بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

خشک کردن و پختن سرامیک‌ها

رشتهٔ سرامیک

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

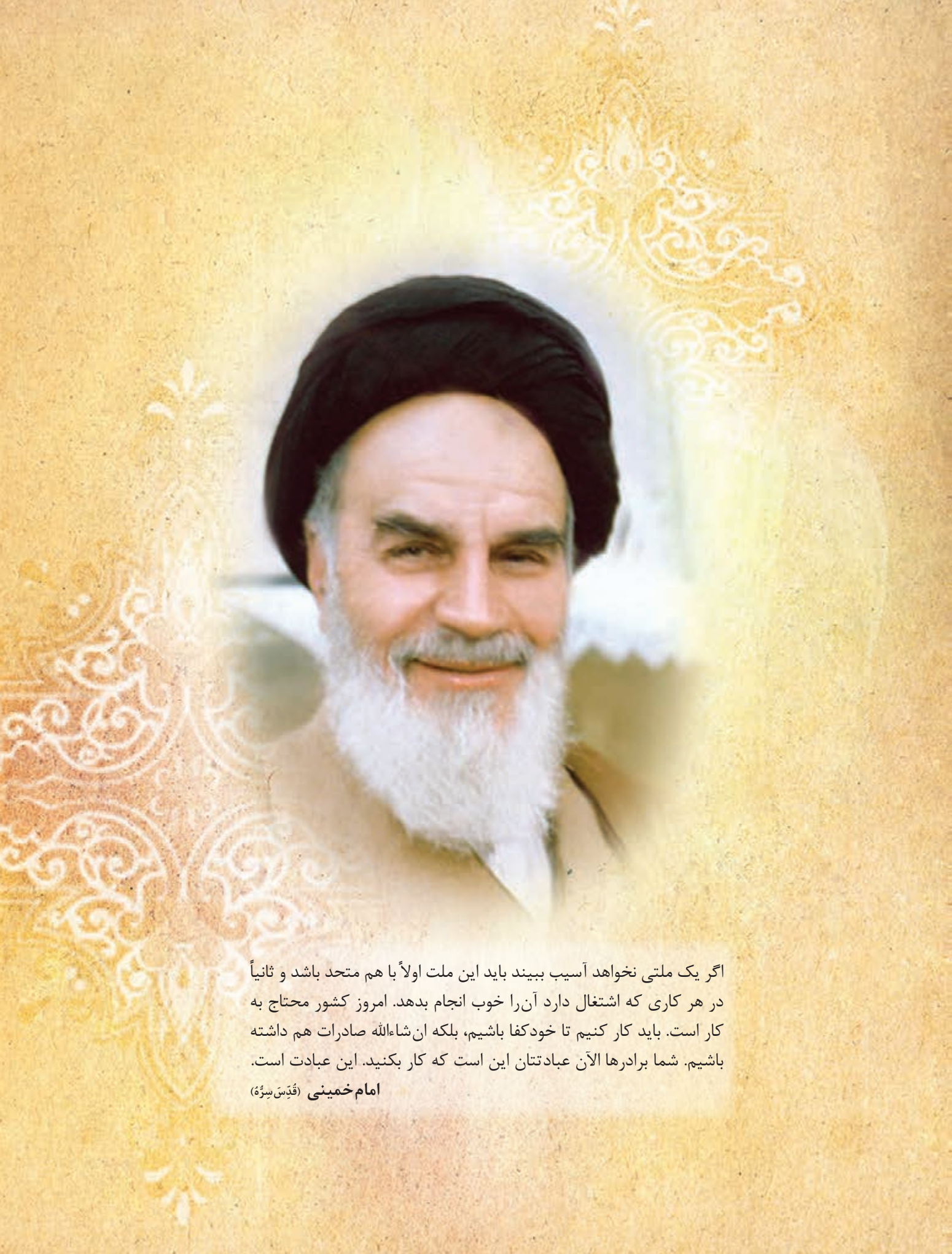
پایهٔ دوازدهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: خشک کردن و پختن سرامیک‌ها ـ ۲۱۲۵۰۹
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی وتألیف: ندیٰ دیده‌ور، ناصر ضیاییان مفید، غلامرضا امامی میبدی، حسین سرپولکی و محمدحسن نجاری (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
فرشاد فرشیدفر، سمیرا دادستان، غلامرضا امامی میبدی، الهام صمدبین، محمدحسن نجاری و علیرضا ابراهیم آبادی (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری (مدیر هنری) ـ سمیه قنبری (صفحه‌آرا)ـ مریم کیوان (طراح جلد)ـ محمود شوشتری، الهام محبوب و مرتضی میرمجیدی(رسام) ـ علیرضا ابراهیم‌آبادی و محمدحسن نجاری(عکاس)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش) تلفن: ۵ ـ ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ ششم ۱۴۰۲

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

شابک ۴ – ۳۰۶۳ – ۰۵ – ۹۶۴ – ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 3063–4**



اگر یک ملتی نخواهد آسیب ببیند باید این ملت اولاً با هم متحد باشد و ثانیاً در هر کاری که اشتغال دارد آن‌را خوب انجام بدهد. امروز کشور محتاج به کار است. باید کار کنیم تا خودکفا باشیم، بلکه ان‌شاءالله صادرات هم داشته باشیم. شما برادرها الآن عبادتتان این است که کار بکنید. این عبادت است.

امام‌خمینی (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان اول: بارچینی کوره و خشک‌کن ۱

پودمان دوم: ارزیابی و کنترل حرارت ۳۳

پودمان سوم: خشک کردن سرامیک‌ها ۶۱

پودمان چهارم: پخت کردن سرامیک‌ها ۸۱

پودمان پنجم:آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک‌ها ۱۱۳

منابع ۱۴۲

سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار واقعی به‌طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی ـ حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

۱ـ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی ساخت مذاب شیشه

۲ـ شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه

۳ـ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها

۴ـ شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی‌وحرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی‌وحرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.

این درس، ششمین درس شایستگی‌های فنی و کارگاهی است که ویژه رشته سرامیک در پایه دوازدهم تألیف شده است. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت‌های آینده شغلی و حرفه‌ای شما بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب‌ها را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی خشک کردن و پختن سرامیک‌ها شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا چند واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحلهٔ کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب نمایید. هنرآموز محترم شما برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نماید و نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی مجدد تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. کارنامه شما در این درس شامل ۵ پودمان و از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی برای هر پودمان خواهد بود و اگر در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید تنها در همان پودمان لازم است مورد ارزشیابی قرار گیرید و پودمان‌های قبول شده در مرحلهٔ اول ارزشیابی مورد تأیید است و لازم به ارزشیابی مجدد نمی‌باشد. همچنین این درس دارای ضریب ۸ است و در معدل کل شما بسیار تأثیرگذار است.

همچنین علاوه بر کتاب درسی شما امکان استفاده از اجزای بسته آموزشی که برای شما طراحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بسته آموزشی کتاب همراه هنرجو می‌باشد که برای انجام فعالیت‌های موجود در کتاب درسی باید استفاده نمایید. کتاب همراه خود را می‌توانید هنگام آزمون و فرایند ارزشیابی نیز همراه داشته باشید. سایر اجزای بسته آموزشی دیگری نیز برای شما در نظر گرفته شده است که با مراجعه به وبگاه رشته خود به نشانی www.tvoccd.medu.ir می‌توانید از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط‌زیست و شایستگی‌های مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی طراحی در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در فعالیت‌های یادگیری به کار گیرید.

رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است لذا توصیه‌ها و تأکیدات هنرآموز محترمتان در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است، در انجام کارها جدّی بگیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی‌تان، گام‌های مؤثری جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرآموز گرامی

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش‌وپرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی‌ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته سرامیک طراحی و براساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی می‌باشد که برای سال دوازدهم تدوین و تألیف شده است این کتاب دارای ۵ پودمان است که هر پودمان از یک یا چند واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می‌باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی می‌بایست برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد و نمره هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌شود که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هر یک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت‌یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست‌محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بستهٔ آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. لازم به یادآوری است، کارنامه صادر شده در سال تحصیلی قبل براساس نمرهٔ ۵ پودمان بوده است و در هنگام آموزش و سنجش و ارزشیابی پودمان‌ها و شایستگی‌ها، می‌بایست به استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی منتشر شده توسط سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی مراجعه گردد. رعایت ایمنی بهداشت، شایستگی‌های غیرفنی و مراحل کلیدی براساس استاندارد از ملزومات کسب شایستگی می‌باشند. همچنین برای هنرجویان تبیین شود که این درس با ضریب ۸ در معدل کل محاسبه می‌شود و دارای تأثیر زیادی است.

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است :

پودمان اول : دارای عنوان بارچینی کوره و خشک‌کن است که در آن انواع قطعات و محصولات مربوط به قفسه‌بندی و چیدمان محصولات سرامیکی که در خشک‌کن و کوره به کار می‌رود بیان شده است. همچنین اصول چیدمان قطعات نیز در آنها توضیح داده شده است.

پودمان دوم : دارای عنوان ارزیابی و کنترل حرارت است. در این پودمان روش تولید حرارت و تجهیزات مهم در انواع کوره‌های مورد استفاده در صنعت سرامیک بیان شده است. سپس روش کنترل و ارزیابی حرارت و انواع مشعل‌ها شرح داده شده است.

پودمان سوم : دارای عنوان خشک کردن سرامیک است. در ابتدا عوامل مؤثر بر خشک کردن سرامیک بیان شده است و درادامه انواع و اجزای خشک‌کن‌های مختلف توضیح داده شده است. همچنین آزمون‌هایی که برای بررسی قطعه خشک شده به کار می‌رود آورده شده است.

پودمان چهارم : این پودمان پختن سرامیک‌ها نام دارد. در ابتدا فرایند پخت و فعل و انفعالات بدنه در آن توضیح داده شده است. سپس انواع پخت، منحنی پخت و انواع کوره‌ها شرح داده شده است.

پودمان پنجم : دارای عنوان آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک‌ها است که در آن نحوهٔ اجرا و اصولی که برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی محصولات سرامیکی به کار می‌رود مطالبی آورده شده است.

امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق گردد.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش

پودمان ۱

بارچینی کوره و خشک‌کن

برای خشک کردن قطعات سرامیکی در خشک‌کن و پخت آنها در کوره، از قطعاتی به نام مبلمان کوره استفاده می‌شود. انتخاب و قفسه‌بندی مبلمان کوره و چیدن صحیح قطعات به مهارت و رعایت نکات فنّی نیاز دارد که توجه به این نکات برای جلوگیری از ریزش قطعات، کنترل نحوهٔ پخت آنها و افزایش بازده حرارتی خشک‌کن و کوره ضروری است.

واحد یادگیری ۱

شایستگی بارچینی کوره و خشک‌کن

هدف از این شایستگی، کسب دانش و مهارت استفاده، به‌کارگیری و نصب مبلمان کوره و چیدمان صحیح بدنه‌های سرامیکی در خشک‌کن و کوره‌ها است.

استاندارد عملکرد

انتخاب و نصب مبلمان خشک‌کن و کوره، چیدن قطعات سرامیکی در خشک‌کن و کوره براساس شکل، وزن، ابعاد و دمای پخت قطعات سرامیکی و نوع، ابعاد و حداکثر دمای کار کوره یا خشک‌کن.

به قفسه‌بندی محصولات در شکل‌های زیر نگاه کنید. دلیل استفاده از قفسه‌بندی در چیدمان کالاهای زیر چیست؟

الف) قفسه‌بندی محصولات در فروشگاه

ب) قفسه‌بندی کتاب‌ها

ج) قفسه‌بندی وسایل آشپزخانه

شکل ۱

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

در مورد شکل‌های زیر گفت‌وگو کنید و برداشت خود را در کلاس ارائه دهید. چه ارتباطی بین تصاویر شکل ۲ و شکل ۱ مشاهده می‌کنید؟

الف) قفسه‌بندی کوره برای پخت قطعات بیسکویت

ب) قفسه‌بندی کوره برای پخت قطعات لعاب خورده

شکل ۲

چیدمان در خشک‌کن

قطعات سرامیکی پس از شکل‌دهی 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 خشک‌کن منتقل می‌شوند. به‌دلیل استحکام کم، برای انتقال این قطعات و چیدن آنها در خشک‌کن از قفسه‌های مشبّک چرخ‌دار استفاده می‌شود. قفسه‌های مورد استفاده برای خشک‌کردن قطعات معمولاً از جنس فولاد زنگ‌نزن یا چوب است. محدودهٔ دمایی خشک کردن قطعات سرامیکی کمتر از ۱۴۰ درجهٔ سلسیوس است.

الف) قفسهٔ چرخ‌دار با صفحات چوبی برای انتقال و خشک کردن قطعات

ب) قفسه از جنس فولاد زنگ‌نزن برای خشک‌کن

شکل ۳

فکر کنید

۱ دلیل انتخاب فولاد زنگ‌نزن یا چوب برای استفاده در قفسه‌بندی قطعات در خشک‌کن چیست؟

۲ دلیل استفاده از قفسه‌های مشبّک در خشک‌کن‌ها چیست؟

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

نکته

برخی محصولات پس از شکل‌دهی، حالت پلاستیک و شکل‌پذیر دارند. در این حالت ممکن است صفحات مشبّک بر روی محصول نقش و اثر بگذارند.

فعالیت کلاسی

کدام یک از چیدمان‌های زیر برای خشک‌کردن قطعات صحیح است؟

۱ ☐

۲ ☐

۳ ☐

شکل ۴

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 درجهٔ سلسیوس پخت شوند. برای چیدمان قطعات در کوره نیز به قفسه‌بندی نیاز داریم.

فکر کنید

آیا می‌توان از وسایل قفسه‌بندی خشک‌کن برای پخت قطعات در کوره استفاده کرد؟

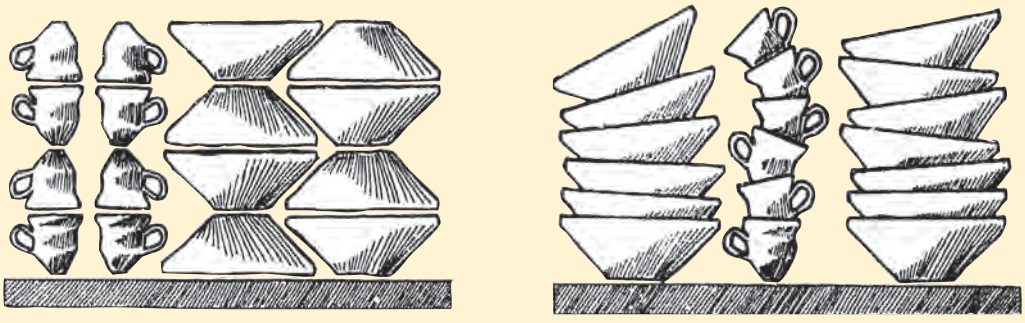
تغییرات ابعاد قطعات سرامیکی در مرحلهٔ پخت، زیاد است و اگر در داخل یکدیگر چیده شوند، امکان شکسته شدن آنها افزایش می‌یابد. بنابراین پیشنهاد می‌شود علاوه بر رعایت فاصله، قطعات به نوعی بر روی یکدیگر قرار داده شوند که تا حدامکان از تماس آنها با یکدیگر کاسته شود. برای نمونه، باید کاسه‌ها و فنجان‌ها به‌صورت لبه روی لبه و کفه روی کفه چیده شوند.

نکته

چیدمان لبه روی لبه و کفه روی کفه، به برابری قطر دهانه‌ها با یکدیگر و برابری قطر کفه‌ها با یکدیگر نیز کمک می‌کند تا محصولات پخت‌شده با شکل یکسان، تفاوت ابعاد کمتری با یکدیگر داشته باشند. همچنین می‌توان پخت محصولات چندتکه مانند قندان بدون لعاب را به‌صورت مونتاژ شده و با قرار دادن در بر روی قندان انجام داد تا پس از پخت نیز از نظر ابعاد، همخوانی داشته باشند.

فعالیت کلاسی

۱ کدام یک از چیدمان‌های زیر برای پخت کاسه و فنجان بدون لعاب مناسب است؟ چرا؟



الف ب

شکل ۵

۲ تعداد قطعات سرامیکی خام که می‌توان در کوره یا خشک‌کن بر روی یکدیگر قرار داد، به چه عاملی بستگی دارد؟

۳ آیا امکان چیدن ستونی صدها قطعهٔ سرامیکی خام، مانند کاسه و فنجان، بر روی یکدیگر برای انجام فرایند پخت وجود دارد؟

در صنعت سرامیک، برای قفسه‌بندی و چیدمان محصولات در کوره و محافظت آنها، از قطعات دیرگدازی استفاده می‌شود که به آنها وسایل قفسه‌بندی کوره یا مبلمان کوره گفته می‌شود. به عبارت دیگر، مبلمان کوره مجموعه‌ای از صفحات، پایه‌ها و اتصالات دیرگداز است.

الف) نمونه‌هایی از قطعات مبلمان کوره

ب) قفسه‌بندی و چیدمان محصولات با مبلمان کوره

شکل ۶

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

جدول ۱ــ ویژگی‌های 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 استفادهٔ متناوب در کوره نشکند.

ترکیبات مورد استفاده در تهیهٔ مبلمان کوره

استفاده از شاموت در تهیهٔ مبلمان کوره بسیار رایج است. علاوه‌بر شاموت، استفاده از دیرگدازهای مولایت ـ کوردیریتی نیز معمول است. این دیرگدازها از ترکیب آلومینا (Al_2O_3)، سیلیس (SiO_2) و منیزیا (MgO) در دمای بالا ساخته می‌شوند.

دمای کاری دیرگدازهای مولایت ـ کوردیریتی در محدودهٔ ۱۲۵۰ تا ۱۳۵۰ درجهٔ سلسیوس است و برای دماهای بالاتر نیز از دیرگدازهای آلومینایی، سیلیکون کاربایدی و زیرکونیایی استفاده می‌شود.

بیشتر بدانید

دیرگدازهای مولایت ـ کوردیریتی دارای دو فاز اصلی کوردیریت و مولایت هستند. مولایت باعث استحکام بالا و کوردیریت باعث افزایش مقاومت به شوک حرارتی در قطعه می‌شود.

جدول ۲ـ دیرگداز مولایت ـ کوردیریتی

فازهای کریستالی	مولایت	کوردیریت
فرمول شیمیایی	$3Al_2O_3.2SiO_2$	$2MgO\ .\ 2Al_2O_3\ .\ 5SiO_2$
خواص	استحکام و دمای ذوب بالا	مقاومت به شوک حرارتی

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: آماده‌سازی آمیز دیرگداز شاموتی

مواد و ابزار: شاموت با دانه‌بندی کمتر از یک میلی‌متر، کائولن شسته شده، تالک، الک مش ۱۰۰، سرتاس، کیسه، ماسک، دستکش و روپوش آزمایشگاهی.

شرح فعالیت:

۱ تالک و کائولن را با استفاده از جارمیل یا هاون آسیاب کرده و از الک رد کنید تا پودر یکنواختی تهیه شود.

۲ آمیزی با ترکیب جدول ۳ تهیه کنید.

جدول ۳

ماده	درصد وزنی
شاموت	۸۰
کائولن	۱۵
تالک	۵

نکته: برای مخلوط کردن، کل آمیز را با استفاده از سرتاس به طور مرتب زیر و رو کنید.

۳ آمیز آماده شده را در ظرفی بریزید و به میزان ۱۵ درصد وزنی نسبت به کل آمیز، به آن آب اضافه کنید.
۴ ترکیب حاصل را کاملاً مخلوط و یکنواخت کنید.
۵ مخلوط به‌دست آمده را داخل کیسه‌ای بریزید و آن را محکم ببندید. کیسه را به مدت چند ساعت در دمای محیط قرار دهید تا رطوبت یکنواخت شود.

شکل ۷

نکته

۱ دقت کنید درِ کیسه کاملاً بسته باشد؛ در غیر این صورت، رطوبت از مخلوط به‌دست آمده خارج می‌شود.
۲ می‌توان به آمیز، ساگارهای شکسته‌شده (ساگار از انواع مبلمان کوره برای قرار دادن بدنه‌های سرامیکی در داخل کوره است) نیز تا ۲۰ درصد وزنی اضافه کرد تا با بازیافت ساگارها، از دورریز و ورود آن به محیط زیست جلوگیری شود.
در صورت استفاده از ساگارهای شکسته‌شده، باید ابتدا لعاب و مواد دیگر از سطح آنها پاک شود، سپس در اندازه‌های کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر خرد شده و دانه‌بندی شوند.
۳ افزودن ۵ تا ۱۰ درصد تالک، مقاومت به شوک حرارتی را افزایش می‌دهد.

اگر از مبلمان کوره به‌صورت 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.

شکل ۸

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

شکل ۹

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

شکل ۱۰

اجزای مبلمان کوره

۱ صفحات[۱]

صفحات به عنوان طاقچهٔ قفسه برای چیدن محصولات در مرحلهٔ پخت استفاده می‌شوند. این صفحات می‌توانند با ابعاد کوچک و ضخامت کم مانند کاشی یا به صورت لوح‌ها و ورقه‌های ضخیم و طویل استفاده شوند. صفحات در سه نوع ساده، کانال‌دار و سوراخ‌دار تولید و به‌کار گرفته می‌شوند.

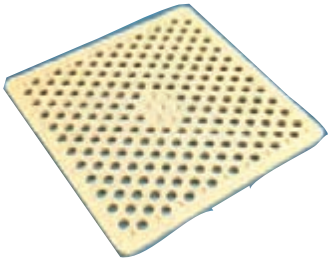
الف) صفحات ساده[۲]: صفحات پرس‌شده همانند کاشی که شکل سادهٔ آنها باعث افزایش دوام و استحکام بیشتر آنها می‌شود.

شکل ۱۱

ب) صفحات کانال دار[۳]: وجود کانال در طول این صفحات موجب کاهش وزن و درنتیجه کاهش میزان انرژی حرارتی مورد نیاز می‌شود. معمولاً برای چیدمان محصولاتی مانند چینی بهداشتی بر روی واگن‌ها استفاده می‌شوند. این صفحات به روش اکسترود گل پلاستیک تولید می‌شوند و به نوع اکسترودی نیز معروف‌اند.

شکل ۱۲

ج) صفحات سوراخ‌دار[۴]: این صفحات، سوراخ‌دار یا مشبّک هستند تا علاوه بر کاهش وزن، به گردش هوای داغ کوره نیز کمک کنند. به‌دلیل وجود سوراخ‌های زیاد، معمولاً استحکام کمتری دارند و برای چیدمان محصولات سبک به‌کار می‌روند.



شکل ۱۳

۱ـ Shelf / Plane
۲ـ Plain
۳ـ Extruded
۴ـ Perforated

فعالیت کارگاهی

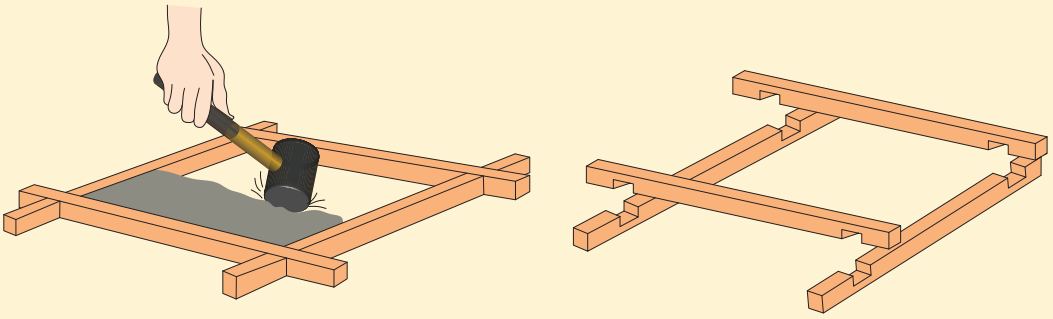
کار عملی ۲: ساخت صفحهٔ شاموتی

مواد و ابزار: مخلوط آماده‌شده در کار عملی ۱، وسیلهٔ کوبش، چوب با مقطع مربع شکل، ارّه، مغار، کوره، روپوش و دستکش.

شرح فعالیت:

۱ با استفاده از ابزار مخصوص چوب‌بری و با راهنمایی هنرآموز خود، یک قالب چوبی به‌صورت شکل زیر آماده کنید.

۲ سپس مخلوط شاموتی آماده شده در کار عملی ۱ را در داخل قالب بریزید و با ابزار کوبش، آن را در قالب بکوبید تا متراکم شود.



شکل ۱۴

۳ شاموت را در قالب و در دمای محیط به مدت ۲۴ ساعت قرار دهید تا خشک شود.

۴ سپس قالب را باز کنید و صفحه را پشت و رو کنید تا طرف دیگر آن نیز در دمای محیط خشک شود.

۲ پایه‌ها[1]

پایه‌ها برای نگه‌داشتن صفحات در چیدمان مبلمان کوره استفاده می‌شوند؛ این قطعات به روش پرس و اکستروژن قابل تولید هستند و در شکل‌ها و ابعاد متنوع با درنظرگرفتن استحکام و پایداری مورد نیاز ساخته می‌شوند. همچنین براساس طول پایه‌ها می‌توان قفسه‌هایی با ارتفاع‌های مختلف برای چیدمان انواع محصولات در کوره ساخت.

شکل ۱۵

۱ـ Props

۳ رابط‌ها و اتصالات[1]

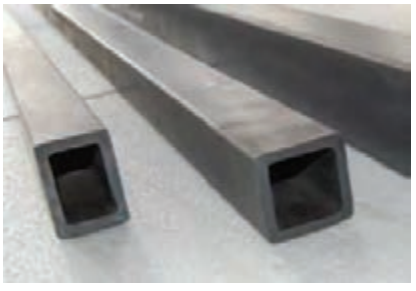
به شکل‌های طوقی، کلاهی، قلعه‌ای و متصل‌کننده وجود دارند و به عنوان قطعات بین‌نشین برای اتصال پایه‌ها، صفحات و بیم‌ها استفاده می‌شوند.

کلاهی — طوقی — متصل‌کننده — قلعه‌ای

شکل ۱۶

۴ بیم‌ها

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



شکل ۱۷

۵ ساگار

ساگار از جنس دیرگداز است که قطعه در داخل آن قرار می‌گیرد و از آن در برابر شعلهٔ 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.

شکل ۱۸

۱ـ Fitting

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.

شکل ۱۹

۷ سترهای پروفیلی

برای نگه داشتن محصولات سرامیکی کم‌ارتفاع مانند بشقاب، کاسه یا فنجان به‌کار می‌رود.

شکل ۲۰

۸ سترهای کاشی

این سترها شانه‌ای‌شکل هستند و می‌توانند به دو صورت عمودی و افقی استفاده شوند. معمولاً برای محصولاتی مانند کاشی مناسب هستند.

شکل ۲۱

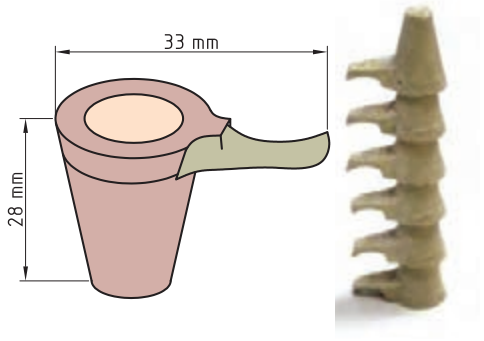
۹ چنگک[1] کاشی

شبیه ستر کاشی است؛ با این تفاوت که دارای دو قاعدهٔ نگهدارنده است.

شکل ۲۲

۱۰ انگشتانه[2]

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



شکل ۲۳

۱۱ سه پایه[3]

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

شکل ۲۴

۱ـ Crank
۲ـ Thimble
۳ـ Stilt

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: ساخت پایه شاموتی

مواد و ابزار: مخلوط آماده شده در کار عملی ۱، وسیلهٔ کوبش، قالب لوله‌ای فلزی حداکثر به قطر ۴ و ارتفاع ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر با دو انتهای باز، روغن، خشک‌کن، کوره، روپوش و دستکش.

شرح فعالیت:

۱ جدارهٔ داخلی قالب لوله‌ای را با روغن چرب کنید.

۲ قالب را روی زمین قرار دهید و داخل آن را از مخلوط شاموت پُر کنید.

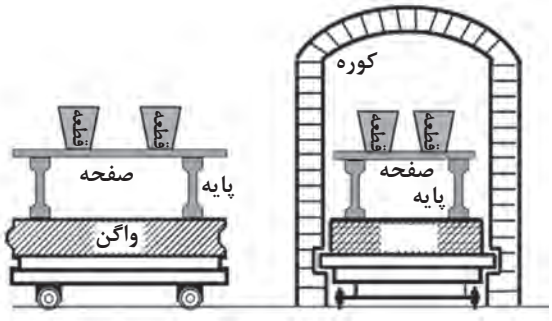
۳ مخلوط را به خوبی بکوبید تا متراکم شود.

۴ قطعه را به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار دهید تا خشک شود؛ سپس قطعه را از قالب خارج کنید.

۵ پایه را در خشک‌کن قرار دهید و پس از خشک شدن، در کورهٔ کارگاهی با دمای ۱۲۵۰ درجهٔ سلسیوس پخت کنید.

آماده‌سازی کف برای قفسه‌بندی

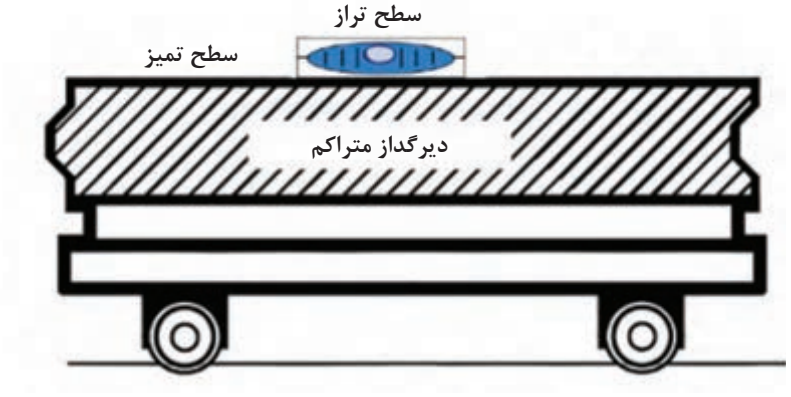
کف کوره‌ها برای آغاز قفسه‌بندی و قرار دادن مبلمان کوره باید آماده‌سازی شود. در کورهٔ واگنی نیز قفسه‌بندی در واگن‌هایی با قابلیت حرکت روی ریل انجام می‌گیرد؛ بدین منظور، ابتدا واگن از کوره خارج می‌شود و سپس قفسه‌بندی پایه‌ها و صفحات با توجه به ابعاد محصول مورد نظر انجام می‌گیرد. پس از تکمیل قفسه‌بندی مبلمان کوره و چیدمان قطعات، واگن به داخل کوره هدایت می‌شود.



شکل ۲۵ــ کوره واگنی با مبلمان و قطعه

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

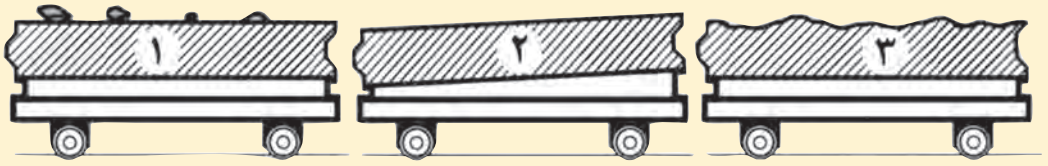
- سطح واگن تمیز و بدون آلودگی، کندگی و قطعات شکسته باشد.
- سطح واگن تراز باشد.
- در صورت انجام قفسه‌بندی در داخل کوره نیز باید کف کوره تراز، تمیز و صاف باشد.



شکل ۲۶ــ کف واگن مناسب برای مبلمان کوره

فعالیت کلاسی

در صورت چیدمان مبلمان و محصولات کوره بر روی این واگن‌های(شکل ۲۷)چه مشکلاتی ایجاد می‌شود؟



شکل ۲۷

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.

فعالیت کارگاهی

کارعملی ۴: آماده‌سازی کف کورهٔ کارگاهی

مواد و ابزار: کورهٔ کارگاهی، تراز، فرچهٔ نرم

شرح فعالیت:

۱ کف کورهٔ کارگاهی را با استفاده از فرچهٔ نرم و مناسب تمیز کنید.

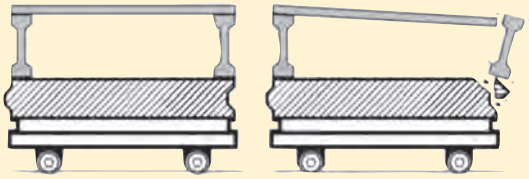
۲ کف کوره را با استفاده از تراز، از نظر تراز بودن بررسی کنید.

۳ با استفاده از پایه‌ها و صفحات ساخته‌شده در کار عملی ۲ و ۳، داخل کوره را قفسه‌بندی کنید.

شکل ۲۸ـ بررسی تراز بودن کف کورهٔ کارگاهی

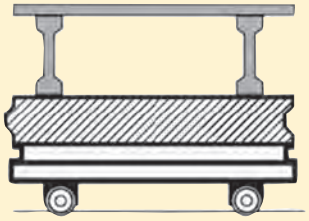
فعالیت کلاسی

۱ با توجه به شکل زیر توضیح دهید با قراردادن پایه در لبهٔ واگن چه مشکلاتی ممکن است ایجاد شود؟



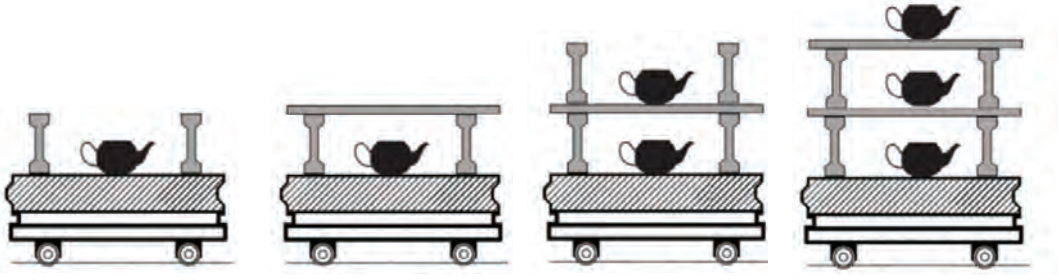
شکل ۲۹

۲ راه‌حل مناسب برای جلوگیری از شکسته شدن لبهٔ واگن را با توجه به شکل ۳۰ توضیح دهید.



شکل ۳۰

مراحل قفسه‌بندی مبلمان کوره به صورت زیر است:



۱ ۲ ۳ ۴

شکل ۳۱

در قفسه‌بندی مبلمان کوره ابتدا پایه‌ها به همراه قطعات گذاشته می‌شوند، سپس صفحات با فاصلهٔ کمی نسبت به قطعات بر روی پایه‌ها 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 چهارپایه‌ای با ارتفاع مناسب استفاده شود.

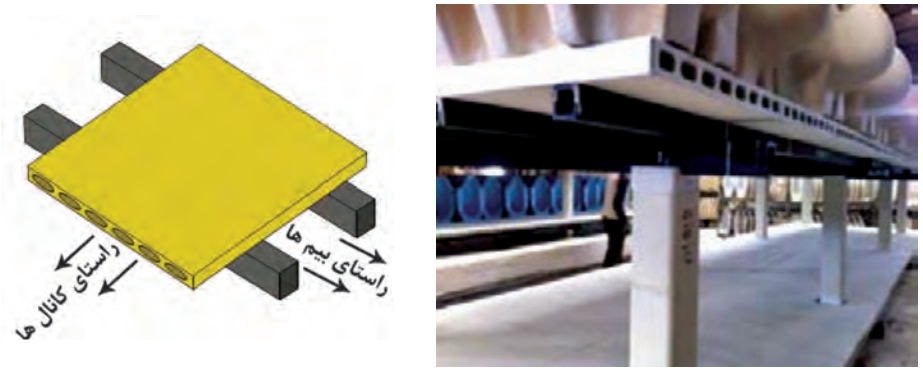
شکل ۳۲

شکل ۳۳

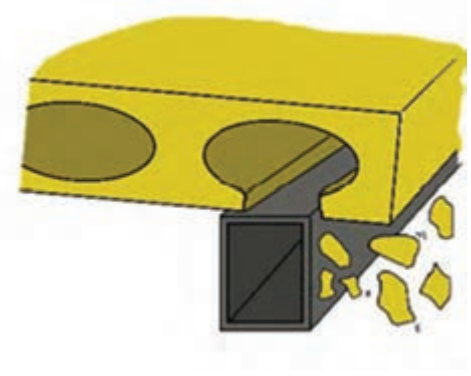
پایه‌ها بر روی صفحات به آرامی قرار داده شود و از ضربه زدن خودداری شود.

شکل ۳۴

در صورت استفاده از صفحات کانال‌دار، از بیم‌های سیلیکون کاربایدی برای نگه‌داشتن آن استفاده می‌شود. راستای بیم باید عمود بر راستای کانال‌های صفحه باشد تا صفحات نشکنند.



شکل ۳۵ــ استفاده صحیح از صفحهٔ کانال‌دار



شکل ۳۶ــ استفاده نادرست از صفحهٔ کانال‌دار

استفاده از پایه‌ها به تنهایی به عنوان نگه دارنده صفحات کانال‌دار صحیح نیست.

فعالیت کلاسی

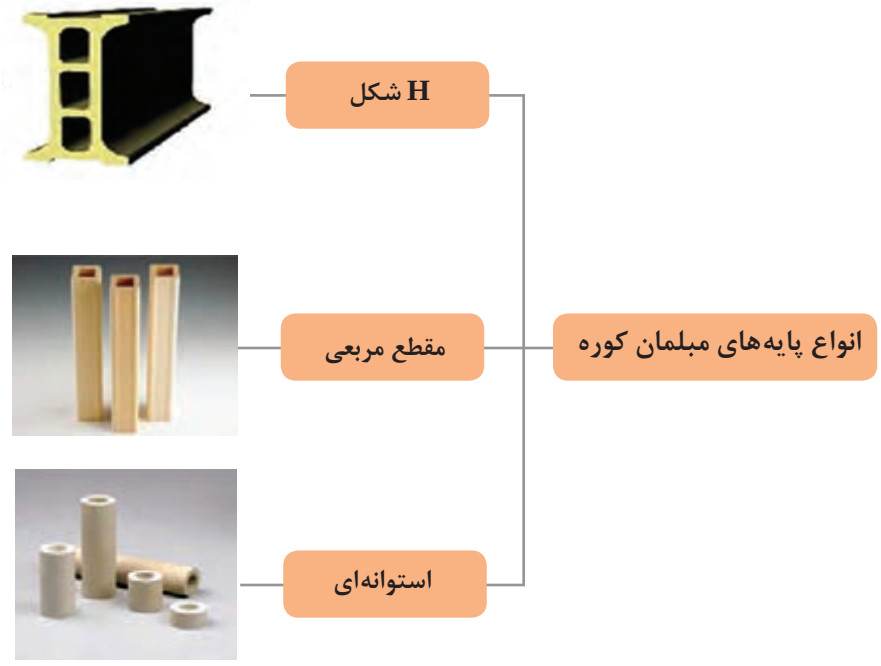
با توجه به شکل زیر، کدام نکته در قفسه‌بندی مبلمان کوره رعایت نشده است؟

شکل ۳۷

فکر کنید

استفاده از پایه‌های توخالی و صفحات کانال‌دار برای سبک کردن مبلمان کوره چه مزایا و معایبی دارد؟

پایه‌های متنوعی برای استفاده در مبلمان کوره وجود دارد. انواع پایه‌ها به‌صورت زیر است:



نمودار ۱

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

پایهٔ ساده استوانه‌ای | اتصال کلاهی | مونتاژ اتصال کلاهی و پایه

شکل ۳۸

اتصال طوقی و زیرپایه

مونتاژ پایه، اتصال طوقی و زیرپایه

قراردادن صفحه روی پایه

شکل ۳۹

باید دقت کرد که اتصالات و پایهٔ به‌کار رفته از یک جنس باشند. در غیراین‌صورت، به‌دلیل تفاوت میزان انبساط حرارتی آنها، ممکن است به شکست قطعات در حین پخت منجر شود.
می‌توان از اتصالات قلعه‌ای برای ساخت پایه‌هایی با ارتفاع دلخواه استفاده کرد. همراه با اتصالات قلعه‌ای، از دیسک‌هایی مخصوص برای افزایش سطح اتکا با صفحات استفاده می‌شود.

اتصال قلعه‌ای

ساخت پایه با ارتفاع دلخواه با اتصالات قلعه‌ای

افزایش طول پایه با استفاده از اتصال قلعه‌ای

دیسک مخصوص اتصالات قلعه‌ای

قرارگرفتن اتصال قلعه‌ای بر روی دیسک

شکل ۴۰

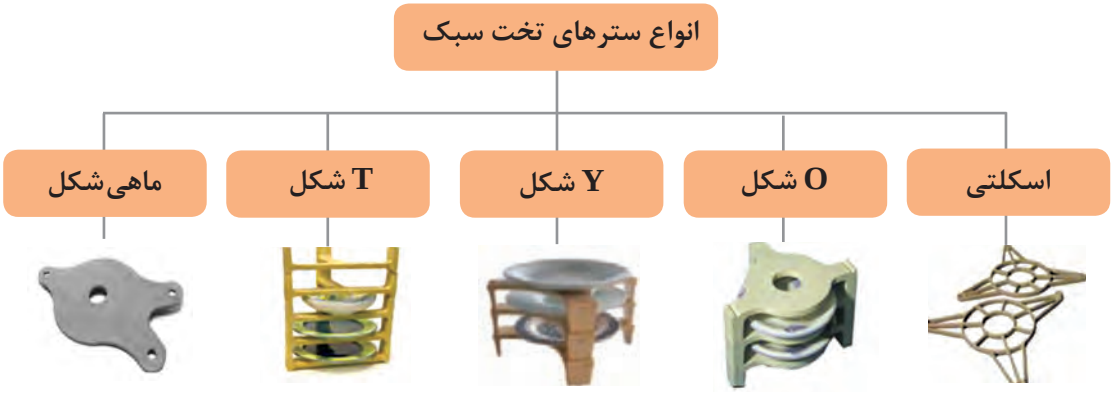
سترها

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

شکل۴۱ـ چیدمان بشقاب با سترهای سبک

شکل ۴۲ـ استفاده از سترها برای پخت ظروف

سترها در انواع تخت و پروفیلی استفاده می‌شوند. هرچه این سترها سبک‌تر باشند، باعث کاهش وزن مبلمان و درنتیجه، کاهش مصرف انرژی برای افزایش دما می‌شوند.



نمودار ۲

برخی از سترها دارای پایه و برخی بدون پایه هستند.

شکل ۴۳ـ سترهای پایه‌دار و بدون پایه

سترهای پایه‌دار: چیدمان سریع‌تری دارند ولی در صورت شکسته‌شدن یک پایه، ستر قابل استفاده نیست. چیدمان سترهای پایه‌دار بر روی یکدیگر ساده و سریع است و پایه‌ها باید در راستای یکدیگر قرار گیرند.

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

نکته

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

شکل ۴۴ـ نمونه‌ای از ستر پروفیلی پایه‌دار

فعالیت کلاسی

برای چیدمان سترهای بدون پایه نیز باید به هم‌راستا بودن پایه‌ها دقت کرد. با توجه به این نکته، کدام‌یک از چیدمان‌های زیر صحیح است؟

الف ب

شکل ۴۵

بهتر است ارتفاع پایه‌ها بیشتر از عمق ستر باشد تا اولین ستر از کف فاصله داشته باشد. این فاصله به انبساط و انقباض آزادانه ستر کمک می‌کند.

شکل ۴۶ـ حفظ فاصله بین سطح زیرین اولین ستر و کف

فعالیت کلاسی

با توجه به تصویر زیر، اگر عمق ستر بیش از ارتفاع پایه باشد، چه پیشنهادی برای ایجاد فاصله بین کف و سطح زیرین اولین ستر دارید؟

شکل ۴۷

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.

الف) ساگار

ب) روش استفاده از ساگار

شکل ۴۸

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

شکل ۴۹ــ استفاده از ساگار برای چیدمان

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 کاشی‌ها

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

شکل ۵۰ ـ چنگک

شکل ۵۱ ـ چیدمان کاشی در چنگک

نکته

در کوره‌های کوچک کارگاهی که فضای کافی برای باز و بسته کردن مبلمان وجود ندارد، استفاده از چنگک‌های یکپارچه انتخاب مناسبی است و می‌توان به‌آسانی مجموعهٔ مبلمان را همراه با قطعات چیده‌شده در آن داخل کوره گذاشت یا از آن خارج کرد.

شکل ۵۲ ـ چنگک یکپارچه

مبلمان محصولات لعاب‌دار

گاهی می‌توان محصولات سرامیکی بدون لعاب را در هنگام پخت بر روی یکدیگر چید. اما در پخت قطعات لعاب‌خورده 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 لعاب‌خورده 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.

کنجکاوی

قطعات سرامیکی موجود در کارگاه، منزل و اطراف خود را نگاه کنید. کدام قسمت این محصولات لعاب‌نخورده باقیمانده است؟ دلیل آن چیست؟

برای چیدمان محصولات لعاب‌خورده در کوره، از اجزای مبلمان پین‌دار استفاده می‌شود. این پین‌ها نوک‌تیز هستند تا سطح تماس آنها با محصول به حداقل ممکن برسد. همچنین دمای ذوب بالای پین‌ها، امکان استفاده از آنها را در کوره فراهم می‌کند.

شکل ۵۳ ـ چنگک پین‌دار

شکل ۵۴ـ مونتاژ چنگک پین‌دار برای پخت بشقاب لعاب‌خورده

شکل ۵۵ـ سه‌پایه با پین فلزی و سه‌پایه تمام سرامیکی

شکل ۵۶ـ قرارگرفتن قطعه بر روی سه پایه

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

شکل ۵۷ ـ چیدمان ظروف لعاب‌خورده

نکته

در صورت استفاده از پین‌های فلزی برای پخت محصولات لعاب‌خورده، باید پین‌ها را مرتباً تعویض کرد و نوک آنها را از لعاب‌های چسبیده تمیز و تا حدامکان تیز کرد.

شکل ۵۸ ـ تعویض پین‌های فلزی

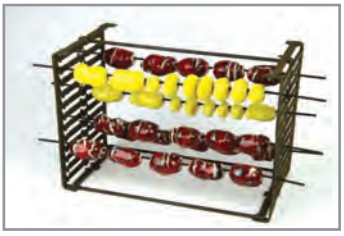
شکل ۵۹ـ تمیز کردن نوک پین‌ها

شکل ۶۰ـ پین‌های فلزی

چیدمان مهره‌های سرامیکی لعاب خورده

پخت مهره‌های سرامیکی بدون لعاب در انواع ساگارها مقدور است، ولی در صورت پخت مهره‌های لعاب‌خورده 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.

شکل ۶۱ـ سیم و پایه سرامیکی



شکل ۶۲ ـ چیدمان مهره‌های سرامیکی

علاوه‌بر سیم‌های افقی، می‌توان از پایه عمودی فلزی یا نگه دارنده میله‌ای نیز برای نگه‌داشتن قطعات لعاب‌خورده و پخت آنها در کوره استفاده کرد. در این صورت، باید به دمای قابل تحمل این سیم‌ها دقت کرد تا در کوره ذوب نشوند.

شکل ۶۳ ـ پایه یا نگهدارنده میله‌ای

چیدمان محصولات سرامیکی با ابعاد بزرگ

در چیدمان محصولات با ابعاد بزرگ مانند سرامیک‌های بهداشتی، فضای خالی بین محصولات باید به‌گونه‌ای 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 درنتیجه، پخت انجام نمی‌پذیرد.

نکته

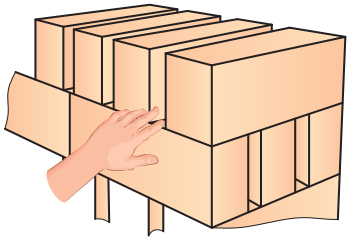
فضای‌های خالی بین محصولات در کوره باید در همه‌جا یکسان و متعادل باشد تا جریان هوای داغ نیز بین همهٔ محصولات به‌صورت مساوی و یکنواخت انجام شود.

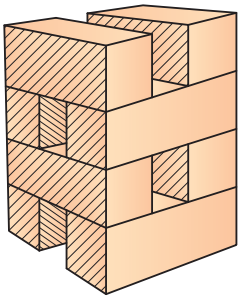
شکل ۶۴ـ چیدمان محصولات بهداشتی در کوره با فواصل یکسان از یکدیگر

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

چیدمان آجرها

چیدمان آجرها در خشک‌کن و کوره نیازی به مبلمان کوره ندارد. بدین منظور، ردیف‌های آجر به‌صورت عمود بر یکدیگر و با فاصله‌ای معادل ۲ انگشت از یکدیگر چیده می‌شوند. دلیل این نوع چیدمان، جریان یافتن هوای داغ میان آجرها است.





شکل ۶۵ـ نحوه چیدمان آجرها

فعالیت کارگاهی

۸ عدد آجر را مطابق اصول چیدمانی که درشکل ۶۵ نشان داده شده است، بر روی زمین بچینید.

تعمیر و نگهداری مبلمان کوره

پوشش دادن سطوح داخلی قطعات مبلمان کوره با لایه‌ای نازک از دوغاب آلومینایی برای جلوگیری از چسبیدن لعاب یا قطعه به صفحات ضروری است. بهتر است قبل از استفادهٔ دوباره، لایهٔ اعمال‌شده پاک شود و لایه‌ای جدید بر روی سطح بالایی مبلمان اعمال شود.

شکل ۶۶ ــ اعمال دوغاب بر صفحه

مبلمان کوره در هنگام پخت تا دمای ۱۲۵۰درجهٔ 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 درنتیجه، ساگار شکسته می‌شود.

گرمایش و سرمایش مبلمان کوره که دارای سیلیس آزاد است در دماهای ۲۸۰ـ۲۲۰ و ۵۷۳ درجهٔ سلسیوس باید به‌آرامی صورت گیرد. زیرا به دلیل وجود سیلیس آزاد، مبلمان کوره در این محدودهٔ دمایی تغییرات ابعادی زیادی دارد.

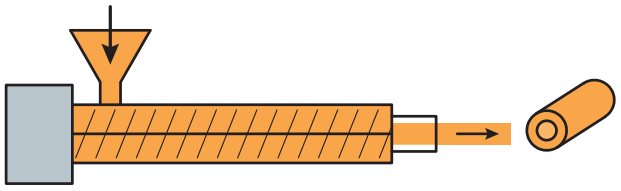
نکته

نمی‌توان چیدمان صفحات و پایه‌ها را با طول بیشتر از دو متر انجام داد، چرا که ناپایدار است و احتمال ریزش در کوره افزایش پیدا می‌کند. ولی چیدمان ساگارها به‌صورت ستونی، تا ۴ متر نیز امکان دارد که روشی معمول در کوره‌های سنتی بوده است.

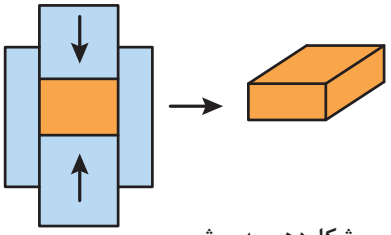
شکل ۶۷ــ چیدمان ستونی ساگارها در کوره‌های سنتی

ساخت مبلمان کوره

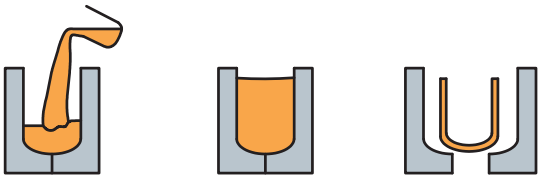
مبلمان کوره را می‌توان با انواع روش‌های شکل‌دهی به روش پلاستیک، پرس و ریخته‌گری دوغابی ساخت. در میان این روش‌ها، شکل‌دهی به روش پلاستیک روشی ساده و کم‌هزینه است.



شکل‌دهی به روش پلاستیک



شکل‌دهی به روش پرس



شکل‌دهی به روش ریخته‌گری دوغابی

شکل ۶۸

مهم‌ترین مادهٔ اولیهٔ استفاده شده در ساخت مبلمان کوره، خاک رس با دیرگدازی بالا است. در میان انواع رس، کائولن مناسب‌ترین انتخاب است، زیرا علاوه بر دیرگدازی مناسب، در ترکیب با آب، خاصیت شکل‌پذیری دارد. با پخت کائولن در دمای بیش از ۱۲۵۰ درجه سلسیوس می‌توان شاموت ساخت. از شاموت به‌صورت دانه‌بندی‌شده (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، به‌جای شاموت از ماسه سیلیسی یا دانه‌های کوارتز با دانه‌بندی بین مش ۸۰ تا ۱۰۰ نیز استفاده می‌شود.

ارزشیابی نهایی شایستگی کسب مهارت بارچینی کوره و خشک‌کن

شرح کار:
۱ـ آماده‌سازی ابزار و تجهیزات بارچینی کوره و خشک‌کن
۲ـ چیدمان قطعات داخل خشک‌کن و کوره
۳ـ کنترل نهایی چیدمان قطعات

استاندارد عملکرد:
انتخاب و نصب مبلمان خشک‌کن و کوره، چیدن قطعات سرامیکی در خشک‌کن و کوره براساس شکل، وزن، ابعاد و دمای پخت و نوع و ابعاد و حداکثر دمای کار خشک‌کن یا کوره

شاخص‌ها:
استفاده از تجهیزات حمل‌کننده دستی و دستگاهی متناسب با نوع قطعات
چیدمان صفحات و پایه‌های نسوز درون خشک‌کن و کوره
چیدمان صحیح بدنه‌ها داخل خشک‌کن و کوره

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی
ابزار و تجهیزات: خشک‌کن، کوره برقی و گازی، ابزار و تجهیزات حمل دستی قطعات، تجهیزات حمل‌کننده دستگاهی قطعات جهت چیدمان، صفحه، پایه نسوز، تجهیزات چیدمان

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده‌سازی ابزار و تجهیزات بارچینی کوره و خشک‌کن	۱	
۲	چیدمان قطعات داخل خشک‌کن و کوره	۲	
۳	کنترل نهایی چیدمان قطعات	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

پودمان ۲

ارزیابی و کنترل حرارت

در فرایند تولید بدنه‌های سرامیکی مانند خشک کردن و پخت نیاز به اعمال حرارت و افزایش دما وجود دارد. حرارت مورد نیاز از منابع سوختی مختلف تأمین شده و به بدنه منتقل می‌شود. پس از تولید حرارت اندازه‌گیری دما و کنترل آن اهمیت دارد تا دمای مطلوب برای انجام فرایند تأمین شود.

واحد یادگیری ۲

شایستگی ارزیابی و کنترل حرارت

هدف از این شایستگی، کسب دانش و مهارت به کارگیری، تنظیم و کنترل تجهیزات کوره‌ها و خشک‌کن است. همچنین هنرجو روش‌های تأمین و انتقال حرارت در کوره برای خشک کردن و پخت بدنه‌های سرامیکی را فرا می‌گیرد.

استاندارد عملکرد

انتخاب و به‌کارگیری انواع تجهیزات کنترل خشک‌کن و کوره براساس نوع و دمای کار خشک‌کن و کوره

منابع تأمین حرارت

آیا تا به حال به این موضوع اندیشیده‌اید که چگونه حرارت درون کوره تأمین می‌شود؟
کوره از جمله مهم‌ترین تجهیزات هر کارگاه یا کارخانه تولید سرامیک است. کوره‌های سرامیک از نظر تولید حرارت به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:
الف) کوره‌های الکتریکی
ب) کوره‌های مشعلی

شکل ۱ــ کوره

کوره‌های الکتریکی

چگونه حرارت در وسایل نشان داده شده در شکل ۲ ایجاد می‌شود؟

شکل ۲

کوره‌های الکتریکی به وسیلهٔ المنت‌ها حرارت تولید می‌کنند.
المنت‌ها رشته‌هایی از سیم نیمه‌هادی 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.

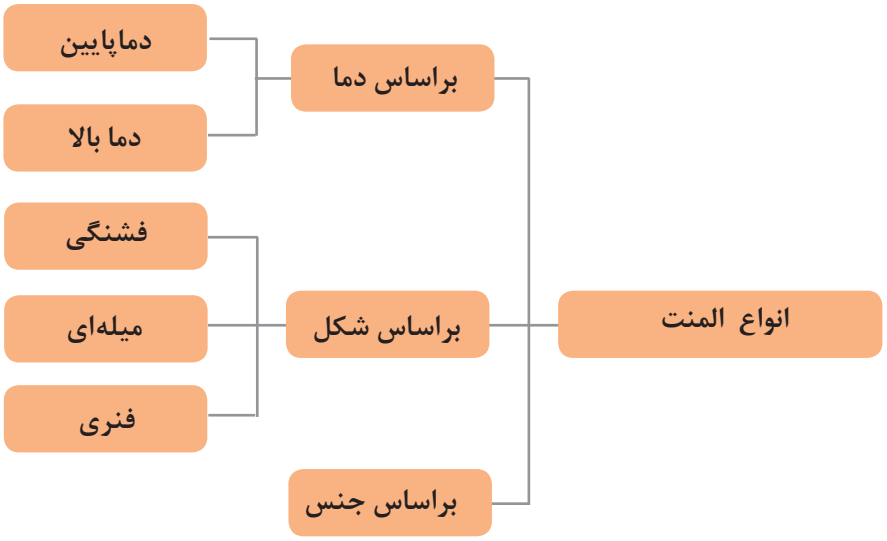
شکل ۳ـ کوره الکتریکی

شکل ۴ـ المنت داغ شده

نکته

المنت‌ها قبل از حرارت دیدن انعطاف‌پذیر هستند، اما بعد از حرارت دیدن و گداخته شدن، انعطاف‌پذیری خود را از دست می‌دهند و شکننده می‌شوند.

در نمودار ۱ انواع المنت دسته‌بندی شده است:



نمودار ۱

در جدول ۱ کاربردهای هر یک از المنت‌ها از لحاظ میزان تولید حرارت نشان داده شده است:

جدول ۱ــ انواع المنت‌از نظر مقدار تولید حرارت

نوع المنت	محدوده تولید حرارت	برخی از کاربردها	تصویر
دما پایین	تا ۱۰۰۰ درجه سلسیوس	• لوازم خانگی	
		• دستگاه‌های شکل‌دهی جِیگر و جولی (سر قالب)	
		• خشک کن	
		• گرمخانه شیشه و کوره‌های تمپر حرارتی شیشه	
		• حمام آزمایشگاهی آب گرم (بن ماری)	
دما بالا	۱۰۰۰ تا ۱۸۰۰ درجه سلسیوس	• کوره‌های الکتریکی	

فکر کنید

کوره‌های دکور و کورهٔ فیوزینگ شیشه جزء کدام دسته از موارد مشخص شده در جدول ۱ هستند؟

جنس انواع المنت‌ها

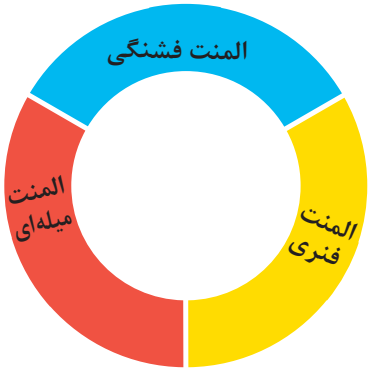
۱ المنت‌هایی که تا دمای ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس به‌کار می‌روند، معمولاً از جنس آلیاژ نیکل ـ کروم (آلیاژ نیکروم) هستند.

۲ المنت‌های آلیاژ کنتال (Fe_ Cr_Al_Co) برای تولید حرارت تا دماهای ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس به‌کار می‌روند.

۳ المنت‌های سیلیکون کارباید و مولیبدن در دماهای بالاتر از ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس به‌کار 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 عبارت‌اند از:



نمودار ۲ـ انواع المنت‌ها از لحاظ شکل ظاهری

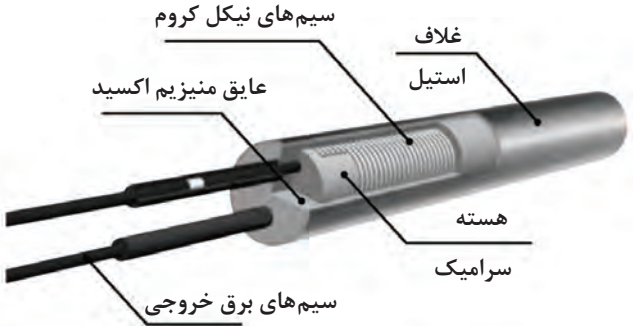
المنت فشنگی

المنت‌های فشنگی[۱] (کارتریجی) در اغلب وسایل الکتریکی خانگی و در صنایع قالب‌گیری پلاستیک به‌عنوان منبع تولید حرارت به‌کار می‌روند.

شکل ۵ـ المنت فشنگی

۱ـ Cartridge Heaters

این نوع المنت در ولتاژ و توان‌های متفاوت و در قطر و طول‌های مختلف طراحی و تولید می‌شوند. در شکل ۶ اجزای داخلی المنت فشنگی نشان داده شده است.



شکل ۶ـ اجزای داخلی یک نمونه المنت فشنگی

المنت میله‌ای[1]

المنت میله‌ای یکی از پرمصرف‌ترین المنت‌ها است. اتصالات برق این المنت به‌صورت مفتول‌های رزوه‌دار با فیش‌های مربوط به آن انجام می‌شود که به نصب آسان المنت کمک می‌کند.

شکل ۷ـ المنت میله‌ای

در خشک‌کن‌های سرامیکی معمولاً از این نوع المنت‌استفاده می‌شود.

المنت فنری[2]

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

شکل ۸

۱ـ Tubular Heaters

۲ـ Coil Heaters

مهم‌ترین ویژگی این المنت‌عبارت است از:

۱ حجم کم

۲ توان حرارتی بالا

۳ تولید و انتقال حرارت در کمترین زمان

مهم‌ترین ویژگی المنت فنری، شکل مارپیچی آن است که طول بسیار زیادی از المنت می‌تواند در فضای محدودی قرار گیرد و به‌همین دلیل تولید حرارت افزایش می‌یابد. در هر جایی که محدودیت فضا وجود دارد و به‌حرارت بالایی نیاز است، می‌توان ازاین نوع المنت برای ایجاد حرارت مورد نیاز استفاده کرد.

شکل ۹

فعالیت کارگاهی

کارعملی ۱: ساخت المنت فنری

مواد و ابزار: یک میله استوانه‌ای شکل، یک متر سیم مسی، وسیلهٔ اندازه‌گیری طول، سیم بُر

شرح فعالیت

۱ به‌وسیلهٔ سیم‌بُر، یک متر از سیم را برش دهید.

۲ سیم مسی را دور میله به صورت فنری بپیچانید.

۳ میله را از سیم جدا کنید.

پرسش

چگونه می‌توان طول سیمی را که به‌شکل فنر درآورده‌اید، بیشتر کاهش دهید؟

المنت سیلیکون کاربایدی

المنت سیلیکون کاربایدی از جنس سیلیکون کارباید (SiC) ساخته می‌شوند و به شکل میله‌ای و فنری وجود دارند. این المنت برای تولید حرارت بین محدودهٔ ۱۲۰۰تا ۱۸۰۰ درجهٔ سلسیوس به‌کار می‌رود و نسبت به‌المنت‌های دیگر قیمت بالاتری دارد.

شکل ۱۰

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

موارد مصرف المنت سیلیکون کارباید

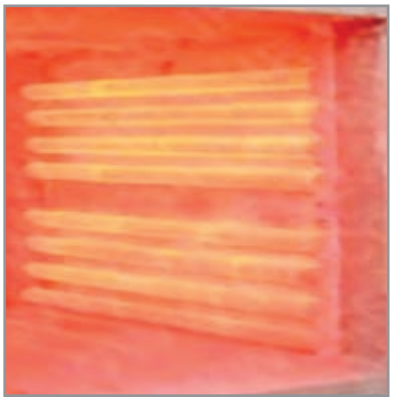
از این المنت در زمینهٔ تولید سرامیک‌های مهندسی (ساخت مگنت‌ها)، در آزمایشگاه‌ها و پروژه‌های تحقیقاتی استفاده می‌شود.

فکر کنید

آیا برای ساخت بدنه‌هایی با لعاب نمکی استفاده از کوره‌های الکتریکی مناسب است؟ چرا؟

نکته

المنت‌های کورهٔ الکتریکی، بیشتر با روش تابشی حرارت را انتقال می‌دهند که با درنظر گرفتن حجم کوره، مقدار حرارت پخش شدهٔ درون کوره تغییر می‌کند.



شکل ۱۱ــ المنت گرم شده درون کوره

روش نصب المنت‌های کوره‌های الکتریکی

الف) المنت‌ها روی پایه‌های استوانه‌ای شکل از جنس دیرگداز به‌عنوان نگهدارنده قرار می‌گیرند.

شکل ۱۲ــ نصب المنت بر روی پایه

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

شکل ۱۳ــ نصب المنت درون شیار

نکات ایمنی هنگام کار با کوره‌های الکتریکی

شکل ۱۴

۱ هنگام برداشتن یا جابه‌جایی نمونه‌ها درون کوره نباید انبر یا دست به‌المنت‌برخورد کند، زیرا باعث آسیب رسیدن به المنت می‌شود. همچنین برخورد انبر با المنت‌باعث ایجاد جرقه، آتش‌سوزی یا برق‌گرفتگی می‌شود.

شکل ۱۵

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

۳ هیچ‌گاه بدنه‌های سرامیکی را در تماس با المنت قرار ندهید زیرا باعث آسیب رسیدن به‌بدنه و المنت می‌شود.

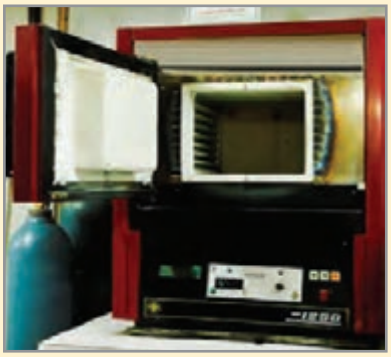
۴ بدنه‌های سرامیکی لعاب خورده نباید هیچ‌گونه تماسی با المنت داشته باشند، زیرا در نقطهٔ تماس، مقاومت المنت افزایش می‌یابد و باعث ذوب نقطه‌ای و قطع شدن المنت می‌شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: بررسی المنت کوره‌های الکتریکی کارگاه

شرح فعالیت:

به‌المنت کوره‌های کارگاه خود دقت کنید و مشخص کنید که المنت کوره به‌چه شکلی و از چه نوعی هستند؟



شکل ۱۶

نکات ایمنی و بهداشتی

قبل از بررسی المنت کوره اطمینان حاصل کنید که کوره متصل به برق نیست و کاملاً سرد است.

تحقیق

دربارهٔ محدودهٔ دمایی و کاربرد المنت سوپر کنتال تحقیق کرده و گزارشی به‌کلاس ارائه کنید.

کوره‌های مشعلی

کوره‌های مشعلی دارای اجزای بسیار زیادی هستند. نوع سوخت و مشعل از مهم‌ترین اجزای به‌کار رفته در این کوره‌ها است.

انواع سوخت

سوخت ماده‌ای است که با مقدار کافی اکسیژن ترکیب می‌شود و حرارت زیاد تولید می‌کند. انواع سوخت‌ها از لحاظ حالت ماده در نمودار ۳ نشان داده شده است.

نمودار ۳

سوخت گازی

سوخت گازی از مهم‌ترین و معمول‌ترین سوخت‌های مصرفی در کشور ما است که به دلیل قیمت مناسب، در دسترس بودن و آلایندگی 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 اصلی‌ترین سوخت‌های گازی هستند.

گاز طبیعی به طور طبیعی در مخازن زیرزمینی یافت می‌شود که به‌صورت محلول در نفت خام یا روی بستر نفت خام وجود دارد. گاز طبیعی فشرده یا (CNG)[۱] که در خودروها نیز استفاده می‌شود، از متراکم کردن گاز طبیعی تولید می‌شود.

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

شکل ۱۷ــ کورهٔ گازی

سوخت مایع

علاوه‌بر 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 به‌نوع گازی محدودتر است. مهم‌ترین سوخت‌های مایع در صنعت شامل موارد زیر است:

- نفت سفید
- گازوئیل
- نفت کوره

۱ـ Compact Natural Gas

بیشتر بدانید

نفت کوره (مازوت) در مراحل تصفیهٔ نفت خام پس از اتر، بنزین و نفت سفید به‌دست می‌آید و به‌دلیل رنگ سیاهش، به‌آن نفت سیاه نیز گفته می‌شود. این ماده ارزان‌ترین مادهٔ سوختنی است که در آجرپزی‌ها کاربرد دارد. آلودگی زیست‌محیطی نفت کوره زیاد است که باعث محدود شدن کاربرد آن شده است.

شکل ۱۸ـ کوره آجرپزی

سوخت جامد

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

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

شکل ۱۹ـ زغال سنگ

ب) کُک: برای تهیه سوخت کک زغال‌سنگ در کوره‌های مخصوص تحت حرارت به‌کک تبدیل می‌شوند؛ ترکیب شیمیایی کک شامل ۹۴ـ۸۵ درصد کربن و بقیهٔ آن شامل مواد فرّار، خاکستر و گوگرد است.

شکل ۲۰ـ کُک

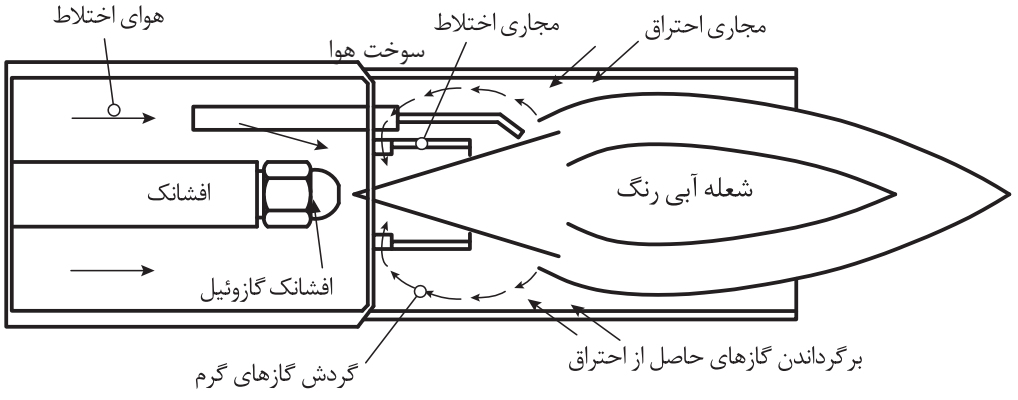
مشعل

آیا تاکنون پی‌برده‌اید که چگونه شعلهٔ اجاق گاز روشن می‌شود؟

شکل۲۱

یکی از اجزای مهم کوره مشعل[1] است. مشعل در کوره به‌منظور اختلاط کامل سوخت و هوا و ایجاد حداکثر حرارت به‌کار 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 به‌صورت شعله به داخل کوره هدایت می‌شود. در شکل ۲۲ این فرایند را می‌توانید مشاهده کنید.

الف) مشعل کارخانه سیمان



ب) اجزای مشعل و احتراق در آن

شکل ۲۲

۱ـ Burner

در شکل ۲۳ نمونه‌ای از مشعل و سرمشعل کوره که در صنایع سرامیک کاربرد دارد، نشان داده شده است.

الف) سر مشعل

ب) مشعل

شکل ۲۳

انواع مشعل از نظر تأمین هوای احتراق

مشعل‌ها از نظر تأمین هوای مورد نیاز برای احتراق به دو دسته تقسیم می‌شوند:

طبیعی (اتمسفریک) ← **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.**

اجباری (دمنده‌دار) ← **مشعل اکثر کوره‌های بزرگ صنعتی با سامانهٔ دمنده هوای اجباری کار می‌کنند و هوای داخل کوره توسط فن تأمین می‌شود.**

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 دوگانه‌سوز طراحی می‌کنند. در مشعل‌های دوگانه‌سوز می‌توان در مواردی از سوخت گازی یا سوخت مایع استفاده کرد. مشعل‌های دوگانه سوز مانند خودروهای دوگانه‌سوز هستند که قابلیت کار با هر دو نوع سوخت گاز و مایع را دارند.

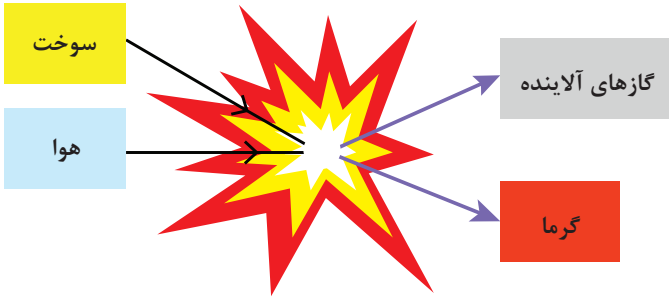
اتمسفر کوره

به‌تصاویر زیر نگاه کنید:
دلیل تغییر رنگ شعله‌ها چیست؟

الف ب ج

شکل ۲۴

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



شکل ۲۵ـ واکنش احتراق

در کوره‌های سوخت‌سوز 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 به‌مشعل می‌رسد و حرارت بیشتری ایجاد می‌شود. رنگ شعله در این اتمسفر در دماهای پایین غالباً به‌رنگ آبی است و در دماهای بالا رنگ شعله قرمز روشن مشاهده می‌شود.

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

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

اتمسفر بیش از حد احیایی به‌دلایل زیر مطلوب نیست:

الف) توده‌های عظیمی از دود سیاه ایجاد می‌شود که باعث آلودگی زیست‌محیطی می‌شود.

ب) اتمسفر احیایی باعث اتلاف سوخت می‌شود.

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

گفت‌وگو

چرا رنگ قسمت مرکزی شعله در اتمسفر احیایی آبی است اما اطراف آن زرد مشاهده می‌شود؟

شکل ۲۶ـ رنگ شعله در اتمسفر احیایی

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: تنظیم اتمسفر کوره

شرح فعالیت: شرایط و اتمسفر کوره را با تغییر ورودی سوخت و اکسیژن به حالت اکسیدی یا احیایی تغییر دهید.

نکات ایمنی و بهداشتی

ـ در هنگام باز کردن شیر ورودی سوخت مراقب باشید و فاصله ایمنی با کوره را رعایت کنید.
ـ از دستکش و روپوش نسوز استفاده کنید.

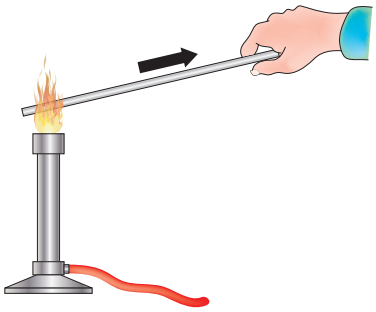
انتقال حرارت

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 می‌یابد:

نمودار ۴ـ انواع روش‌های انتقال حرارت

۱ هدایت

وقتی میلهٔ فلزی را به‌شعله نزدیک می‌کنید، پس از مدت کوتاهی انگشتان شما گرما را احساس می‌کند. حرارت چگونه به‌دستان شما انتقال یافته است؟



شکل ۲۷

انتقال حرارت در اجسام جامد به‌روش هدایت انجام می‌شود. هنگامی‌که دمای بخشی از جسم از بخش دیگر آن بیشتر باشد حرارت از بخش گرم‌تر به‌سمت بخش سردتر جریان می‌یابد.

بیشتر بدانید

میزان حرارت منتقل شده با روش هدایت با رابطه زیر به‌دست می‌آید:

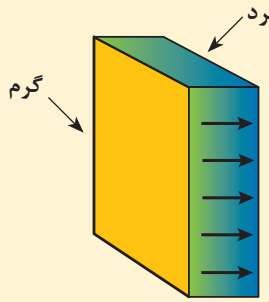
$$q = \frac{KA\Delta T}{L} = \frac{KA(T_{گرم} - T_{سرد})}{L}$$

L = طول جسم

A = سطح مقطع جسم

K = ضریب هدایت حرارتی

ΔT = اختلاف دمای دو نقطهٔ سرد و گرم



در رابطهٔ بالا K ضریب ثابتی است که به‌آن ضریب هدایت حرارت نیز گفته می‌شود و واحد آن $\frac{W}{mK}$ (وات برمترکلوین) است. مقدار ضریب هدایت حرارتی به‌جنس ماده بستگی دارد. در جدول زیر ضریب هدایت حرارت برای مواد مختلف بیان شده است.

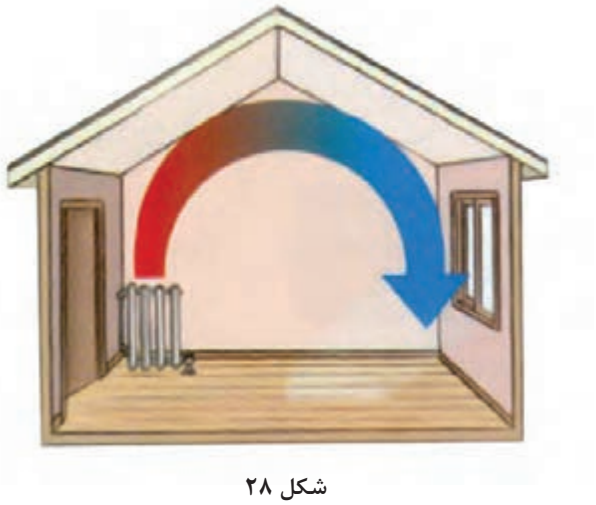
جدول ۲ـ ضریب هدایت حرارتی مواد مختلف

ماده	ضریب هدایت حرارتی $\frac{W}{mK}$	ماده	ضریب هدایت حرارتی $\frac{W}{mK}$
سرب	۳۵	آهن	۸۲
شیشه	۱	نقره	۴۱۸
پنبه نسوز	۰/۰۹	هوا	۰/۰۲۴
آب	۰/۰۴	آجر	~ ۰/۶
یخ	۲/۲	چوب	~۰/۰۸
چوب پنبه	۰/۰۳	مس	۴۰۰
آلومینیوم	۲۳۸		

هدایت گرمایی در همه جامدات برابر نیست؛ فلزات بیشتر و نافلزات کمتر گرما را به این روش منتقل می‌کنند. به‌دلیل اینکه تعداد الکترون‌های آزاد در فلزات بسیار زیاد است، از هدایت گرمایی خوبی برخوردار هستند. هنگامی‌که به‌نقطه‌ای از فلز گرما داده می‌شود، الکترون‌های آزاد انرژی جنبشی بیشتری به‌دست می‌آورند و سریع‌تر حرکت می‌کنند و انرژی گرمایی به‌سرعت از قسمت‌های گرم به‌قسمت‌های سرد منتقل می‌شود.

۲ همرفت (کنوکسیون)

یک شوفاژ روشن را در نظر بگیرید:
هوای سرد که چگالی بیشتری دارد و سنگین‌تر است، در پایین قرار دارد. در مجاورت شوفاژ هوا گرم می‌گردد چگالی آن کم می‌شود و سبک شده به‌طرف بالا می‌رود. دوباره هوای سرد دیگری به جای آن می‌نشیند و جابه‌جایی هوا مرتب ادامه می‌یابد تا تمام هوا گرم شود.



شکل ۲۸

همرفت انتقال حرارت به‌وسیلهٔ حرکت مولکول‌ها در محیط از یک نقطه به‌نقطهٔ دیگر است. مولکول‌هایی که گرم شده‌اند از یک نقطه به‌نقطهٔ دیگر حرکت می‌کنند و حرارت را با خود جابه‌جا می‌کنند.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: تعیین جریان همرفتی

مواد و ابزار: بشر بزرگ، کاغذ، قیچی، چراغ الکلی یا اجاق گاز، آب

شرح فعالیت:

۱ بشر بزرگی را پر از آب کنید.

۲ کاغذهایی را به‌صورت نوارهای بسیار نازک ببرید.

۳ نوارهای کاغذی را درون آب بریزید تا خیس بخورند و در آب ته‌نشین شوند.

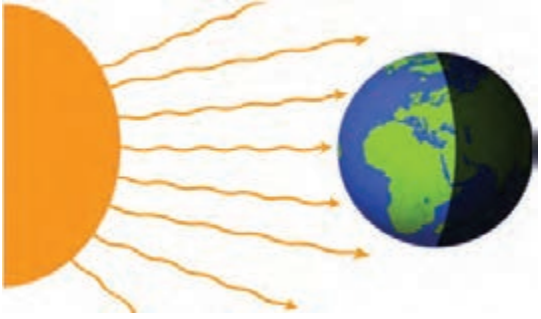
۴ بشر را روی شعله گاز یا چراغ الکلی قرار دهید و آن را روشن کنید تا به‌خوبی گرم شود.

۵ نحوهٔ حرکت نوارهای کاغذ را تعیین کنید. (ذرات کاغذ مسیر جریان همرفتی را نشان می‌دهد).

شکل ۲۹

۳ تابش

انرژی گرمایی خورشید چگونه به‌سطح زمین منتقل می‌شود؟



شکل ۳۰

هر جسم داغ، حتی بدن انسان، از خود اشعه‌هایی ساطع می‌کند که این اشعه‌ها توسط اجسام سردتر جذب می‌شوند.

فکر کنید

برای جذب اشعه‌های تابشی، اجسام با رنگ تیره مناسب‌تر هستند یا با رنگ روشن؟

در انتقال حرارت به‌روش تابش، به‌محیط مادی نیازی نیست؛ یعنی می‌تواند در خلأ نیز انجام گیرد. در این روش حرارت به‌صورت نور یا امواج الکترومغناطیسی از منبع داغ به‌اطراف منتقل می‌شود.

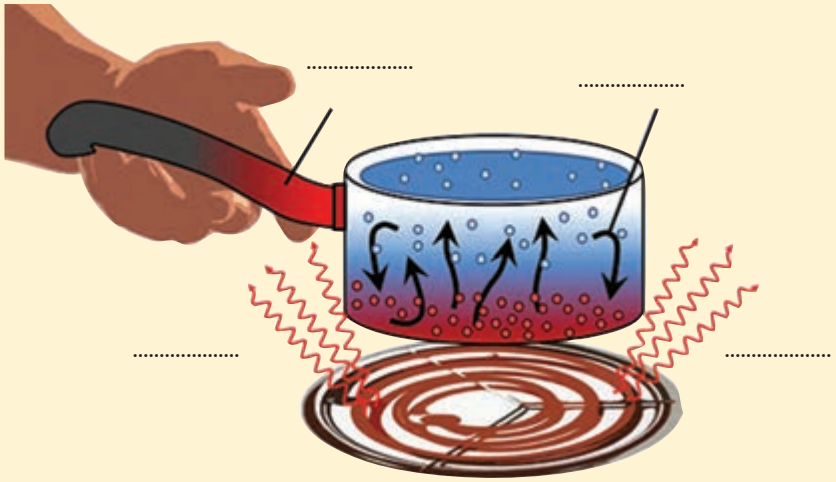
شکل ۳۱

فکر کنید

در بین روش‌های انتقال حرارت کدام روش سریع‌تر است؟ چرا؟

فعالیت کلاسی

در شکل ۳۲ روش‌های انتقال گرما را مشخص کنید.



شکل ۳۲

انتقال حرارت درون کوره

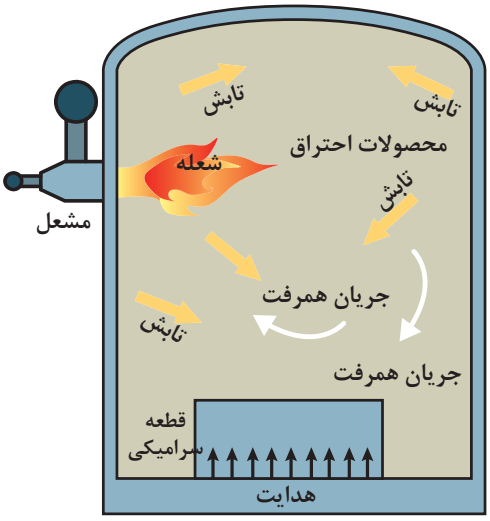
درون کوره‌ها هر سه روش انتقال حرارت شامل هدایت، همرفت و تابش وجود دارد:

کف کوره، چیدمان و بدنهٔ 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 به‌روش 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.



شکل ۳۳

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

اندازه‌گیری دما

- چگونه می‌توان هوای درون اتاق را اندازه‌گیری کرد؟
- نمایشگرهای نشان‌دهندهٔ دمای درون فرهای گازی چگونه کار می‌کنند؟

تعیین و کنترل دمای کوره مهم‌ترین موضوع در کار با کوره‌ها است. روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری دمای کوره وجود دارد که عبارت‌اند از:

شکل ۳۴

۱ ترموکوپل

شکل ۳۵ دمای کوره را بر روی صفحه نمایشگر نشان می‌دهد. ترموکوپل متداول‌ترین وسیله برای اندازه‌گیری و کنترل دما است.

شکل ۳۵ــ اندازه گیری دمای کوره

ترموکوپل یکی از مهم‌ترین اجزای کوره و خشک‌کن است که داخل دیواره یا سقف آنها نصب می‌شود. در کوره‌های بزرگ عموماً از چندین ترموکوپل در نقاط مختلف کوره استفاده می‌شود. در شکل ۳۶ ترموکوپل نصب شده در سقف نشان داده شده است.

شکل ۳۶

در جدول ۳ محل قرارگیری ترموکوپل درون خشک‌کن و کوره نشان داده شده است.

جدول ۳

وسیله	ترموکوپل	محل نصب
خشک‌کن		
کوره		

همان‌طور که در شکل ۳۷ نشان داده شده ترموکوپل معمولاً از به‌هم پیوستن دو فلز غیر هم‌جنس به‌یکدیگر ایجاد می‌شود که براساس جنس سیم‌ها محدودهٔ دمای قابل اندازه‌گیری ترموکوپل تغییر می‌کند.

شکل ۳۷

متداول‌ترین ترموکوپل‌ها براساس جنس سیم‌های به‌کار رفته در جدول زیر بیان شده است

جدول ۴

نوع	محدودهٔ دمایی قابل اندازه گیری(درجه سلسیوس)
مس ـ کنستانتان (CC)	۰ـ۳۵۰
آهن ـ کنستانتان (IC)	۰ـ۸۰۰
کرومل ـ آلومل (CR)	۰ـ۱۲۰۰
پلاتین ـ رودیوم (PR)	۰ـ۱۶۰۰

نکته

ترموکوپل به‌عنوان قطع‌کنندهٔ جریان گاز نیز کاربرد دارد. از ترموکوپل برای ایمن‌سازی تجهیزات گازسوز در مواردی که شعله گاز به‌دلایلی مانند جریان باد، خاموش می‌شود، همچنین برای قطع کردن گاز و جلوگیری از انتشار آن نیز به‌کار می‌رود.

نکات مهم در مورد ترموکوپل

- اطراف ترموکوپل نباید از بدنه‌ها و قطعات پر شده باشد تا جریان حرارت به‌خوبی 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 به‌صورت یکنواخت جریان داشته باشد.

فعالیت کلاسی

شکل ۳۸ محل موردنظر برای نصب ترموکوپل درون کوره را نشان می‌دهد. چرا اطراف آن با پنبه‌نسوز پوشانده شده است؟

شکل ۳۸

۲ آذرسنج نوری[۱]

آذرسنج نوری دمای اجسام بسیار داغ را با استفاده از نور مرئی که جسم از خود ساطع می‌کند، تشخیص می‌دهد.

شکل ۳۹

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 رشته‌های لامپ جریانی عبور می‌کند که تعیین‌کننده میزان دما است.

۳ مخروط زگر

برای تعیین دمای کوره از مخروط‌های دیرگداز استاندارد (مخروط زگر) استفاده می‌شود که دارای ابعاد استاندارد با ترکیب شیمیایی مشخص و نقطه خمیری شدن معین هستند. هریک از مخروط‌های زگر شمارهٔ مخصوصی دارند که در کوره‌ها حرارت می‌بینند تا به‌حالت خمیری درآید. سپس با توجه به‌جدول شماره ۵ و حالت خمیری مخروط زگر دمای کوره مشخص می‌شود. در جدول شماره ۵ تعدادی از مخروط‌های زگر بیان شده است.

۱ـ Pyrometer

جدول ۵ ـ دمای معادل مخروط‌های استاندارد زگر (درجه سلسیوس) بر اساس سرعت گرمایش ۱۷۰ درجه سلسیوس بر ساعت

شماره مخروط زگر	دمای معادل	شماره مخروط زگر	دمای معادل
۱۵	۱۴۳۵	۰۱	۱۱۴۵
۱۴	۱۴۰۰	۰۲	۱۱۲۵
۱۳	۱۳۵۰	۰۳	۱۱۱۵
۱۲	۱۳۳۵	۰۴	۱۰۶۰
۱۱	۱۳۲۵	۰۵	۱۰۴۰
۱۰	۱۳۰۵	۰۶	۱۰۱۵
۹	۱۲۸۵	۰۷	۹۹۰
۸	۱۲۶۰	۰۸	۹۵۰
۷	۱۲۵۰	۰۹	۹۳۰
۶	۱۲۳۰	۰۱۰	۹۰۵
۵	۱۲۰۵	۰۱۱	۸۹۵
۴	۱۱۹۰	۰۱۲	۸۷۵
۳	۱۱۷۰	۰۱۳	۸۶۰
۲	۱۱۶۵	۰۱۴	۸۳۰
۱	۱۱۶۰	۰۱۵	۸۰۵
		۰۱۶	۷۹۵
		۰۱۷	۷۷۰
		۰۱۸	۷۲۰
		۰۱۹	۶۶۰
		۰۲۰	۶۵۰
		۰۲۱	۶۱۵
		۰۲۲	۶۰۵

نکته

برای تهیه مخروط‌های زگر آنها را مشابه نمونه استاندارد می‌سازند.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: بررسی ترموکوپل کوره‌های کارگاه

شرح فعالیت: به‌کوره‌های کارگاه دقت کنید و مشخص کنید که دمای کوره با چه روشی اندازه‌گیری می‌شود؟

نکته

قبل از بررسی ترموکوپل کوره اطمینان حاصل کنید که کوره خاموش و کاملاً سرد باشد.

ارزشیابی نهایی شایستگی کسب مهارت ارزیابی و کنترل حرارت

شرح کار:
۱ـ به‌کارگیری تجهیزات تأمین و کنترل حرارت کوره
۲ـ روشن کردن انواع مشعل کوره
۳ـ تنظیم مشعل کوره با توجه به نوع کوره، نوع قطعات و ابعاد قطعه
۴ـ تنظیم فشار و چرخه هوایی در کوره با توجه به نوع کوره
۵ـ شناخت انواع المنت‌ها و توانایی نصب آنها

استاندارد عملکرد:
انتخاب و به‌کارگیری انواع تجهیزات کنترل خشک‌کن و کوره براساس نوع و دمای کار خشک‌کن و کوره
شاخص‌ها:
کار کردن با انواع کوره، روشن کردن و تنظیم انواع مشعل، فشار و چرخه هوایی

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی
ابزار و تجهیزات: کوره، دستکش نسوز، تجهیزات اطفای حریق، سیستم کنترل دما (ترموکوپل و پیرومتر)، لباس کار مناسب، عینک محافظ اشعه مادون قرمز

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	به کارگیری تجهیزات کنترلی مشعل کوره	۱	
۲	روشن کردن انواع مشعل کوره	۲	
۳	نصب انواع المنت	۲	
۴	تنظیم مشعل کوره با توجه به نوع کوره، نوع قطعات و ابعاد قطعه و پیچیدگی	۲	
۵	تنظیم فشار و چرخه هوایی در کوره با توجه به نوع کوره، نوع قطعات، ابعاد قطعه و پیچیدگی	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

پودمان ۳

خشک کردن سرامیک‌ها

استفاده از آب برای شکل‌دهی سرامیک‌ها، ضروری است. بعد از شکل‌دهی، آب از درون قطعه باید خارج شود. این عمل با اعمال حرارت و جریان هوای گرم و خشک در خشک‌کن انجام می‌شود.

واحد یادگیری ۳

شایستگی کار با خشک کن

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت انتخاب و به‌کارگیری خشک‌کن مناسب برای تولید محصولات سرامیکی است. همچنین چگونگی کارکرد و عوامل تعیین‌کننده خشک‌کن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

استاندارد عملکرد

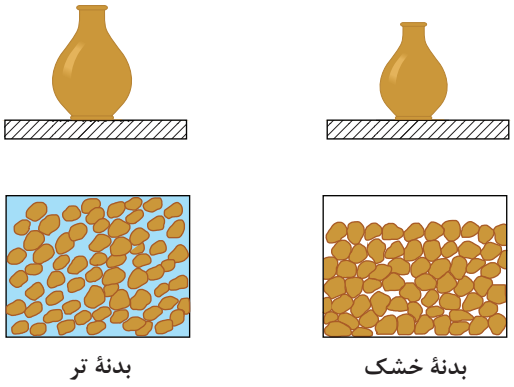
انتخاب و به‌کاربردن خشک‌کن‌ها و خشک کردن قطعات سرامیکی بر مبنای نوع آمیز، دانه‌بندی، درصد رطوبت و ضخامت

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، میوه‌جات و خشکبار استفاده می‌شود.

شکل ۱

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

خشک شدن فرایند خروج آب از قطعهٔ سرامیکی یا ماده اولیهٔ مرطوب است که نیاز به حرارت دارد. شکل ۲ مقایسهٔ ساختار بدنهٔ تر و خشک‌شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲ـ مقایسهٔ بدنهٔ تر و خشک

نکته

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

کنجکاوی

آیا می‌توان گرفتن آب از دوغاب توسط قالب گچی را فرایند خشک کردن نامید؟

شکل ۳ـ صفحه گچی در حال جذب آب

گفت‌و گو

۱ چرا حجم قطعه پس از خشک‌شدن کاهش می‌یابد؟
۲ به چه دلیل در بعضی از بدنه‌های سرامیکی پس از خشک شدن، در سطح قطعه ترک ایجاد می‌شود؟

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.

شکل ۴ـ ترک و تغییر شکل در یک قطعهٔ خشک شده

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:

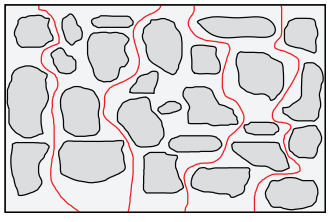
۱ حرکت آب از درون قطعه به سطح آن
۲ تبخیر و دور شدن رطوبت از سطح قطعه

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

نکته

در خشک شدن قطعات دارای رطوبت کم، فقط مرحلهٔ دوم خشک شدن اتفاق می‌افتد.

جدول ۱

عوامل مؤثر بر خشک شدن		
عوامل	مفهوم	شکل
بیرونی	روش‌های انتقال حرارت، میزان رطوبت و شدت جریان هوا در خشک‌کن از عوامل بیرونی است	گاز جابه‌جایی رطوبت جابه‌جایی گرما  حرکت رطوبت
درونی	عواملی که در درون قطعه باعث می‌شود آب از لایه‌لای ذرات به سطح خارجی آن منتقل شود.	

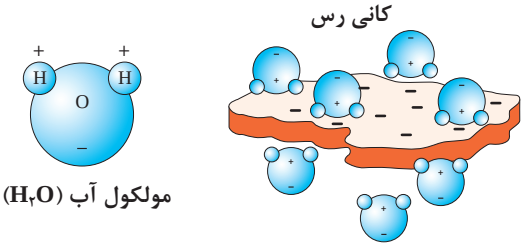
انواع آب در بدنه‌های سرامیکی

آب موجود در بدنه‌های سرامیکی مطابق جدول زیر تقسیم‌بندی می‌شود.

جدول ۲

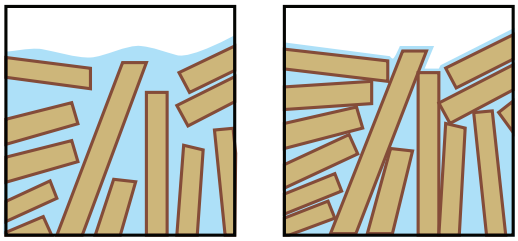
انواع آب در بدنه‌های سرامیکی		فرمول شیمیایی	محل خروج	
			خشک‌کن	کوره
آب آزاد	پلاستیسیته	H_2O	✓	–
	تخلخل		✓	–
	جذب شده (مقید)		–	✓
آب ساختاری		OH	–	✓

زمانی که آب به پودر سرامیکی کاملاً خشک اضافه می‌شود، ابتدا بخشی از آب سطح ذرات را می‌پوشاند که آب جذب شده یا مقیّد نامیده می‌شود. این پدیده به سبب ماهیت باردار بودن سطح ذرات و قطبی بودن مولکول‌های آب است.



شکل ۵ـ آب جذب شده

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



شکل ۶ـ (الف) آب تخلخل (ب) آب پلاستیسیته

بیشتر بدانید

در خشک‌کن‌ها، آب آزاد با حرکت از میان تخلخل‌ها و کانال‌هایی که در قطعه وجود دارند، خود را به سطح قطعه می‌کشانند. مکانیزم‌های مختلفی درون قطعه سبب این حرکت می‌شود که مهم‌ترین آنها نیروی مکشی است و در لوله‌های مویین ایجاد می‌شود.

فعالیت کارگاهی

کارعملی ۱: اثبات حرکت آب درون قطعه

مواد و ابزار: ترازو با دقت ۰/۱، هاون چینی، قالب انقباض، کاردک، خشک‌کن ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس، تیغ ارّه، دستکش پلاستیکی، ۱۰۰ گرم کائولن، ۱۰۰ گرم فلدسپات، ۲ گرم پتاسیم‌پرمنگنات، ۶۵ گرم آب

شرح فعالیت:

۱ مواد اولیه را با کمک هاون، نرم کنید و از الک با مش ۸۰ عبور دهید.

۲ مواد اولیهٔ نرم شده را درون یک ظرف تمیز با هم مخلوط کنید.

۳ مقدار ۲ گرم پتاسیم پرمنگنات را وزن کرده و با ۶۵ گرم آب مخلوط کنید و محلول را به ترکیب مواد اولیه اضافه کنید.

۴ با کاردک ترکیب را مخلوط کنید و با کمک قالب انقباض ۲ نمونه بسازید.

۵ نمونه‌ها را برای خشک شدن درون خشک‌کن در دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به مدت زمان ۳ ساعت قرار دهید.

۶ نمونه‌های خشک شده را از خشک‌کن خارج کنید و به کمک تیغ ارّه از وسط برش دهید و مشاهدات خود را یادداشت کنید.

شکل ۷

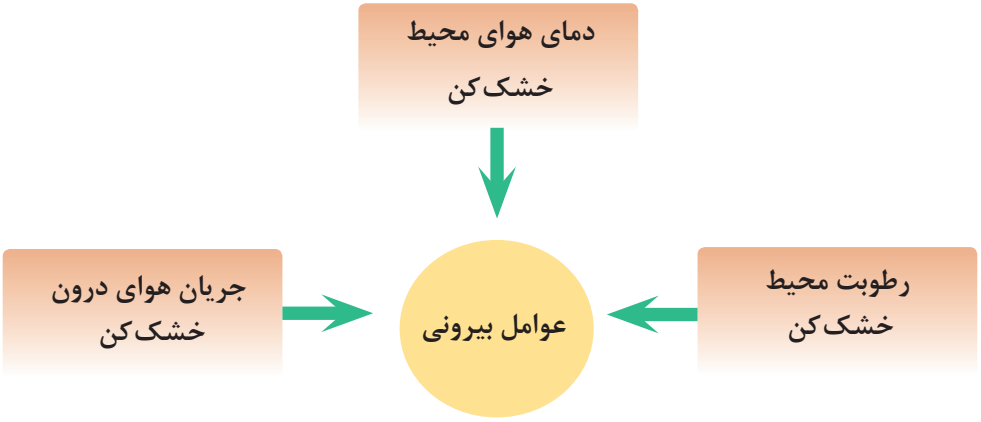
نکات ایمنی و بهداشتی

۱ به علت جذب شدن محلول پتاسیم پرمنگنات توسط پوست، سعی شود در طی انجام آزمایش از دستکش پلاستیکی استفاده شود.
۲ در هنگام خارج کردن قطعات از خشک‌کن از انبر و دستکش استفاده کنید.
۳ هنگام استفاده از ابزار تیز و برنده مراقب آسیب‌های احتمالی باشید و از شوخی کردن با دوستان خود بپرهیزید.

گفت‌وگو

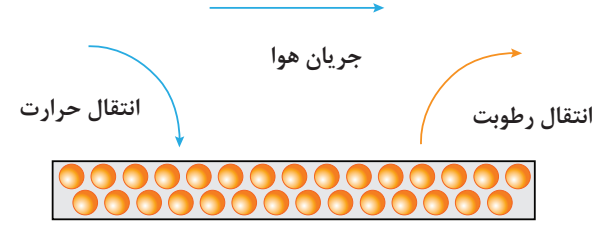
دو جسم با رطوبت یکسان را در نظر بگیرید. یکی از آنها درون اتاق و دیگری در هوای آزاد قرار داده می‌شود. چرا جسم در هوای آزاد زودتر خشک می‌شود؟

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



نمودار ۱ــ عوامل بیرونی مؤثر بر خشک شدن

۱ **سرعت جریان هوای درون خشک‌کن:** جریان هوای درون خشک‌کن به‌طور هم‌زمان وظیفهٔ انتقال گرما به‌صورت همرفت به قطعه و دورکردن رطوبت تبخیر شده از سطح قطعه را به عهده دارد. بنابراین هرچه سرعت جریان هوای درون خشک‌کن بیشتر باشد، سرعت خشک شدن نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۸ ــ عبور جریان هوا و انتقال گرما به قطعه

شکل ۹ـ خشک شدن لباس

۲ **میزان رطوبت داخل خشک‌کن:** هر چه از میزان رطوبت موجود در خشک‌کن 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 می‌گیرد.

خشک‌کن‌ها در صنعت سرامیک

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

شکل ۱۰ـ خشک شدن قطعات در گرمای آفتاب

شکل ۱۱ـ حمل و چیدن قطعات در محیط برای خشک شدن

برای تولید انبوه بدنه‌ها 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 جمع‌آوری قطعات نیاز است.

۳ فضای زیادی برای خشک کردن نیاز است.
۴ ضایعات قطعات در اثر حمل‌ونقل توسط کارگران افزایش می‌یابد.
۵ حجم تولیدات کارخانه‌ها افزایش یافته است.

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

فعالیت کلاسی

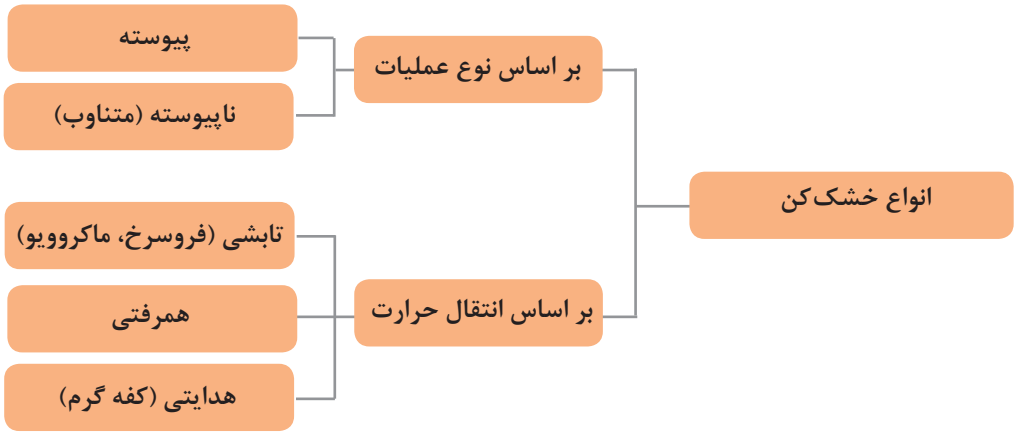
چند مورد از مزایای استفاده از خشک‌کن‌های صنعتی در جدول زیر بیان شده است. با راهنمایی هنرآموز خود جدول زیر را کامل کنید.

جدول ۳

مزایای استفاده از خشک‌کن‌های صنعتی		
ردیف	ویژگی‌ها	
۱	حداقل فضا	فضای کمتری برای خشک کردن استفاده می‌شود.
۲	حداقل تعداد کارگر	نیروی انسانی کمتری به کار گرفته می‌شود.
۳	قابلیت کنترل	دما، رطوبت و جریان هوای درون خشک‌کن قابل کنترل است.
۴	استفادهٔ بهینه از سوخت	.....
۵	افزایش سرعت خشک شدن	.....

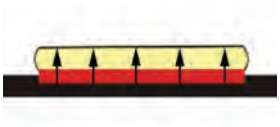
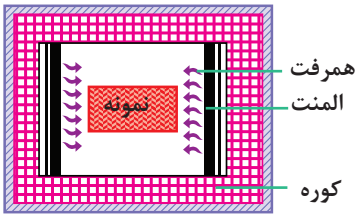
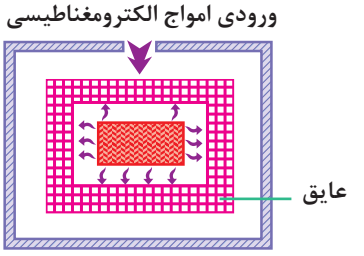
انواع خشک‌کن

خشک‌کن‌ها بر اساس چگونگی انتقال حرارت و نوع عملیات مطابق نمودار زیر طبقه‌بندی می‌شوند.



نمودار ۲ـ انواع خشک‌کن

جدول ۴

انواع خشک‌کن بر اساس انتقال حرارت		
نوع خشک‌کن	شکل	توضیحات
هدایتی		در خشک‌کن هدایتی گرما از کف خشک‌کن به قطعه منتقل می‌شود. این نوع خشک‌کن برای خشک کردن آجر و بلوک به کار می‌رود.
همرفتی		در خشک‌کن 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 خشک‌کن به بیرون هدایت می‌شود.
تابشی		در خشک‌کن 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.

خشک‌کن ناپیوسته

در خشک‌کن ناپیوسته (متناوب) چرخهٔ بارگیری، خشک شدن و خروج قطعه از آن به‌صورت هم‌زمان انجام نمی‌شود. بعضی از قطعات بزرگ مانند لوله‌های فاضلاب، آجرهای ساختمانی و مقره‌های بزرگ الکتریکی در این نوع خشک‌کن‌ها خشک می‌شوند.

شکل ۱۲ــ خشک‌کن متناوب

خشک‌کن پیوسته

خشک‌کن‌های تونلی، حلقوی (دوبین) و عمودی (مانگلی) از انواع خشک‌کن‌های پیوسته هستند. در این خشک‌کن‌ها قطعات شکل داده شده از یک طرف وارد خشک‌کن می‌شوند تا گرما به آنها منتقل شود و از طرف دیگر تخلیه می‌شوند. این عملیات‌ها به‌صورت هم‌زمان انجام می‌شود.

شکل ۱۳ــ خشک‌کن پیوسته

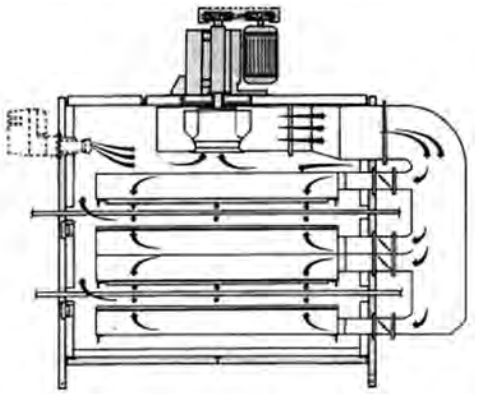
خشک‌کن تونلی (افقی)

خشک‌کن‌های تونلی دارای تونل طویلی هستند. در این خشک‌کن‌ها، محصولات را بر روی واگن یا رولر قرار می‌دهند و به داخل خشک‌کن 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 خشک‌کن می‌شود، به‌تدریج به طرف انتهای داغ تونل پیش می‌رود تا قطعات کاملاً خشک شوند.

شکل ۱۴ــ خشک‌کن تونلی

خشک‌کن‌های هوای داغ سریع کاشی

در خشک‌کن هوای داغ سریع، تغذیهٔ 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.



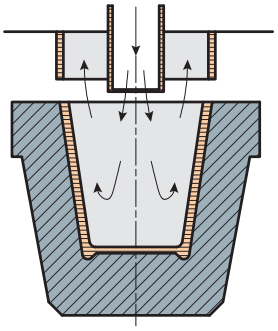
شکل ۱۵ــ خشک‌کن‌های هوای داغ سریع کاشی

شکل ۱۶ــ دمش هوا از روزنه‌ها به قطعه

خشک‌کن‌های حلقوی (دوبین)

خشک‌کن‌های حلقوی مشابه تنور نان ماشینی است که برای خشک کردن ظروف خانگی استفاده می‌شود. خشک‌کن‌های 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 خشک‌کن واقع شده است، با یک هواکش به قسمت پایین فرستاده می‌شود.

الف) قرارگیری قالب‌جولی در خشک‌کن حلقوی



ب) خشک شدن قالب جولی در خشک‌کن حلقوی

شکل ۱۷

خشک‌کن‌های عمودی

خشک‌کن‌های عمودی به دلیل شباهتی که در عملکرد به چرخ و فلک دارند به آنها خشک‌کن‌های چرخ و فلکی یا مانگل نیز گفته می‌شود. در این خشک‌کن‌ها، قطعات بر روی سینی‌هایی قرار می‌گیرند که مانند سبدهای چرخ‌وفلک به صورت افقی توسط چرخ‌دنده یا نوار نقاله جابه‌جا می‌شوند. این سینی‌ها از یک سمت بارگیری می‌شوند و از سمت دیگر در حال تخلیه شدن هستند.

خشک‌کن‌های عمودی سریع

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

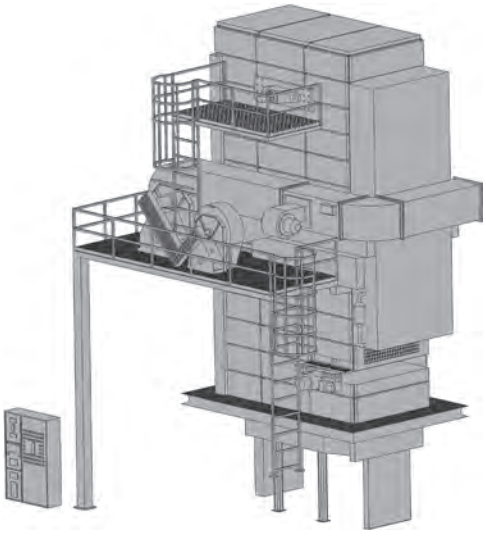
مزایای استفاده از این خشک‌کن‌ها عبارت‌اند از:

۱ کاشی‌ها به‌صورت توده‌ای و انبوه بر روی یکدیگر قرار نمی‌گیرند و به‌صورت جداگانه و با فاصله روی قفسه مشبّک 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 درجهٔ حرارت خشک‌کن در محدودهٔ ۱۳۰ تا ۱۴۰ درجهٔ سلسیوس است و قطعهٔ خارج شده حداکثر ۱ درصد رطوبت دارد.



شکل ۱۸ــ خشک‌کن عمودی سریع

بیشتر بدانید

مقایسه خشک‌کن فروسرخ و ماکروویو

خشک‌کن فروسرخ برای خشک‌کردن قطعات نازک و لعاب‌دار (پوشش‌ها و رنگ) به کار می‌رود. دراین نوع خشک‌کن، انتقال حرارت به روش تابشی انجام می‌شود. لامپ‌های حرارتی، المان‌های حرارتی و سطح گرم می‌توانند از عوامل تابش باشند. هرگاه قطعه درون این خشک‌کن قرار می‌گیرد، در اثر تابش سطح ماده گرم می‌شود و مولکول‌های آن مرتعش می‌شوند و حرارت به درون ماده نیز نفوذ می‌کند. عمق نفوذ حرارت زیاد نیست و فقط در سطح فراورده‌ها نفوذ می‌کند. استفاده از این خشک‌کن‌ها برای خشک کردن قالب گچی باعث از بین رفتن قالب می‌شود و هزینهٔ انرژی آنها بالا است.

در خشک‌کن ماکروویو از تابش امواج الکترومغناطیس استفاده می‌شود که با برخورد به قطعه سرامیکی خیس، انرژی تابشی آن جذب آب درون قطعه می‌شود. سپس آب در تمام ضخامت قطعه به‌طور یکنواخت و با سرعت زیاد توزیع می‌شود. آب بعد از تبخیر به‌راحتی به بیرون قطعه منتقل می‌شود.

در خشک کردن معمولی از طریق جابه‌جایی، انقباض از سطح قطعه رخ می‌دهد و به داخل قطعه گسترش می‌یابد ولی در خشک کردن با ماکروویو انقباض از مرکز قطعه شروع می‌شود و به سطح گسترش می‌یابد. با خشک کردن ماکروویو، مرکز قطعه به بالاترین دما می‌رسد و زودتر از سطح آن خشک می‌شود.

شکل ۱۹ــ خشک‌کن ماکروویو

کنترل خشک‌کن

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

شکل ۲۰ـ نشانگر دما و درصد رطوبت خشک‌کن

پرسش

درصد رطوبت بالای خشک‌کن چه اثری بر روی سرعت خشک شدن دارد؟

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: مقایسهٔ خشک شدن دو قطعهٔ سرامیکی با آمیز متفاوت

مواد و ابزار: کائولن شسته شده، فلدسپات به‌صورت پودر و کاملاً خشک شده، ترازوی آزمایشگاهی، سطل کوچک، قالب انقباض، کاردک، خشک‌کن آزمایشگاهی، آب

شرح فعالیت:

۱ دو آمیز مطابق جدول زیر آماده کنید.

نمونه	فلدسپات (گرم)	کائولن (گرم)	آب (گرم)
A	۸۰	۸۰	۵۰
B	۵۰	۱۱۰	۵۰

۲ آب را به آمیز اضافه کنید و گل یکنواخت و پلاستیک آماده کنید.

۳ با استفاده از قالب انقباض از هر آمیز قطعه‌ای بسازید و با کد A و B علامت‌گذاری کنید.

۴ قطعه A و B را درون خشک‌کن آزمایشگاهی قرار دهید.

۵ بعد از یک ساعت قطعات را از خشک‌کن بیرون آورید و سپس وزن کرده و در جدول زیر یادداشت کنید.

۶ قطعه را دوباره درون خشک‌کن آزمایشگاهی به مدت زمان ۲۴ ساعت قرار دهید تا کاملاً خشک شود.

۷ نمونه‌های کاملاً خشک‌شده را وزن کنید و سپس درصد رطوبت قطعه را بر مبنای تر محاسبه کنید.

نمونه	وزن اولیه	وزن بعد از یک ساعت	وزن بعد از ۲۴ ساعت	درصد رطوبت کل	درصد رطوبت باقی‌مانده بعد از یک ساعت خشک شدن	درصد رطوبت از دست داده بعد از یک ساعت خشک شدن
مثال	۸۰	۷۵	۶۹	۱۳/۷۵	۸	۵/۷۵
A						
B						

پرسش

تأثیر نوع و مقدار ترکیب بر روی زمان خشک شدن را بررسی کنید.

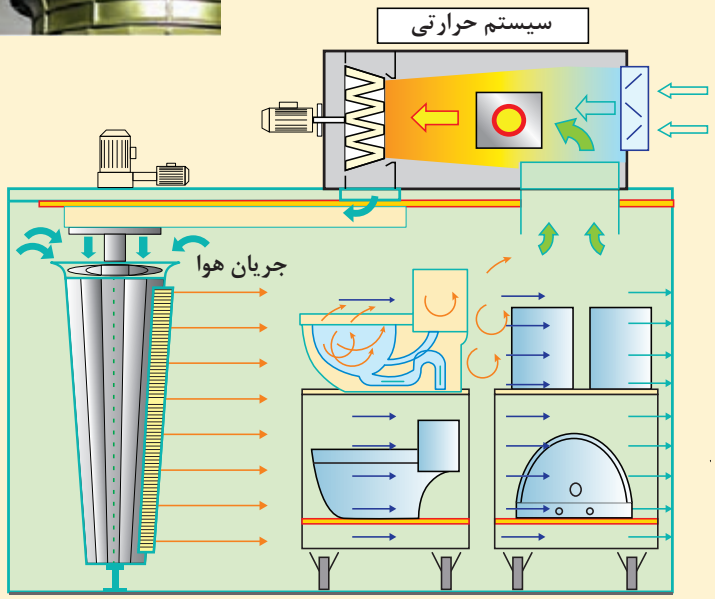
بیشتر بدانید

خشک‌کردن رطوبتی

در خشک‌کردن رطوبتی قطعهٔ سرامیکی وارد خشک‌کن می‌شود و به تدریج رطوبت و دما، هر دو افزایش می‌یابد. در این حالت قطعه خشک نمی‌شود، زیرا رطوبت محیط زیاد است و در سطح قطعه، تبخیر صورت نمی‌گیرد. ولی به سبب افزایش دمای خشک‌کن، دمای قطعه افزایش می‌یابد. بعد از این مرحله، به تدریج رطوبت را از محیط خشک‌کن خارج می‌کنند. با خروج رطوبت از محیط، خشک شدن قطعه از سطح شروع می‌شود. تبخیر از سطح قطعه باعث سرد شدن سطح آن می‌شود، ولی مرکز قطعه هنوز گرم است. گرانروی آب موجود در مرکز قطعه کمتر و هدایت آبی بیشتر است؛ بنابراین آب راحت‌تر خارج می‌شود.

نکته: چون قطعه در سطح و مرکز اختلاف حرارتی زیادی ندارد، در نتیجه، احتمال ترک خوردن آن کمتر است.

سیستم ایجاد رطوبت



شکل ۲۱ـ خشک‌کن رطوبتی

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: مقایسهٔ خشک شدن دو قطعه با دانه‌بندی متفاوت در آمیز

مواد و ابزار: کائولن و فلدسپات به صورت کلوخه و کاملاً خشک شده، ترازوی آزمایشگاهی، ظرف کوچک، قالب انقباض، کاردک، خشک‌کن آزمایشگاهی و آب.

شرح فعالیت:

۱ دو آمیز مطابق جدول زیر وزن کرده آماده کنید.

نمونه	فلدسپات (g)	کائولن (g)	آب (g)	الک با مش
A	۸۰	۸۰	۵۰	عبوری الک با مش ۳۰ مانده الک با مش ۴۰
B	۸۰	۸۰	۵۰	عبوری مش ۱۰۰

۲ آب را به آمیز اضافه کنید و گل یکنواخت و پلاستیک آماده کنید.

۳ با استفاده از قالب انقباض از هر آمیز قطعه‌ای بسازید و با کد A و B علامت‌گذاری کنید.

۴ قطعهٔ A و B را درون خشک‌کن آزمایشگاهی قرار دهید.

۵ پس از یک ساعت، قطعات را از خشک‌کن بیرون آورید و بعد از وزن کردن وزن آنها را در جدول یادداشت کنید.

۶ قطعات را دوباره درون خشک‌کن آزمایشگاهی به مدت زمان ۲۴ ساعت قرار دهید تا کاملاً خشک شوند.

۷ نمونه‌های کاملاً خشک‌شده را وزن کنید و اعداد مربوط به وزن نمونه‌ها را در جدول یادداشت کنید و درصد رطوبت قطعه را بر مبنای تر محاسبه کنید.

نمونه	وزن اولیه	وزن قطعه بعد از یک ساعت	وزن قطعه بعد از ۲۴ ساعت خشک شدن	درصد رطوبت کل	درصد رطوبت باقی‌مانده بعد از یک ساعت خشک شدن	درصد رطوبت از دست داده در یک ساعت
A						
B						

نکته

قطعه‌ای که بعد از یک ساعت قرار گرفتن درون خشک‌کن، درصد رطوبت کمتری داشته باشد، نشان‌دهندهٔ از دست دادن رطوبت بیشتر توسط آن قطعه و سرعت خشک‌شدن بیشتر است.

گفت‌وگو

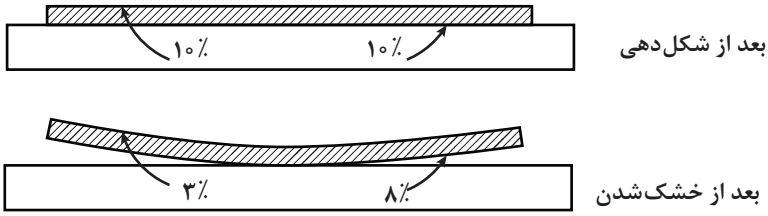
دربارهٔ تأثیر دانه‌بندی دو آمیز بررسی شده در کار عملی ۳ بر روی خشک شدن، با هم‌گروهی‌های خود گفت‌وگو کنید و نتایج آن را در کلاس ارائه دهید.

عیوب قطعه هنگام خشک شدن

در فرایند خشک‌شدن قطعه ممکن است به دلایل مختلفی عیوبی مانند تَرَک و تاب در قطعه ظاهر شود. تعداد زیادی از ترک‌ها ناشی از نوع مواد اولیه، فرایند مخلوط کردن، روش شکل‌دهی یا طراحی قطعه است. تاب و تَرَک ایجاد شده در زمان خشک‌کردن قطعه، معمولاً به دلیل انقباض غیریکنواخت است.

انقباض یک قطعه در زمان خشک شدن یک اتفاق بدیهی است که باید به‌صورت 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 می‌گردد و باعث به وجود آمدن تاب در آن می‌شود.



شکل ۲۲ـ ایجاد تاب در قطعه بعد از خشک‌شدن

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

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

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: بررسی تأثیر برخورد غیریکنواخت جریان هوا به قطعه

مواد و ابزار: خاک رس، ترازوی آزمایشگاهی، ظرف کوچک، قالب انقباض، کاردک، خشک‌کن آزمایشگاهی، پنکه

شرح فعالیت

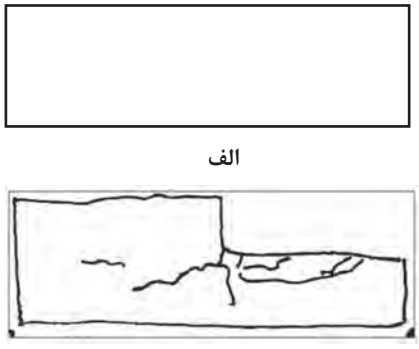
۱ ابتدا گِل رس را آماده کنید.

۲ با استفاده از گل آماده شده قطعه‌ای به شکل آجر درون قالب شکل دهید.

۳ قطعهٔ خیس را به مدت ۲ ساعت در مقابل جریان باد پنکه قرار دهید.

۴ قطعه را از لحاظ وجود عیوب احتمالی در آن بررسی کنید.

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 شده‌اند. در نمونهٔ الف ترک ایجاد نشده است، ولی در نمونهٔ ب ترک مشاهده می‌شود. این ترک‌ها در بین بخش‌های نازک و ضخیم، شاخه شاخه شده و ادامه پیدا کرده است.



الف

ب

شکل ۲۳ــ ترک ناشی از اختلاف ضخامت

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: مقایسهٔ خشک شدن دو قطعه با ضخامت متفاوت

مواد و ابزار: خاک رس، ترازوی آزمایشگاهی، ظرف کوچک، قالب انقباض، کاردک، خشک‌کن آزمایشگاهی

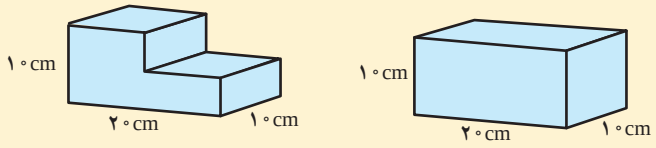
شرح فعالیت

۱ ابتدا گِل رس را آماده کنید.

۲ با استفاده از گل، دو قطعه با شکل‌های زیر بسازید.

۳ هر دو قطعه را داخل خشک‌کن قرار دهید تا کاملاً خشک شوند.

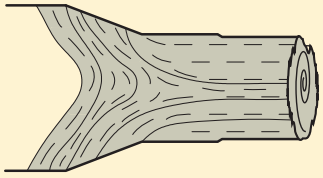
۴ قطعه را از لحاظ عیوب احتمالی در آن بررسی کنید.



بیشتر بدانید

جهت‌گیری خاص ذرات هنگام شکل دادن: در مواد رسی آرایش ترجیحی ذرات وجود دارد. مواد رسی به‌صورت ورقه‌ای شکل هستند. در نتیجه، هنگام شکل‌دهی (به عنوان مثال به روش ریخته‌گری دوغابی یا پلاستیک) در جهت اعمال نیرو جهت‌گیری می‌کنند. هنگام خشک شدن، اگر جهت انقباض این پولک‌ها متفاوت باشد، باعث ایجاد تنش و در نهایت، ایجاد ترک در قطعه می‌شود.

شکل ۲۴ـ اعمال نیروی خارجی و ایجاد تَرَک



شکل ۲۵ـ آرایش ترجیحی ذرات

ارزشیابی نهایی شایستگی کسب مهارت خشک‌کردن سرامیک‌ها

شرح کار:
۱ـ آماده‌سازی خشک‌کن
۲ـ انجام آزمون مقایسه خشک‌شدن دو قطعه با آمیز متفاوت
۳ـ انجام آزمون مقایسه خشک شدن دو قطعه با دانه‌بندی متفاوت
۴ـ انجام آزمون بررسی تأثیر برخورد غیریکنواخت جریان هوا به قطعه
۵ـ انجام آزمون مقایسه خشک شدن دو قطعه با ضخامت‌های متفاوت

استاندارد عملکرد:
انتخاب و به‌کار بردن خشک‌کن‌ها و خشک‌کردن قطعات سرامیکی برمبنای نوع آمیز، دانه‌بندی، درصد رطوبت و ضخامت

شاخص‌ها:
رعایت اصول روشن کردن خشک‌کن
کنترل دمای خشک و رطوبت بدنه
آزمون مقایسه خشک شدن دو قطعه با آمیز و دانه‌بندی متفاوت و بررسی تأثیر این عوامل بر خشک شدن قطعه
آزمون تأثیر برخورد غیریکنواخت جریان هوا به قطعه را هنگام خشک شدن انجام داده و اثر آن بر عیوب خشک شدن قطعه را بررسی کنید.
دو قطعه با ضخامت‌های متفاوت ساخته و آزمون مقایسه خشک شدن آنها را انجام داده و تأثیر ضخامت متفاوت را بر روی عیوب خشک شدن بررسی کند.

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد
ابزار و تجهیزات: خشک‌کن، ماشین‌حساب، قطعه نمونه، ترازو با دقت ۰/۱ گرم، زمان‌سنج، لباس کار مناسب، تجهیزات اطفای حریق، دستکش نسوز

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده‌سازی خشک‌کن	۱	
۲	انجام آزمون مقایسه خشک‌شدن دو قطعه با آمیز متفاوت	۲	
۳	انجام آزمون مقایسه خشک شدن دو قطعه با دانه‌بندی متفاوت	۲	
۴	انجام آزمون بررسی تأثیر برخورد غیریکنواخت جریان هوا به قطعه	۲	
۵	انجام آزمون مقایسه خشک شدن دو قطعه با ضخامت‌های متفاوت	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

پودمان ۴

پخت کردن سرامیک‌ها

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

واحد یادگیری ۴

شایستگی پخت کردن سرامیک‌ها

هدف از این شایستگی کسب دانش و مهارت پخت بدنه‌های سرامیکی طبق برنامهٔ حرارتی مشخص و راه‌اندازی و کنترل کوره با رعایت نکات مربوطه است.

استاندارد عملکرد

انتخاب و به‌کارگیری کورهٔ پخت سرامیک‌ها براساس جنس قطعه، نوع پخت، دمای پخت و منحنی پخت کوره‌ها

شکل ۱ قطعهٔ سرامیکی را قبل و بعد از پخت نشان می‌دهد. آیا قطعهٔ سرامیکی نشان داده شده قبل از فرایند حرارت‌دهی برای استفاده مناسب است؟
چگونه فرایند پخت قطعهٔ سرامیکی به افزایش استحکام بدنه کمک می‌کند؟

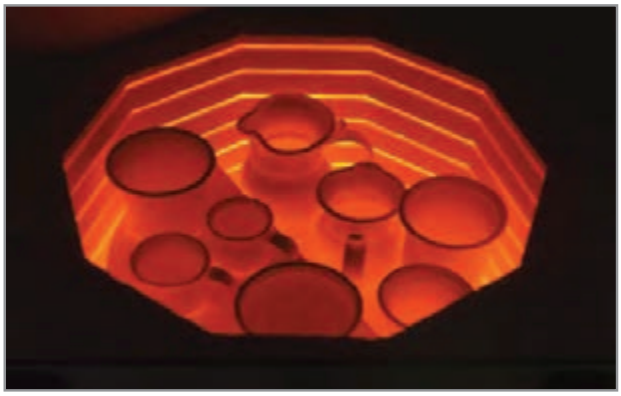
قبل از پخت

بعد از پخت

شکل ۱ــ قطعهٔ سرامیکی قبل و بعد از فرایند پخت

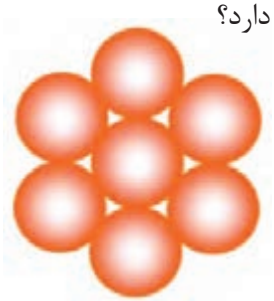
فرایندپخت

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 ازبین می‌روند. برای افزایش استحکام بدنه باید فرایند پخت بر روی قطعات انجام شود. فرایند پخت سرامیک‌ها در کوره انجام می‌شود.

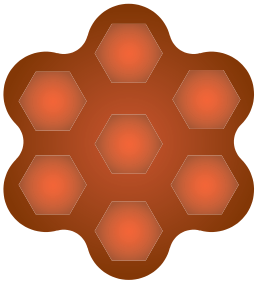


شکل ۲ــ بدنه‌های سرامیکی در حال پخت

شکل ۳ ساختار بدنهٔ سرامیکی را قبل و بعد از پخت نشان می‌دهد. به نظر شما چه تفاوتی در ساختار بدنهٔ خام و پخت‌شده وجود دارد؟



الف) ساختار بدنهٔ پخت‌نشده (خام)



ب) ساختار بدنهٔ پخت‌شده

شکل ۳

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

نمودار ۱

۱ خشک شدن کامل

قطعات سرامیکی در مرحلهٔ خشک شدن بیشتر رطوبت آزاد خود را از دست می‌دهند. قطعات خشک‌شده 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 مرحلهٔ 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 روان‌سازها در آمیز بدنهٔ 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.

نکته

برای سوختن ترکیبات آلی و کربن موجود در بدنهٔ سرامیکی باید اکسیژن کافی در کوره وجود داشته باشد تا واکنش‌های اکسیداسیون به صورت کامل انجام گیرد. از سوختن کربن در حضور اکسیژن کافی گاز کربن‌دی‌اکسید تولید می‌شود.

گفت‌وگو

خارج نشدن و اکسیداسیون ناقص ترکیبات آلی در بدنه چه تأثیری در بدنهٔ پخت‌شده دارد؟ نظرات خود را در کلاس ارائه دهید.

۳ تجزیه شدن

حضور کربنات‌ها، سولفات‌ها و آب تبلور در مواد اولیهٔ معدنی امری اجتناب‌ناپذیر است. این ترکیبات در محدودهٔ دمایی ۴۰۰ تا ۹۰۰ درجهٔ سلسیوس تجزیه می‌گردند و کربن‌دی‌اکسید (CO_2)، گوگرد دی‌اکسید (SO_2) و آب (H_2O) حاصل از تجزیهٔ آنها از بدنه خارج می‌شود.

نکته

برخی از ترکیبات سولفاتی در دمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس تجزیه می‌شوند.

فعالیت کلاسی

طبق واکنش تجزیهٔ کربنات منیزیم، واکنش تجزیهٔ کلسیم کربنات و منیزیم سولفات را کامل کنید.

$MgCO_3 \rightarrow MgO + CO_2$

$CaCO_3 \rightarrow$ ..... + ...

$MgSO_4 \rightarrow$ ..... + SO_2

در هنگام پخت قطعات سرامیکی هریک از ترکیبات در محدودهٔ درجهٔ حرارت مشخصی تقریباً از بدنه خارج می‌شوند. براساس ترکیب آمیز، دمای خروج اجزای مختلف از بدنه بر اثر حرارت متفاوت است. در جدول زیر محدودهٔ این دماها آمده است. دماهای بیان شده در آمیزهای مختلف می‌تواند متفاوت باشد.

جدول ۱ـ خروج اجزای مختلف از بدنه در دماهای مختلف

کربنات، سولفات و آب تبلور	کربن و ترکیبات آلی	رطوبت
کربنات‌ها ۱۰۰۰ـ ۴۰۰ درجهٔ سلسیوس	برخی ترکیبات آلی ۳۰۰ـ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس	تا حدود ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس
سولفات‌ها بالای ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس	کربن تا ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس	
آب تبلور بالای ۴۰۰ درجهٔ سلسیوس		

فکر کنید

رعایت سرعت تغییرات دمایی در مرحلهٔ گرمایش چه اهمیتی دارد و بالا بودن آن باعث ایجاد چه مشکلاتی در بدنه می‌شود؟

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: اندازه‌گیری کاهش وزنی حاصل از تجزیهٔ کربنات‌ها در فرایند پخت

مواد و ابزار: دولومیت معدنی، ترازو با دقت ۰/۱ گرم، بوتهٔ دیرگداز، خشک‌کن و کورهٔ آزمایشگاهی

شرح فعالیت:

۱ مقداری دولومیت معدنی را در خشک‌کن با دمای ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲ ساعت خشک کنید.

۲ مقدار ۱۰۰ گرم از دولومیت خشک شده را با ترازو وزن کنید و درون بوتهٔ دیرگداز بریزید.

۳ بوتهٔ حاوی دولومیت را در دمای ۷۵۰ درجهٔ سلسیوس به مدت زمان ۳ ساعت در کوره قرار دهید.

۴ پس از سرد شدن کوره، بوته را از آن خارج کنید و دولومیت پخته شده را وزن کرده و یادداشت کنید.

۵ درصد کاهش وزن دولومیت را محاسبه کنید.

جدول ۲

وزن دولومیت		درصد کاهش وزن دولومیت
قبل از حرارت در کوره	بعد از حرارت در کوره	

نکته

عامل کاهش وزن دولومیت پس از حرارت‌دهی در کوره، تجزیهٔ منیزیم کربنات و کلسیم کربنات است.

نکات ایمنی و بهداشتی

۱ بدون استفاده از دستکش و انبر، نمونه را از خشک کن و کوره خارج نکنید.

۲ دقت کنید تا در هنگام وزن کردن نمونه سرد باشد تا به ترازو آسیب نرسد.

۳ بدون هماهنگی با هنرآموز خود به کوره دست نزنید.

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 ـ ۲۲۰ و ۵۷۳ درجهٔ سلسیوس با تغییرات حجمی زیادی همراه

است و در منحنی پخت، سرعت آهستهٔ تغییر دما در این دماها می‌تواند از ایجاد ترک در قطعه جلوگیری کند.

تحقیق کنید

در مورد تبدیلات فازی سیلیس و درصد تغییرات حجمی آن تحقیق کنید و نتیجه را در کلاس ارائه دهید.

۵ تَفجوشی (زینتر)

با توجه به شکل‌های زیر، با فشردن تکه‌های شکلات به همدیگر، یا حرارت دادن آنها قطعه شکلات یکپارچه و مستحکمی می‌توان تهیه کرد؟

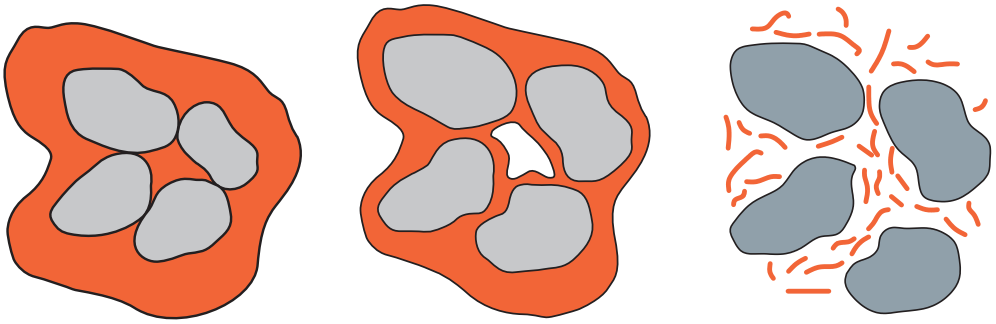
ب　　الف

شکل ۴

در فرایند پخت سرامیک‌ها عمل ذوب به‌صورت سطحی است. با افزایش درجهٔ حرارت در کوره، ذرات تشکیل‌دهندهٔ بدنهٔ سرامیکی به همدیگر می‌چسبند تا استحکام قطعه با اتصال ذرات تشکیل‌دهندهٔ آن به‌یکدیگر افزایش یابد و قطعهٔ متراکم و یکپارچه‌ای حاصل شود.

به اتصال و جوش خوردن ذرات سرامیکی به یکدیگر که طی فرایند پخت اتفاق می‌افتد، تَفجوشی (زینتر)[۱] 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 تخلخل‌ها و اتصال بین ذرات آمیز می‌شود.



ج) پر شدن تخلخل‌ها با فاز مایع　　ب) ذوب شدن مواد گدازآور　　الف) مخلوط پودر

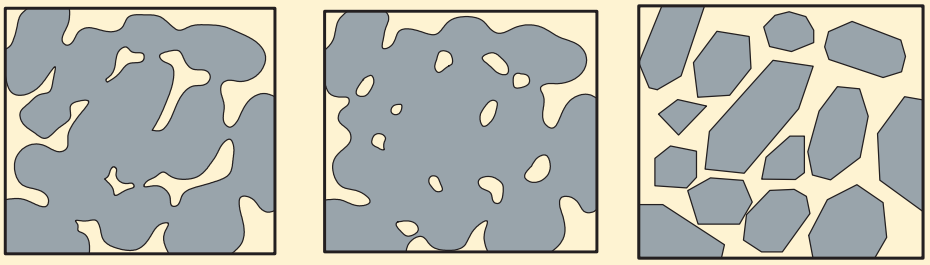
شکل ۵

نکته

فرایند تفجوشی (زینتر) در دمایی کمتر از نقطهٔ ذوب مواد انجام می‌شود.

بیشتر بدانید

گاهی تفجوشی (زینتر) بدون تشکیل مذاب و حضور فاز مایع انجام می‌شود. با افزایش دما ذرات به یکدیگر نزدیک می‌شوند و به همدیگر جوش می‌خورند. سپس با افزایش بیشتر دما تخلخل‌ها کم می‌شود و تراکم آن افزایش می‌یابد.



الف) نزدیک شدن ذرات به یکدیگر ب) کاهش حجم تخلخل ج) ایجاد اتصال بین ذرات

شکل ۶

فعالیت کارگاهی

کار عملی۲: درک مفهوم فرایند تفجوشی (زینتر) با استفاده از یخ

مواد و ابزار: قالب یخ، ظرف مناسب برای قرار دادن در جایخی، یخچال

شرح فعالیت:

۱ با استفاده از قالب یخ قطعات کوچک یخ آماده کنید.

۲ تکه‌های کوچک یخ را از قالب درآورید و در ظرف مناسبی بریزید.

۳ اجازه دهید تا سطح قطعات یخ در دمای محیط کمی ذوب شوند.

۴ ظرف را در جایخی یخچال به مدت ۴ ساعت قرار دهید.

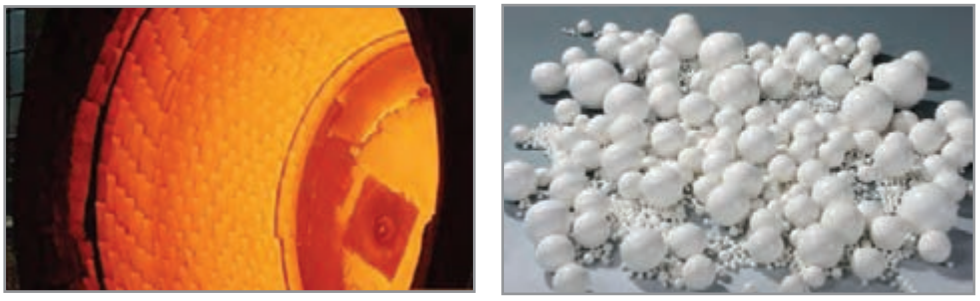
۵ ظرف را از یخچال خارج کنید.

۶ مشاهدات خود را با تفجوشی (زینتر) در فرایند پخت مقایسه کنید.

انواع پخت

بدنه‌های سرامیکی براساس تعداد دفعات ورود به کورهٔ پخت به انواع تک پخت یا چند پخت تقسیم می‌شوند. به‌عبارتی، بدنه‌های سرامیکی می‌توانند یک پخت یا چندپخت باشند.

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



شکل ۷

محصولات لعاب‌دار ممکن است در چند مرحله وارد کوره شوند که بر اساس تعداد مراحل پخت، بدنه‌های سرامیکی تک پخت[۱]، دوپخت یا سه پخت نامیده می‌شوند.

در محصولات دوپخت که عموماً لعاب‌دار هستند، پخت اول یا «پخت بیسکویت» به منظور انجام واکنش‌های اولیه و تأمین استحکام انجام می‌شود؛ بنابراین به پخت بدنهٔ 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.

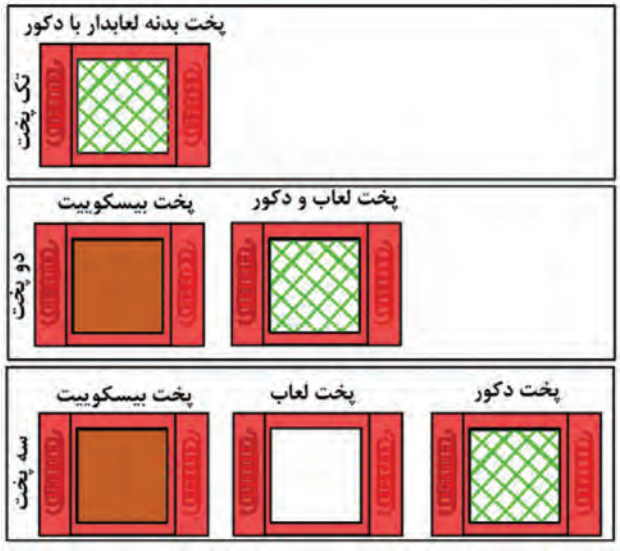
در برخی محصولات مانند مقره‌های الکتریکی، کاشی‌ها و سرامیک‌های بهداشتی که دمای پخت بدنه و لعاب با یکدیگر همخوانی دارند، می‌توان لعاب را بر بدنهٔ خام اعمال کرد و به‌صورت تک‌پخت محصول نهایی لعاب‌دار را تولید کرد؛ به عبارتی بدنهٔ لعاب‌دار یک بار برای پخت وارد کوره می‌شود.

مقرهٔ الکتریکی — سرامیک بهداشتی

شکل ۸ ــ نمونه‌ای از محصولات تک پخت

۱ـ Once Fired

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.
در شکل ۹ انواع پخت در بدنه‌های لعاب‌دار نشان داده شده است



شکل ۹ ـ انواع پخت در بدنه‌های لعاب‌دار

فعالیت کلاسی

با کمک هنرآموز خود، تک‌پخت یا چندپخت بودن بدنه‌های سرامیکی نشان داده شده در شکل ۱۰ را مشخص کنید.

....

....

شکل ۱۰

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 بدنهٔ 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.

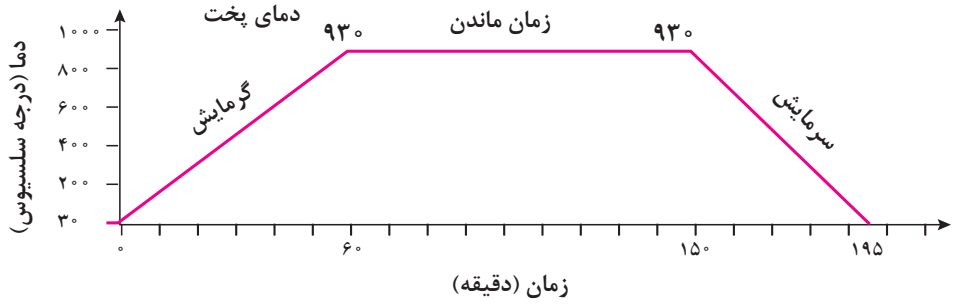
گفت‌و گو

در تنظیم برنامهٔ عملیات حرارتی یا منحنی پخت چه نکاتی باید درنظر گرفته شود؟
چرا منحنی پخت بدنه‌های نشان داده شده در شکل ۱۱ باید با هم متفاوت باشد؟

چینی بهداشتی — کاشی — ظروف چینی

شکل ۱۱

برای آشنایی بیشتر با منحنی پخت، به مثال حل شدهٔ زیر توجه کنید.
منحنی پخت یک بدنهٔ سرامیکی در نمودار ۲ نشان داده شده است.



نمودار ۲ ـ منحنی پخت

۱ سرعت تغییرات دمایی را بر حسب درجهٔ سلسیوس بر دقیقه در مرحلهٔ گرمایش محاسبه کنید.

ـ سرعت تغییرات دمایی در مرحلهٔ گرمایش از محاسبهٔ شیب نمودار از دمای ۳۰ تا ۹۳۰ درجهٔ سلسیوس در مدت زمان ۶۰ دقیقه محاسبه می‌شود:

$$\text{نرخ تغییرات دمایی در گرمایش} = \frac{۹۳۰-۳۰}{۶۰-۰} = ۱۵(^\circ C/min)$$

۲ دمای پخت چقدر است؟

ـ طبق منحنی پخت، بیشترین دمایی که قطعه در آن قرار می‌گیرد، ۹۳۰ درجهٔ سلسیوس است که دمای پخت این قطعه محسوب می‌شود.

۳ مدت زمان ماندن قطعه در دمای پخت چه میزان است؟

۱۵۰ - ۶۰ = ۹۰

۴ سرعت (نرخ) تغییرات دمایی را در مرحلهٔ سرمایش محاسبه کنید.

ـ سرعت تغییرات دمایی در مرحلهٔ سرمایش از محاسبهٔ شیب نمودار از دمای ۹۳۰ تا ۳۰ درجهٔ سلسیوس در مدت زمان ۴۵ دقیقه (۴۵=۱۵۰- ۱۹۵) محاسبه می‌شود:

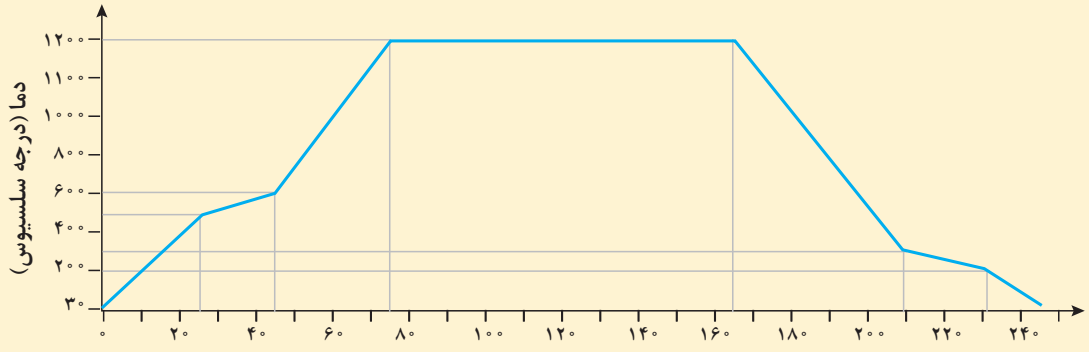
$$\text{سرعت تغییرات دمایی در سرمایش} = \frac{۹۳۰-۳۰}{۱۹۵-۱۵۰} = ۲۰(^\circ C/min)$$

نکته

منحنی پخت براساس نوع و روش آماده‌سازی مواد اولیه، روش شکل‌دهی، حجم و شکل بدنه، نوع و امکانات کوره تعیین می‌شود.

فعالیت کلاسی

با توجه به منحنی پخت نشان داده شده در نمودار ۳ به سؤالات زیر پاسخ دهید:



نمودار ۳ـ منحنی پخت

۱ چند مرحلهٔ گرمایش در منحنی پخت وجود دارد؟
۲ دمای پخت چند درجهٔ سلسیوس است؟
۳ مدت زمان ماندن در دمای پخت چقدر است؟
۴ چند مرحلهٔ سرمایش در منحنی پخت وجود دارد؟
۵ مراحل گرمایش، ماندن و سرمایش را شماره‌گذاری و سرعت تغییرات دمایی را در هر مرحله محاسبه کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳ : پخت قطعهٔ شاموتی مطابق منحنی پخت

مواد و ابزار: قطعات شاموتی ساخته شده مطابق با پودمان ۱،کولیس، ترازو، کوره، کروم اکسید یا ابزار نوک تیز، انبر و دستکش

شرح فعالیت:

۱ قطعات شاموتی ساخته شده در فعالیت کارگاهی ۲ پودمان ۱ را با استفاده از یک ابزار تیز یا کروم‌اکسید نشانه‌گذاری کنید.
۲ ابعاد قطعات را با استفاده از کولیس اندازه بگیرید و یادداشت کنید.
۳ قطعات را وزن کنید و اعداد را یادداشت کنید.
۴ با راهنمایی هنرآموز خود قطعات را در کوره بچینید.
۵ در دمای ۱۲۵۰ درجه سلسیوس با برنامه مناسب پخت کنید.
۶ پس از سرد شدن کوره، نمونه‌ها را با احتیاط از کوره خارج کنید.
۷ ابعاد و وزن قطعات را دوباره اندازه‌گیری کنید و با قبل از پخت مقایسه کنید.

نکات ایمنی و بهداشتی

۱ بدون استفاده از دستکش نسوز و انبر نمونه را از کوره خارج نکنید.
۲ برای کار با کوره با هنرآموز خود هماهنگ کنید.

فعالیت کارگاهی

کارعملی۴: پخت بدنهٔ فلدسپاتی

مواد و ابزار: کائولن شسته شده، فلدسپات، ترازو، خشک‌کن، کورهٔ آزمایشگاهی، الک مش ۶۰، هاون، قالب انقباض

شرح فعالیت:

۱ آمیزهایی مطابق جدول ۳ آماده کنید.

جدول ۳

شمارهٔ آمیز	فلدسپات (درصد وزنی)	کائولن (درصد وزنی)
(۱)	۱۵	۸۵
(۲)	۳۰	۷۰
(۳)	۶۰	۴۰

۲ فلدسپات و کائولن را با هاون به حالت پودر درآورید و از الک مش ۶۰ عبور دهید.
۳ پس از آماده‌سازی آمیزها طبق جدول ۱، با افزودن مقدار مناسب آب به آنها گل پلاستیک تهیه کنید.
۴ با هر آمیز، با استفاده از قالب انقباض نمونهٔ انقباض بسازید.
۵ نمونه‌های انقباض را پس از خشک کردن، در دمای ۱۱۰۰ درجهٔ سلسیوس پخت کنید.
۶ پس از سرد شدن نمونه‌ها، درصد جذب آب و درصد تخلخل آنها را به روش غوطه‌وری اندازه بگیرید و با هم مقایسه کنید.

جدول ۴

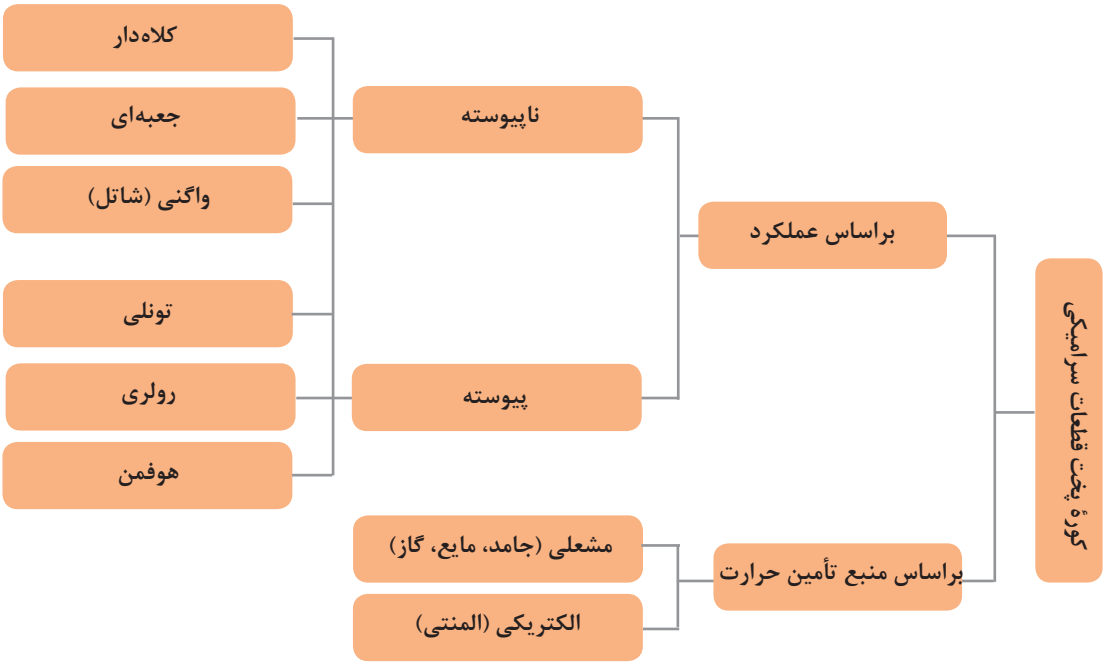
شمارهٔ آمیز	وزن خشک (گرم)	وزن اشباع (گرم)	وزن غوطه‌وری (گرم)	درصد جذب آب	درصد تخلخل
(۱)					
(۲)					
(۳)					

نکات ایمنی و بهداشتی

۱ بدون استفاده از دستکش نسوز و انبر نمونه را از خشک‌کن و کوره خارج نکنید.
۲ دقت کنید تا در هنگام وزن کردن، نمونه سرد باشد تا به ترازو آسیب نرسد.
۳ برای کار با کوره، با هنرآموز خود هماهنگ کنید.

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 تقسیم‌بندی می‌شوند.



نمودار ۴

کورهٔ ناپیوسته یا متناوب

در کوره‌های ناپیوسته[۱] مراحل پخت برای فراورده‌ها به صورت کامل انجام می‌شود و پس از تخلیهٔ محصول، مراحل پخت برای فراورده‌های بعدی دوباره تکرار می‌شود. مراحل کار این کوره‌ها به صورت زیر است:

۱ باز کردن در کوره؛

۲ چیدن فراورده‌ها در داخل کوره؛

۳ بستن در کوره؛

۴ روشن کردن کوره و اجرای برنامهٔ پخت؛

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

۶ تخلیه فراورده‌های پخت شده از کوره.

۱- Discontinuous furnace

انواع کوره‌های متناوب در جدول زیر به تفکیک آمده است:

جدول ۵

نوع کوره	توضیحات
متناوب واگنی (شاتل)[۱]	دارای واگن است که چیدمان فراورده‌ها بر روی آن انجام می‌شود. واگن بر روی ریل‌ها حرکت کرده و به داخل کوره وارد و از آن خارج شود. در این کوره‌ها، کف واگن در واقع کف کوره را تشکیل می‌دهد.
متناوب کلاه دار[۲]	کف کوره ثابت است و دیواره و سقف کوره به صورت عمودی جابه‌جا می‌شود.
متناوب جعبه‌ای[۳]	کوره جعبه‌ای یا صندوقی معمولاً مکعبی یا شش ضلعی است. سیستم گرمایش آنها الکتریکی یا گازی است.

فعالیت کلاسی

در شکل زیر چند نمونه کورهٔ ناپیوسته نشان داده شده است. نوع هر کوره را در هر یک از آنها مشخص کنید.

.....

.....

.....

.....

شکل ۱۲ــ انواع کوره‌های ناپیوسته

۱ـ Shuttle
۲ـ Top hat
۳ـ Box

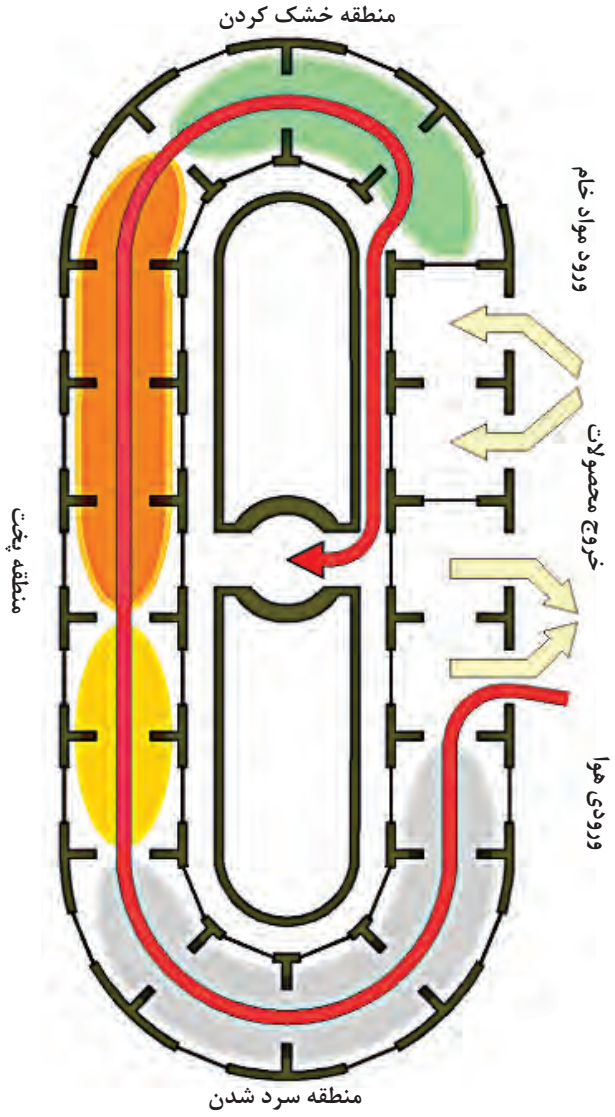
کورهٔ پیوسته[1]

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

۱ کورهٔ هوفمن[2]: کورهٔ هوفمن دارای تعدادی محفظه برای پخت است که کنار هم قرار دارند. در هر یک از محفظه‌های پخت دری برای بارگیری و تخلیه وجود دارد. در این کوره‌ها فراورده‌ها ثابت است و حرارت از محفظه‌ای به محفظهٔ دیگر منتقل می‌شود تا فرایند پخت در هریک از محفظه‌ها انجام شود. عمل تخلیه فراورده‌های پخت شده و چیدمان فراورده‌های خشک شده در محفظه‌ای که سرد می‌شود به‌صورت هم‌زمان انجام می‌گیرد.

در این نوع کوره‌ها، برای صرفه‌جویی در مصرف سوخت و بازده بیشتر، هوای مورد نیاز برای احتراق مشعل‌ها از هوای داغ محفظه‌های دیگر که در حال سرد شدن هستند، تأمین می‌شود. کوره هوفمن برای پخت محصولاتی مانند آجر، سفال و دیرگداز مناسب است.

۲ کوره تونلی[3]: در کورهٔ تونلی فرایند پخت محصولات هنگام عبور از داخل یک تونل داغ انجام می‌شود. این کوره‌ها به واگن‌هایی مجهز هستند که با حرکت برروی ریل، وظیفهٔ حمل فراورده‌ها را در تونل برعهده دارند. در واقع، برخلاف نوع هوفمن، محصولات متحرک و منبع حرارتی ثابت است.



شکل ۱۳ـ کورهٔ هوفمن

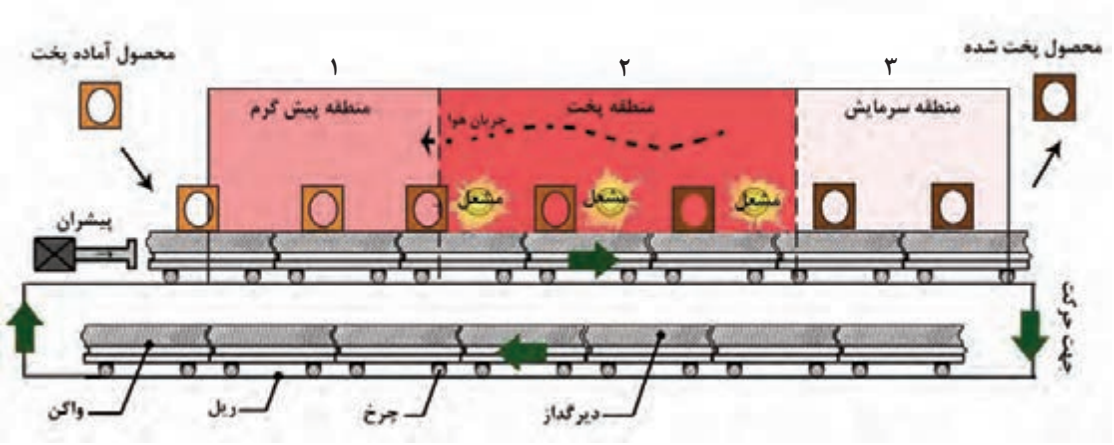
۱ـ Continuous Furnace
۲ـ Hoffmann Kiln
۳ـ Tunnel Kiln

کورهٔ تونلی دارای سه بخش اصلی است:

۱ منطقهٔ پیش گرم

۲ منطقهٔ پخت

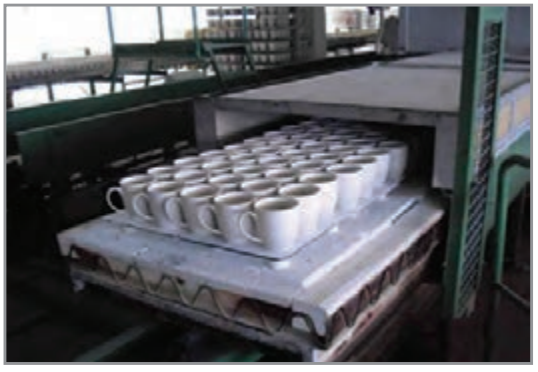
۳ منطقهٔ سرمایش



شکل ۱۴ــ قسمت‌های مختلف در کورهٔ تونلی

در ساده‌ترین نوع کورهٔ تونلی مشعل‌های منطقهٔ پخت باعث گرم شدن هوای کوره می‌شوند و این هوا با حرکت به سمت ورودی تونل باعث پیش‌گرم شدن قطعات قبل از ورود به منطقهٔ 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 به‌کار می‌روند.



شکل ۱۵ــ کورهٔ تونلی

۳ **کوره رولری**[۱]: در کوره‌های رولری یا غلتکی، قطعات روی رولرهایی موازی چیده می‌شوند. رولرها با دوران هم‌زمان و یکنواخت، وظیفهٔ انتقال قطعات را در داخل کوره انجام می‌دهند. این فرایند به‌صورت پیوسته و برای قطعات مختلف انجام می‌گیرد. بدنه‌های پخت شده پس از خروج از کوره، از روی رولرهای درحال چرخش جمع‌آوری می‌شوند.

شکل ۱۶ــ کوره رولری

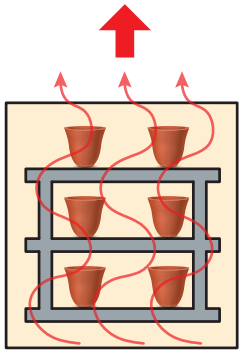
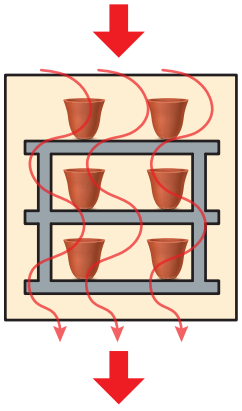
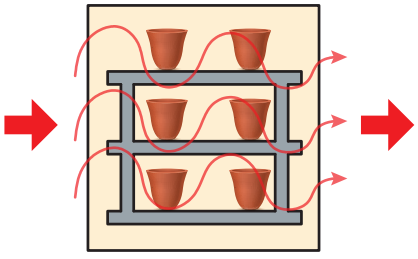
در کورهٔ رولری هر منطقه شامل مشعل‌هایی در زیر و بالای رولرها است که دارای تجهیزات کنترل دستی یا خودکار برای کنترل شعله‌ها است. این کوره‌ها در صنعت کاشی و سرامیک‌های ساختمانی به صورت گسترده استفاده می‌شوند. کوره رولری مانند کوره تونلی دارای سه منطقهٔ پیش گرم، منطقهٔ پخت و منطقهٔ سرمایش است.

۱- Roller Kiln

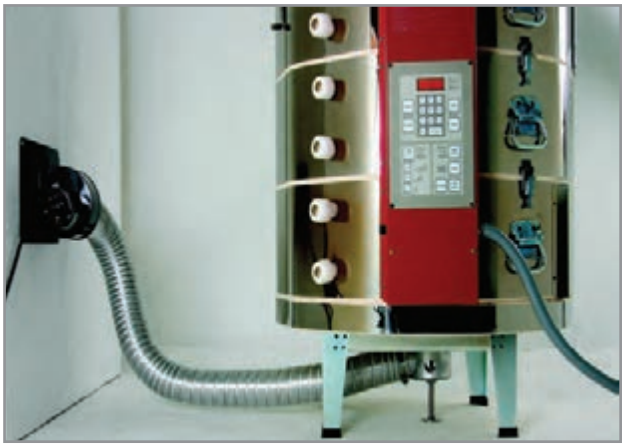
گردش هوای داغ در کوره

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، کوره‌ها به انواع فوقانی، تحتانی و عرضی تقسیم می‌شوند.

جدول ۶

کوره‌های با مکش فوقانی در این کوره‌ها هواکش در سقف کوره قرار دارد و گازهای داغ حاصل از احتراق از قسمت بالای کوره به دودکش منتقل و خارج می‌شوند.	
کوره‌های با مکش تحتانی هواکش یا دریچه خروج گازهای حاصل از احتراق در کف کوره قرار دارد.	
کوره‌های 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.	

الف) کوره با مکش فوقانی

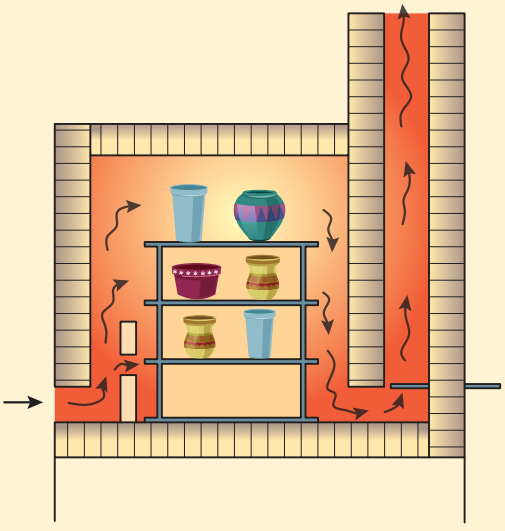


ب) کوره با مکش تحتانی

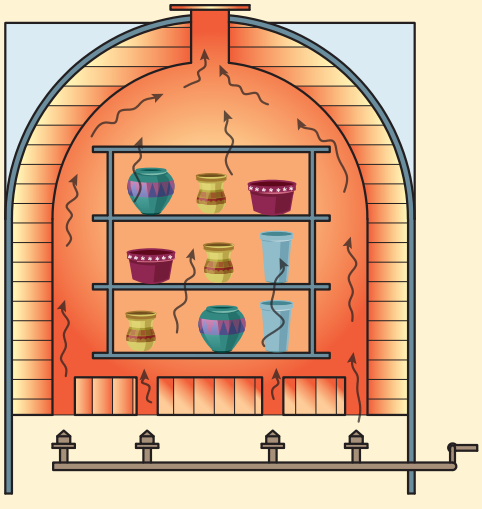
شکل ۱۷

فعالیت کلاسی

نوع کوره‌های زیر را بر اساس جهت گردش هوا و محل مکش تعیین کنید.



.....



.....

شکل ۱۸

انواع کوره بر اساس منبع تأمین حرارت

منبع تأمین‌کننده حرارت کوره‌ها می‌تواند متفاوت باشد.

مشعلی (جامد، مایع یا گاز)	ـ کوره‌های با سوخت گاز بسیار رایج‌اند و در آنها از گاز طبیعی یا مایع استفاده می‌شود. هوا و گاز با نسبت مشخص ترکیب شده و وارد مشعل کوره می‌شوند. در این کوره‌ها برای تأمین هوا استفاده از دمنده لازم است. ـ در کوره‌های سوخت مایع از نفت، گازوئیل و مازوت استفاده می‌شود. ـ درکوره‌های با سوخت جامد از سوخت هایی مانند چوب، زغال سنگ و کک استفاده می‌شود. ـ این نوع کوره‌ها نیاز به کنترل زیاد دارند.
الکتریکی (المنتی)	ساده‌ترین نوع کوره از لحاظ منبع حرارتی، کورهٔ الکتریکی است. در این کوره‌ها از مقاومت الکتریکی المنت‌ها برای افزایش دمای آنها و ایجاد گرما استفاده می‌شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: بررسی کوره‌های موجود در کارگاه هنرستان

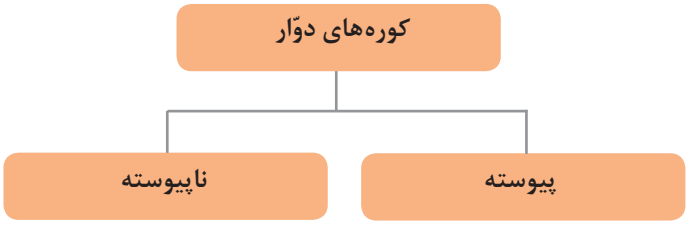
مواد و ابزار: کوره‌های موجود در کارگاه، وسیلهٔ اندازه‌گیری طول، خودکار، کاغذ

شرح فعالیت:

نوع کوره‌های موجود در کارگاه خود را از نظر منبع تأمین حرارت، عملکرد، مشخصات فنی و ابعاد بررسی کنید و در یک جدول به هنرآموز خود ارائه دهید.

انواع کوره‌ها برای پخت و فراوری مواد معدنی

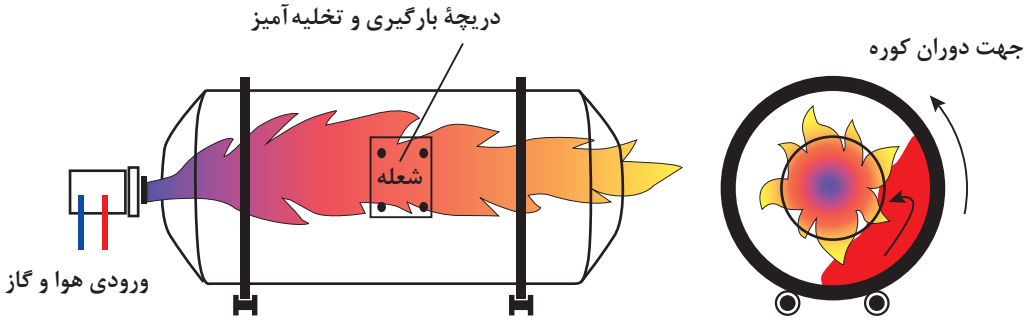
برخی از کوره‌ها برای پخت و فراوری مواد معدنی و تولید محصولات بی‌شکل مانند سیمان و فریت‌سازی به کار می‌روند. مهم‌ترین این نوع کوره‌ها، کورهٔ دوّار است که در انواع پیوسته و ناپیوسته استفاده می‌شود. کورهٔ دوّار، محفظه‌ای استوانه‌ای شکل است که معمولاً بر روی غلتک‌های بزرگی در حال دوران است.



نمودار ۵

ـ کورهٔ دوّار[1] ناپیوسته

کورهٔ دوّار ناپیوسته، دارای دریچه‌ای برای پرکردن و تخلیهٔ 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 در می‌آیند تا فرایند پخت آنها به‌صورت یکنواخت انجام گیرد. از این نوع کوره برای تهیه فریت شیشه نیز استفاده می‌شود.



شکل ۱۹ـ کورهٔ دوّار ناپیوسته

شکل ۲۰ـ مجموعهٔ کورهٔ دوّار ناپیوسته

۱- Rotary

کورهٔ دوّار پیوسته

کورهٔ دوّار پیوسته، استوانه‌ای 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 تخلیهٔ کوره تعبیه می‌شود. این نوع کوره برای تولید سیمان و گچ زیاد استفاده می‌شود.

شکل ۲۱ــ کورهٔ دوّار

بیشتر بدانید

فرایند کلسینه کردن دولومیت و تولید منیزیت کلسینه شده و ددبرن[1] نیز در کوره‌های پیوسته انجام می‌گیرد.
ددبرن فرایند پخت منیزیت در دمای ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ درجهٔ سلسیوس است که به آن سیاه‌سوزی نیز گفته می‌شود.

گفت‌و گو

کوره‌های دوار پیوسته و ناپیوسته را از نظر ظرفیت تولید و ابعاد کوره با یکدیگر مقایسه کنید.

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 نشان‌دهندهٔ سوختن ناقص و هدر رفتن سوخت است. یکی از نشانه‌های اتمسفر احیایی مشاهدهٔ رنگ شعله از دریچهٔ 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 به‌دلیل تبدیل شدن مقداری از آهن اکسید به آهن فلزی است.

۱ـ Dead burn

نکته

چنانچه برای تغییر رنگ بدنه و لعاب به اتمسفر احیایی نیاز باشد، بهتر است از دمایی حدود ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس کمتر از دمای پخت، میزان هوای ورودی به مشعل‌ها را کاهش داد. ولی نباید این دما کمتر از ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس باشد تا مانع از خروج گازها از بدنه نشود. اتمسفر اکسیدی برای سوختن مواد آلی و خارج کردن آنها از بدنه مفید است.

بیشتر بدانید

برای پخت سرامیک‌های اکسیدی از اتمسفر اکسیدی یا خنثی استفاده می‌شود تا از کاهش کیفیت محصول نهایی جلوگیری شود؛ در حالی که برای پخت سرامیک‌های غیراکسیدی مانند سیلیکون کاربایدی (SiC) باید از اتمسفر احیایی استفاده کرد.

فعالیت کارگاهی

کارعملی۶: اثر اتمسفر بر روی رنگ نمونه

مواد و ابزار: بوتهٔ دیرگداز۲ عدد، درپوش بوته یک عدد، خاک رس قرمز، خاک ارّه، کوره، ترازو

شرح فعالیت:

۱ متناسب با حجم بوته، مقدار مساوی از خاک اره را با خاک رس قرمز مخلوط کنید و داخل یکی از بوته‌ها بریزید و درپوش آن را بگذارید.

۲ متناسب با حجم بوتهٔ دوم، خاک رس قرمز در داخل آن بریزید.

۳ بوته‌ها را داخل کوره قرار دهید.

۴ نمونه‌ها را در دمای ۹۵۰ درجهٔ سلسیوس به مدت زمان یک ساعت پخت کنید.

۵ پس از سرد شدن کوره، بوته‌ها را از کوره خارج کنید و تفاوت رنگ نمونه‌ها را بررسی کنید.

نکات ایمنی و بهداشتی

۱ بدون استفاده از دستکش و انبر، نمونه را از کوره خارج نکنید.

۲ دقت کنید تا در هنگام وزن کردن، نمونه سرد باشد تا به ترازو آسیب نرسد.

۳ کار با کوره با هماهنگی هنرآموز انجام گیرد.

بیشتر بدانید

کوره‌هایی که برای پخت تحت اتمسفرهایی مانند نیتروژن و هیدروژن ساخته می‌شوند، از نوع مافلی هستند. در این کوره‌ها از جداره‌هایی استفاده می‌شود که از ورود هوا و اتمسفر حاصل از احتراق به محفظهٔ پخت جلوگیری می‌شود و فقط حرارت شعله به صورت غیرمستقیم و از طریق تابش به قطعات می‌رسد.

کوره‌بانی

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

کوره‌بان[1] شخصی است که وظیفهٔ نظارت بر چیدمان قطعات در کوره، راه اندازی کوره و نظارت بر عمکرد آن 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 کوره‌بان نیاز دارد. یک کوره‌بان باید به موارد زیر دقت داشته باشد و مرتب موارد مهم را یادداشت کند:

- زمان راه اندازی و اتمام برنامهٔ پخت
- دمای کوره و انطباق آن با برنامهٔ 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

کوره‌ها دریچهٔ کوچکی برای بازرسی از شرایط کوره را دارند. کوره‌بان 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. در جدول ۷ رنگ کوره بر اساس دما و شمارهٔ مخروط زگر آمده است.

جدول ۷

رنگ کوره	دما (درجه سلسیوس)	شمارهٔ مخروط زگر
قرمز تیره	۶۵۰_۷۵۰	۰۱۵
قرمز آلبالویی	۷۵۰_۸۱۵	۰۱۳
نارنجی	۸۱۵_۹۰۰	۱۰
زرد	۹۰۰_۱۰۹۰	۰۱
زرد روشن	۱۰۹۰_۱۳۱۵	۱۳
سفید	۱۳۱۵_۱۵۴۰	۱۹

پس از تکمیل فرایند پخت و پیش از تخلیهٔ کوره، کوره‌بان باید به شرایط پخت محصولات در قسمت‌های مختلف کوره دقت کند تا از پخت یکنواخت محصولات در کل فضای کوره مطمئن شود. ممکن است برخی قسمت‌های کوره دمای بالاتری داشته باشد یا بالعکس برخی قسمت‌ها دمای کمتری داشته باشد. لذا اطلاع

۱_ Firemaster

از مکان‌های دما بالا و دما پایین کوره برای اصلاح چیدمان قطعات یا تعمیر کوره پیش از انجام پخت بعدی ضروری است.
معمولاً کوره‌بان‌ها پس از اطلاع از جاهای داغ و سرد کوره، قطعات را برحسب نوع و دمای پخت دسته‌بندی می‌کنند و محصولات با دمای پخت بالا را در نقاط دما بالا و قطعات با دمای پخت کمتر را در نقاط دما پایین کوره قرار می‌دهند.

نکته

پس از تکمیل برنامهٔ پخت، سرمایش قطعات باید به آرامی انجام گیرد تا قطعات ترک نخورند. همچنین باید از تخلیهٔ کوره در دمای بالاتر از ۲۰۰ درجه سلسیوس اجتناب کرد تا از تخریب دیرگدازهای کوره و قطعات در آن جلوگیری شود.

پرسش

یک کوره‌بان برای تشخیص یکنواختی دما در قسمت‌های مختلف کوره از چه روش‌هایی می‌تواند استفاده کند؟

عیوب ناشی از پخت در سرامیک‌ها

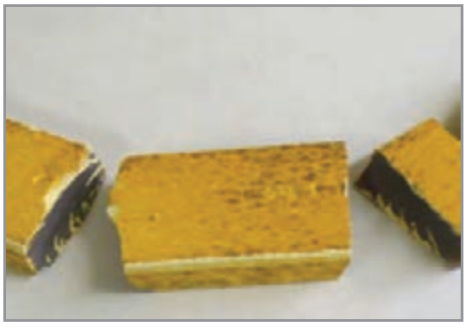
شاید مشاهده کرده باشید که گاهی در تهیه و پخت کیک به صورت دلخواه و سالم نیست و ممکن است عیوبی مانند تغییر شکل، ترک یا سوختگی در آن ایجاد شود. به نظر شما این مشکلات ناشی از چه دلایلی می‌تواند باشد؟

شکل ۲۲

در برخی از محصولات سرامیکی عیوبی مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از دلایل متفاوتی باشد. رعایت نکردن اصول در آماده‌سازی مواد اولیه (مثلاً وجود ناخالصی و ناهمگنی در مواد اولیه) یا در مرحله شکل‌دهی و خشک‌کردن می‌تواند باعث ایجاد عیب در محصول سرامیکی شود. گاهی عیوب مشاهده شده می‌تواند مربوط به مرحلهٔ 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.

عیب بادکردگی[1]

عیب تاول زدن[2]



عیب هسته سیاه[3]

تابیدگی و تغییر شکل[4]

عیب ترک[5]

شکل ۲۳

۱ـ Black Core
۲ـ Blistring
۳ـ Bloating
۴ـ Deformation
۵ـ Crack

فعالیت کلاسی

در جدول زیر عیوب قابل مشاهده در محصولات سرامیکی بیان شده است. با توجه به دلایل ارائه شده برای هر نوع عیب، با راهنمایی هنرآموز خود جدول را کامل کنید.

جدول ۸

نوع عیب		توضیحات
هسته سیاه (مغز سیاه)	دلیل	در هنگام پخت لازم است کربن و برخی ترکیبات تجزیه گردند و از بدنه خارج شوند. ولی ممکن است به سبب کمبود اکسیژن در محیط کوره یا افزایش سریع دمای کوره در هنگام پخت بدنه : ـ کربن به صورت ناقص بسوزد و در بدنه باقی بماند. ـ آهن به صورت ناقص اکسید شود و آهن اکسید دو ظرفیتی (FeO) به جای Fe_2O_3 تشکیل شود.
	اثر آن در قطعه	ـ ظاهر شدن رگه‌های سیاه یا خاکستری رنگ در بدنه ـ بروز حباب در سطح ـ کاهش استحکام قطعه
	راه حل	.....
عیب تاول زدن	دلیل	حرارت‌دهی زیاد قطعه یا حرارت‌دهی با سرعت خیلی بالا
	اثر آن در قطعه	.....
	راه حل	.....
بادکردگی	دلیل	این عیب به دلیل تفجوشی (زینتر شدن) بدنه قبل از تجزیه و خروج گازها از داخل بدنه است.
	اثر آن در قطعه	.....
	راه حل	.....
تغییر شکل و تابیدگی	دلیل	ـ یکنواخت نبودن حرارت در کوره باعث انقباض متفاوت در دو طرف قطعه می‌شود. ـ چیدمان نادرست و غیر اصولی بدنه‌ها در داخل کوره ـ انقباض پخت در قطعات مدور و توخالی مانند فنجان
	اثر آن در قطعه	چیدن قطعات در کف کوره باعث انقباض کمتر قسمت پایین قطعه نسبت به قسمت بالایی قطعه می‌شود و یکنواخت نبودن انقباض باعث تغییر شکل و تاب برداشتن قطعه می‌شود.
	راه حل	چیدن قطعات خام بر روی صفحه‌ای از جنس خود قطعه، باعث می‌شود که همراه با سطح زیرین خود منقبض و منبسط شود. استفاده از دیسک یا کاست‌های سرامیکی بر روی فنجان یا کاسه قرار دادن ظروف دهانه گشاد مانند فنجان و کاسه دو به دو روبه‌روی هم .....
ترک	دلیل	وجود تنش در داخل بدنه : ـ در اثر سرعت حرارت‌دهی بالا ـ تبدیلات ساختاری ـ درصد رطوبت بالای قطعه (بالاتر از ۰/۵ درصد)
	اثر آن در قطعه	ایجاد شوک حرارتی در قطعه و در صورتی که قطعه نتواند شوک را تحمل کند، ترک و شکست در آن ایجاد می‌شود.
	راه حل	.....

نکته

تمام عیوب مشاهده شده در قطعه پس از پخت مربوط به مرحلهٔ پخت نیست و ممکن است مربوط به مراحل آماده‌سازی آمیز، شکل‌دهی یا خشک‌کردن باشد که در مرحله پخت آشکار می‌شود.

اصول ایمنی در کار با کوره

ایمنی در کوره‌های آزمایشگاهی

۱ کوره‌های آزمایشگاهی باید تا حدامکان بالاتر از سطح زمین باشند تا درصورت آب‌گرفتگی کارگاه، کوره ایمن باشد.

۲ میز کوره آزمایشگاهی مستحکم و تراز باشد.

۳ دَرِ کوره در زمان روشن بودن باز نشود.

۴ از تجهیزات ایمنی مانند دستکش نسوز و انبر برای تخلیهٔ کوره استفاده شود.

۵ از دست زدن به المنت کوره اجتناب شود.

شکل ۲۴

ایمنی در کوره های صنعتی

۱ از بالارفتن و قدم گذاشتن بر سقف کوره اجتناب شود.

۲ به محیط داخل کوره خیره نشوید.

۳ تجهیزات کنترل حریق مانند کپسول‌ها در اطراف کوره مرتب کنترل و بازرسی شوند.

۴ از تخلیهٔ کوره در دمای بالاتر از ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس اجتناب شود.

ارزشیابی نهایی شایستگی کسب مهارت پخت کردن سرامیک‌ها

شرح کار:
۱ـ آماده‌سازی کوره برای پخت
۲ـ پخت انواع بدنه سرامیکی با ترکیبات مختلف
۳ـ نظارت بر عملکرد کوره تا تکمیل برنامه پخت
۴ـ خارج کردن صحیح قطعات از کوره

استاندارد عملکرد:
انتخاب و به‌کارگیری کورهٔ پخت سرامیک‌ها براساس جنس قطعه، نوع پخت، دمای پخت و منحنی پخت
شاخص‌ها:
تنظیم دمای کوره و زمان براساس منحنی پخت
اطمینان از عملکرد صحیح کوره
روشن کردن کوره و پخت بدنه‌های مختلف سرامیکی

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد مجهز به تجهیزات ایمنی
ابزار و تجهیزات: کوره، دستکش نسوز، تجهیزات اطفای حریق، سیستم کنترل دما (ترموکوپل و پیرومتر)، لباس کار مناسب، عینک محافظ اشعه مادون قرمز

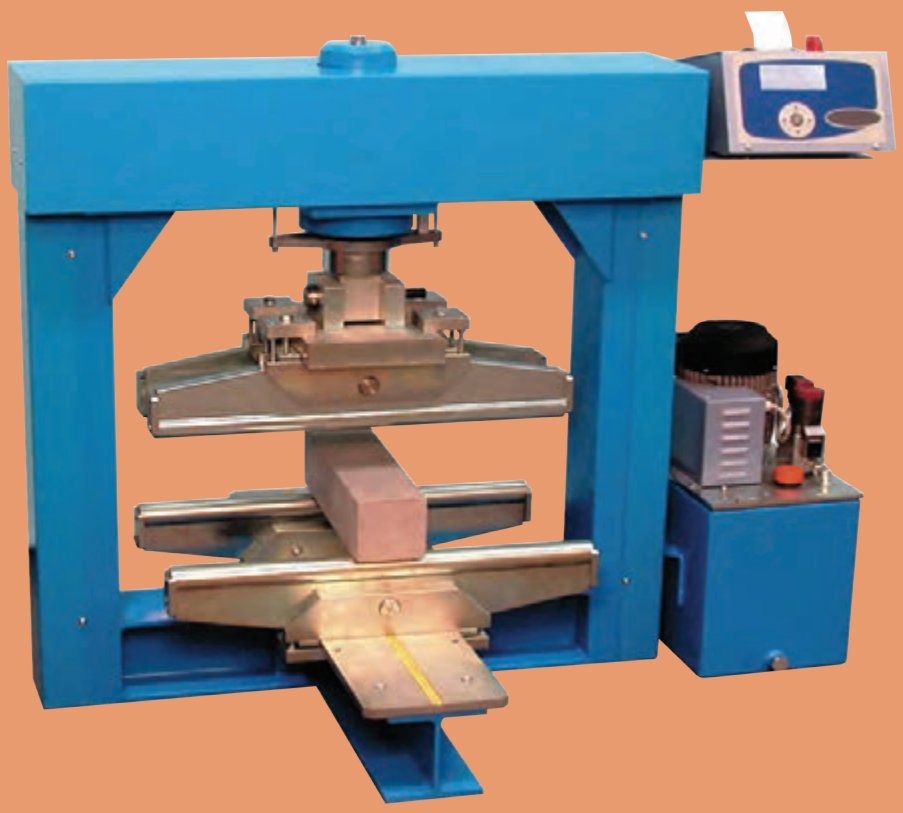
معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده‌سازی کوره برای پخت	۲	
۲	پخت انواع بدنه سرامیکی با ترکیبات مختلف	۲	
۳	نظارت بر عملکرد کوره تا تکمیل برنامه پخت	۲	
۴	خارج کردن صحیح قطعات از کوره	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

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 کمّی 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 خشک‌کردن و پخت سرامیک‌ها است که برای بررسی ویژگی‌های محصولات سرامیکی خشک و پخت شده به کار می‌رود.

استاندارد عملکرد

نمونه‌سازی و انجام آزمون‌های خشک و پخت قطعات سرامیکی براساس استاندارد ملی ایران

پرسش

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

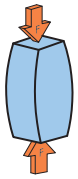
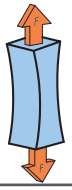
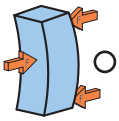
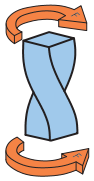
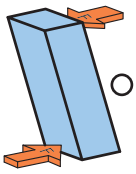
شکل ۱

هدف از تولید هر محصولی رفع نیاز و برآورده ساختن خواسته های 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.

فعالیت کلاسی

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

جدول ۱ــ انواع تنش‌های مکانیکی

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

آزمون‌های خشک‌کردن و پخت سرامیک‌ها بر اساس استانداردهای مشخصی انجام می‌شود با رعایت استاندارد انجام آزمون می‌توان نتایج را مقایسه و تحلیل کرد؛ با به کارگیری نتایج این آزمون‌ها کارایی و سوددهی در بخش صنعتی نیز افزایش می‌یابد. برخی از آزمون‌های خشک‌کردن و پخت سرامیک‌ها در نمودار ۱ نشان داده شده است.

انقباض خشک	انقباض پخت	استحکام خمشی خشک	استحکام خمشی پخت	مقاومت به پخت

نمودار ۱ــ برخی از آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک‌ها

انقباض خشک

شکل ۲ــ تأثیر انقباض خشک در کاهش ابعاد نمونه

ابعاد قطعات سرامیکی در هنگام خشک‌شدن 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:

روش شکل‌دهی	مواد اولیه	شرایط خشک‌شدن	سرعت خشک‌شدن

نمودار ۲ــ برخی از عوامل مؤثر بر انقباض

فعالیت کلاسی

با دقت در شکل ۳ به سؤالات پاسخ دهید.

الف ب ج

شکل ۳ــ محصولات سرامیکی

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

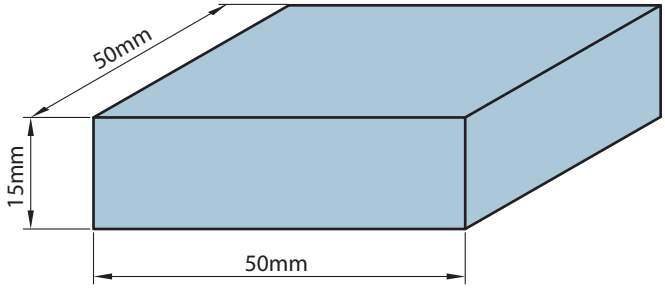
آگاهی از میزان انقباض محصولات سرامیکی در تولید این محصولات از اهمیت زیادی برخوردار است. در جدول ۲، درصد انقباض خشک چند ماده اولیه سرامیکی با هم مقایسه شده است.

جدول ۲ــ مقایسه انقباض خشک چند مادهٔ اولیه

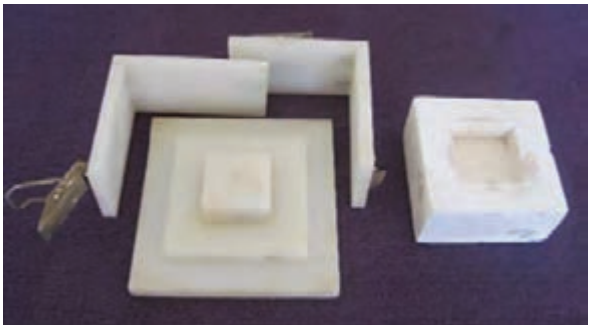
ماده اولیه	درصد انقباض خشک
کائولن زدلیتز Ia	۴/۶
کوارتز رسی زنوز نشسته	۲ـ۴
کوارتز رسی زنوزشسته	۳ـ۵
بال‌کلی آباده (SPV_1)	۵ـ۶
بال‌کلی طبس	۳ـ۶

اندازه‌گیری انقباض خشک

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



شکل ۴ــ ابعاد نمونهٔ انقباض



شکل ۵ــ قالب و مادر قالب نمونه‌ساز انقباض

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

الف

ب

شکل ۶ــ بررسی ارتفاع ۱۶ میلی‌متر در آزمون ففرکورن

آزمون انقباض خشک

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

الف

ب

ج

شکل ۷ــ ساخت نمونه انقباض و رسم قطرها

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

شکل ۸ــ علامت‌گذاری به وسیله کولیس

۳ نمونه‌ها را به خشک‌کن منتقل کنید و دما را روی ۵ ± ۱۰۵ درجهٔ سلسیوس تنظیم کنید. نمونه‌ها را تا ثابت شدن وزن در خشک‌کن نگهداری کنید.

الف ب

شکل ۹ــ 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.

الف ب

شکل ۱۰ــ 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 علامت‌گذاری‌شده را قبل و بعد از خشک‌شدن در جدول نمونه مانند جدول ۳ یادداشت کنید و نمونه‌ها را برای انجام آزمایش انقباض پخت نگهداری کنید.

شکل ۱۱ــ اندازه‌گیری فاصلهٔ علامت‌ها در حالت خشک با کولیس

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

جدول ۳ـ 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 ۲	۵۰ ۵۰			
۲	۱ ۲	۵۰ ۵۰			
۳	۱ ۲	۵۰ ۵۰			

رابطهٔ محاسبهٔ درصد انقباض خشک عبارت است از:

$$\%S_d = \frac{L_w - L_d}{L_w} \times ۱۰۰$$

S_d : درصد انقباض خشک
L_w : طول تر (میلی‌متر)
L_d : طول خشک (میلی‌متر)

محاسبهٔ 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 به‌دست آورید:

$$\bar{S}_t = \frac{۸ + ۸/۳ + ۸/۴}{۳} = ۸/۲۳$$

۲ مقدار انحراف معیار را با استفاده از رابطهٔ زیر به‌دست آورید:

$$S = \pm\sqrt{\frac{۱}{n-۱} \times \left[(\bar{S}_t - a_۱)^۲ + (\bar{S}_t - a_۲)^۲ + \cdots + (\bar{S}_t - a_n)^۲\right]}$$

$a_۱$ ، $a_۲$ تا a_n مقادیر انقباض خشک و n تعداد آنها است.

$$S = \pm\sqrt{\frac{۱}{۳-۱} \times \left[(۸/۲۳ - ۸)^۲ + (۸/۲۳ - ۸/۳)^۲ + (۸/۲۳ - ۸/۴)^۲\right]} = \pm ۰/۲۰$$

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

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

۴ درصد خطا از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\text{درصد خطا} = \frac{S}{\bar{S}_t} \times ۱۰۰ = \frac{۰/۲۰}{۸/۲۳} \times ۱۰۰ = ۲/۴۳٪$$

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: اندازه‌گیری انقباض خشک

مواد و ابزار:

پودر مادهٔ اولیه خشک‌شده در ۱۰۵±۵ درجهٔ سلسیوس به مقدار ۳۰۰ گرم، ترازو با دقت ۱ گرم، خشک‌کن آزمایشگاهی، قالب انقباض گچی یا فلزی، کولیس، فویل پلاستیکی به ابعاد مناسب، سطل پلاستیکی متوسط، کاردک

شرح فعالیت: نمونهٔ 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.

نکات ایمنی و بهداشتی

۱ هنگام خروج نمونه‌ها از خشک‌کن از دستکش نسوز استفاده کنید.

نکته

۱ برای نتیجهٔ مطلوب، بهتر است از ترکیبات رسی استفاده کنید.
۲ بعد از علامت‌گذاری، 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 خشک‌کن، آنها را در هوای آزاد نگهداری کنید.

انقباض پخت

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

شکل ۱۲ــ تأثیر انقباض پخت بر ابعاد نمونه

فکر کنید

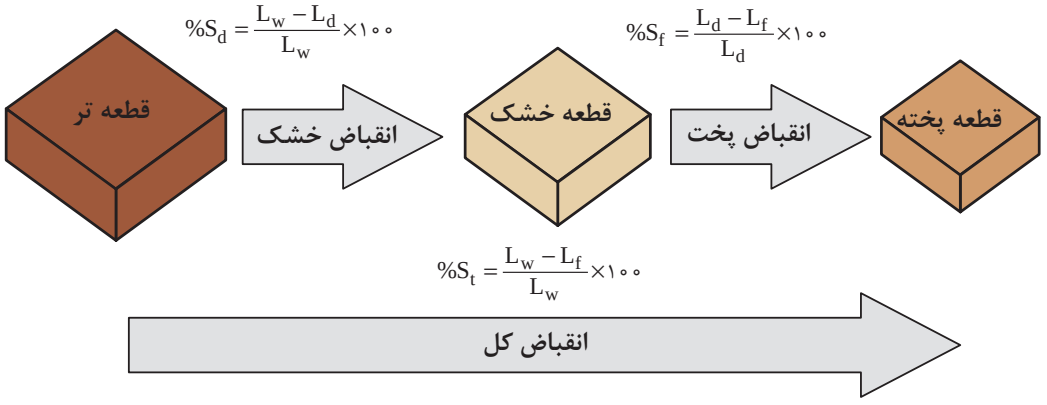
میزان تخلخل و دمای پخت چه تأثیری بر میزان انقباض پخت دارد؟

جدول ۴ــ مقایسه انقباض پخت چند مادهٔ اولیه

مادهٔ اولیه	درصد انقباض پخت ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس
کائولن زدلیتز Ia	۹/۴
کائولن زنوز نشسته	۵/۱
کائولن زنوز شسته	۴/۵
بال‌کلی آباده (SPV_1)	۵/۰ ـ ۶/۰
بال‌کلی طبس	۵/۵ ـ ۶/۰

آزمون انقباض پخت و کل

به‌منظور 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 ۱۳ــ 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 کروم اکسید علامت‌گذاری کرده و به کورهٔ الکتریکی منتقل کنید. در کوره را ببندید و کوره را برای پخت محصول تنظیم کنید. زمان ماندن در دمای حداکثر، ۶۰ دقیقه تنظیم شود.

الف

ب

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

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

الف

ب

شکل ۱۵ــ خارج کردن نمونه‌های انقباض از کوره و اندازه‌گیری

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

$$\%S_f = \frac{L_d - L_f}{L_d} \times ۱۰۰$$

$$\%S_t = \frac{L_w - L_f}{L_w} \times ۱۰۰$$

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 ـ ثبت نتایج آزمون انقباض پخت و کل

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

فعالیت کلاسی

اطلاعات حاصل از آزمون انقباض یک بدنهٔ 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.

جدول ۶

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

فعالیت کارگاهی

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

مواد و ابزار:

کولیس، کورهٔ الکتریکی ۱۲۰۰درجهٔ سلسیوس، سه عدد نمونه انقباض خشک‌شده در دمای ۵ ± ۱۰۵ درجهٔ سلسیوس

شرح فعالیت:

۱ نمونه‌های مورد آزمون در کار عملی ۱ را با کمک کروم اکسید یا مادهٔ رنگی دیگری که در دمای ۹۰۰ درجهٔ سلسیوس از بین نرود، علامت‌گذاری کنید و در دمای ۹۰۰ درجهٔ سلسیوس پخت کنید و انقباض پخت، انقباض کل، انحراف معیار، انحراف معیار 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 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 ۷ــ ثبت نتایج انقباض پخت و کل تمام گروه‌ها

شماره گروه	میانگین انقباض سه نمونه به درصد	
	درصد انقباض پخت S_f٪	درصد انقباض کل S_t٪
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		
۶		
۷		

نکات ایمنی و بهداشتی

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

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: اندازه‌گیری انقباض پخت و کل در دمای ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس

مواد و ابزار:

کولیس، کورهٔ الکتریکی ۱۲۰۰درجهٔ سلسیوس، سه عدد نمونه انقباض خشک شده در دمای ۱۰۵±۵ درجه سلسیوس

شرح فعالیت:

۱ نمونه‌های پخت شده در دمای ۹۰۰ درجهٔ سلسیوس کار عملی ۲ را در دمای ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس پخت کنید و انقباض پخت، انقباض کل، انحراف معیار، انحراف معیار 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 ۸ــ ثبت نتایج انقباض پخت و کل تمام گروه‌ها

شماره گروه	میانگین انقباض سه نمونه به درصد	
	درصد انقباض پخت S_f٪	درصد انقباض کل S_t٪
۱		
۲		
۳		
۴		
۵		
۶		
۷		

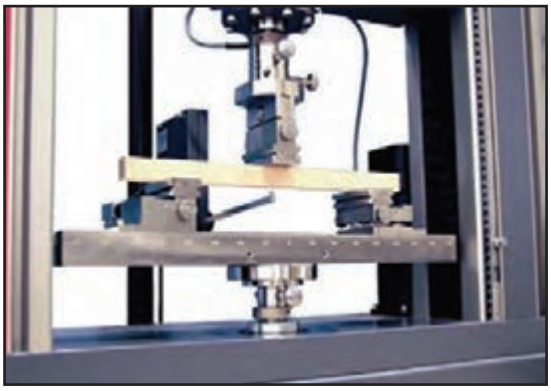
نکات ایمنی و بهداشتی

۱ از باز کردن در کوره هنگام فرایند پخت خودداری کنید.
۲ برای خارج‌کردن 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 قطعهٔ سرامیکی پس از خشک شدن و پخت دارای اهمیت است؟
۲ آیا استحکام قطعه پس از این دو مرحله یکسان است؟



شکل ۱۶ـ اندازه‌گیری استحکام خمشی به روش سه نقطه‌ای

در طی فرایند تولید و هنگام به‌کارگیری 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 مادهٔ اولیه سرامیکی آمده است.

جدول ۹ـ مقایسهٔ استحکام خمشی خشک چند مادهٔ اولیه

مادهٔ اولیه	استحکام خمشی خشک ($N/mm^2=MPa$)
کائولن زدلیتز Ia	۱/۲
کوارتز رسی زنوز نشسته	۰/۲ ـ ۰/۵
کوارتز رسی زنوز شسته	۰/۵ ـ ۰/۶
بال‌کلی آباده (SPV_1)	۲ـ۴
بال‌کلی طبس	۱/۵ـ۴

شکل ۱۷ــ وزن کردن مواد اولیه

آزمون استحکام خمشی خشک

اندازه‌گیری استحکام خمشی خشک‌آمیز سرامیکی شامل مراحل زیر است:

۱ مقدار ۲ کیلوگرم از پودر مادهٔ 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 ۴ یا ۸ عدد قالب نمونه‌ساز استحکام خمشی آماده کنید.

الف

ب

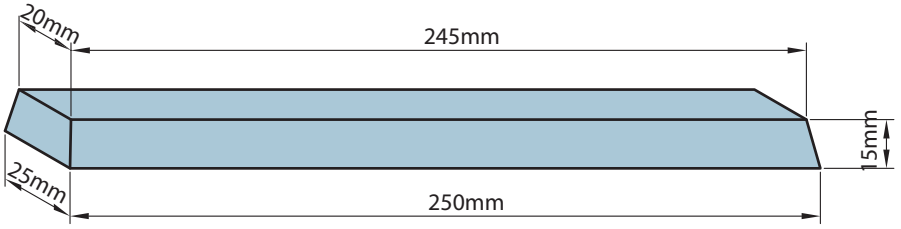
شکل ۱۸ــ مادر قالب و قالب گچی نمونه‌ساز استحکام خمشی

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

الف

ب

شکل ۱۹ــ ساخت نمونهٔ استحکام خمشی و کدگذاری



شکل ۲۰ــ ابعاد نمونهٔ استحکام خمشی

نکته

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

برای ساخت نمونهٔ استحکام بهتر است گل به صورت یک فتیله آماده‌شده و یکجا در قالب نمونه‌ساز قرار گیرد. آماده کردن نمونه به‌صورت مرحله‌ای و قرار دادن آن در قالب به‌صورت 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 صفحهٔ چوبی یا کاشی بدون لعاب قرار دهید.

الف

ب

شکل ۲۱ـ 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 ۵ ± ۱۰۵ درجهٔ سلسیوس منتقل کنید.

نکته

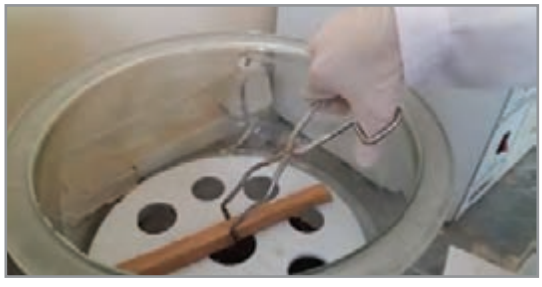
استاندارد مدت زمان فرایند خشک‌شدن نمونه‌ها، ثابت ماندن وزن است.

الف

ب

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

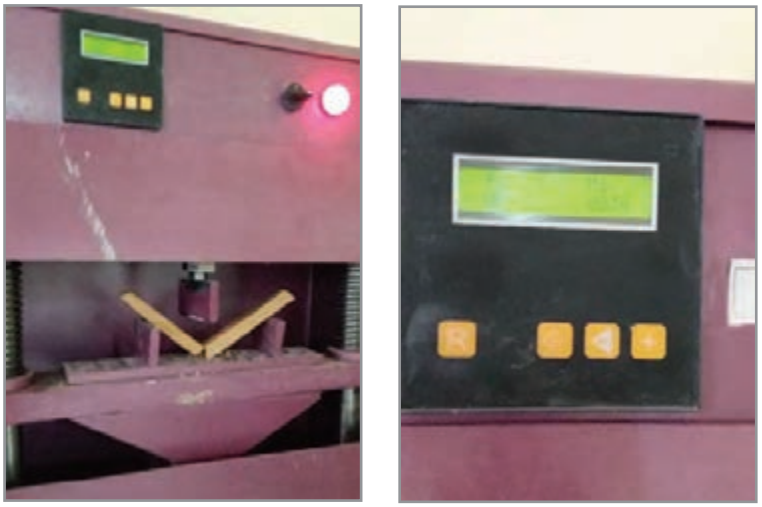
۷ بعد از ثابت‌شدن وزن نمونه‌ها، آنها را در دسیکاتور قرار دهید و پس از رسیدن به دمای محیط، ۶ نمونه را برای آزمون استحکام خمشی خشک انتخاب کنید و ۶ نمونهٔ دیگر را برای آزمون استحکام خمشی پخت کنار بگذارید.



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

۸ فاصلهٔ 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 ۲۴ـ 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 ۲۵ـ اندازه‌گیری ابعاد مقطع شکست نمونه استحکام خمشی خشک

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

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

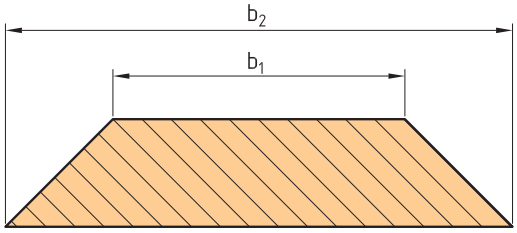
σ: استحکام خمشی به N/mm^2 یا MPa

P: نیروی شکست به N

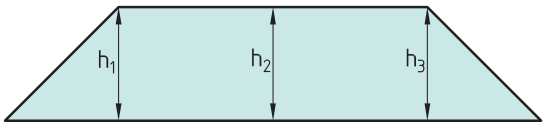
L: فاصلهٔ تکیه‌گاه دستگاه استحکام‌سنج به mm

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)



$$b = \frac{b_1 + b_2}{2}$$



$$h = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$$

جدول ۱۰ـ نتایج استحکام خمشی خشک

شماره نمونه	فاصله تکیه‌گاه mm	نیروی شکست N	قاعده‌های مقطع شکست نمونه mm			ارتفاع مقطع شکست نمونه mm				استحکام خمشی خشک N/mm²=MPa
			b_1	b_2	b	h_1	h_2	h_3	h	
۱										
۲										
۳										
۴										
۵										
۶										
میانگین استحکام خمشی خشک مادهٔ اولیه										

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: اندازه‌گیری استحکام خمشی خشک

مواد و ابزار:

پودر مادهٔ اولیه خشک‌شده در ۵ ± ۱۰۵ درجهٔ 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، استوانهٔ مدرّج، پایهٔ چوبی یا کاشی بدون لعاب

شرح فعالیت:

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

نکات ایمنی و بهداشتی

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

نکته

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.

فعالیت کلاسی

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

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 آماده‌شده را پس از خشک‌شدن در دمای ۱۰۵±۵ درجهٔ سلسیوس به کوره منتقل کنید و در دمای ۹۰۰ درجهٔ سلسیوس پخت کنید. مدت زمان ماندن نمونه‌ها در دمای حداکثر، ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شود.

الف

ب

شکل ۲۶ــ 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.

فعالیت کارگاهی

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 ۶ 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 درجهٔ 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.

نکات ایمنی و بهداشتی

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.

فعالیت کلاسی

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

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۶: اندازه‌گیری استحکام خمشی پخت در دمای ۱۲۰۰ درجه سلسیوس

مواد و ابزار:

نمونه‌های پخته شده استحکام خمشی، کورهٔ الکتریکی ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس، کولیس، دستگاه استحکام‌سنج خمشی، کروم اکسید برای علامت‌گذاری

شرح فعالیت:

۱ ۶ 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 درجهٔ 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.

نکات ایمنی و بهداشتی

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

نکته

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

فعالیت کلاسی

انحراف معیار، انحراف معیار استاندارد و درصد خطا را برای مقادیر استحکام خمشی پخت در کار عملی شمارهٔ ۶ به‌دست آورید.

مقاومت پخت

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۷: تعیین مقاومت حرارتی ماده شیشه‌ای و پلاستیکی

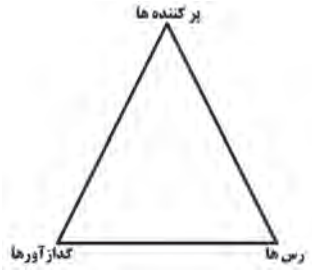
مواد و ابزار: یک بطری شیشه‌ای و یک بطری PE (یکبار مصرف) و آب داغ

شرح فعالیت:

دو بطری نوشابه، یکی از جنس شیشه و یکی ازجنس PE[1] (یک‌بار مصرف)، تهیه کنید. مقداری آب را در یک کتری به‌جوش 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 ۲۷ـ بطری شیشه‌ای و پلی اتیلن

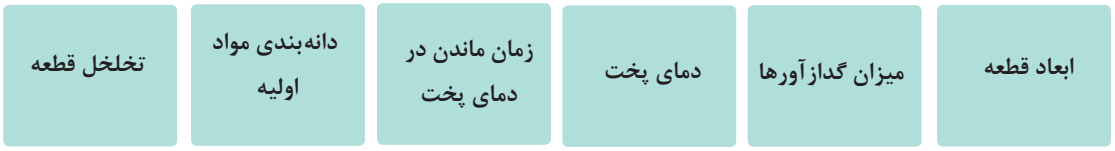
در شکل ۲۸ گروه‌های اصلی تشکیل‌دهنده محصولات سرامیکی نشان داده شده است. هر یک از این مواد ویژگی‌های متفاوت دارند و بنابراین در برابر افزایش دما رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند.



شکل ۲۸ـ گروه‌های اصلی تشکیل‌دهنده محصولات سرامیکی

۱ـ Poly Ethylene

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 ۳ــ عوامل مؤثر بر رفتار محصولات سرامیکی در حین پخت

تحقیق کنید

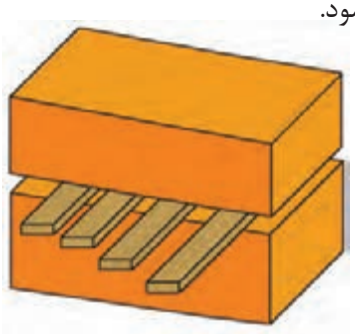
نام چند مادهٔ اولیه سرامیکی که مقاومت به پخت محصول را افزایش می‌دهند، پیدا کنید و با سایر هنرجویان به اشتراک بگذارید.

روش‌های آزمون مقاومت پخت:

۱ **روش مقایسه‌ای:** در این روش نمونهٔ 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 خمش نمونه‌ها بعد از پخت بررسی می‌شود.



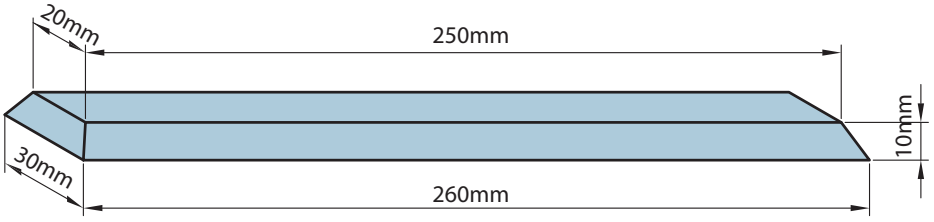
شکل ۲۹ــ آزمایش مقاومت پخت یک تکیه‌گاهی

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.

شکل ۳۰ــ آزمایش مقاومت پخت دو تکیه‌گاهی

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 ۳۱ـ ابعاد نمونه مقاومت به پخت

ساخت نمونه مقاومت به پخت:

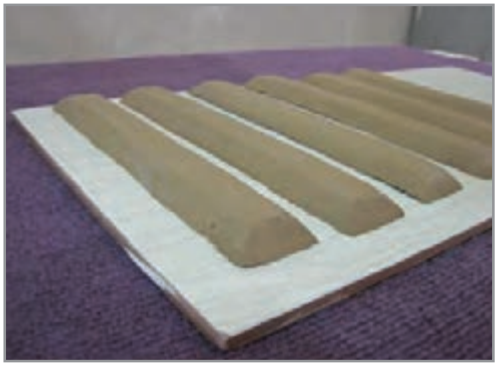
۱ با استفاده از قالب گچی و گل پلاستیک تهیه‌شده از آمیز موجود در کارگاه، ۴ نمونه بسازید که کاملاً تخت و بدون عیب باشد.

الف

ب

شکل ۳۲ـ ساخت نمونه‌های مقاومت به پخت

۲ بعد از رسیدن نمونه‌ها به حالت چرمینه، آنها را به خشک‌کن با دمای ۵ ± ۱۰۵ درجهٔ سلسیوس منتقل کنید تا کاملاً خشک شوند.



الف

ب

شکل ۳۳ـ انتقال نمونه‌های مقاومت به پخت به خشک‌کن

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

شکل ۳۴ـ قرار دادن نمونه‌های مقاومت به پخت درکوره

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

شکل ۳۵ـ 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 ۳۶ــ اندازه‌گیری میزان انحنای نمونهٔ مقاومت به پخت

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

فعالیت کارگاهی

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، کورهٔ الکتریکی ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس، خشک‌کن آزمایشگاهی، انبر، کاردک، ظرف پلاستیکی، همزن‌دستی، 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 یک‌تکیه‌گاهی و دوتکیه‌گاهی 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.

نکات ایمنی و بهداشتی

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

فعالیت کلاسی

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.

نکته

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

شرح کار:
۱ـ انجام آزمون انقباض خشک
۲ـ انجام آزمون انقباض پخت و کل
۳ـ انجام آزمون استحکام خمشی خام
۴ـ انجام آزمون استحکام خمشی پخت و کل
۵ـ انجام آزمون مقاومت پخت

استاندارد عملکرد:
نمونه‌سازی و انجام آزمون‌های خشک کردن و پخت سرامیک‌ها مطابق با استاندارد ملی ایران
شاخص‌ها:
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

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد
ابزار و تجهیزات: قالب نمونه‌ساز ـ کولیس ـ خشک‌کن ـ استحکام‌سنج ـ کوره ـ ماشین‌حساب ـ خط‌کش ـ کاردک ـ مواد اولیه

معیار شایستگی:

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	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

منابع

۱ برنامه درسی درس خشک کردن و پختن سرامیک‌ها رشته سرامیک، (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۲ آزمایشگاه مواد اولیه سرامیک؛ حسین قصاعی؛ دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش

۳ سرامیک‌های مدرن Richerson, David W، دیوید دبلیوریچرسون ۱۹۴۴ ـ ترجمه محمد ابراهیم ابراهیمی، سالومه عسگری عباسی، سیمین سلام تبریزی، ناشر: مترجمین، تهران، ۱۳۸۴

۴ تکنولوژی سرامیک‌های ظریف، مهران متین، افسون رحیمی، ناشر: شرکت سهامی، ۱۳۸۵

۵ کوره‌های سرامیک، کی میوکیوتانی، ترجمه علی نمازی، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول ۱۳۷۲

۶ آشنایی با احتراق و کوره، علی شمالی، ناشر: الیاس، چاپ اول ۱۳۹۴

۷ کوره‌های پخت سرامیک، دانیل رادز، ترجمه شعبانعلی تشکری، ناشر: مرکز آموزش و تحقیقات مقره‌سازی، سال چاپ ۱۳۶۹

۸ دیرگدازهای سرامیکی، زیارتعلی نعمتی، ناشر: انتشارات علمی دانشگاه شریف، چاپ دوم ۱۳۸۵

۹ فرایند تولید کاشی و سرامیک (Sacmi)، گردآورنده: Sacmi، مترجم: سافو هاشمی‌زنوز، ویراستار: دکتر حسین سرپولکی، اصفهان، ۱۳۸۱

۱۰ کاربرد اشعه مادون قرمز و ماکروویو در خشک کردن سرامیک‌ها، ناشر: شرکت مهندسی سرامیک و شیشه ایران، چاپ اول ۱۳۷۲،

۱۱ مقدمه‌ای بر خشک‌کردن سرامیک‌ها، مترجمین: دکتر محمدعلی فقیهی، مهندس سیدمجید ذریه‌سیدی، مهندس علی آریایی، ۱۳۸۶

12 Denis A. Brosnan, Gilbert C.Robinson - Introduction to Drying of ceramics.

13 Henrik Norsker - Refratories and Kilns - for the self - Reliant potter - Friedrick vieweg & son (1999)

14 Felix singer, sonja singer, Industrial ceramics, chemical publishing co, 1963

15 Introduction to Drying of ceramics: with Laboratory Exercises 1st Edition; Denis A. Brosnan Gilbert C.Robinson; Wiley American Ceramic society; edition1 (June 17, 2003)

16 Industrial Ceramics, Singer, Felix; Singer, Sonya;Chapman Hall LTD, 1960

17 Notes from a ceramic Laboratory; Anna Osler Shepard; Carnegie Institution of Washington (1977)

18 Das Keramische Laboratorium, Volume1 ; Dietrich Li pinski; Knapp, 1949

19 Handbook of Advanced Ceramics: Material, Applications, Processing and properties, Shigeyuki Somiya, Fritz Aldinger, Richard M . Spriggs, kenji U chino, kunihito Koumoto, Masayuki

20 Principles of Ceramics processing, 2nd Edition, James S.Reed, Publisher: Wiley, 1995

21 Infrared Radiation and Microwaves in the Drying Procces for the Production of Ceramics, Pre