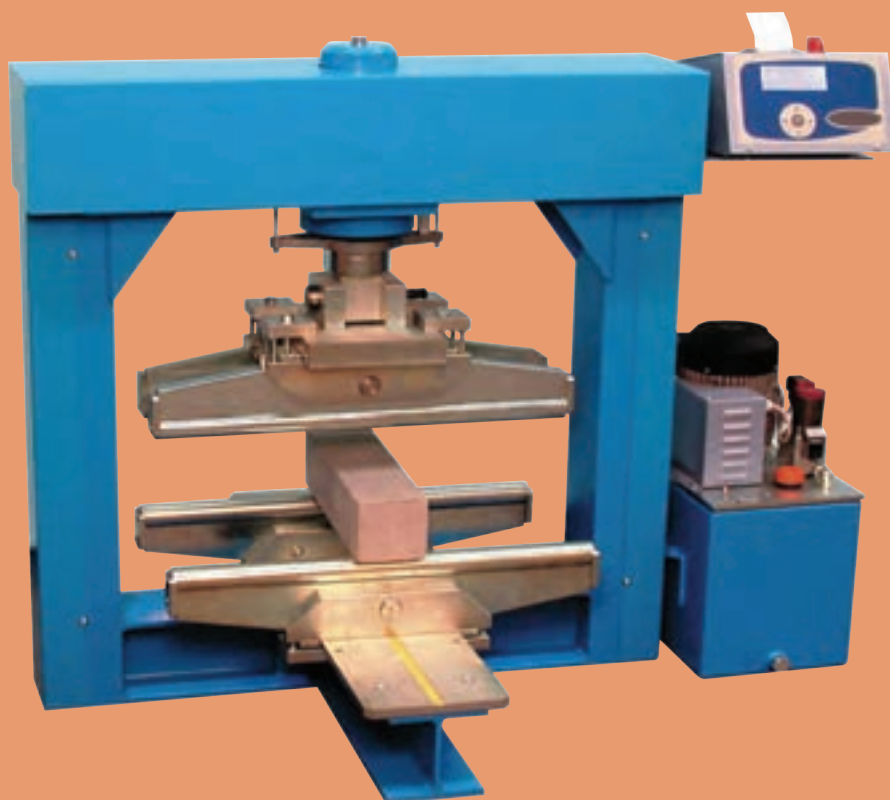


## پودمان ۵

# آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک‌ها



آزمون‌های کنترل کیفیت محصولات در هر صنعتی اهمیت زیادی دارد. عملکرد مناسب محصولات، شرایط کاری و امکان تولید به ویژگی‌های کمی و کیفی محصول وابسته است. مصرف‌کننده با کمک نتایج این آزمون‌ها می‌تواند اطلاعات قابل اعتمادی در مورد ویژگی‌های محصول کسب کند.

## واحد یادگیری ۵

### شایستگی آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک‌ها

هدف از این شایستگی کسب دانش و مهارت انجام آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک‌ها است که برای بررسی ویژگی‌های محصولات سرامیکی خشک و پخت شده به کار می‌رود.

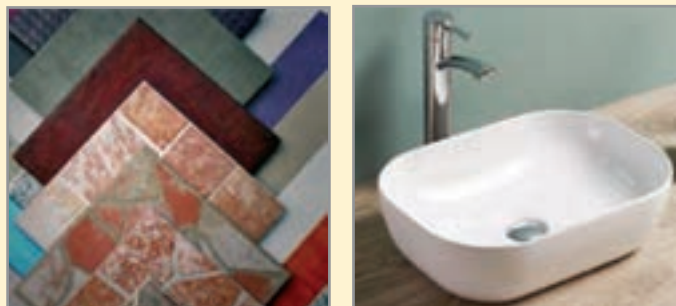
#### استاندارد عملکرد

در این پودمان، روش اجرای آزمون‌های لازم برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی محصولات سرامیکی شامل: انقباض خشک، انقباض پخت، استحکام خمشی خشک، استحکام خمشی پخت و مقاومت پخت بررسی می‌شود.

ابتدا با اصول و روش نمونه‌سازی در آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک آشنا شده و سپس نحوه بررسی و اجرای انواع آزمون‌ها شامل انقباض خشک و پخت، استحکام خمشی خشک و پخت و مقاومت پخت بیان شده است.



با توجه به کاربرد محصولات نشان داده شده در شکل ۱، چه ویژگی‌هایی از آنها نیازمند ارزیابی است؟



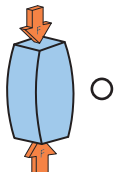
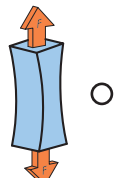
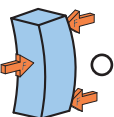
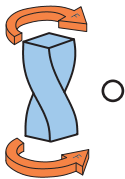
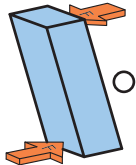
شکل ۱

هدف از تولید هر محصولی رفع نیاز و برآورده ساختن خواسته‌های مصرف‌کنندگان 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، اندازه‌گیری استحکام مکانیکی است که براساس نوع تنش اعمالی دسته‌بندی می‌شوند.

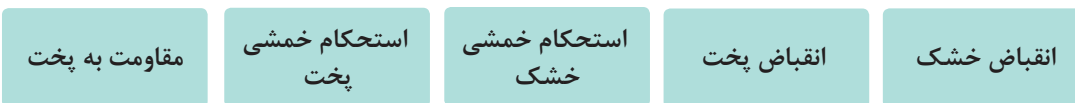


با توجه به جدول ۱ نوع تنش را به شکل مربوطه وصل کنید.

جدول ۱- انواع تنش های مکانیکی

تصویر	تنش
	کششی ○
	پیچشی ○
	فشاری ○
	برشی ○
	خمشی ○

آزمون های خشک کردن و پخت سرامیک ها بر اساس استانداردهای مشخصی انجام می شود با رعایت استاندارد انجام آزمون می توان نتایج را مقایسه و تحلیل کرد؛ با به کارگیری نتایج این آزمون ها کارایی و سوددهی در بخش صنعتی نیز افزایش می یابد. برخی از آزمون های خشک کردن و پخت سرامیک ها در نمودار ۱ نشان داده شده است.



نمودار ۱- برخی از آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک‌ها

## انقباض خشک



شکل ۲- تأثیر انقباض خشک در کاهش ابعاد نمونه

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 ۲ نشان داده شده است:



نمودار ۲- برخی از عوامل مؤثر بر انقباض

فعالیت کلاسی



با دقت در شکل ۳ به سؤالات پاسخ دهید.



شکل ۳- محصولات سرامیکی

- ۱ نوع روش شکل دهی هر محصول را مشخص کنید.
- ۲ درصد رطوبت کدام روش بیشتر است؟
- ۳ درصد انقباض در کدام روش بیشتر است؟

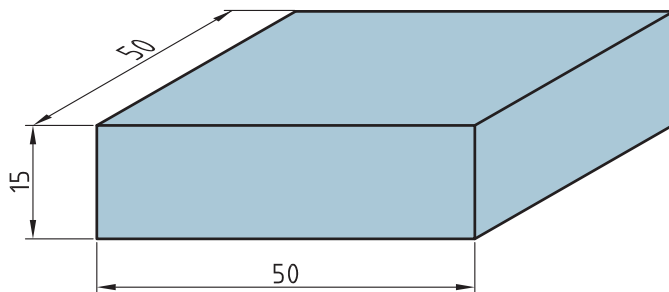
آگاهی از میزان انقباض محصولات سرامیکی در تولید این محصولات از اهمیت زیادی برخوردار است. در جدول ۲ درصد انقباض خشک چند ماده اولیه سرامیکی با هم مقایسه شده است.

جدول ۲- مقایسه انقباض خشک چند ماده اولیه

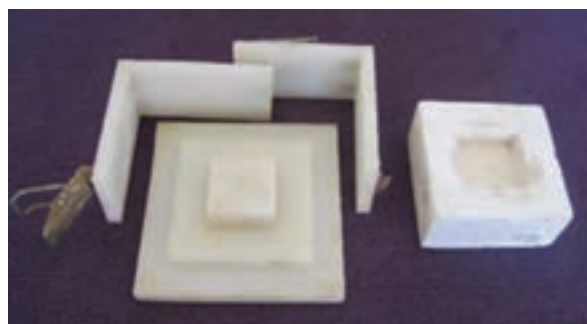
درصد انقباض خشک	ماده اولیه
۴/۶	کائولن زدلیتز Ia
۲-۴	کوارتز رسی زنوز نشسته
۳-۵	کوارتز رسی زنوزشسته
۵-۶	بال کلی آباده (SPV <sub>۱</sub> )
۳-۶	بال کلی طبس

#### اندازه‌گیری انقباض خشک

برای اندازه‌گیری انقباض خشک، اختلاف طول نمونه قبل و بعد از خشک‌شدن اندازه‌گیری می‌شود. به این منظور از نمونه مکعبی شکل به ابعادی که در شکل ۴ آمده است، استفاده می‌شود.



شکل ۴- ابعاد نمونه انقباض



شکل ۵- قالب و مادر قالب نمونه‌ساز انقباض

آمیز مورد نظر را ابتدا به صورت یک گل همگن درآورید و با روش ففرکورن گل را به شرایط ارتفاع ۱۶ میلی‌متر برسانید. از این گل برای تهیه نمونه‌های انقباض استفاده می‌شود.



الف  
ب  
شکل ۶- بررسی ارتفاع ۱۶ میلی‌متر در آزمون ففرکورن

### آزمون انقباض خشک

۱ با استفاده از قالب انقباض، ۳ نمونه بسازید. در هنگام تهیه نمونه داخل قالب را با فویل پلاستیکی بپوشانید. قبل از خارج کردن نمونه از قالب، قطرهای نمونه را رسم کنید.



الف  
ب  
ج  
شکل ۷- ساخت نمونه انقباض و رسم قطرها

۲ بعد از خارج کردن نمونه از قالب بلافاصله با شاخک‌های کولیس روی قطرها را علامت‌گذاری کنید.



شکل ۸- علامت‌گذاری به وسیله کولیس

۳ نمونه‌ها را به خشک‌کن منتقل کنید و دما را روی  $105 \pm 5$  درجه سلسیوس تنظیم کنید. نمونه‌ها را تا ثابت شدن وزن در خشک‌کن نگهداری کنید.



ب



الف

شکل ۹- انتقال نمونه‌های انقباض به خشک‌کن و تنظیم دما

۴ بعد از خشک شدن نمونه‌ها، آنها را با کمک انبر از خشک‌کن خارج کنید و به دسیکاتور انتقال دهید.



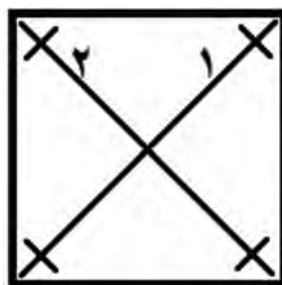
ب



الف

شکل ۱۰- انتقال نمونه‌های انقباض از خشک‌کن به دسیکاتور

۵ بعد از رسیدن نمونه‌ها به دمای محیط، دوباره قطرها را از محل علامت‌گذاری شده با کولیس اندازه‌گیری کنید. فاصله‌های علامت‌گذاری شده را قیل و بعد از خشک شدن در جدول نمونه مانند جدول ۳ یادداشت کنید و نمونه‌ها را برای انجام آزمایش انقباض پخت نگهداری کنید.



شکل ۱۱- اندازه‌گیری فاصله علامت‌ها در حالت خشک با کولیس



پودمان پنجم: آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک‌ها

۶ اطلاعات به دست آمده از مراحل ۱ تا ۵ را در جدول ۳ یادداشت کنید و طبق رابطه زیر درصد انقباض خشک را محاسبه کنید.

جدول ۳- ثبت نتایج انقباض خشک

شماره نمونه	علامت طول	طول تر ( $L_w$ ) به mm	طول خشک ( $L_d$ ) به mm	انقباض خشک ( $S_d$ ) به درصد	میانگین انقباض خشک به درصد
۱	۱	۵۰			
	۲	۵۰			
۲	۱	۵۰			
	۲	۵۰			
۳	۱	۵۰			
	۲	۵۰			

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 (میلی‌متر)

$L_d$ : طول خشک (میلی‌متر)

### محاسبه مقدار انحراف معیار (تلرانسی)، 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:

$$S_t = \bar{S}_t \pm S = ۸/۲۳ \pm ۰/۲۰$$

۴ درصد خطا از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{درصد خطا} = \frac{S}{S_t} \times ۱۰۰ = \frac{۰/۲۰}{۸/۲۳} \times ۱۰۰ = ۲/۴۳\%$$

### کار عملی ۱: اندازه گیری انقباض خشک

#### مواد و ابزار:

پودر ماده اولیه خشک شده در  $105 \pm 5$  درجه سلسیوس به مقدار ۳۰۰ گرم، ترازو با دقت ۱ گرم، خشک کن آزمایشگاهی، قالب انقباض گچی یا فلزی، کولیس، فویل پلاستیکی به ابعاد مناسب، سطل پلاستیکی متوسط، کاردک

**شرح فعالیت:** نمونه آمیز سرامیکی موجود در کارگاه خود را به میزان ۳۰۰ گرم وزن کنید سپس آزمایش انقباض خشک را بر روی آن انجام دهید و انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و درصد خطا را برای نتایج انقباض محاسبه کنید.

فعالیت  
کارگاهی



۱ هنگام خروج نمونه‌ها از خشک کن از دستکش نسوز استفاده کنید.

نکات ایمنی  
و بهداشتی



۱ برای نتیجه مطلوب، بهتر است از ترکیبات رسی استفاده کنید.

۲ بعد از علامت گذاری، نمونه‌ها را به نحوی جابه‌جا کنید که تغییر شکل پیدا نکنند.

۳ به منظور جلوگیری از ترک خوردن و متلاشی شدن نمونه‌ها قبل از انتقال به خشک کن، آنها را در هوای آزاد نگهداری کنید.

نکته



## انقباض پخت



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

شکل ۱۲- تأثیر انقباض پخت بر ابعاد نمونه



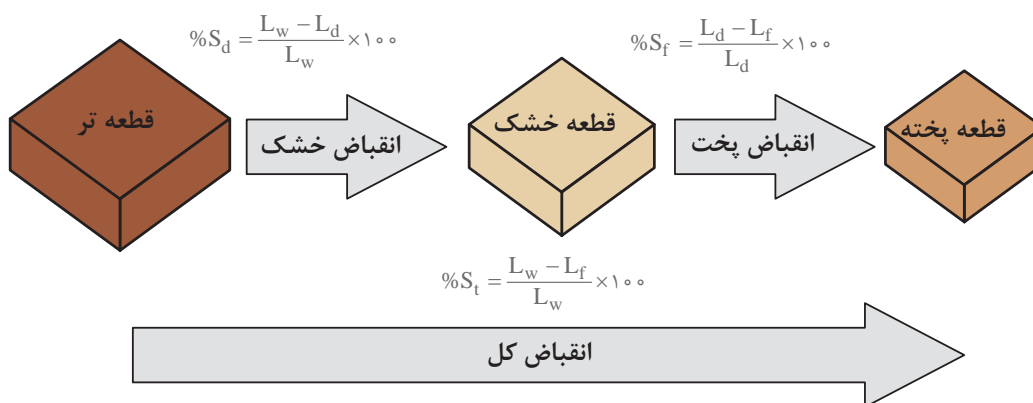
میزان تخلخل و دمای پخت چه تأثیری بر میزان انقباض پخت دارد؟

جدول ۴- مقایسه انقباض پخت چند ماده اولیه

درصد انقباض پخت	ماده اولیه
۹/۴	کائولن زدلیتز Ia
۵/۱	کائولن زنوز نشسته
۴/۵	کائولن زنوز شسته
۵/۰ - ۶/۰	بال کلی آباده (SPV <sub>۱</sub> )
۵/۵ - ۶/۰	بال کلی طیس

### آزمون انقباض پخت و کل

به منظور دستیابی به میزان انقباض پخت و کل، ابعاد قطعه بعد از پخت شدن اندازه‌گیری 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 نمونه‌هایی که انقباض خشک آنها قبلاً اندازه‌گیری شده است، انجام می‌شود.

### آزمون انقباض پخت

۱ نمونه‌های آماده شده برای آزمون انقباض خشک را با استفاده از اکسید کروم علامت‌گذاری کرده و به کوره الکتریکی منتقل کنید. در کوره را ببندید و کوره را برای پخت محصول تنظیم کنید. زمان ماندن در دمای حداکثر، ۶۰ دقیقه تنظیم شود.



ب



الف

شکل ۱۴- انتقال نمونه‌های انقباض به کوره و تنظیم دما و زمان پخت

۲ بعد از انجام فرایند پخت و رسیدن دمای کوره به دمای محیط، در کوره را باز کنید. نمونه‌ها را با کمک انبر از کوره خارج کنید و با کولیس طول قطرهای علامت‌گذاری شده را اندازه‌گیری کنید و نتایج را در جدولی مانند جدول ۵ ثبت کنید.



ب



الف

شکل ۱۵- خارج کردن نمونه‌های انقباض از کوره و اندازه‌گیری

۳ با استفاده از رابطه‌های زیر درصد انقباض پخت و کل را محاسبه کنید.

$$\%S_f = \frac{L_d - L_f}{L_d} \times 100$$

$$\%S_t = \frac{L_w - L_f}{L_w} \times 100$$

$S_f$ : درصد انقباض پخت

$S_t$ : درصد انقباض کل

$L_w$ : طول تر (میلی‌متر)

$L_d$ : طول خشک (میلی‌متر)

$L_f$ : طول پخت (میلی‌متر)

جدول ۵- ثبت نتایج آزمون انقباض پخت و کل

درصد انقباض پخت $\%S_f$	طول به mm			علامت طول	شماره نمونه
	طول پخت ( $L_f$ )	طول خشک ( $L_d$ )	طول تر ( $L_w$ )		
			۵۰	۱	۱
			۵۰	۲	
			۵۰	۳	۲
			۵۰	۴	
			۵۰	۵	۳
			۵۰	۶	
	میانگین				

اطلاعات حاصل از آزمون انقباض یک بدنه چینی در جدول ۶ آمده است. درصد انقباض خشک، انقباض پخت، انقباض کل، میزان انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و درصد خطای هر مرحله را محاسبه کنید.

فعالیت کلاسی



جدول ۶

طول به mm			علامت طول	شماره نمونه
طول پخت ( $L_p$ )	طول خشک ( $L_d$ )	طول تر ( $L_w$ )		
۴۱/۶	۴۹/۱	۵۰	۱	۱
۴۱/۲	۴۸/۹	۵۰	۲	
۴۰/۸	۴۹/۳	۵۰	۳	۲
۴۱/۱	۴۹	۵۰	۴	
۴۰/۶	۴۹/۵	۵۰	۵	۳
۴۰/۴	۴۹/۲	۵۰	۶	

کار عملی ۲: اندازه‌گیری انقباض پخت و کل در دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس

مواد و ابزار:

کولیس، کوره الکتریکی ۱۲۰۰ درجه سلسیوس، سه عدد نمونه انقباض خشک شده در دمای  $105 \pm 5$  درجه سلسیوس

شرح فعالیت:

- نمونه‌های مورد آزمون در کار عملی ۱ را با کمک اکسید کروم یا ماده رنگی دیگری که در دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس از بین نرود، علامت‌گذاری کنید و در دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس پخت کنید و انقباض پخت، انقباض کل، انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و درصد خطای نتایج را محاسبه کنید.
- نتایج آزمایش انقباض پخت و کل گروه خود و سایر گروه‌ها را در جدولی مانند جدول ۷ ثبت کنید و نتایج گروه‌ها را با هم مقایسه کنید. علت تفاوت نتایج گروه‌ها را بررسی کنید و به هنرآموز خود گزارش دهید.

جدول ۷- ثبت نتایج انقباض پخت و کل تمام گروه‌ها

میانگین انقباض سه نمونه به درصد		شماره گروه
درصد انقباض کل $S_1$ %	درصد انقباض پخت $S_p$ %	
		۱
		۲
		۳
		۴
		۵
		۶
		۷

فعالیت  
کارگاهی





- ۱ از باز کردن در کوره هنگام فرایند پخت خودداری کنید.
- ۲ برای خارج کردن نمونه‌ها در صورتی که کوره به دمای محیط نرسیده است، از انبر، عینک محافظ و دستکش نسوز استفاده کنید.



### کار عملی ۳: اندازه‌گیری انقباض پخت و کل در دمای ۱۲۰۰ درجه سلسیوس مواد و ابزار:

کولیس، کوره الکتریکی ۱۲۰۰ درجه سلسیوس، سه عدد نمونه انقباض خشک شده در دمای  $105 \pm 5$  درجه سلسیوس

درجه سلسیوس

#### شرح فعالیت:

۱ نمونه‌های پخت شده در دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس کار عملی ۲ را در دمای ۱۲۰۰ درجه سلسیوس پخت کنید و انقباض پخت، انقباض کل، انحراف معیار، انحراف استاندارد و درصد خطای نتایج را محاسبه کنید.

۲ نتایج آزمایش انقباض پخت و کل گروه خود و سایر گروه‌ها را در جدولی مانند جدول ۸ ثبت کنید و نتایج گروه‌ها را با هم مقایسه کنید. علت تفاوت نتایج گروه‌ها را بررسی کنید و به هنرآموز خود گزارش دهید.

#### جدول ۸- ثبت نتایج انقباض پخت و کل تمام گروه‌ها

میانگین انقباض سه نمونه به درصد		شماره گروه
درصد انقباض کل $\%S_f$	درصد انقباض پخت $\%S_f$	
		۱
		۲
		۳
		۴
		۵
		۶
		۷



- ۱ از باز کردن در کوره هنگام فرایند پخت خودداری کنید.
- ۲ برای خارج کردن نمونه‌ها در صورتی که کوره به دمای محیط نرسیده است، از انبر، عینک محافظ و دستکش نسوز استفاده کنید.

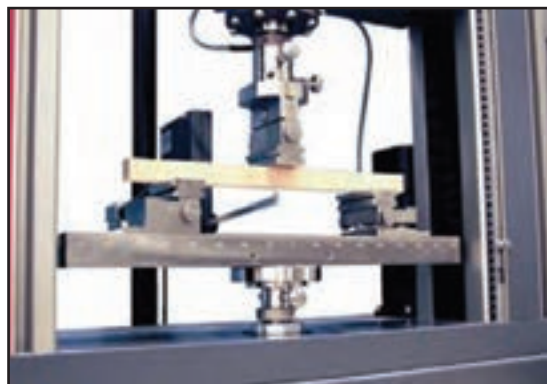
## آزمون استحکام بدنه‌های سرامیکی

پرسش



۱ آیا استحکام قطعه سرامیکی پس از خشک شدن و پخت دارای اهمیت است؟

۲ آیا استحکام قطعه پس از این دو مرحله یکسان است؟



شکل ۱۶- اندازه‌گیری استحکام خمشی به روش سه نقطه‌ای

در طی فرایند تولید و هنگام به کارگیری 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 رایج‌ترین پارامترها جهت ارزیابی عملکرد قطعه هستند.

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

روش سه نقطه‌ای اندازه‌گیری استحکام خمشی در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

## استحکام خمشی خشک (خام)

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

جدول ۹- مقایسه استحکام خمشی خشک چند ماده اولیه

ماده اولیه	استحکام خمشی خشک ( $\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$ )
کائولن زدلیتز Ia	۱/۲
کوارتز رسی زنوز نشسته	۰/۲ - ۰/۵
کوارتز رسی زنوز شسته	۰/۵ - ۰/۶
بال کلی آباده ( $\text{SPV}_1$ )	۲-۴
بال کلی طیس	۱/۵-۴





شکل ۱۷- وزن کردن مواد اولیه

### آزمون استحکام خمشی خشک

اندازه‌گیری استحکام خمشی خشک‌آمیز سرامیکی شامل مراحل زیر است:

- ۱ مقدار ۲ کیلوگرم از پودر ماده اولیه یا آمیز سرامیکی را وزن کنید.
- ۲ با آمیز، گل پلاستیک همگنی تهیه کنید که با روش ففرکورن به شرایط ارتفاع ۱۶ میلی‌متر رسیده باشد.
- ۳ یا ۴ عدد قالب نمونه‌ساز استحکام خمشی آماده کنید.



ب



الف

شکل ۱۸- مادر قالب و قالب گچی نمونه‌ساز استحکام خمشی

۴ با استفاده از قالب‌ها ۱۸ تا ۲۰ عدد نمونه برای آزمایش استحکام خمشی و پخت آماده کنید. قبل از خروج نمونه‌ها از قالب، دو طرف آنها را کدگذاری کنید.

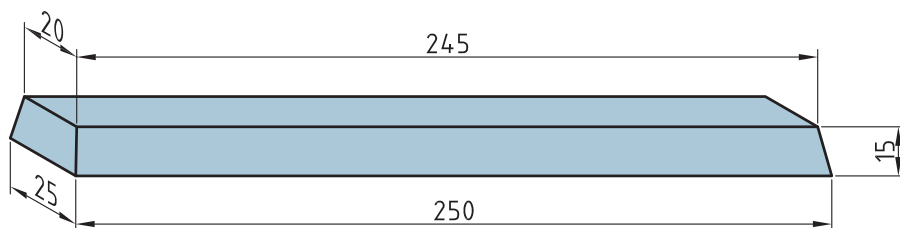


ب



الف

شکل ۱۹- ساخت نمونه استحکام خمشی و کدگذاری



شکل ۲۰- ابعاد نمونه استحکام خمشی



دقت کنید نمونه‌های تهیه شده در هیچ نقطه‌ای ترک، حفره و نواقص ظاهری نداشته باشد.

برای ساخت نمونه استحکام بهتر است گل به صورت یک فتیله آماده شده و یکجا در قالب نمونه‌ساز قرار گیرد. آماده کردن نمونه به صورت مرحله‌ای و قرار دادن آن در قالب به صورت لایه لایه احتمال ایجاد ترک در نمونه را افزایش می‌دهد.

۵ بعد از انقباض نمونه‌ها، آنها را از قالب خارج کنید و بر روی یک صفحه چوبی یا کاشی بدون لعاب قرار دهید.



ب



الف

شکل ۲۱- خارج کردن نمونه‌های استحکام خمشی خشک از قالب

۶ نمونه‌ها را برای مدت کافی خارج از خشک‌کن نگهداری کنید تا به حالت چرمینه برسند. سپس نمونه‌ها را به خشک‌کن با دمای  $105 \pm 5$  درجه سلسیوس منتقل کنید.



استاندارد مدت زمان فرایند خشک شدن نمونه‌ها، ثابت ماندن وزن است.



ب



الف

شکل ۲۲- انتقال نمونه‌های استحکام خمشی خشک به خشک‌کن و تنظیم دما

۷ بعد از ثابت شدن وزن نمونه‌ها، آنها را در دسیکاتور قرار دهید و پس از رسیدن به دمای محیط، ۶ نمونه را برای آزمون استحکام خمشی خشک انتخاب کنید و ۶ نمونه دیگر را برای آزمون استحکام خمشی پخت کنار بگذارید.



شکل ۲۳- انتقال نمونه‌های استحکام خمشی خشک از خشک‌کن به دسیکاتور

۸ فاصله بین دو تکیه‌گاه دستگاه استحکام سنج خمشی را تنظیم کنید.

۹ با استفاده از دستگاه استحکام‌سنج خمشی، استحکام خمشی خشک ۶ نمونه را اندازه بگیرید و در جدول ثبت کنید.



شکل ۲۴- اندازه‌گیری استحکام خمشی خشک نمونه‌ها

۱۰ با کمک کولیس قاعده‌ها و ارتفاع نمونه را در مقطع شکست اندازه بگیرید و در جدول ۱۰ ثبت کنید. همچنین فاصله بین دو تکیه‌گاه را در جدول ۱۰ برای هر نمونه یادداشت کنید.



شکل ۲۵- اندازه‌گیری ابعاد مقطع شکست نمونه استحکام خمشی خشک

۱۱ با استفاده از رابطه زیر استحکام خمشی خشک نمونه‌ها را محاسبه کنید و در پایان میانگین استحکام نمونه‌ها را به عنوان استحکام خمشی خشک‌آمیز اعلام کنید.

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

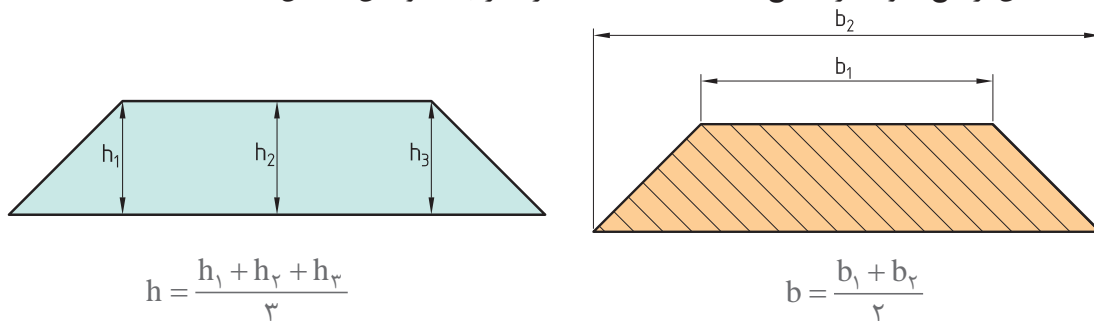
$\sigma$ : استحکام خمشی به  $N/mm^2$  یا  $MPa$

$P$ : نیروی شکست به  $N$

$L$ : فاصله تکیه‌گاه دستگاه استحکام‌سنج به  $mm$

b: میانگین قاعده‌های نمونه در مقطع شکست به mm (اندازه‌گیری با کولیس)

h: میانگین ارتفاع نمونه در مقطع شکست به mm (اندازه‌گیری با کولیس حداقل سه نقطه)



جدول ۱۰- نتایج استحکام خمشی خشک

استحکام خمشی خشک N/mm <sup>2</sup> =MPa	ارتفاع مقطع شکست نمونه mm				قاعده‌های مقطع شکست نمونه mm			نیروی شکست N	فاصله تکیه‌گاه mm	شماره نمونه
	h	h <sub>r</sub>	h <sub>r</sub>	h <sub>l</sub>	b	b <sub>r</sub>	b <sub>l</sub>			
										۱
										۲
										۳
										۴
										۵
										۶
میانگین استحکام خمشی خشک ماده اولیه										

کار عملی ۴: اندازه‌گیری استحکام خمشی خشک

مواد و ابزار:

پودر ماده اولیه خشک شده در  $105 \pm 5$  درجه سلسیوس به مقدار تقریبی ۲۰۰۰ گرم، ترازو با دقت ۱ گرم، خشک‌کن آزمایشگاهی، قالب گچی نمونه‌ساز استحکام، کولیس، ظرف پلاستیکی متوسط، کاردک یا سیم برش گل، دستگاه استحکام‌سنج خمشی، استوانه مدرج، پایه چوبی یا کاشی بدون لعاب

شرح فعالیت:

آزمون استحکام خمشی خشک را برای یک ماده رسی یا یک آمیز سرامیکی موجود در کارگاه خود برای ۶ نمونه طبق مراحل گفته شده در متن درس انجام دهید.

فعالیت  
کارگاهی



برای خارج کردن نمونه‌ها از خشک‌کن، در صورتی که دمای آن به دمای محیط نرسیده است، از انبر و دستکش نسوز استفاده کنید.

نکات ایمنی  
و بهداشتی



۱ از انجام آزمون بر روی نمونه‌های معیوب خودداری کنید.

۲ برای اطمینان از ثبت اعداد، اندازه‌ها و عدد شکست را بر روی یک نیمه از نمونه‌ها با مداد ثبت کنید.

نکته



مقدار انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و درصد خطا را برای مقادیر استحکام خمشی خشک در کار عملی شماره ۴ به دست آورید.

فعالیت کلاسی



## استحکام خمشی پخت

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

### آزمون استحکام خمشی پخت

۱ نمونه‌های آماده شده را پس از خشک شدن در دمای  $105 \pm 5$  درجه سلسیوس به کوره منتقل کنید و در دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس پخت کنید. مدت زمان ماندن نمونه‌ها در دمای حداکثر، ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شود.



ب



الف

شکل ۲۶- انتقال نمونه‌های استحکام خمشی خشک به کوره و تنظیم دمای کوره

۲ مراحل آزمون و ثبت نتایج و محاسبه استحکام خمشی پخت مشابه با استحکام خمشی خشک است.



### کار عملی ۵: اندازه‌گیری استحکام خمشی پخت در دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس مواد و ابزار:

نمونه‌های پخته شده استحکام خمشی، کوره الکتریکی ۱۲۰۰ درجه سلسیوس، کولیس، دستگاه استحکام‌سنج خمشی، کروم اکسید یا ماده رنگی مشابه برای کدگذاری  
شرح فعالیت:

- ۱ عدد از نمونه‌های استحکام را که در کار عملی ۴ تهیه شده‌اند، انتخاب کنید و با استفاده از کروم اکسید علامت‌گذاری کنید. (در صورتی که قبلاً علامت‌گذاری کرده‌اید، نیاز به علامت‌گذاری مجدد نیست.)
- ۲ نمونه‌ها را در کوره با دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس پخت کنید. زمان ماندن در دمای حداکثر را ۶۰ دقیقه تنظیم کنید.
- ۳ نمونه‌ها را پس از خارج کردن از کوره و رسیدن به دمای محیط توسط دستگاه استحکام‌سنج خمشی، تحت آزمایش قرار دهید.
- ۴ نتایج آزمون را ثبت کنید و استحکام خمشی پخت نمونه‌ها را محاسبه کنید.



- ۱ از روی هم چیدن تعداد زیادی نمونه در کوره خودداری کنید.
- ۲ قطعات سالم را در کوره بارگیری کنید.
- ۳ در طول مدت زمان پخت از باز کردن در کوره خودداری کنید.



انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و درصد خطا را برای مقادیر استحکام خمشی پخت در کار عملی شماره ۵ به دست آورید.



### کار عملی ۶: اندازه‌گیری استحکام خمشی پخت در دمای ۱۲۰۰ درجه سلسیوس مواد و ابزار:

نمونه‌های پخته شده استحکام خمشی، کوره الکتریکی ۱۲۰۰ درجه سلسیوس، کولیس، دستگاه استحکام‌سنج خمشی، کروم اکسید برای علامت‌گذاری  
شرح فعالیت:

- ۱ عدد از نمونه‌های استحکام را که در کار عملی ۴ تهیه شده‌اند، انتخاب کنید و با استفاده از اکسید کروم علامت‌گذاری کنید. (در صورتی که قبلاً علامت‌گذاری کرده‌اید، به علامت‌گذاری دوباره نیاز نیست.)
- ۲ نمونه‌ها را در کوره با دمای ۱۲۰۰ درجه سلسیوس پخت کنید. زمان ماندن در دمای حداکثر را ۶۰ دقیقه تنظیم کنید.
- ۳ نمونه‌ها را پس از خارج کردن از کوره و رسیدن به دمای محیط توسط دستگاه استحکام‌سنج خمشی تحت آزمایش قرار دهید.
- ۴ نتایج آزمون را ثبت کنید و استحکام خمشی پخت نمونه‌ها را محاسبه کنید.



در طول مدت زمان پخت از باز کردن در کوره خودداری کنید.

- ۱ از روی هم چیدن تعداد زیادی نمونه در کوره خودداری کنید.
- ۲ قطعات سالم را در کوره بارگیری کنید.
- ۳ به منظور اطمینان بیشتر از نتایج، یک یا دو نمونه بیشتر در کوره قرار دهید.



انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و درصد خطا را برای مقادیر استحکام خمشی پخت در کار عملی شماره ۶ به دست آورید.

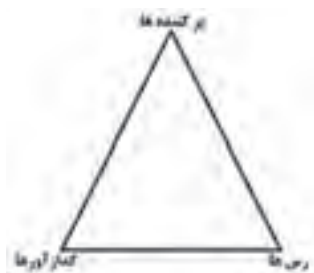
## مقاومت پخت



شکل ۲۷- بطری شیشه‌ای و پلی اتیلن

**کار عملی ۷:** تعیین مقاومت حرارتی ماده شیشه‌ای و پلاستیکی مواد و ابزار: یک بطری شیشه‌ای و یک بطری PE (یکبار مصرف) و آب داغ  
**شرح فعالیت:**

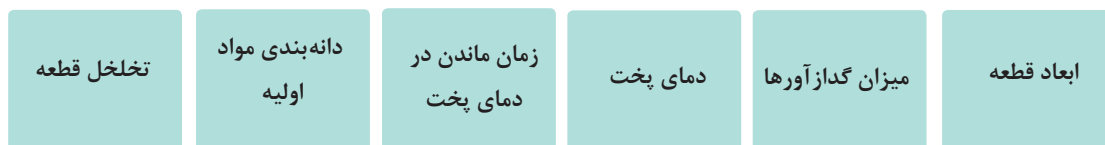
دو بطری نوشابه، یکی از جنس شیشه و یکی از جنس PE (یکبار مصرف)، تهیه کنید. مقداری آب را در یک کتری به جوش آورید و با رعایت نکات ایمنی و حفاظتی، آب درحال جوش را به هر دو بطری اضافه کنید، واکنش بطری‌ها را مشاهده کرده و نتیجه را یادداشت کنید.



شکل ۲۸- گروه‌های اصلی تشکیل دهنده محصولات سرامیکی

در شکل ۲۸ گروه‌های 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 گدازآور 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

نام چند ماده اولیه سرامیکی که مقاومت به پخت محصول را افزایش می‌دهند، پیدا کنید و با سایر هنرجویان به اشتراک بگذارید.

تحقیق کنید

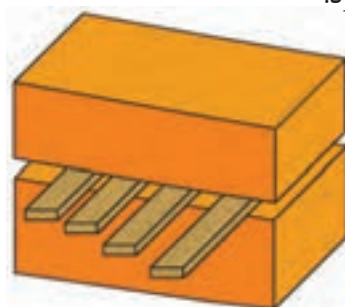


### روش‌های آزمون مقاومت پخت:

**۱ روش مقایسه‌ای:** 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 اندازه‌گیری میزان قوس یا خم شدن نمونه بعد از پخت:**

**(الف) روش یک تکیه‌گاهی:** در این روش تعدادی خط‌کش با ابعاد استاندارد تهیه می‌شوند و روی یک آجر دیرگداز طوری چیده می‌شوند که به ترتیب لبه‌های آزاد خط‌کش‌ها ۵، ۶، ۷ و ۸ سانتی‌متر باشد. میزان خم شدن نمونه‌ها بعد از پخت بررسی می‌شود.



شکل ۲۹- آزمایش مقاومت پخت یک تکیه‌گاهی



شکل ۳۰- آزمایش مقاومت پخت دو تکیه‌گاهی

**(ب) روش دو تکیه‌گاهی:** در این روش نمونه به صورت خط‌کش با ابعاد مشخص تهیه می‌شود و میزان قوس قطعه بعد از پخت اندازه‌گیری می‌شود.



### آزمون مقاومت پخت:

برای انجام آزمون مقاومت پخت ابتدا باید نمونه‌هایی با شرایط یکسان و استاندارد تهیه کرد. نمونه‌ها به شکل و ابعاد شکل ۳۱ توسط قالب‌های گچی با ابعاد استاندارد ساخته می‌شود.



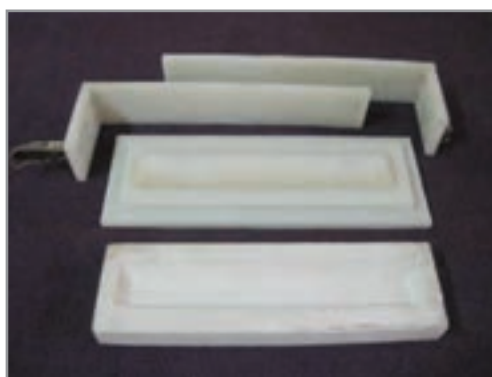
شکل ۳۱- ابعاد نمونه مقاومت به پخت

### ساخت نمونه مقاومت به پخت:

۱ با استفاده از قالب گچی و گل پلاستیک تهیه شده از آمیز موجود در کارگاه، ۴ نمونه بسازید که کاملاً تخت و بدون عیب باشد.



ب



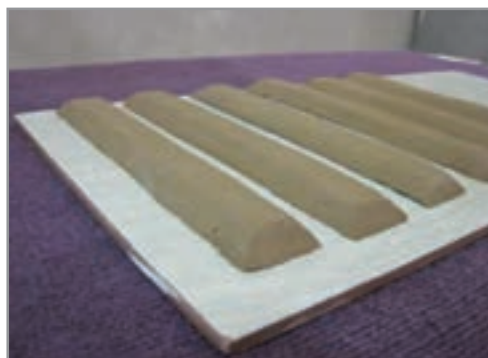
الف

شکل ۳۲- ساخت نمونه‌های مقاومت به پخت

۲ بعد از رسیدن نمونه‌ها به حالت چرمینه، آنها را به خشک‌کن با دمای  $105 \pm 5$  درجه سلسیوس منتقل کنید تا کاملاً خشک شوند.



ب



الف

شکل ۳۳- انتقال نمونه‌های مقاومت به پخت به خشک‌کن

۳ دو نمونه خشک شده سالم را در کوره بر روی تکیه‌گاه‌هایی با فاصله ۱۸۰ میلی‌متر قرار دهید. می‌توانید از پایه‌هایی که برای این منظور طراحی می‌شود، استفاده کنید.



شکل ۳۴- قرار دادن نمونه‌های مقاومت به پخت در کوره

۴ در کوره را ببندید و دما و زمان پخت را تنظیم کنید.



شکل ۳۵- تنظیم دمای کوره حاوی نمونه‌های مقاومت به پخت

۵ بعد از پخت نمونه‌ها و رسیدن به دمای محیط، آنها را از کوره خارج کنید و روی یک برگ کاغذ طوری قرار دهید که بتوانید میزان قوس را اندازه بگیرید. با توجه به شکل ۳۶ بزرگ‌ترین فاصله که بین خط افقی اولیه (A در حالت خشک) و خط قوس‌دار بعد از پخت (B) حاصل شده است، اندازه‌گیری می‌شود و با دقت

میلی‌متر به عنوان مقاومت پخت تعیین می‌شود.



شکل ۳۶- اندازه‌گیری میزان انحنای نمونه مقاومت به پخت

معمولاً این آزمایش در دماهای مختلفی انجام می‌شود. در روش یک تکیه‌گاهی حداقل ۴ نمونه انتخاب می‌شود و در کوره قرار می‌گیرد. در این روش نیز میزان انحنای نمونه‌ها معیار مقاومت به پخت است.

#### کار عملی ۸: اندازه‌گیری مقاومت پخت

##### مواد و ابزار:

خاک‌های رسی یا ترکیب‌های سرامیکی موجود در کارگاه به مقدار ۵۰۰ گرم برای هر نمونه، قالب نمونه‌ساز، کوره الکتریکی ۱۲۰۰ درجه سلسیوس، خشک‌کن آزمایشگاهی، انبر، کاردک، ظرف پلاستیکی، همزن دستی، دستکش نسوز، خط‌کش فلزی، پایه‌های دیرگداز

##### شرح فعالیت:

۱ با استفاده از مواد اولیه یا ترکیب‌های موجود در کارگاه نمونه‌های مقاومت به پخت بسازید و آزمون مقاومت به پخت را با هر دو روش یک تکیه‌گاهی و دو تکیه‌گاهی انجام دهید. برای هر یک از این روش‌ها آزمایش را در دو دما انجام دهید.

۲ نتایج حاصل از آزمون انجام شده به دو روش را جمع‌آوری و مقایسه کنید و تفاوت‌ها را تحلیل کنید و در کلاس ارائه دهید.

فعالیت  
کارگاهی





- ۱ قبل از خروج نمونه‌ها از قالب، آنها را کدگذاری کنید.
- ۲ در زمان پخت از باز کردن در کوره خودداری کنید.
- ۳ هنگام کار با کوره گرم از دستکش و انبر بوته استفاده کنید.



- ۱ با رسم جدول، نتایج آزمون‌های خود را در حالت‌ها و دماهای مختلف مقایسه کنید و تحلیل مناسبی ارائه دهید.
- ۲ میزان انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و درصد خطا را برای نتایج آزمون خود محاسبه کنید.
- ۳ با رسم جدول، نتایج آزمون‌های خود و سایر گروه‌ها را ثبت کنید و مقایسه و تحلیل مناسبی ارائه دهید.
- ۴ میزان انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و درصد خطا را برای نتایج آزمون تمام گروه‌ها محاسبه کنید.



- ۱ با بررسی نتایج گروه‌ها می‌توانید رفتار مواد مختلف را بررسی کنید.
- ۲ دقت کنید هنگام مقایسه، شرایط مربوط به نمونه‌ها یکسان باشد و فقط یک معیار متفاوت در نظر گرفته شود. برای مثال، فقط ترکیب یا دما تغییر کند.

## ارزشیابی نهایی شایستگی کسب مهارت انجام آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک‌ها

<p><b>شرح کار:</b></p> <p>۱- انجام آزمون انقباض خشک                  ۲- انجام آزمون انقباض پخت و کل                  ۳- انجام آزمون استحکام خمشی خام                  ۴- انجام آزمون استحکام خمشی پخت و کل                  ۵- انجام آزمون مقاومت پخت</p>																																	
<p><b>استاندارد عملکرد:</b></p> <p>کسب مهارت انجام آزمون‌های لازم برای بررسی ویژگی‌های محصولات سرامیکی شامل: انقباض خشک، انقباض پخت، استحکام خمشی خشک، استحکام خمشی پخت و مقاومت پخت</p> <p><b>شاخص‌ها:</b></p> <p>ساخت نمونه و اندازه‌گیری میانگین درصد انقباض خشک نمونه‌ها و توانایی مقایسه نمونه‌های مختلف انجام آزمون انقباض پخت و محاسبه انقباض پخت و کل نمونه و کاربرد نتایج آزمون انجام آزمون استحکام خام و محاسبه استحکام خام نمونه و کاربرد نتایج آزمون انجام آزمون استحکام پخت و محاسبه استحکام پخت و کل نمونه و کاربرد نتایج آزمون انجام آزمون مقاومت پخت</p>																																	
<p><b>شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:</b></p> <p>مکان: کارگاه استاندارد</p> <p>ابزار و تجهیزات: قالب نمونه‌ساز - کولیس - خشک‌کن - استحکام‌سنج - کوره - ماشین حساب - خط‌کش - کاردک - مواد اولیه</p>																																	
<p><b>معیار شایستگی:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ردیف</th> <th>مرحله کار</th> <th>حداقل نمره قبولی از ۳</th> <th>نمره هنرجو</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>۱</td> <td>انجام آزمون انقباض خشک</td> <td>۱</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۲</td> <td>انجام آزمون انقباض پخت و کل</td> <td>۲</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۳</td> <td>انجام آزمون استحکام خمشی خام</td> <td>۲</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۴</td> <td>انجام آزمون استحکام خمشی پخت و کل</td> <td>۲</td> <td></td> </tr> <tr> <td>۵</td> <td>انجام آزمون مقاومت پخت</td> <td>۱</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب</p> </td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <p><b>میانگین نمرات</b></p> </td> <td></td> <td>*</td> </tr> </tbody> </table>		ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو	۱	انجام آزمون انقباض خشک	۱		۲	انجام آزمون انقباض پخت و کل	۲		۳	انجام آزمون استحکام خمشی خام	۲		۴	انجام آزمون استحکام خمشی پخت و کل	۲		۵	انجام آزمون مقاومت پخت	۱		<p>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب</p>				<p><b>میانگین نمرات</b></p>			*
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو																														
۱	انجام آزمون انقباض خشک	۱																															
۲	انجام آزمون انقباض پخت و کل	۲																															
۳	انجام آزمون استحکام خمشی خام	۲																															
۴	انجام آزمون استحکام خمشی پخت و کل	۲																															
۵	انجام آزمون مقاومت پخت	۱																															
<p>شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب</p>																																	
<p><b>میانگین نمرات</b></p>			*																														
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.</p>																																	

- ۱ راهنمای برنامه‌ریزی درسی رشته سرامیک (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۲ استاندارد شایستگی حرفه رشته سرامیک (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۳ استاندارد ارزشیابی حرفه رشته سرامیک (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.
- ۴ Denis A. Brosnan, Gilbert C. Robinson - Introduction to Drying of ceramics.
- ۵ Henrik Norsker - Refractories and Kilns - for the self - Reliant potter - Friedrick vieweg & son (1999)
- ۶ Felix singer, sonja singer, Industrial ceramics, chemical publishing co, 1963
- ۷ آزمایشگاه مواد اولیه سرامیک؛ حسین قصابی؛ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش
- ۸ Introduction to Drying of ceramics: with Laboratory Exercises 1st Edition; Denis A. Brosnan Gilbert C. Robinson; Wiley American Ceramic society; edition1 (June 17, 2003)
- ۹ Industrial Ceramics, Singer, Felix; Singer, Sonya; Chapman Hall LTD, 1960
- ۱۰ Notes from a ceramic Laboratory; Anna Osler Shepard; Carnegie Institution of Washington (1977)
- ۱۱ Das Keramische Laboratorium, Volume 1 ; Dietrich Li pinski; Knapp, 1949
- ۱۲ سرامیک‌های مدرن Richerson, David W. دیوید دبلیوریچرسون ۱۹۴۴ - ترجمه محمد ابراهیم ابراهیمی، سالومه عسگری عباسی، سیمین سلام تبریزی، ناشر: مترجمین، تهران، ۱۳۸۴
- ۱۳ تکنولوژی سرامیک‌های ظریف، مهران متین، افسون رحیمی، ناشر: شرکت سهامی، ۱۳۸۵
- ۱۴ Handbook of Advanced Ceramics: Material, Applications, Processing and properties, Shigeyuki Somiya, Fritz Aldinger, Richard M . Spriggs, kenji U chino, kunihito Koumoto, Masayuki
- ۱۵ Principles of Ceramics processing, 2nd Edition, James S. Reed, Publisher: Wiley, 1995
- ۱۶ کوره‌های سرامیک، کی میوکیوتانی، ترجمه علی نمازی، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول ۱۳۷۲
- ۱۷ آشنایی با احتراق و کوره، علی شمالی، ناشر: الیاس، چاپ اول ۱۳۹۴
- ۱۸ کوره‌های پخت سرامیک، دانیل رادز، ترجمه شعبانعلی تشکری، ناشر: مرکز آموزش و تحقیقات مقره‌سازی، سال چاپ ۱۳۶۹
- ۱۹ دیرگدازهای سرامیکی، زیارتعلی نعمتی، ناشر: انتشارات علمی دانشگاه شریف، چاپ دوم ۱۳۸۵
- ۲۰ فرایند تولید کاشی و سرامیک (Sacmi)، گردآورنده: Sacmi، مترجم: سافو هاشمی‌زنوز، ویراستار: دکتر حسین سرپولکی، اصفهان، ۱۳۸۱
- ۲۱ Infrared Radiation and Microwaves in the Drying Procces for the Production of Ceramics, Pre
- ۲۲ کاربرد اشعه مادون قرمز و ماکروویو در خشک کردن سرامیک‌ها، چاپ اول ۱۳۷۲، ناشر: شرکت مهندسی سرامیک و شیشه ایران
- ۲۳ مقدمه‌ای بر خشک کردن سرامیک‌ها، مترجمین: دکتر محمدعلی فقیهی، مهندس سید مجید ذریه سیدی، مهندس علی آریایی، ۱۳۸۶



هنرآموزان محترم، می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را درباره مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران -

صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام‌نگار [tvoccd@roshd.ir](mailto:tvoccd@roshd.ir) ارسال نمایند.

وب‌گاه: [www.tvoccd.medu.ir](http://www.tvoccd.medu.ir)

دفترتالیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش

