکدیگر ساده و سریع است و پایه ها باید در راستای یکدیگر قرار گیرند.

**سترهای بدون پایه:** به منظور چسباندن پایه به ستر از دوغاب رسی یا دوغاب سیمان نسوز استفاده میشود. ابتدا پایه به دوغاب آغشته میشود و سپس به قطعات اصلی قفسه بندی کوره چسبانده میشود. روند چیدمان آن کند است، ولی با شکسته شدن پایه ها میتوان با تعویض و چسباندن پایه جدید سترها را تعمیر کرد.

نکته: علاوه بر سترهای تخت، سترهای پروفیلی برای پخت محصولات مانند بشقاب و کاسه استفاده میشوند. این سترها نیز در دو شکل پایه دار و بدون پایه ساخته میشوند.

### ساگارها

در مواردی که دود و برخورد مستقیم شعله به محصول، بر رنگ و کیفیت آن اثرگذار باشد، برای محافظت محصول از شعله و اتمسفر داخل کوره از ساگار استفاده میشود.

ساگارها را میتوان بصورت عمودی بر روی یکدیگر چید. قطعات در داخل ساگارها جای میگیرند و پس از چیدمان عمودی ساگارها، فرایند پخت انجام میشود.

همچنین از ساگار میتوان برای پخت قطعات ریز سرامیکی نیز استفاده کرد. در این صورت، پخت قطعات باید بدون لعاب انجام شود تا به یکدیگر نچسبند.

### مبلمان مخصوص کاشی ها

برای پخت صفحات و کاشی ها، از چنگک یا سترهای شانه ای استفاده میشود. این سترها با ایجاد فاصله بین کاشیها، به گردش هوای گرم کوره در هر دو طرف کاشی کمک میکنند و پخت به صورت همگن و یکنواخت انجام میشود. یکنواختی پخت در محصولات از ایجاد ترک و خمیدگی در کاشیها جلوگیری میکند.

### مبلمان محصولات لعاب دار

گاهی میتوان محصولات سرامیکی بدون لعاب را در هنگام پخت بر روی یکدیگر چید. اما در پخت قطعات لعاب خورده باید دقت کرد که محصولات با یکدیگر و همچنین با مبلمان کوره تماس نداشته باشند، زیرا محصولات به هم میچسبند. بنابراین چیدمان محصولات باید با رعایت فاصله باشد و از تماس قسمت لعاب خورده با مبلمان کوره جلوگیری شود. برای مثال، در محصولات ظروف مانند بشقاب، پس از لعاب خوردن با استفاده از اسفنج سطح تماس بین قطعه و صفحه از لعاب پاک میشود.

برای چیدمان محصولات لعاب خورده در کوره، از اجزای مبلمان پین دار استفاده میشود. این پینها نوک تیز هستند تا سطح تماس آنها با محصول به حداقل ممکن برسد. همچنین دمای ذوب بالای پین ها، امکان استفاده از آنها را در کوره فراهم میکند.

میتوان از سه پایه برای چیدمان ظروف لعاب خورده بر روی یکدیگر استفاده کرد. در این صورت احتمال مشاهده اثر سه پایه بر لعاب جدارۀ داخلی محصول وجود دارد. برای جلوگیری از این اثر نوک پین یا سه پایه باید تیز باشد.

**نکته:** در صورت استفاده از پین های فلزی برای پخت محصولات لعاب خورده، باید پین ها را مرتباً تعویض کرد و نوک آنها را از لعابهای چسبیده تمیز و تا حد امکان تیز کرد.

### چیدمان مهره های سرامیکی لعاب خورده

پخت مهره های سرامیکی بدون لعاب در انواع ساگارها مقدور است، ولی در صورت پخت مهره های لعاب خورده باید از سیمهای مخصوص مبلمان کوره استفاده کرد. در این صورت، لعاب باید طوری اعمال شود که داخل مهره و محل تماس آن با سیم بدون لعاب باقی بماند.

علاوه بر سیم های افقی، میتوان از پایه عمودی فلزی یا نگهدارنده میله ای نیز برای نگه داشتن قطعات لعاب خورده و پخت آنها در کوره استفاده کرد. در این صورت، باید به دمای قابل تحمل این سیمها دقت کرد تا در کوره ذوب نشوند.

### چیدمان محصولات سرامیکی با ابعاد بزرگ

در چیدمان محصولات با ابعاد بزرگ مانند سرامیکهای بهداشتی، فضای خالی بین محصولات باید به گونه ای باشد که هوای داغ در داخل کوره بین قطعات جریان داشته باشد.

اگر چیدمان متراکم باشد و بین محصولات فضایی وجود نداشته باشد، هوای داغ نمیتواند عبور کند و در نتیجه، پخت انجام نمیپذیرد.

**نکته:** فضاهای خالی بین محصولات در کوره باید در همه جا یکسان و متعادل باشد تا جریان هوای داغ نیز بین همه محصولات به صورت مساوی و یکنواخت انجام شود.

در صورت پخت محصولات حجیم سرامیکی مانند سرامیک های بهداشتی، میتوان فضای خالی بین محصولات را با چیدن محصولات کوچکتر پر کرد.

### چیدمان آجرها

چیدمان آجرها در خشک کن و کوره نیازی به مبلمان کوره ندارد. بدین منظور، ردیف های آجر به صورت عمود بر یکدیگر و با فاصله ای معادل ۲ انگشت از یکدیگر چیده میشوند. دلیل این نوع چیدمان، جریان یافتن هوای داغ میان آجرها است.

## تعمیر و نگهداری مبلمان کوره

پوشش دادن سطوح داخلی قطعات مبلمان کوره با لایه ای نازک از دوغاب آلومینایی برای جلوگیری از چسبیدن لعاب یا قطعه به صفحات ضروری است.

بهتر است قبل از استفاده دوباره، لایه اعمال شده پاک شود و لایه ای جدید بر روی سطح بالایی مبلمان اعمال شود.

مبلمان کوره در هنگام پخت تا دمای ۱۲۵۰ درجه سلسیوس حدود یک درصد انبساط دارد و در هنگام سرمایش به همین میزان نیز انقباض میکند. اگر گرمایش و سرمایش مبلمان کوره به آهستگی و با سرعت کم انجام پذیرد، تغییرات ابعادی تمام اجزا و قطعات مبلمان یکنواخت میشود و در نتیجه، شکست و تخریب اتفاق نمیافتد. برای مثال اگر ساگار فقط از یک طرف گرم و سرد شود، دو طرف آن با سرعتهای متفاوتی تغییر ابعاد خواهد یافت و در نتیجه، ساگار شکسته میشود.

گرمایش و سرمایش مبلمان کوره که دارای سیلیس آزاد است در دماهای ۲۲۰.۲۸۰ و ۵۷۳ درجه سلسیوس باید به آرامی صورت گیرد. زیرا به دلیل وجود سیلیس آزاد، مبلمان کوره در این محدوده دمایی تغییرات ابعادی زیادی دارد.

### ساخت مبلمان کوره

مبلمان کوره را میتوان با انواع روشهای شکل دهی به روش پلاستیک، پرس و ریخته گری دوغابی ساخت. در میان این روشها، شکل دهی به روش پلاستیک روشی ساده و کم هزینه است.

مهمترین ماده اولیه استفاده شده در ساخت مبلمان کوره، خاک رس با دیرگدازی بالا است. در میان انواع رس، کائولن مناسب ترین انتخاب است، زیرا علاوه بر دیرگدازی مناسب، در ترکیب با آب، خاصیت شکل پذیری دارد. با پخت کائولن در دمای بیش از ۱۲۵۰ درجه سلسیوس میتوان شاموت ساخت. از شاموت به صورت دانه بندی شده (حداکثر ۵ میلیمتر) در ساخت انواع محصولات دیرگداز مانند مبلمان کوره استفاده میشود. در ساخت انواع مبلمان مورد استفاده برای محصولات لعابدار مانند سه پایه، به جای شاموت از ماسه سیلیسی یا دانه های کوارتز با دانه بندی بین ۸۰ تا ۱۰۰ نیز استفاده میشود.

### پودمان ۲ ارزیابی و کنترل حرارت

#### منابع تأمین حرارت

کوره از جمله مهمترین تجهیزات هر کارگاه یا کارخانه تولید سرامیک است. کوره های سرامیک از نظر تولید حرارت به دو دسته کلی تقسیم میشوند:

الف) کوره های الکتریکی

ب) کوره های مشعلی.

## کوره های الکتریکی

کوره های الکتریکی به وسیله المنتها حرارت تولید میکنند.

المنتها رشته هایی از سیم نیمه هادی با مقاومت الکتریکی هستند که جریان الکتریکی را به حرارت تبدیل میکنند. المنتها خاصیت مقاومت حرارتی و تحمل جریان الکتریکی بالایی دارند. برای مثال، اگر جریان الکتریکی زیادی در یک سیم نازک ساده برقرار شود، سیم در عرض چند صدم ثانیه ذوب میشود. اما المنتها علاوه بر مقاومت الکتریکی بالا مقاومت حرارتی زیادی نیز دارند؛ بنابراین جریان و دمای بالا را میتوانند تحمل کنند.

**نکته:** المنتها قبل از حرارت دیدن انعطاف پذیر هستند، اما بعد از حرارت دیدن و گداخته شدن، انعطاف پذیری خود را از دست میدهند و شکننده میشوند.

## انواع المنت



## جنس انواع المنتها

۱ المنتهایی که تا دمای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس به کار میروند، معمولاً از جنس آلیاژ نیکل - کروم (آلیاژ نیکروم) هستند.

۲ المنتهای آلیاژ کنتال (Fe - Cr - Al - Co) برای تولید حرارت تا دماهای ۱۲۰۰ درجه سلسیوس به کار میروند.

۳ المنتهای سیلیکون کارباید و مولیبدن در دماهای بالاتر از ۱۲۰۰ درجه سلسیوس به کار میروند.

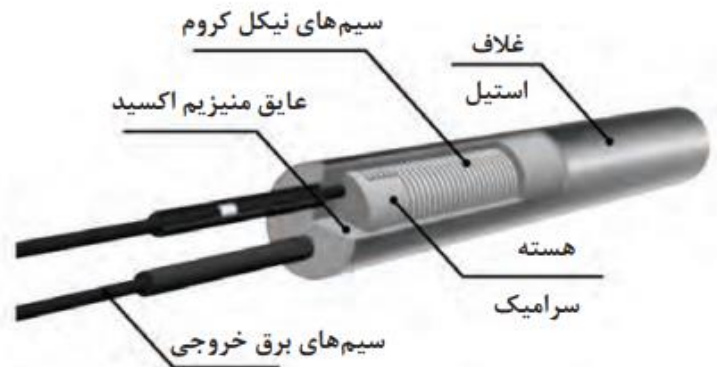
۴ المنتهای گرافیتی و تنگستنی برای دماهای بسیار بالا استفاده میشوند.

با پیشرفت صنعت در دنیا استفاده از المنت برای تولید حرارت افزایش چشمگیری پیدا کرده است و در بیشتر صنایع مورد استفاده قرار میگیرد. پرمصرفترین المنتها براساس شکل ظاهری عبارتند از:

## المنت فشنگی

المنت فشنگی (کارتریجی) در اغلب وسایل الکتریکی خانگی و در صنایع قالب گیری پلاستیک به عنوان منبع تولید حرارت بهکار میروند.

این نوع المنت در ولتاژ و توانهای متفاوت و در قطر و طولهای مختلف طراحی و تولید میشوند.



شکل ۶- اجزای داخلی یک نمونه المنت فشنگی

## المنت میله ای

المنت میله ای یکی از پرمصرف ترین المنتها است. اتصالات برق این المنت به صورت مفتول های رزوه دار با فیش های مربوط به آن انجام میشود که به نصب آسان المنت کمک می کند. در خشک کن های سرامیکی معمولاً از این نوع المنت استفاده میشود.

## المنت فنری

طراحی این المنت به شکل فنر باعث شده است که کارایی بسیار بالایی نسبت به دیگر المنتها داشته باشد. کوره های الکتریکی که برای پخت بدنه های سرامیکی استفاده میشوند، معمولاً دارای این نوع المنتها هستند.

مهمترین ویژگی این المنت عبارت است از:

۱ حجم کم

۲ توان حرارتی بالا

۳ تولید و انتقال حرارت در کمترین زمان



مهمترین ویژگی المنت فنی، شکل مارپیچی آن است که طول بسیار زیادی از المنت میتواند در فضای محدودی قرار گیرد و به همین دلیل تولید حرارت افزایش می یابد. در هر جایی که محدودیت فضا وجود دارد و به حرارت بالایی نیاز است، میتوان از این نوع المنت برای ایجاد حرارت مورد نیاز استفاده کرد.

### المنت سیلیکون کاربیدی

المنت سیلیکون کاربیدی از جنس سیلیکون کارباید (SiC) ساخته میشوند و به شکل میله ای و فنی وجود دارند. این المنت برای تولید حرارت بین محدوده ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ درجه سلسیوس به کار میرود و نسبت به المنت های دیگر قیمت بالاتری دارد. ص ۴۶

المنت سیلیکون کاربیدی به بخار آب و بخارهای گازی حساس هستند؛ بنابراین برای جلوگیری از آسیب دیدن این المنت ابتدا بدنه ها در کوره های الکتریکی با سایر المنتها پیش پخت میشود تا بخارها و گازها خارج شوند، سپس پخت نهایی درون کوره های سیلیکون کاربیدی انجام میشود.

### موارد مصرف المنت سیلیکون کارباید

از این المنت در زمینه تولید سرامیکهای مهندسی (ساخت مگنتها)، در آزمایشگاهها و پروژه های تحقیقاتی استفاده میشود.

### روش نصب المنت های کوره های الکتریکی

الف) المنتها روی پایه های استوانه های شکل از جنس دیرگداز به عنوان نگهدارنده قرار میگیرند.

ب) در طول دیواره و کف کوره شیار ایجاد میشود و المنت درون آنها نصب میشوند.

### نکات ایمنی هنگام کار با کوره های الکتریکی

۱- هنگام برداشتن یا جابجایی نمونه ها درون کوره نباید انبر یا دست به المنت برخورد کند، زیرا باعث آسیب رسیدن به المنت میشود. همچنین برخورد انبر با المنت باعث ایجاد جرقه، آتش سوزی یا برق گرفتگی میشود.

۲- هیچگاه در کوره روشن را باز نکنید، زیرا علاوه بر سوختگی صورت و بدن باعث وارد آمدن شوک حرارتی به بدنه های در حال پخت، آجر دیرگداز کوره، المنت و سوختن آنها میشود.

۳- هیچگاه بدنه های سرامیکی را در تماس با المنت قرار ندهید زیرا باعث آسیب رسیدن به بدنه و المنت میشود.

۴- بدنه های سرامیکی لعاب خورده نباید هیچگونه تماسی با المنت داشته باشند، زیرا در نقطه تماس، مقاومت المنت افزایش می یابد و باعث ذوب نقطه ای و قطع شدن المنت میشود.

### کوره های مشعلی

کوره های مشعلی دارای اجزای بسیار زیادی هستند. نوع سوخت و مشعل از مهمترین اجزای به کار رفته در این کوره ها است.

## انواع سوخت

سوخت مادهای است که با مقدار کافی اکسیژن ترکیب میشود و حرارت زیاد تولید میکند.

انواع سوخت:

سوخت گازی

سوخت مایع

سوخت جامد.

## سوخت گازی

سوخت گازی از مهمترین و معمول ترین سوختهای مصرفی در کشور ما است که به دلیل قیمت مناسب، در دسترس بودن و آلایندهی کمتر، بیشتر استفاده میشوند.

موارد مصرف سوخت گازی:

۱- مصارف صنعتی

۲- مصارف خانگی

۳- مصارف دامداری و کشاورزی

گاز طبیعی و گاز مایع از اصلی ترین سوختهای گازی هستند.

گاز مایع از پالایش نفت خام بدست می آید. هنگام استفاده از این سوخت باید احتیاط کرد، زیرا در هنگام سوختن حرارت زیادی تولید میشود و احتمال نشت گاز زیاد است.

## سوخت مایع

علاوه بر سوخت گازی، سوخت مایع نیز در صنعت استفاده میشوند. این سوختها برای افزایش بازدهی، به اسپری شدن بر روی مشعل نیاز دارند؛ بنابراین کاربرد آنها نسبت به نوع گازی محدودتر است. مهمترین سوختهای مایع در صنعت شامل

موارد زیر است:

نفت سفید

گازوئیل

نفت کوره.

### سوخت جامد

سوخت جامد انواع زیادی دارد که در بین آنها، زغال سنگ و کک کاربرد بیشتری در تولید حرارت کوره دارند.

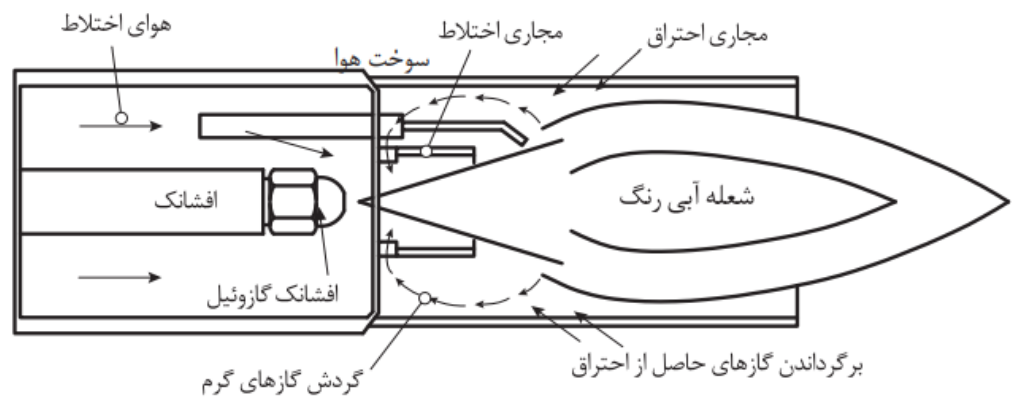
**الف) زغال سنگ:** زغال سنگ مهمترین سوخت جامد صنعتی است که برای کاربردهایی مانند تولید انرژی الکتریکی، شکل دهی فلزات و ساخت مواد شیمیایی مصرف میشود. این سوخت از پسماند مواد گیاهی طی سالیان دراز تشکیل میشود.

**ب) کک:** برای تهیه سوخت کک زغال سنگ در کورههای مخصوص تحت حرارت به کک تبدیل میشوند؛ ترکیب شیمیایی کک شامل ۹۴-۸۵ درصد کربن و بقیه آن شامل مواد فرّار، خاکستر و گوگرد است.

### مشعل

یکی از اجزای مهم کوره مشعل اختلاط کامل سوخت و هوا و ایجاد حداکثر حرارت به کار میرود.

طرز کار مشعل به این روش است که با پاشش سوخت مانند گازوئیل و ترکیب شدن آن با اکسیژن موجود در هوا و ایجاد جرقه، عمل احتراق انجام میشود و حرارت مورد نیاز به صورت شعله به داخل کوره هدایت میشود.



### انواع مشعل از نظر تأمین هوای احتراق

گازهای حاصل از احتراق، چگالی کمتری نسبت به هوای محیط بیرون از کوره دارند؛ بنابراین مکش طبیعی هوا از محیط اطراف به درون محفظه احتراق انجام می‌شود.

طبیعی (اتمسفریک)

مشعل اکثر کوره‌های بزرگ صنعتی با سامانه دمنده هوای اجباری کار می‌کنند و هوای داخل کوره توسط فن تأمین می‌شود.

اجباری (دمنده‌دار)

## انواع مشعل از نظر سوخت مصرفی

مشعلها را میتوان براساس نوع سوخت مصرفی به سه دسته کلی تقسیم بندی کرد:

۱ مشعل گازسوز

۲ مشعل مایع سوز

۳ مشعل دوگانه سوز.

**نکته:** در صنایع به منظور افزایش بازده ساختمان مشعل دوگانه سوز طراحی میکنند. در مشعل های دوگانه سوز میتوان در مواردی از سوخت گازی یا سوخت مایع استفاده کرد. مشعل های دوگانه سوز مانند خودروهای دوگانه سوز هستند که قابلیت کار با هر دو نوع سوخت گاز و مایع را دارند.

## اتمسفر کوره

احتراق واکنشی است که بین سوخت و اکسیژن صورت میگیرد و حرارت زیادی را تولید میکند. اتمسفر کوره تعیین کننده میزان اکسیژنی است که به شعله برای انجام واکنش احتراق میرسد.

در کوره های سوخت سوز میتوان اتمسفر و مشعل کوره را تحت کنترل قرار داد. اتمسفر کوره به دو دسته تقسیم میشود:

۱- اکسیدی

۲- احیایی

در پخت با اتمسفر اکسیدی اکسیژن بیشتری به مشعل میرسد و حرارت بیشتری ایجاد میشود. رنگ شعله در این اتمسفر در دماهای پایین غالباً به رنگ آبی است و در دماهای بالا رنگ شعله قرمز روشن مشاهده میشود.

برای ایجاد اتمسفر احیایی اکسیژن کمتری برای احتراق به مشعل تغذیه میشود و احتراق ناقص انجام میشود؛ بنابراین در شعله هنگام سوختن مقداری دود (کربن نسوخته) نیز بوجود می‌آید. شعله مشعل در این اتمسفر غالباً به رنگ زرد و نارنجی قابل مشاهده است.

در اتمسفر احیایی مقداری کربن روی بدنه در حال پخت ایجاد میشود که باعث تغییر رنگ در بعضی از بدنه ها میشود.

اتمسفر بیش از حد احیایی به دلایل زیر مطلوب نیست:

(الف) توده های عظیمی از دود سیاه ایجاد میشود که باعث آلودگی زیست محیطی میشود.

(ب) اتمسفر احیایی باعث اتلاف سوخت میشود.

(ج) اتمسفر احیایی باعث جلوگیری از افزایش درجه حرارت میشود. دمای شعله اکسیدی بیشتر از احیایی است.

## انتقال حرارت

انتقال حرارت با اختلاف دما ایجاد میشود. هر چه اختلاف دما بین دو نقطه زیادتر باشد سرعت انتقال حرارت بیشتر میشود.

حرارت به سه روش انتقال می یابد:

### ۱. هدایت

انتقال حرارت در اجسام جامد به روش هدایت انجام میشود.

هنگامی که دمای بخشی از جسم از بخش دیگر آن بیشتر باشد حرارت از بخش گرمتر به سمت بخش سردتر جریان می یابد.

میزان حرارت منتقل شده با روش هدایت با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$q = \frac{KA\Delta T}{L} = \frac{KA(T_{\text{گرم}} - T_{\text{سرد}})}{L}$$

$L$  = طول جسم

$A$  = سطح مقطع جسم

$K$  = ضریب هدایت حرارتی

$\Delta T$  = اختلاف دمای دو نقطه سرد و گرم

هدایت گرمایی در همه جامدات برابر نیست؛ فلزات بیشتر و نافلزات کمتر گرما را به این روش منتقل میکنند. به دلیل اینکه

تعداد الکترونهاى آزاد در فلزات بسیار زیاد است، از هدایت گرمایی خوبی برخوردار هستند. هنگامی که به نقطه‌های از فلز گرما

داده میشود، الکترونهاى آزاد انرژی جنبشی بیشتری بدست می آورند و سریعتر حرکت میکنند و انرژی گرمایی به سرعت از

قسمتهای گرم به قسمتهای سرد منتقل میشود.

## ۲ همرفت (کنوکسیون)

یک شوفاژ روشن را در نظر بگیرید:

هوای سرد که چگالی بیشتری دارد و سنگین تر است، در پایین قرار دارد. در مجاورت شوفاژ هوا گرم میگردد چگالی آن کم میشود و سبک شده به طرف بالا میرود. دوباره هوای سرد دیگری به جای آن مینشیند و جابه جایی هوا مرتب ادامه می یابد تا تمام هوا گرم شود.

همرفت انتقال حرارت به وسیله حرکت مولکولها در محیط از یک نقطه به نقطه دیگر است. مولکولهایی که گرم شده اند از یک نقطه به نقطه دیگر حرکت میکنند و حرارت را با خود جابه جا میکنند.

## ۳. تابش

هر جسم داغ، حتی بدن انسان، از خود اشعه هایی ساطع میکند که این اشعه ها توسط اجسام سردتر جذب میشوند. در انتقال حرارت به روش تابش، به محیط مادی نیازی نیست؛ یعنی میتواند در خلا نیز انجام گیرد. در این روش حرارت به صورت نور یا امواج الکترومغناطیسی از منبع داغ به اطراف منتقل میشود.

## انتقال حرارت درون کوره

درون کوره ها هر سه روش انتقال حرارت شامل هدایت، همرفت و تابش وجود دارد:

**کف کوره، چیدمان و بدنه داخل کوره:** انتقال حرارت با روش هدایت انجام میشود.

**هوای داخل کوره:** همرفت گازهای داغ وجود دارد.

**مشعل، المنت و دیرگدازهای گرم شده:** انتقال حرارت به روش تابش وجود دارد.

• در دماهای پایینتر از ۵۰۰ درجه سلسیوس، همرفت روش اصلی انتقال حرارت درون کوره است.

• در دماهای بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس، انتقال حرارت با هر دو روش تابش و همرفت انجام میشود.

هنگامیکه دما بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سلسیوس است، تابش اصلی ترین روش در انتقال حرارت درون کوره است.

## اندازه گیری دما

تعیین و کنترل دمای کوره مهمترین موضوع در کار با کوره ها است.

روشهای گوناگونی برای اندازه گیری دمای کوره وجود دارد که عبارتند از:

## ۱- ترموکوپل



متداول ترین وسیله برای اندازه گیری و کنترل دما است.

ترموکوپل یکی از مهمترین اجزای کوره و خشک کن است که داخل دیواره یا سقف آنها نصب میشود. در کوره های بزرگ عموماً از چندین ترموکوپل در نقاط مختلف کوره استفاده میشود.

ترموکوپل معمولاً از به هم پیوستن دو فلز غیر همجنس به یکدیگر ایجاد میشود که براساس جنس سیم ها محدوده دمای قابل اندازه گیری ترموکوپل تغییر میکند.

ترموکوپل یکی از مهمترین اجزای کوره و خشک کن است که داخل دیواره یا سقف آنها نصب میشود. در کوره های بزرگ عموماً از چندین ترموکوپل در نقاط مختلف کوره استفاده میشود.

### نکات مهم در مورد ترموکوپل

- اطراف ترموکوپل نباید از بدنه ها و قطعات پر شده باشد تا جریان حرارت به خوبی با ترموکوپل در تماس باشد.
- ترموکوپل نباید در معرض ضربه قرار گیرد.
- محل قرارگیری ترموکوپل اهمیت دارد و باید در محلی قرار گیرد که دما در آن قسمت به صورت یکنواخت جریان داشته باشد.

### ۲. آذرسنج نوری

آذرسنج نوری دمای اجسام بسیار داغ را با استفاده از نور مرئی که جسم از خود ساطع میکند، تشخیص میدهد. در آذرسنج نوری نور مرئی ایجاد شده از کوره از درون یک سامانه نوری که درون آن یک لامپ گداخته شده قرار دارد گذرانده میشود. در اثر برخورد نور به این رشته های لامپ جریانی عبور میکند که تعیین کننده میزان دما است.

### ۳ مخروط زگر

برای تعیین دمای کوره از مخروط های دیرگداز استاندارد (مخروط زگر) استفاده میشود که دارای ابعاد استاندارد با ترکیب شیمیایی مشخص و نقطه خمیری شدن معین هستند. هر یک از مخروط های زگر شماره مخصوصی دارند که در کوره ها حرارت می بینند تا به حالت خمیری درآید. سپس با توجه به جدول شماره و حالت خمیری مخروط زگر دمای کوره مشخص میشود. در جدول شماره ۵ تعدادی از مخروط های زگر بیان شده است.

### پودمان ۳ خشک کردن سرامیک ها

استفاده از آب برای شکل دهی سرامیک ها، ضروری است. بعد از شکل دهی، آب از درون قطعه باید خارج شود. این عمل با اعمال حرارت و جریان هوای گرم و خشک در خشک کن انجام میشود.

خشک شدن فرایندی است که در بخشی از زندگی روزمره در حال رخ دادن است. خشک کردن در موارد زیادی مانند خشک کردن لباس، چوب، ظروف و مواد غذایی مانند سبزیجات، میوه جات و خشکبار استفاده میشود.

استفاده از آب برای شکل دهی قطعات سرامیکی بسیار اهمیت دارد. آب با ایجاد خاصیت پلاستیسیته در گل، به شکل پذیری آن کمک میکند. پس از تکمیل فرایند شکل دهی، آب موجود در بدنه باید از آن خارج شود.

خشک شدن فرایند خروج آب از قطعه سرامیکی یا ماده اولیه مرطوب است که نیاز به حرارت دارد.

**نکته:** گرفتن آب دوغاب توسط فیلتر پرس که یک فرایند مکانیکی است، خشک کردن نامیده نمیشود.

از دست دادن آب با انقباض قطعه همراه است. در طول فرایند خشک شدن باید آب موجود در بدنه به صورت کنترل شده از قطعه خارج شود به صورتی که در انسجام قطعه تغییری ایجاد نشود. کنترل نکردن این انقباض، باعث ایجاد شکستگی و تغییر شکلهای نامطلوب در قطعه میشود.

### عوامل مؤثر بر خشک شدن سرامیکها

در خشک شدن قطعات دارای رطوبت بالا، ابتدا رطوبت باید از مرکز قطعه به سطح آن منتقل شود و سپس از سطح قطعه جدا و دور شود. بنابراین خشک شدن این نوع قطعات در دو مرحله انجام میشود:

۱- حرکت آب از درون قطعه به سطح آن

۲- تبخیر و دور شدن رطوبت از سطح قطعه

بنابراین میتوان عواملی را که بر خشک شدن مؤثر هستند، به عوامل بیرونی و درونی دسته بندی کرد.

### انواع آب در بدنه های سرامیکی

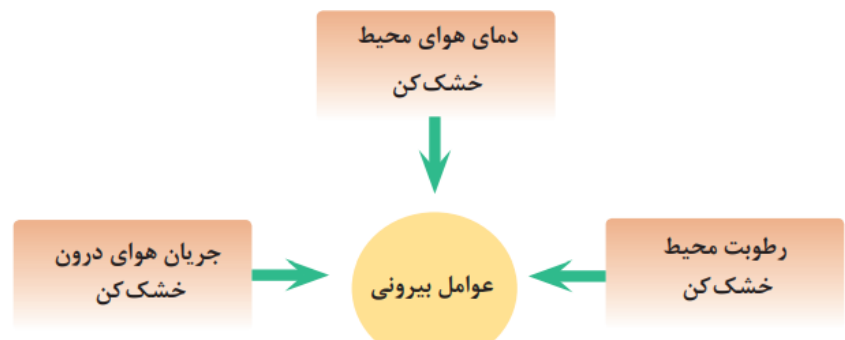
آب موجود در بدنه های سرامیکی مطابق جدول زیر تقسیم بندی میشود.

محل خروج		فرمول شیمیایی	انواع آب در بدنه های سرامیکی	
کوره	خشک کن		پلاستیسیته	آب آزاد
-	✓	H <sub>2</sub> O	تخلخل	آب آزاد
-	✓		جذب شده (مقید)	
✓	-			
✓	-	OH	آب ساختاری	

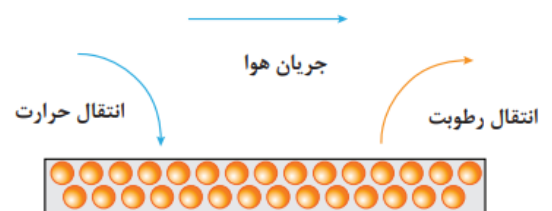
زمانی که آب به پودر سرامیکی کاملاً خشک اضافه میشود، ابتدا بخشی از آب سطح ذرات را می پوشاند که آب جذب شده یا مقید نامیده میشود. این پدیده به سبب ماهیت باردار بودن سطح ذرات و قطبی بودن مولکول های آب است.

در تخلخل های بین ذرات، مقداری آب انباشته میشود که آب تخلخل نام دارد و افزودن آب بیشتر، باعث ایجاد فاصله بیشتر بین ذرات در ماده میشود. در فرایندهای شکل دهی پلاستیک، این جدایش باعث بهبود روانکاری و سهولت شکل دهی میشود. به آبی که باعث افزایش فاصله بین ذرات میشود، آب پلاستیسیته یا آب شکل دهی گفته میشود.

در فرایند خشک شدن سرامیکها، بعد از رسیدن رطوبت از درون قطعه به سطح قطعه، مرحله جدا شدن و دور شدن رطوبت در بیرون از قطعه اتفاق می افتد. عوامل بیرونی که در دور شدن رطوبت از سطح قطعه مؤثر هستند، در نمودار زیر آمده است.



۱ **سرعت جریان هوای درون خشک کن:** جریان هوای درون خشک کن به طور همزمان وظیفه انتقال گرما به صورت همرفت به قطعه و دور کردن رطوبت تبخیر شده از سطح قطعه را به عهده دارد. بنابراین هرچه سرعت جریان هوای درون خشک کن بیشتر باشد، سرعت خشک شدن نیز افزایش می یابد.



شکل ۸ - عبور جریان هوا و انتقال گرما به قطعه

۲ **میزان رطوبت داخل خشک کن:** هر چه از میزان رطوبت موجود در خشک کن کاسته شود سرعت خشک شدن بیشتر میشود. این موضوع را با مقایسه خشک شدن لباسها در شهرهای گرم و خشک با شهرهای کنار دریا با رطوبت زیاد میتوان بهتر درک کرد.

۳ **انتقال گرما:** با انتقال گرما از منبع حرارتی به سطح و داخل قطعه عمل خشک شدن انجام میگردد.

### خشک کن ها در صنعت سرامیک

ساده ترین روش برای خشک کردن قطعات سرامیکی، مانند آجر و سفال، قرار دادن آنها در محیط باز یا در معرض گرمای آفتاب است.

برای تولید انبوه بدنه ها این شیوه کاربردی نیست، زیرا:

۱- شرایط آب و هوایی در نقاط مختلف دنیا متفاوت است، مثلاً در شهرهایی که رطوبت زیاد است و بارندگی وجود دارد، خشک شدن قطعات دشوار است.

۲- کارگران بیشتری برای چیدن و جمع آوری قطعات نیاز است.

۳- فضای زیادی برای خشک کردن نیاز است.

۴- ضایعات قطعات در اثر حمل و نقل توسط کارگران افزایش می یابد.


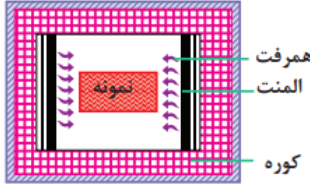
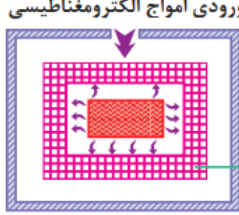
۵- حجم تولیدات کارخانه ها افزایش یافته است.

بنابراین نیاز به طراحی خشک کن های ضرورت پیدا کرد تا ضمن حل مشکلات مطرح شده و بهبود کیفیت خشک کردن، کارایی بیشتری داشته باشند و در مصرف انرژی صرفه جویی شود.

## انواع خشک کن

خشک کن ها بر اساس چگونگی انتقال حرارت و نوع عملیات مطابق نمودار زیر طبقه بندی میشوند.



انواع خشک کن بر اساس انتقال حرارت		
نوع خشک کن	شکل	توضیحات
هدایتی		در خشک کن هدایتی گرما از کف خشک کن به قطعه منتقل می‌شود. این نوع خشک کن برای خشک کردن آجر و بلوک به کار می‌رود.
همرفتی		در خشک کن همرفتی، قطعات در معرض هوای داغ قرار می‌گیرند. هوای داغ حرارت لازم برای تبخیر آب قطعات را تأمین می‌کند و سپس آب تبخیر شده از طریق کانال خروجی هوای خشک کن به بیرون هدایت می‌شود.
تابشی		در خشک کن تابشی از امواج الکترومغناطیس استفاده می‌شود. زمانی که امواج به قطعهٔ سرامیکی مرطوب برخورد می‌کند، انرژی تابشی آن به آب در سطح یا درون قطعه جذب می‌شود و با گرم کردن و تبخیر شدن آب‌ها موجب خشک شدن قطعه می‌شود.

### خشک کن ناپیوسته

در خشک کن ناپیوسته (متناوب) چرخه بارگیری، خشک شدن و خروج قطعه از آن به صورت همزمان انجام نمی‌شود. بعضی از قطعات بزرگ مانند لوله های فاضلاب، آجرهای ساختمانی و مقره های بزرگ الکتریکی در این نوع خشک کن ها خشک میشوند.

### خشک کن پیوسته

خشک کن های تونلی، حلقوی (دوبین) و عمودی (مانگلی) از انواع خشک کن های پیوسته هستند. در این خشک کن ها قطعات شکل داده شده از یک طرف وارد خشک کن میشوند تا گرما به آنها منتقل شود و از طرف دیگر تخلیه میشوند. این عملیات ها به صورت همزمان انجام میشود.

### خشک کن تونلی (افقی)

خشک کن های تونلی دارای تونل طویلی هستند. در این خشک کن ها، محصولات را بر روی واگن یا رولر قرار میدهند و به داخل خشک کن هدایت میکنند. هوای گرم شده توسط مشعل یا در بعضی موارد توسط گرمای بازیافتی حاصل از کوره از میان تونل عبور داده میشود.

واگن زمانی که وارد خشک کن میشود، به تدریج به طرف انتهای داغ تونل پیش میرود تا قطعات کاملاً خشک شوند.

### خشک کن های هوای داغ سریع کاشی

در خشک‌کن هوای داغ سریع، تغذیه کاشی در یک لایه انجام میشود تا هر کاشی از کاشی دیگر فاصله داشته باشد و تمام سطوح آن در معرض هوای محیط قرار گیرد. در نتیجه، مدت زمان کمتری برای گرم شدن یکنواخت قطعه لازم است. این تکنولوژی خشک شدن سریع نامیده میشود.

### خشک کن های حلقوی (دوبین)

خشک کن های حلقوی مشابه تنور نان ماشینی است که برای خشک کردن ظروف خانگی استفاده میشود.

خشک‌کن های حلقوی به شکل ۸ ضلعی هستند که ۶ ضلع آن بسته و ۲ ضلع دیگر آن باز است. در یک ضلع باز عمل بارگیری و در ضلع باز دیگر، عمل تخلیه انجام میشود. هوای گرم از قسمت گرمکن که در بالای خشک کن واقع شده است، با یک هواکش به قسمت پایین فرستاده میشود.

### خشک کن های عمودی

خشک کن های عمودی به دلیل شباهتی که در عملکرد به چرخ و فلک دارند به آنها خشک کن های چرخ و فلکی یا مانگل نیز گفته میشود. در این خشک کن ها، قطعات بر روی سینی هایی قرار میگیرند که مانند سبدهای چرخ فلک به صورت افقی توسط چرخ دنده یا نوار نقاله جابجا میشوند. این سینی ها از یک سمت بارگیری میشوند و از سمت دیگر در حال تخلیه شدن هستند.

### خشک کن های عمودی سریع

امروزه استفاده از خشک کنهای عمودی سریع در صنعت کاشی رایج است، زیرا کل چرخه خشک شدن در زمان بسیار کوتاهی صورت میگیرد.

مزایای استفاده از این خشک کن ها عبارتند از:

- ۱- کاشی‌ها به صورت توده‌ای و انبوه بر روی یکدیگر قرار نمیگیرند و به‌صورت جداگانه و با فاصله روی قفسه مشبک قرار میگیرند.
- ۲- هوای گرم زیادی از جهات مختلف به کاشی برخورد میکند.
- ۳- اطراف کاشی مانع وجود ندارد و تغییرات طولی که در زمان خشک شدن برای کاشی رخ میدهد، بدون مانع صورت میگیرد.
- ۴- درجه حرارت خشک کن در محدوده ۱۳۰ تا ۱۴۰ درجه سلسیوس است و قطعه خارج شده حداکثر ۱ درصد رطوبت دارد.

### کنترل خشک کن



برخی از قطعات سرامیکی به آسانی خشک میشوند و میتوان آنها را در خشک کن سریع قرار داد؛ ولی برخی دیگر برای خشک شدن به محیط خشک کن تحت کنترل نیازمند هستند. برای جلوگیری از ترک خوردن، کاهش استحکام، اعوجاج یا دیگر عیوب، لازم است رطوبت و دمای خشک کن کنترل شود.

### عیوب قطعه هنگام خشک شدن

در فرایند خشک شدن قطعه ممکن است به دلایل مختلفی عیوبی مانند ترک و تاب در قطعه ظاهر شود.

تعداد زیادی از ترکها ناشی از نوع مواد اولیه، فرایند مخلوط کردن، روش شکل دهی یا طراحی قطعه است.

تاب و ترک ایجاد شده در زمان خشک کردن قطعه، معمولاً به دلیل انقباض غیر یکنواخت است.

انقباض یک قطعه در زمان خشک شدن یک اتفاق بدیهی است که باید به صورت یکنواخت، در همه جهات انجام شود. اما ممکن است عواملی مانع انقباض یکنواخت قطعه شوند و بر بدنه تنش وارد کنند. این عوامل میتوانند شامل موارد زیر باشند:

**الف) سرعت متفاوت خروج آب از سطوح مختلف قطعه مانند سطح فوقانی و زیر قطعه:** وقتی سطح فوقانی قطعه سریع خشک شود، منقبض میشود، در حالی که سطح زیری قطعه رطوبت بیشتری دارد؛ در نتیجه، انقباض کمتری در قطعه ایجاد می گردد و باعث به وجود آمدن تاب در آن میشود.

**ب) توزیع غیریکنواخت رطوبت:** توزیع غیر یکنواخت رطوبت در قطعه قبل از مرحله خشک کردن و بعد از مرحله شکل دهی باعث ایجاد انقباض غیر یکنواخت در قطعه میشود.

برای مثال، در گل خروجی از دستگاه اکسترودر میزان رطوبت قسمت مرکزی و کناره های ستون گل متفاوت است؛ بنابراین هنگام خشک شدن، تفاوت در میزان رطوبت قسمتهای مختلف ستون گل اکسترودر شده، باعث ایجاد ترک در آن میشود.

**ج) اختلاف ضخامت:** اختلاف در ضخامت قسمتهای مختلف نمونه میتواند باعث ایجاد ترک در آن شود.

شکل ۲۳ دو نمونه با ۱۶ درصد رطوبت را نشان میدهد. هر دو با دمش یک فن دمنده و در دمای اتاق خشک شده اند. در نمونه الف ترک ایجاد نشده است، ولی در نمونه ب ترک مشاهده میشود. این ترکها در بین بخشهای نازک و ضخیم، شاخه شاخه شده و ادامه پیدا کرده است.

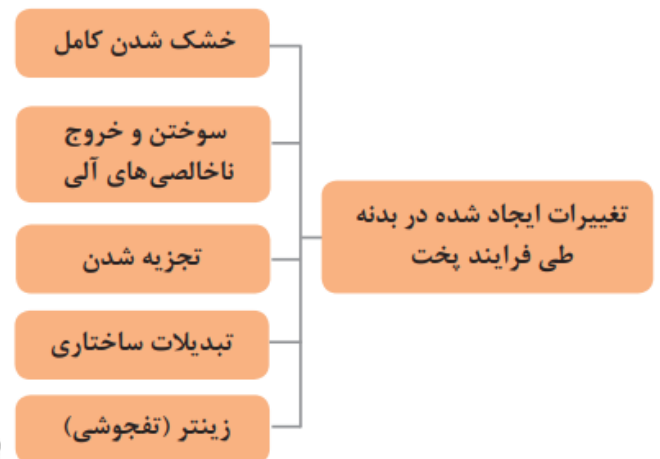
### پودمان ۴ پخت کردن سرامیک ها

قطعات سرامیکی بعد از شکلدهی و خشک شدن، لازم است به بدنه ای سخت و مقاوم تبدیل شوند تا قابلیت استفاده و دوام کافی داشته باشند. از کوره های پخت برای دستیابی به این هدف استفاده میشود.

### فرایند پخت

قطعات سرامیکی پس از خشک شدن، استحکام کمی دارند و با کمترین نیرو خرد میشوند یا با جذب مجدد آب به گل تبدیل شده و از بین میروند. برای افزایش استحکام بدنه باید فرایند پخت بر روی قطعات انجام شود. فرایند پخت سرامیکها در کوره انجام میشود.

در اثر حرارت، ذرات آمیز به یکدیگر متصل میشوند و استحکام قطعه افزایش مییابد. در قطعه درحال پخت تغییرات مختلفی اتفاق میافتد. این تحولات عبارتند از:



### ۱- خشک شدن کامل

قطعات سرامیکی در مرحله خشک شدن بیشتر رطوبت آزاد خود را از دست میدهند. قطعات خشک شده گرچه به ظاهر فاقد رطوبت هستند، ولی مقداری رطوبت در بین ذرات باقی مانده است که با افزایش دما در کوره از بدنه خارج میشود. در مرحله خشک شدن کامل در کوره، آب به صورت بخار از قطعه خارج میشود، بنابراین اگر سرعت افزایش دما بالا باشد، بخار حاصل میتواند موجب ایجاد ترک و شکستن قطعه شود.

### ۲- سوختن و خروج ناخالصی‌های آلی

با توجه به وجود مواد آلی مانند چسبها و روان سازها در آمیز بدنه سرامیکی، لازم است این مواد هنگام پخت از بدنه خارج شوند. مواد آلی شامل ترکیبات حاوی کربن و هیدروژن هستند که با سوختن در حضور اکسیژن از بدنه خارج میشوند. خروج این مواد همراه با ایجاد تخلخل و کاهش استحکام بوده و باقی ماندن آنها در بدنه نیز باعث ایجاد عیوب رنگی میشود.

### ۳- تجزیه شدن

حضور کربناتها، سولفاتها و آب تبلور در مواد اولیه معدنی امری اجتناب ناپذیر است. این ترکیبات در محدوده دمایی ۴۰۰ تا ۹۰۰ درجه سلسیوس تجزیه میگردند و کربن دی اکسید (CO<sub>2</sub>)، گوگرد دی اکسید (SO<sub>2</sub>) و آب (H<sub>2</sub>O) حاصل از تجزیه آنها از بدنه خارج میشود.

**نکته:** برخی از ترکیبات سولفاتی در دمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سلسیوس تجزیه میشوند.

در هنگام پخت قطعات سرامیکی هر یک از ترکیبات در محدوده درجه حرارت مشخصی تقریباً از بدنه خارج میشوند. براساس ترکیب آمیز، دمای خروج اجزای مختلف از بدنه بر اثر حرارت متفاوت است.

#### جدول ۱- خروج اجزای مختلف از بدنه در دماهای مختلف

رطوبت	کربن و ترکیبات آلی	کربنات، سولفات و آب تبلور
تا حدود ۲۰۰ درجه سلسیوس	برخی ترکیبات آلی ۲۰۰-۳۰۰ درجه سلسیوس	کربنات‌ها ۱۰۰۰-۴۰۰ درجه سلسیوس
	کربن تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس	سولفات‌ها بالای ۱۰۰۰ درجه سلسیوس
		آب تبلور بالای ۴۰۰ درجه سلسیوس

#### ۴ تبدیلات ساختاری

مواد اولیه طی فرایند پخت دچار تغییرات زیادی در ساختار کریستالی خود میشوند که با عنوان تبدیلات ساختاری شناخته میشوند. معمولاً تبدیلات ساختاری با تغییرات حجمی همراه است و از این رو اطلاع از این تبدیلات برای تعیین منحنی پخت قطعات ضروری است.

برای مثال، تبدیلات فازی سیلیس در دماهای ۲۸۰-۲۲۰ و ۵۷۳ درجه سلسیوس با تغییرات حجمی زیادی همراه است و در منحنی پخت، سرعت آهسته تغییر دما در این دماها میتواند از ایجاد ترک در قطعه جلوگیری کند.

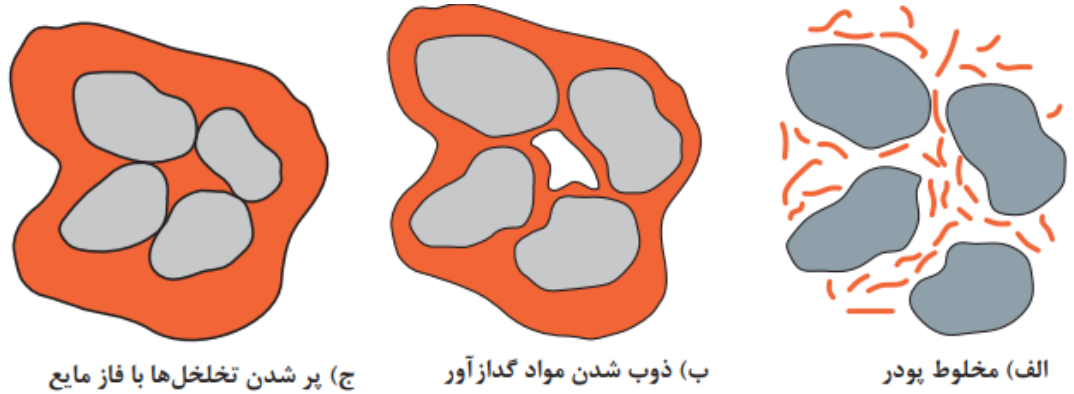
#### ۵ نفجوشی (زینتر)

در فرایند پخت سرامیکها عمل ذوب به صورت سطحی است. با افزایش درجه حرارت در کوره، ذرات

تشکیل دهنده بدنه سرامیکی به همدیگر می چسبند تا استحکام قطعه با اتصال ذرات تشکیل دهنده آن به یکدیگر افزایش یابد و قطعه متراکم و یکپارچه ای حاصل شود.

به اتصال و جوش خوردن ذرات سرامیکی به یکدیگر که طی فرایند پخت اتفاق میافتد، نفجوشی (زینتر) میگویند. این فرایند با کاهش تخلخل همراه است و باعث انقباض و افزایش استحکام قطعه میشود.

با افزایش دما، مواد گدازآور موجود در آمیز به تدریج ذوب میشوند و فاز مایع ایجاد میکنند. فاز مایع به محلهای خالی بین ذرات نفوذ میکند و باعث پرشدن تخلخل ها و اتصال بین ذرات آمیز میشود.



**نکته:** فرایند تفجوشی (زینتر) در دمایی کمتر از نقطه ذوب مواد انجام میشود.

### انواع پخت

بدنه های سرامیکی براساس تعداد دفعات ورود به کوره پخت به انواع تک پخت یا چند پخت تقسیم میشوند.

به عبارتی، بدنه های سرامیکی میتوانند یک پخت یا چند پخت باشند.

. محصولات بدون لعاب مانند دیرگدازها، آجرهای ساختمانی و گلوله های سرامیکی فقط یکبار وارد کوره و پخت میشوند.

محصولات لعابدار ممکن است در چند مرحله وارد کوره شوند که بر اساس تعداد مراحل پخت، بدنه های ، دوپخت یا سه پخت نامیده میشوند.

در محصولات دوپخت که عموماً لعاب دار هستند، پخت اول یا «پخت بیسکویت» به منظور انجام واکنش های اولیه و تأمین استحکام انجام میشود؛ بنابراین به پخت بدنه سرامیکی بدون اعمال لعاب و دکور، پخت بیسکویت گفته میشود. در این قطعات، بیسکویت پس از سرد شدن، لعاب خورده و دوباره پخت میشود که به آن پخت لعاب میگویند.

در برخی محصولات مانند مقره های الکتریکی، کاشیها و سرامیکهای بهداشتی که دمای پخت بدنه و لعاب با یکدیگر همخوانی دارند، میتوان لعاب را بر بدنه خام اعمال کرد و به صورت تک پخت محصول نهایی لعابدار را تولید کرد؛ به عبارتی بدنه لعابدار یک بار برای پخت وارد کوره میشود.

در برخی از محصولات سرامیکی مانند کاشی و ظروف خانگی پس از پخت لعاب، دکور بر روی آنها اعمال میشود. برای تثبیت دکور بر روی بدنه، پخت سوم انجام میشود که به آن پخت دکور نیز میگویند.

### منحنی پخت

برای انجام فرایند پخت، با توجه به نوع محصول سرامیکی، منحنی پخت تعریف میشود که در آن دما، سرعت تغییرات دمایی و زمان ماندن قطعه در هر دما تعیین شده است. رعایت مراحل منحنی پخت سرامیک تأثیر زیادی در ظاهر و کیفیت بدنه نهایی پخت شده دارد.

۱- به بیشترین دما در منحنی پخت، دمای پخت میگویند.

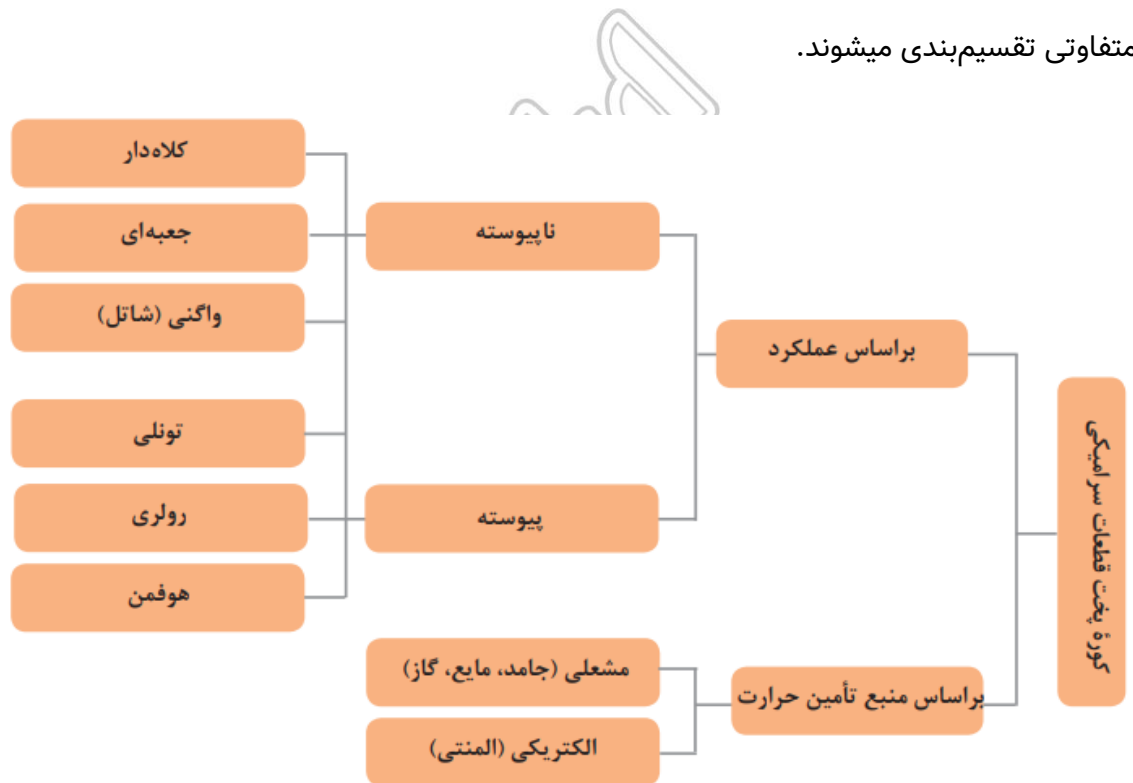
۲- مدت زمانی را که قطعه در یک دمای مشخص باقی میماند، زمان ماندن در آن دما میگویند.

۳- سرعت (نرخ) تغییرات دمایی بر حسب درجه سلسیوس بر دقیقه، شیب تغییرات دمایی در مراحل گرمایش و سرمایش قطعه است.

**نکته:** منحنی پخت براساس نوع و روش آماده سازی مواد اولیه، روش شکل دهی، حجم و شکل بدنه، نوع و امکانات کوره تعیین میشود.

### انواع کوره برای پخت قطعات سرامیکی

فرایند پخت سرامیکها در کوره انجام میشود. کورههای پخت سرامیک در اندازههای مختلف وجود دارند و براساس معیارهای متفاوتی تقسیم بندی میشوند.



### کوره ناپیوسته یا متناوب

۱- مراحل پخت برای فرآورده ها به صورت کامل انجام میشود و پس از تخلیه محصول، در کوره های ناپیوسته مراحل پخت برای فرآورده های بعدی دوباره تکرار میشود. مراحل کار این کوره ها به صورت زیر است:

۱- باز کردن در کوره؛

۲- چیدن فرآورده ها در داخل کوره؛

۳- بستن در کوره؛

۴- روشن کردن کوره و اجرای برنامه پخت؛

۵- باز کردن در کوره پس از اتمام برنامه پخت و سرد شدن آن؛

۶- تخلیه فرآورده های پخت شده از کوره.. ص ۱۰۱

توضیحات	نوع کوره
دارای واگن است که چیدمان فرآورده ها بر روی آن انجام می شود. واگن بر روی ریلها حرکت کرده و به داخل کوره وارد و از آن خارج شود. در این کوره ها، کف واگن در واقع کف کوره را تشکیل می دهد.	متناوب واگنی (شاتل) <sup>۱</sup>
کف کوره ثابت است و دیواره و سقف کوره به صورت عمودی جابه جا می شود.	متناوب کلاه دار <sup>۲</sup>
کوره جعبه ای یا صندوقی معمولاً مکعبی یا شش ضلعی است. سیستم گرمایش آنها الکتریکی یا گازی است.	متناوب جعبه ای <sup>۳</sup>

### کوره پیوسته

در کوره های پیوسته (مداوم)، چیدمان و پخت به صورت مداوم و پیوسته انجام میشود. این کوره ها ظرفیت تولید بالایی دارند. انواع کوره های پیوسته شامل کوره هوفمن، تونلی و رولری است.

### ۱: کوره هوفمن

کوره هوفمن دارای تعدادی محفظه برای پخت است که کنار هم قرار دارند. در هر یک از محفظه های پخت دری برای بارگیری و تخلیه وجود دارد. در این کوره ها فرآورده ها ثابت است و حرارت از محفظه های به محفظه دیگر منتقل میشود تا فرایند پخت در هر یک از محفظه ها انجام شود. عمل تخلیه فرآورده های پخت شده و چیدمان فرآورده های خشک شده در محفظه ای که سرد میشود بصورت همزمان انجام میگردد.

در این نوع کوره ها، برای صرفه جویی در مصرف سوخت و بازده بیشتر، هوای مورد نیاز برای احتراق مشعلها از هوای داغ محفظه های دیگر که در حال سرد شدن هستند، تأمین میشود.

کوره هوفمن برای پخت محصولاتی مانند آجر، سفال و دیرگداز مناسب است.

### ۲: کوره تونلی



در کوره تونلی فرایند پخت محصولات هنگام عبور از داخل یک تونل داغ انجام میشود. این کورهها به واگن هایی مجهز هستند که با حرکت بر روی ریل، وظیفه حمل فراورده ها را در تونل برعهده دارند. در واقع، برخلاف نوع هوفمن، محصولات متحرک و منبع حرارتی ثابت است.

کوره تونلی دارای سه بخش اصلی است:

۱ منطقه پیش گرم

۲ منطقه پخت

۳ منطقه سرمایش

در ساده ترین نوع کوره تونلی مشعلهای منطقه پخت باعث گرم شدن هوای کوره میشوند و این هوا با حرکت به سمت ورودی تونل باعث پیشگرم شدن قطعات قبل از ورود به منطقه پخت میشود. در انتهای کوره با دمش هوا قطعات بر روی واگنهای در حال خروج سرد میشوند.

این کوره ها در ابعاد صنعتی ساخته میشوند و در صنایع آجر، سفال بام، مواد دیرگداز و انواع چینی به کار میروند.

۳ کوره های رولری

در کوره های رولری یا غلتکی، قطعات روی رولرهایی موازی چیده میشوند. رولرها با دوران همزمان و یکنواخت، وظیفه انتقال قطعات را در داخل کوره انجام میدهند. این فرایند به صورت پیوسته و برای قطعات مختلف انجام میگردد. بدنه های پخت شده پس از خروج از کوره، از روی رولرهای در حال چرخش جمع آوری میشوند.

در کوره رولری هر منطقه شامل مشعل هایی در زیر و بالای رولرها است که دارای تجهیزات کنترل دستی یا خودکار برای کنترل شعله ها است. این کورهها در صنعت کاشی و سرامیکهای ساختمانی به صورت گسترده استفاده میشوند. کوره رولری مانند کوره تونلی دارای سه منطقه پیش گرم، منطقه پخت و منطقه سرمایش است.

گردش هوای داغ در کوره

گردش صحیح و یکنواخت هوای داغ در کوره و بین قطعات بر پخت یکنواخت قطعات بسیار مؤثر است.

قطعات در مسیر جریان هوای داغ قرار میگیرند و پخت میشوند. بر اساس محل مکش هوای داغ، کوره ها به انواع فوقانی، تحتانی و عرضی تقسیم میشوند.

کوره های با مکش فوقانی: در این کوره ها هواکش در سقف کوره قرار دارد و گازهای داغ حاصل از احتراق از قسمت بالای کوره به دودکش منتقل و خارج میشوند.

کوره های با مکش تحتانی: هواکش یا دریچه خروج گازهای حاصل از احتراق در کف کوره قرار دارد.

کوره های با مکش عرضی یا افقی: حرکت گازها به صورت افقی است. احتراق در یک طرف کوره و دریچه خروج گازها در طرف دیگر کوره است.

### انواع کوره بر اساس منبع تأمین حرارت

منبع تأمین کننده حرارت کوره ها میتواند متفاوت باشد.

<p>کوره های با سوخت گاز بسیار رایج اند و در آنها از گاز طبیعی یا مایع استفاده می شود. هوا و گاز با نسبت مشخص ترکیب شده و وارد مشعل کوره می شوند. در این کوره ها برای تأمین هوا استفاده از دمنده لازم است.</p> <p>در کوره های سوخت مایع از نفت، گازوئیل و مازوت استفاده می شود.</p> <p>در کوره های با سوخت جامد از سوخت هایی مانند چوب، زغال سنگ و کک استفاده می شود.</p> <p>این نوع کوره ها نیاز به کنترل زیاد دارند.</p>	<p>مشعلی (جامد، مایع یا گاز)</p>
<p>ساده ترین نوع کوره از لحاظ منبع حرارتی، کوره الکتریکی است. در این کوره ها از مقاومت الکتریکی المنت ها برای افزایش دمای آنها و ایجاد گرما استفاده می شود.</p>	<p>الکتریکی (المنتی)</p>

### انواع کوره ها برای پخت و فراوری مواد معدنی

برخی از کوره ها برای پخت و فراوری مواد معدنی و تولید محصولات بی شکل مانند سیمان و فریت سازی به کار می روند. مهمترین این نوع کوره ها، کوره دوّار است که در انواع پیوسته و ناپیوسته استفاده میشود. کوره دوّار، محفظه ای استوانه ای شکل است که معمولاً بر روی غلتکهای بزرگی در حال دوران است.



#### کوره دوّار ناپیوسته

کوره دوّار ناپیوسته، دارای دریچه ای برای پرکردن و تخلیه آمیز است. این کوره به صورت افقی است و شعله از یک سوی آن وارد و از سوی دیگر آن خارج میشود. مواد با حرکت دورانی کوره، به حرکت درمی آیند تا فرایند پخت آنها به صورت یکنواخت انجام گیرد. از این نوع کوره برای تهیه فریت شیشه نیز استفاده میشود.

#### کوره دوّار پیوسته

کوره دوار پیوسته، استوانه‌های طویل و شیب‌دار است که مواد از یک سو وارد آن میشود و در جهت شیب کوره حرکت میکند تا از سوی دیگر آن تخلیه شود. معمولاً مشعل در قسمت تخلیه کوره تعبیه میشود. این نوع کوره برای تولید سیمان و گچ زیاد استفاده میشود.

### اتم‌سفر کوره

محیط داخل کوره که محصولات سرامیکی در آن پخت میشوند، میتواند اکسیدی یا احیایی باشد.

اگر محیط کوره از اکسیژن غنی باشد، اتم‌سفر کوره اکسیدی خواهد بود؛ در غیر این صورت، اتم‌سفر کوره احیایی است. اتم‌سفر احیایی از نظر اقتصادی مناسب نیست، چرا که نشاندهنده سوختن ناقص و هدر رفتن سوخت است. یکی از نشانه‌های اتم‌سفر احیایی مشاهده رنگ شعله از دریچه بازدید کوره است.

اتم‌سفر کوره تأثیر مستقیم بر رنگ بدنه و لعاب دارد. برای مثال، آهن اکسید در اتم‌سفر احیایی خاکستری یا سیاه رنگ است، ولی در اتم‌سفر اکسیدی قهوه‌ای میشود. خاک رس حاوی مقداری آهن اکسید است که اگر در اتم‌سفر اکسیدی پخت شود، رنگی روشن و اگر در اتم‌سفر احیایی پخت شود، رنگی تیره خواهد داشت. رنگ تیره به دلیل تبدیل شدن مقداری از آهن اکسید به آهن فلزی است.

### کوره بانی

بر اساس نوع و ظرفیت هر کوره، در راه اندازی و کنترل کوره، باید نکات فنی مربوط به آن رعایت شود تا محصولات سرامیکی بی عیب ساخته شوند.

۱- شخصی است که وظیفه نظارت بر چیدمان قطعات در کوره، راه اندازی کوره و نظارت بر عملکرد آن کوره‌بان تا تکمیل برنامه پخت و در نهایت خارج کردن قطعات از کوره را بر عهده دارد.

فرایند پخت در کوره فارغ از تجهیزات کنترلی آن به نظارت پیوسته و دقیق کوره بان نیاز دارد. یک گروه بان باید به موارد زیر دقت داشته باشد و مرتب موارد مهم را یادداشت کند:

• زمان راه اندازی و اتمام برنامه پخت

• دمای کوره و انطباق آن با برنامه پخت

• تعمیرات و تغییرات اعمال شده در کوره

• تعداد و نوع محصولات پخت شده در کوره

• الگوی چیدمان قطعات و مبلمان در کوره

• شرایط سوخت و میزان مصرف آن

کوره ها درجه کوچکی برای بازرسی از شرایط کوره را دارند. کوره بان علاوه بر تجهیزات کنترل دمایی مانند ترموکوپل و مخروط زگر، میتواند بر اساس رنگ، محدوده دمایی داخل کوره را تشخیص دهد. هرچه رنگ داخل کوره روشنتر باشد، دمای آن بیشتر است.

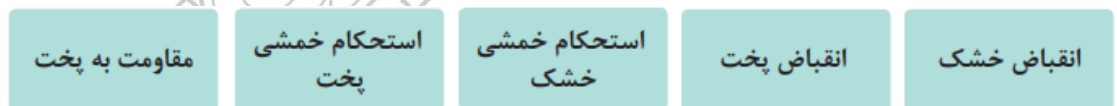
### عیوب ناشی از پخت در سرامیکها

در برخی از محصولات سرامیکی عیوبی مشاهده میشود که میتواند ناشی از دلایل متفاوتی باشد. رعایت نکردن اصول در آماده سازی مواد اولیه (مثلاً وجود ناخالصی و ناهمگونی در مواد اولیه) یا در مرحله شکل دهی و خشک کردن میتواند باعث ایجاد عیب در محصول سرامیکی شود. گاهی عیوب مشاهده شده میتواند مربوط به مرحله پخت سرامیک باشد.

در تهیه محصولات سرامیکی پس از پخت ممکن است در قطعه عیوبی مانند ترک، تغییر شکل و تابیدگی مشاهده شود که عوامل مختلفی باعث بروز این عیوب میشوند.

### پودمان ۵ آزمون های خشک کردن و پخت سرامیک ها

هدف از تولید هر محصولی رفع نیاز و برآورده ساختن خواسته های مصرف کنندگان است. کسب اطلاعات قابل اعتماد در مورد ویژگیهای مواد و محصولات به برآورده شدن این هدف کمک میکند. در این راستا انجام آزمونهای استاندارد الزامی است. از آزمونهای رایج در صنعت، اندازه گیری استحکام مکانیکی است که براساس نوع تنش اعمالی دسته بندی میشوند.



### انقباض خشک

ابعاد قطعات سرامیکی در هنگام خشک شدن با از دست دادن آب کاهش مییابد. به این کاهش ابعاد، انقباض خشک گفته میشود. میزان انقباض خشک به عوامل مختلفی بستگی دارد. برخی از این عوامل در نمودار نشان داده شده است:



رابطه محاسبه درصد انقباض خشک عبارت است از:

$$\%S_d = \frac{L_w - L_d}{L_w} \times 100$$

$S_d$ : درصد انقباض خشک  
 $L_w$ : طول تر (میلی متر)  
 $L_d$ : طول خشک (میلی متر)

### محاسبه مقدار انحراف معیار (تلرانس)، انحراف معیار استاندارد و درصد خطا

**مثال:** مقادیر انقباض خشک آزمایشی به شرح زیر است. مقدار انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و درصد خطا را محاسبه کنید.

مقادیر انقباض خشک (%): ۸، ۸/۳، ۸/۴

**حل:**

۱ ابتدا میانگین ( $\bar{S}_t$ ) اعداد انقباض را به دست آورید:

$$\bar{S}_t = \frac{8 + 8/3 + 8/4}{3} = 8/23$$

۲ مقدار انحراف معیار را با استفاده از رابطه زیر به دست آورید:

$$S = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \times [(\bar{S}_t - a_1)^2 + (\bar{S}_t - a_2)^2 + \dots + (\bar{S}_t - a_n)^2]}$$

$a_1$ ،  $a_2$  تا  $a_n$  مقادیر انقباض خشک و  $n$  تعداد آنها است.

$$S = \pm \sqrt{\frac{1}{3-1} \times [(8/23 - 8)^2 + (8/23 - 8/3)^2 + (8/23 - 8/4)^2]} = \pm 0/20$$

۳ مقدار انحراف معیار استاندارد را به شرح زیر به دست آورید:

$$S_t = \bar{S}_t \pm S = 8/23 \pm 0/20$$

۴ درصد خطا از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{درصد خطا} = \frac{S}{S_t} \times 100 = \frac{0/20}{8/23} \times 100 = 2/43\%$$

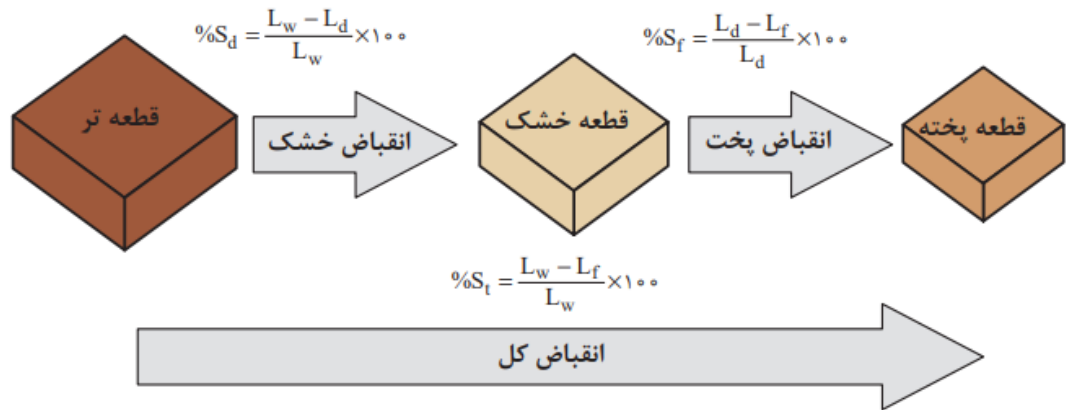
ص ۱۲۳

### انقباض پخت

محصولات سرامیکی در فرایند پخت به دلیل همجوشی (زینتر شدن) دچار انقباض میشوند که مقدار آن اهمیت زیادی دارد.

### آزمون انقباض پخت و کل

به منظور دستیابی به میزان انقباض پخت و کل، ابعاد قطعه بعد از پخت شدن اندازه گیری میشود. چنانچه درصد انقباض نسبت به حالت خشک محاسبه شود به آن انقباض پخت و اگر میزان انقباض نسبت به حالت تر محاسبه شود به آن انقباض کل گفته میشود.



شکل ۱۳- انقباض خشک و پخت

اطلاع از میزان انقباض پخت و کل قطعات سرامیکی برای دستیابی به ابعاد قابل قبول و پیشبینی شده محصول و طراحی و ساخت مدل اولیه و قالب از اهمیت زیادی برخوردار است.

آزمون انقباض پخت و کل بر روی نمونه هایی که انقباض خشک آنها قبلاً اندازه گیری شده است، انجام میشود.

### آزمون استحکام بدنه های سرامیکی

در طی فرایند تولید و هنگام بکارگیری قطعات سرامیکی، تنشهای متنوعی به آن وارد میشود؛ بنابراین قطعات برای غلبه بر این تنشها باید استحکام کافی داشته باشند. استحکام خمشی و فشاری از رایج ترین پارامترها جهت ارزیابی عملکرد قطعه هستند.

استحکام خمشی به میزان مقاومت یا توانایی جسم در تحمل نیروهای خمشی بدون آنکه شکسته شود. آزمون استحکام خمشی در دو حالت خشک و پخت روی قطعات سرامیکی شود، گفته انجام میشود. برای اندازه گیری استحکام خمشی از روشهای بارگذاری سه نقطه ای و چهار نقطه ای استفاده میشود.

### استحکام خمشی خشک (خام)

در جدول ۹ استحکام خمشی خشک چند ماده اولیه سرامیکی آمده است.

استحکام خمشی خشک (N/mm <sup>2</sup> =MPa)	ماده اولیه
۱/۲	کائولن زدلیتز Ia
۰/۲ - ۰/۵	کوارتز رسی زنون نشسته
۰/۵ - ۰/۶	کوارتز رسی زنون شسته
۲-۴	بال کلی آباده (SPV <sub>۱</sub> )
۱/۵-۴	بال کلی طبس

### استحکام خمشی پخت

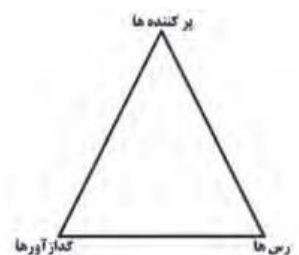
محصولات سرامیکی برای کاربرد مناسب باید دارای استحکام پس از پخت کافی باشند. آزمون استحکام خمشی پخت، بر روی نمونه های پخت شده انجام میشود.

### آزمون استحکام خمشی پخت

- ۱- نمونه های آماده شده را پس از خشک شدن در دمای  $105 \pm 5$  درجه سلسیوس به کوره منتقل کنید و در دمای  $900$  درجه سلسیوس پخت کنید. مدت زمان ماندن نمونه ها در دمای حداکثر،  $60$  دقیقه در نظر گرفته شود.
- ۲- مراحل آزمون و ثبت نتایج و محاسبه استحکام خمشی پخت مشابه با استحکام خمشی خشک است.

### مقاومت پخت

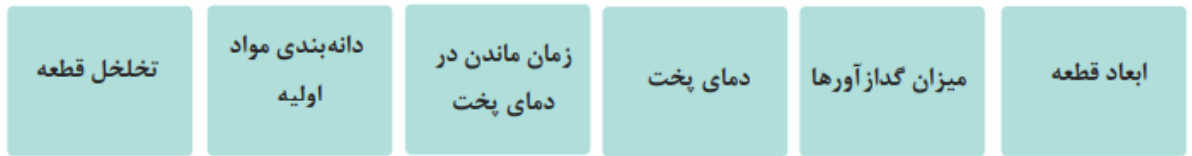
در شکل ۲۸ گروه های اصلی تشکیل دهنده محصولات سرامیکی نشان داده شده است. هر یک از این مواد ویژگیهای متفاوت دارند و بنابراین در برابر افزایش دما رفتار متفاوتی از خود نشان میدهند.



برای مثال مواد گداز آور در بدنه باعث تغییر شکل محصول در حین پخت خواهند شد. در نمودار ۳ عوامل دیگری که بر رفتار محصولات سرامیکی در حین پخت مؤثرند آورده شده است. میزان تغییر شکل قطعات در هنگام پخت به کمک آزمایش



مقاومت پخت بررسی میشود. به عبارتی، این آزمون به بررسی رفتار مواد اولیه یا ترکیبهای سرامیکی در حین پخت در دماهای مختلف میپردازد.



نمودار ۳- عوامل مؤثر بر رفتار محصولات سرامیکی در حین پخت

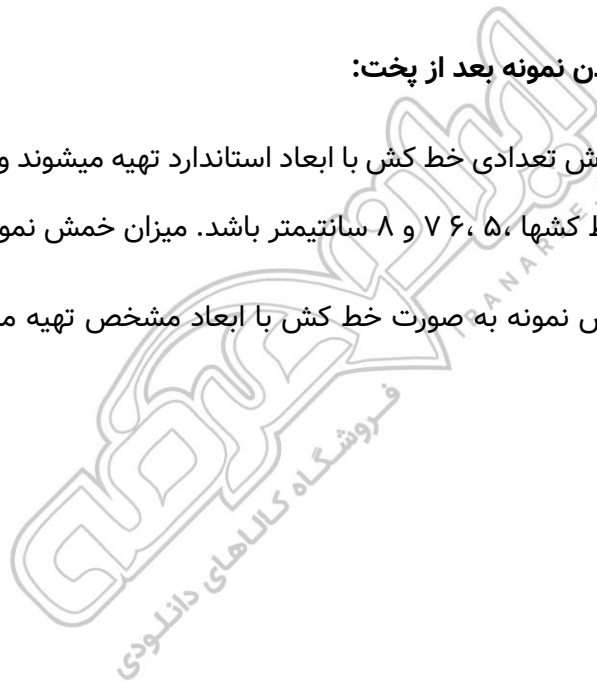
### روشهای آزمون مقاومت پخت:

۱- روش مقایسه ای: در این روش نمونه مورد آزمون با یک نمونه شاهد که دارای همان ابعاد است، در دمای مشخص پخته میشود و سپس با یکدیگر مقایسه میشوند.

۲- اندازه گیری میزان قوس یا خم شدن نمونه بعد از پخت:

الف) روش یک تکیه گاهی: در این روش تعدادی خط کش با ابعاد استاندارد تهیه میشوند و روی یک آجر دیرگداز طوری چیده میشوند که به ترتیب لبه های آزاد خط کشها ۵، ۶، ۷ و ۸ سانتیمتر باشد. میزان خم شدن نمونه ها بعد از پخت بررسی میشود.

ب) روش دو تکیه گاهی: در این روش نمونه به صورت خط کش با ابعاد مشخص تهیه میشود و میزان قوس قطعه بعد از پخت اندازه گیری میشود.



## ❖ فصل دوم: نکات مهم خشک کردن و پختن سرامیک ها پایه دوازدهم کد ۲۱۲۵۰۹

- ۱- محدوده دمایی خشک کردن قطعات سرامیکی کمتر از ۱۴۰ درجه سلسیوس است.
- ۲- در صنعت سرامیک، برای قفسه بندی و چیدمان محصولات در کوره و محافظت آنها، از قطعات دیرگدازی استفاده می شود که به آنها وسایل قفسه بندی کوره یا مبلمان کوره گفته میشود. به عبارت دیگر، مبلمان کوره مجموعه ای از صفحات، پایه ها و اتصالات دیرگداز است.
- ۳- پایه ها برای نگه داشتن صفحات در چیدمان مبلمان کوره استفاده می شوند؛ این قطعات به روش پرس و اکستروژن قابل تولید هستند و در شکل ها و ابعاد متنوع با در نظر گرفتن استحکام و پایداری مورد نیاز ساخته می شوند.
- ۴- ساگار از جنس دیرگداز است که قطعه در داخل آن قرار می گیرد و از آن در برابر شعله مستقیم کوره محافظت می کند.
- ۵- لعاب در دمای بالا نرم می شود و به صفحات مبلمان می چسبد؛ بنابراین از سه پایه استفاده می شود.
- ۶- سترها در انواع تخت و پروفیلی استفاده میشوند. هرچه این سترها سبک تر باشند، باعث کاهش وزن مبلمان و در نتیجه کاهش مصرف انرژی برای افزایش دما می شوند.
- ۷- ساگارها را می توان بصورت عمودی بر روی یکدیگر چید. قطعات در داخل ساگارها جای می گیرند و پس از چیدمان عمودی ساگارها، فرایند پخت انجام می شود.
- ۸- گاهی میتوان محصولات سرامیکی بدون لعاب را در هنگام پخت بر روی یکدیگر چید. اما در پخت قطعات لعاب خورده باید دقت کرد که محصولات با یکدیگر و همچنین با مبلمان کوره تماس نداشته باشند، زیرا محصولات به هم می چسبند.
- ۹- اگر گرمایش و سرمایش مبلمان کوره به آهستگی و با سرعت کم انجام پذیرد، تغییرات ابعادی تمام اجزا و قطعات مبلمان یکنواخت می شود و در نتیجه، شکست و تخریب اتفاق نمی افتد.
- ۱۰- کوره از جمله مهمترین تجهیزات هر کارگاه یا کارخانه تولید سرامیک است.
- ۱۱- المنت ها علاوه بر مقاومت الکتریکی بالا مقاومت حرارتی زیادی نیز دارند؛ بنابراین جریان و دمای بالا را میتوانند تحمل کنند.
- ۱۲- المنت میله ای یکی از پرمصرف ترین المنت ها است. اتصالات برق این المنت به صورت مفتولهای رزوه دار با فیشهای مربوط به آن انجام می شود که به نصب آسان المنت کمک می کند.
- ۱۳- برای جلوگیری از آسیب دیدن این المنت ابتدا بدنه ها در کوره های الکتریکی با سایر المنت ها پیش پخت میشود تا بخارها و گازها خارج شوند، سپس پخت نهایی درون کوره های سیلیکون کاربایدی انجام می شود.

۱۴- کوره های مشعلی دارای اجزای بسیار زیادی هستند. نوع سوخت و مشعل از مهمترین اجزای به کار رفته در این کوره ها است.

۱۵- احتراق واکنشی است که بین سوخت و اکسیژن صورت میگیرد و حرارت زیادی را تولید می کند. اتمسفر کوره تعیین کننده میزان اکسیژنی است که به شعله برای انجام واکنش احتراق می رسد.

۱۶- انتقال حرارت با اختلاف دما ایجاد می شود. هر چه اختلاف دما بین دو نقطه زیادتر باشد سرعت انتقال حرارت بیشتر می شود.

۱۷- ترموکوپل یکی از مهمترین اجزای کوره و خشک کن است که داخل دیواره یا سقف آنها نصب می شود.

۱۸- در آذرسنج نوری نور مرئی ایجاد شده از کوره از درون یک سامانه نوری که درون آن یک لامپ گداخته شده قرار دارد گذرانده می شود. در اثر برخورد نور به این رشته های لامپ جریانی عبور می کند که تعیین کننده میزان دما است.

۱۹- استفاده از آب برای شکل دهی قطعات سرامیکی بسیار اهمیت دارد. آب با ایجاد خاصیت پلاستیسیته در گل، به شکل پذیری آن کمک می کند. پس از تکمیل فرایند شکل دهی، آب موجود در بدنه باید از آن خارج شود.

۲۰- زمانی که آب به پودر سرامیکی کاملاً خشک اضافه می شود، ابتدا بخشی از آب سطح ذرات را می پوشاند که آب جذب شده یا مقید نامیده می شود.

۲۱- در فرایندهای شکل دهی پلاستیک، این جدایش باعث بهبود روانکاری و سهولت شکل دهی می شود. به آبی که باعث افزایش فاصله بین ذرات می شود، آب پلاستیسیته یا آب شکل دهی گفته می شود.

۲۲- ساده ترین روش برای خشک کردن قطعات سرامیکی، مانند آجر و سفال، قرار دادن آنها در محیط باز یا در معرض گرمای آفتاب است.

۲۳- برخی از قطعات سرامیکی به آسانی خشک می شوند و میتوان آنها را در خشک کن سریع قرار داد؛ ولی برخی دیگر برای خشک شدن به محیط خشک کن تحت کنترل نیازمند هستند.

۲۴- قطعات سرامیکی پس از خشک شدن، استحکام کمی دارند و با کمترین نیرو خرد میشوند یا با جذب مجدد آب به گل تبدیل شده و از بین میروند. برای افزایش استحکام بدنه باید فرایند پخت بر روی قطعات انجام شود.

۲۵- مواد اولیه طی فرایند پخت دچار تغییرات زیادی در ساختار کریستالی خود می شوند که با عنوان تبدیلات ساختاری شناخته می شوند.

۲۶- در برخی از محصولات سرامیکی مانند کاشی و ظروف خانگی پس از پخت لعاب، دکور بر روی آنها اعمال میشود. برای تثبیت دکور بر روی بدنه، پخت سوم انجام می شود که به آن پخت دکور نیز می گویند.

۲۷- قطعات در مسیر جریان هوای داغ قرار می گیرند و پخت میشوند. بر اساس محل مکش هوای داغ، کوره ها به انواع فوقانی، تحتانی و عرضی تقسیم می شوند.

۲۸- محیط داخل کوره که محصولات سرامیکی در آن پخت می شوند، میتواند اکسیدی یا احیایی باشد.

۲۹- کوره ها درجه کوچکی برای بازرسی از شرایط کوره را دارند. کوره بان علاوه بر تجهیزات کنترل دمایی مانند ترموکوپل و مخروط زگر، می تواند بر اساس رنگ، محدوده دمایی داخل کوره را تشخیص دهد. هرچه رنگ داخل کوره روشنتر باشد، دمای آن بیشتر است.

۳۰- به منظور دستیابی به میزان انقباض پخت و کل، ابعاد قطعه بعد از پخت شدن اندازه گیری میشود. چنانچه درصد انقباض نسبت به حالت خشک محاسبه شود به آن انقباض پخت و اگر میزان انقباض نسبت به حالت تر محاسبه شود به آن انقباض کل گفته میشود.

۳۱- استحکام خمشی به میزان مقاومت یا توانایی جسم در تحمل نیروهای خمشی بدون آنکه شکسته شود.

۳۲- ۲ اندازه گیری میزان قوس یا خم شدن نمونه بعد از پخت:

الف) روش یک تکیه گاهی

ب) روش دو تکیه گاهی

