

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

# شکل دادن و پخت سرامیک‌ها

رشته سرامیک

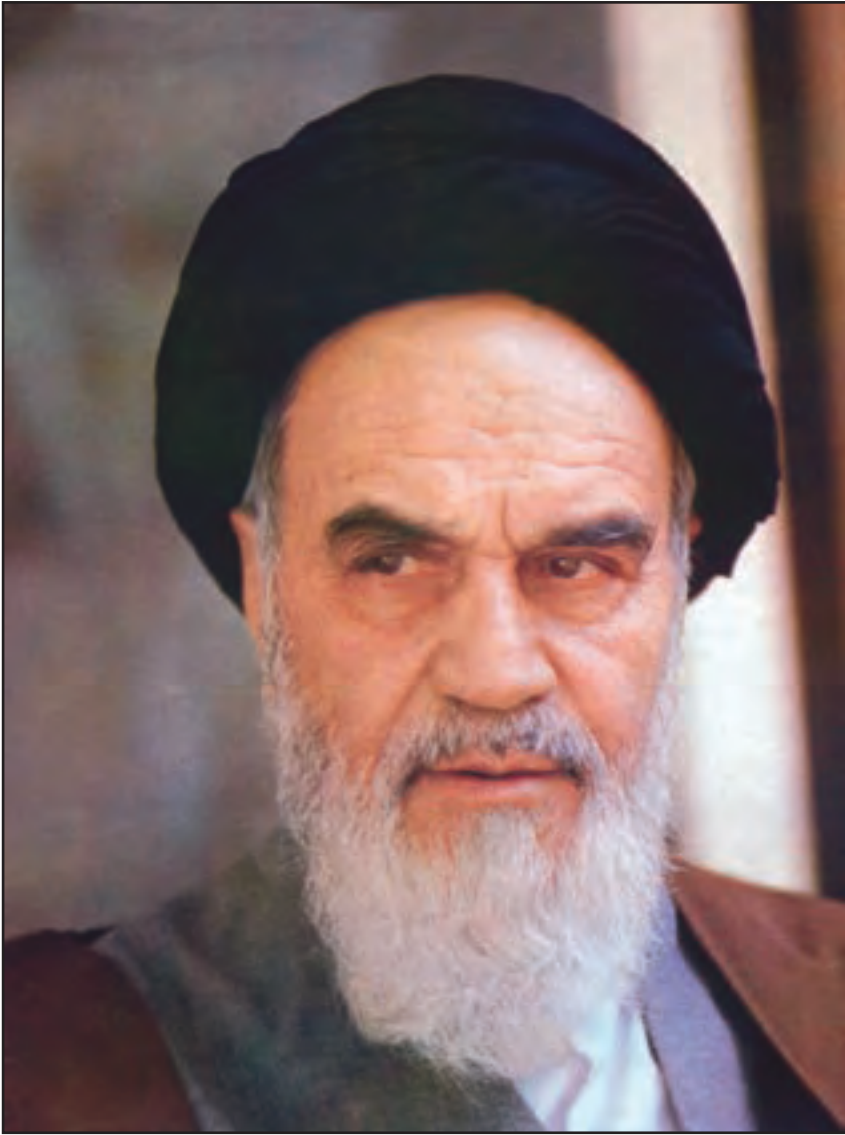
زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۲۵۱۸

سرپولکی، حسین	۶۶۶
شکل دادن و پخت سرامیک‌ها/ مؤلف: حسین سرپولکی. - [ویرایش دوم] / بازسازی و تجدیدنظر: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشته سرامیک. - تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۳.	ش ۶۸۴ س ۱۳۹۳
۱۳۴ ص. : مصور. - (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره درس ۲۵۱۸)	
متون درسی رشته سرامیک، زمینه صنعت.	
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته سرامیک دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش وزارت آموزش و پرورش.	
۱. سرامیک. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف رشته سرامیک. ب. عنوان. ج. فروست.	





شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدس سرّه الشریف»



۱	مقدمه
۴	فصل اوّل : شکل دهی پلاستیک
۵	تنوع و تقسیم بندی روش های شکل دادن
۶	شکل دادن در صنعت سرامیک
۹	شکل دهی پلاستیک
۹	الف) شکل دهی پلاستیک دستی
۹	۱- شکل دهی با دست
۱۰	۲- شکل دهی با دست و قالب
۱۲	۳- شکل دهی با چرخ کوزه گری
۱۳	روش کار با چرخ کوزه گری
۱۳	- ساخت استوانه توپر
۱۳	- ساخت استوانه توخالی
۱۵	- اجرای طرح
۱۷	- پرداخت کردن
۱۸	اندازه گیری پلاستیسته
۲۰	ب) شکل دهی پلاستیک دستگاهی
۲۵	۱- شکل دادن و پیش شکل دادن به روش اکستروژن
۲۸	تنوع محصولات در روش اکستروژن
۲۸	اعمال خلأ و مزایای آن

- ۲۸ تهیه و آماده‌سازی گل
- ۲۸ الف - تهیه گل به کمک مخلوط کن
- ۲۸ ب - تهیه گل به وسیله فیلتر پرس
- ۳۰ عیوب اکستروژن و راه‌های برطرف کردن آن‌ها
- ۳۰ - ترک S شکل
- ۳۱ - لایه لایه شدن
- ۳۲ - لایه لایه شدن در مقطع گل
- ۳۳ - لایه لایه شدن در امتداد طول ستون گل (روی سطح جداره)
- ۳۳ - ترک شمعدانی (ستاره‌ای)
- ۳۴ ۲- شکل دادن با دستگاه جیگر
- ۳۷ ۳- شکل دادن با دستگاه جولی
- ۳۸ ۴- شکل دادن با دستگاه‌های گردان (رولر)
- ۳۹ شکل دادن بشقاب و دیس به کمک رولر
- ۴۲ شکل دادن به فنجان و ظروف گود با دستگاه رولر
- ۴۳ ۵- شکل دادن با ماشین‌های تمام اتوماتیک
- ۴۳ درصد آب در حین شکل دادن
- ۴۵ ۶- شکل دادن به روش تراش (خراطی)
- ۴۶ ۷- پرس پلاستیک
- ۴۹ عیوب روش‌های شکل دادن پلاستیک دستگاهی و شیوه‌های برطرف کردن آن‌ها
- ۵۰ بهترین روش تولید محصولات متقارن
- ۵۱ پرسش‌های فصل اول

## ۵۲ فصل دوم : شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی

- ۵۲ مقدمه
- ۵۳ انواع ریخته‌گری دوغابی
- ۵۶ مروری بر روان‌سازی
- ۵۹ ویژگی‌های دوغاب روان‌سازی شده

۶۲	تشکیل جداره
۶۲	۱- جذب آب دوغاب به وسیله قالب گچی
۶۲	۲- تعویض یونی
۶۶	ویژگی های دوغاب برگستی
۶۶	گچ و قالب های گچی
۶۷	کاربرد روش ریخته گری دوغابی در صنایع مختلف سرامیک
۶۸	مزایا و نقاط ضعف روش ریخته گری دوغابی
۶۹	پرسش های فصل دوم
۷۰	<b>فصل سوم : شکل دادن به روش پرس</b>
۷۰	شکل دادن به روش پرس
۷۷	شکل دهی به روش کوبیدن
۷۸	پرسش های فصل سوم
۷۹	<b>فصل چهارم : شکل دهی به روش ذوب و ریخته گری</b>
۷۹	مقدمه
۸۰	شیشه
۸۱	شکل دهی ظروف شیشه ای
۸۶	شکل دادن شیشه های جام (تخت)
۸۹	عملیات حرارتی شیشه
۸۹	دیرگداز (نسوز)
۹۰	مزایای ذوب و ریخته گری
۹۰	معایب ذوب و ریخته گری
۹۲	پرسش های فصل چهارم
۹۳	<b>فصل پنجم : خشک کردن سرامیک ها</b>
۹۳	مقدمه

۹۵	عوامل مؤثر بر خشک شدن سرامیک ها
۹۶	انواع آب در ساخت سرامیک
۹۸	مکانیسم انتقال و خروج آب از قطعه حین خشک شدن
۹۹	مکانیسم انتقال حرارت
۱۰۳	انواع خشک کن ها در صنعت سرامیک
۱۰۴	مکانیسم خشک کن ها
۱۰۷	بررسی قطعات در حین فرآیند خشک شدن
۱۰۹	عیوب قطعه حین خشک شدن
۱۱۱	پرسش های فصل پنجم
۱۱۲	فصل ششم : پخت سرامیک ها
۱۱۳	مقدمه
۱۱۳	بررسی تأثیر حرارت بر قطعه در حال پخت
۱۱۶	بررسی تغییرات حجمی قطعه در حین پخت
۱۱۷	بررسی عیوب قطعه در مرحله پخت
۱۱۹	انواع کوره های پخت صنایع سرامیک
۱۲۴	سوخت کوره ها
۱۲۹	پرسش های فصل ششم
۱۳۰	واژه نامه
۱۳۴	منابع و مأخذ
۱۳۴	منابع فارسی
۱۳۴	منابع خارجی



## سفالگری

سفالگری پیشرفته از مظاهر شهرنشینی در تمدن کهن به شمار می‌رود، این صنعت از ابتدایی‌ترین شکل خود، یعنی ساخت ظروف از گل خام، تا نوع پیشرفته‌اش، یعنی کار بر روی چرخ سفالگری و کوره‌پز کردن مصنوعات، تحولی را طی نموده که بارشد فکری و تسلط فنی انسان‌های سازنده آن همراه بوده است.

قدمت ابتدایی‌ترین نمونه ظروف گلین در بین‌النهرین به  $8000$  سال قبل از میلاد برمی‌گردد که در کشورهای کنونی ایران و سوریه یافت شده‌اند.

این نوع ظروف ابتدایی را، در آفتاب خشک می‌کردند. در هزاره پنجم پیش از میلاد با ظرفی روبه‌رو هستیم که بر روی چرخ سفالگری به‌طور حرفه‌ای و دقیق ساخته شده‌اند. این چرخ‌ها با پا به حرکت درمی‌آمدند.

بیش تر ظروف مکشوفه از حفاری‌های بین‌النهرین دارای نقوش زیبای هندسی و یا نقش جانوران در قالب اشکال هندسی زیبا می‌باشند.

کودکان همواره قسمت مهمی از زندگی بشر را تشکیل می‌داده‌اند و بازی نقشی مهم در جهان کودکان ایفا می‌کرده است. بدین لحاظ که در میان مصنوعات هنرمندان قدیم به اسباب‌بازی‌هایی برمی‌خوریم که از جنس‌های مختلف از جمله سفال برای سرگرمی کودکان ساخته شده‌اند.

نوشته‌ای که در سنگ محراب امام‌زاده یحیی ورامین در نزدیکی تهران هست، افتخار ساختن محراب را به سه کس یعنی سفال‌ساز، طراح نقشه و خوش‌نویس می‌دهد. از لحاظ تاریخی دوره اسلامی به سه بخش تقسیم می‌گردد:

سفالگری دوره اولیه اسلامی از ابتدای ورود اسلام تا آغاز سده یازده میلادی یا پنجم هجری

سفالگری دوره میانه اسلامی شامل پادشاهی سلجوقیان و مغول‌ها

سفالگری دوره متأخر اسلامی از زمان صفویه تا به امروز

## سفالگری دوره اولیه اسلامی

در دوره اولیه اسلام، سفال‌ساز افتاده و متواضع ایرانی در همان زمینه پارت‌ها و ساسانیان کار می‌کرد. ظرف‌های آن دوران، بی‌لعب بود و در قالب‌های فشاری آن را آراسته کرده، تزیین می‌داده و یا ظرف‌هایی از لعاب آبی یا فیروزه‌ای می‌ساخت. این‌گونه قالب‌های فشاری از خاک رس، بی‌لعب ساخته می‌شد و پیش از پختن آن را برای آرایش ظرف، کنده‌کاری می‌کردند.

در دوره اولیه سفالگری ظرف‌های چینی که از چین آورده شد سبب تشویق و تحریک ایرانیان در توسعه صنعت سفال‌سازی شد. ثعالبی و بیرونی دو نفر از مورخین مشهور درباره انواع سفال‌هایی که از چین آورده شد شرحی نگاشته و مرغوبیت آن را ستوده‌اند.

محمد بن الحسین می‌نویسد که فرماندار خراسان در سال ۱۰۵۹ میلادی بیست تکه ظروف چینی از کشور چین دریافت کرد و آن را به بارگاه خلیفه بغداد فرستاد و سفال‌سازان داخلی را تشویق به ساختن سفال‌هایی شبیه به آن کرد. در حقیقت در اثر تشویق فرمانداران و حکام محلی، نوآوری‌ها و اختراعات زیادی در فن بدل چینی‌سازی و تقلید چینی‌های دوره تانگ در ایران به وجود آمد. با دوره‌های میانه و متأخر اسلامی در کتب دیگر آشنا خواهید شد.

## مقدمه

ساخت سرامیک‌ها، هنری کهن و در عین حال، علمی نوین به‌شمار می‌رود. با نگاهی به تاریخچه‌ی ساخت سرامیک‌ها، درمی‌یابیم که این رشته در نیمه‌ی دوم قرن بیستم پیشرفت بسیاری کرده است، زیرا به دلیل به‌دست آوردن قابلیت‌های جدید در سرامیک‌سازی، این صنعت از مراحل مختلف فراوری برخوردار گردیده است.

امکان تهیه‌ی مواد خالص‌تر، دستیابی به دماهای بالا، افزایش سرعت پخت و سرعت تولید، نمونه‌ای از این قابلیت‌ها هستند؛ هم‌چنین، تکامل سریع دستگاه‌ها و تکنولوژی مورد نیاز در این صنعت، نقش به‌سزایی در این پیشرفت داشته است.

تاریخچه‌ی ساخت سرامیک، بسیار جالب و درخور توجه است. ساخت قطعات با دست پیش از ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح آغاز شده است. قطعاً اولین دستگاه‌های مورد استفاده در شکل دادن، چرخ کوزه‌گری بوده است که مربوط به ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح است و روش‌های دیگر شکل دادن به قرون اخیر مربوط می‌شود. برای نمونه در اوایل عهد مسیح در سرزمین چین پیشرفت مهمی در سرامیک‌سازی پدیدار آمد و آن عبارت بود از: «تهیه‌ی قطعات پیرسلان (چینی) با درخشش بالا».

در اروپا در سال ۱۷۰۸ میلادی، شیمی‌دانی به نام «فردریچ بوتگر»<sup>۱</sup> توانست با حرارت دادن مخلوطی از کائولین و مواد زودگداز، بدنه‌ای مستحکم و سفید به‌دست آورد. بعدها بر روی روش‌های مختلف شکل دادن، هم‌چنین روش‌های پخت و تزیین قطعات، پیشرفت‌های تازه‌ای به‌دست آمد.

دستیابی بشر به قدرت بخار در قرن ۱۹، حرکت تولید سرامیک‌ها را به سمت ماشینی شدن سرعت بخشید و سپس با استفاده از تحولات علمی قرن حاضر، به خصوص اشعه‌ی X، میکروسکوپ‌های الکترونی و نظایر آن امروزه شاهد پیشرفت‌های شگرفی در ساخت و تولید انبوه سرامیک‌های نوین هستیم. هم‌اکنون کاربرد کامپیوتر نیز در کنترل تولید و طراحی‌های صنعتی، نویددهنده‌ی پیشرفت در آینده است.

به‌طور کلی فرآیند ساخت سرامیک‌ها مراحل متعددی از آماده‌سازی، شکل دادن، خشک کردن و پخت را در پی دارد و هر مرحله دارای شرایط خاص خود است و تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد. در این کتاب به منظور ارائه‌ی یک تصویر مناسب از مراحل ساخت سرامیک‌ها، اصول شکل دادن، خشک کردن و پخت سرامیک‌ها آمده و شایان ذکر است که به دلیل اهمیت آماده‌سازی این بخش در یک کتاب مستقل تدوین شده است.



الف - سرامیک‌های سنتی



پودر آلومینای خالص



پودرهای گرانوله



سوپاپ و واشر آلومینای



دیسک آلومینای



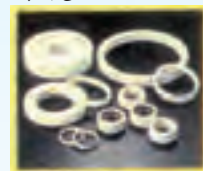
قطعات سرامیکی پمپ



قطعات ویژه



مفصل و استخوان مصنوعی



بلبرینگ و رینگ سرامیکی



ابزار سرامیکی



پوشش‌های گرافیتی



قطعات سرامیکی ساعت



گلوله‌های سایشی

ب - سرامیک‌های پیشرفته

## هدف کلی کتاب

آشنایی با اصول ساخت و تولید سرامیک‌ها و سیرتحوّل آن‌ها در سه بخش  
شکل‌دادن، خشک‌کردن و پخت سرامیک‌ها.

## شکل دهی پلاستیک

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود:

- ۱- انواع روش‌های شکل دهی پلاستیک را نام ببرد.
- ۲- ساختمان، تاریخچه و کاربرد چرخ کوزه‌گری را شرح دهد.
- ۳- شکل دادن با چرخ کوزه‌گری را بیان کند.
- ۴- کاربرد روش اکستروژن را برای هواگیری و همگن‌سازی توضیح دهد.
- ۵- کاربرد اکستروژن را در ساخت لوله، میله و آجر با شکل‌های خاص بیان کند.
- ۶- روش ریخته‌گری دوغایی را با اکستروژن - از نظر اقتصادی - مقایسه کند.
- ۷- کاربرد اکستروژن را برای پیش شکل دادن بیان نماید.
- ۸- تهیه گل با فیلتر پرس را شرح دهد و نحوه‌ی کار آن را بیان کند.
- ۹- علت و نحوه‌ی انبار کردن استوانه‌های خروجی از اکسترودر را شرح دهد.
- ۱۰- عیوب اکستروژن و روش‌های رفع آن را شرح دهد.
- ۱۱- کاربرد و نحوه‌ی کار را در روش جیگر بیان کند.
- ۱۲- کاربرد و نحوه‌ی کار را در روش جولی توضیح دهد.
- ۱۳- نحوه کار دستگاه رولر (گردان) را بیان کند.
- ۱۴- دستگاه گردان را با روش‌های جیگر- جولی مقایسه کند. (بدون ذکر ارقام)
- ۱۵- کاربرد و نحوه‌ی کار را در روش تراش (خراطی) بیان کند.
- ۱۶- روش شکل دادن پرس پلاستیک را شرح دهد.
- ۱۷- عیوب روش‌های شکل دهی پلاستیک دستگاهی را نام برده و شیوه‌های برطرف کردن آن‌ها را بیان کند.
- ۱۸- مناسب‌ترین روش شکل دادن بشقاب، مفره، گلدان و کاسه را نام ببرد.

## کلیات

فرآیند تولید سرامیک‌ها را پس از انتخاب مواد اولیه‌ی مناسب، می‌توان به شش مرحله تقسیم‌بندی

کرد :

۱- آماده‌سازی مواد اولیه،

۲- شکل دادن،

۳- خشک کردن،

۴- پخت، ( که می‌تواند شامل پخت نهایی در قطعات تک پخت یا پخت بیسکویت در محصولات

لعابدار باشد).

۵- لعاب‌کاری،

۶- پخت لعاب و دکور.

حال که با مواد اولیه‌ی صنعت سرامیک و روش‌های آماده‌سازی آن‌ها آشنا شده‌اید، لازم

است روش‌های شکل دادن سرامیک‌ها را نیز فراگیرید. به همین منظور در این کتاب تقسیم‌بندی‌ها و

روش‌های متنوع شکل دادن تشریح می‌شود.

## تنوع و تقسیم‌بندی روش‌های شکل دادن

اصولاً هر ماده خصوصیتی دارد که براساس آن‌ها، می‌توان روش مناسب شکل دادن آن ماده

را یافت. در واقع بهترین روش شکل دادن هر ماده، ساده‌ترین راهی است که بتوان آن ماده را به

بهترین وجه شکل داد؛ برای مثال فلزات، قابلیت چکش‌خواری خوبی دارند. چنان‌که، ورق‌های

فلزی را می‌توان به راحتی با چکش شکل داد و یا یک قطعه‌ی فلزی، بدون گسستن، تغییرشکل

می‌یابد.

چوب به راحتی بریده می‌شود. حتماً تا به حال با اره، قطعه چوبی را بریده و شکل داده‌اید. پس

به کمک ابزار می‌توان قطعات بزرگ و کوچک چوبی را نیز، به شکل دل‌خواه درآورد.

مواد آلی مثل لاستیک و پلاستیک نیز نقطه‌ی ذوب پایینی دارند و با حرارت کم به‌صورت

خمیر درمی‌آیند و به راحتی شکل می‌یابند. بر این اساس می‌توان گفت روش‌های شکل دادن متنوعی

در ساخت و تولید لوازم مورد نیاز وجود دارد و این روش‌ها بر پایه‌ی خواص آن مواد بنا شده است.

شکل دادن مصنوعات، روش‌های متنوعی دارد و لازم است تقسیم‌بندی به‌گونه‌ای صحیح عمل

شود. این تقسیم‌بندی‌ها نیز مبتنی بر خواص شناخته شده‌ی مواد است.

## شکل دادن در صنعت سرامیک

مواد اولیه‌ی سرامیک‌ها در مقایسه با فلزات، نقطه‌ی ذوب بالایی دارند. به همین دلیل، روش ذوب و ریخته‌گری، که متداول‌ترین روش ساخت شیشه و محصولات شیشه‌ای است و در ساخت بیش‌تر مصنوعات فلزی نیز کاربرد دارد، دیگر در سرامیک‌ها کمتر به کار گرفته می‌شود، زیرا مواد اولیه‌ی سرامیکی دارای خواص مختلفی هستند که بر پایه‌ی آن‌ها برای شکل دادن از روش‌های متنوعی استفاده شده است؛ برای مثال، قابلیت شکل دادن مخلوط رس با آب، به میزان آب آن بستگی دارد. با ۵۰ درصد آب، دوغابی تهیه می‌شود که به راحتی و با فشار لازم بتوان کلیه‌ی گوشه‌های یک قالب را پر کرد. هنگامی که میزان آب دوغاب را کم کنیم تا به گل تبدیل شود، فشار لازم برای شکل‌دهی و تبدیل به محصول افزایش می‌یابد، هم‌چنین برای تبدیل آن به بودر مرطوب این فشار لازم به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌یابد.

روش‌های شکل دادن سرامیک‌ها، عموماً برحسب درصد آب تقسیم‌بندی می‌گردد. اگر درصد آب یک آمیز به حدی باشد که مخلوط حاصل به‌صورت دوغاب درآید، با انتقال دوغاب به قالب گچی می‌توان شکل دل‌خواه را ایجاد کرد. این روش را «ریخته‌گری دوغابی» می‌نامند. در این روش، درصد آب بین ۲۵ تا ۵۰ درصد است که مقدار دقیق آن به جنس مواد اولیه بستگی دارد. حال در مقادیر کم‌تر آب (۱۸ تا ۲۲ درصد) یک توده‌ی گل پلاستیک به‌دست می‌آید. شکل‌دهی این مخلوط را «شکل دادن پلاستیک» نامیده‌اند. پرس بودرهای مرطوب را نیز می‌توان با کم‌ترین مقدار رطوبت (۴ تا ۹ درصد) ایجاد کرد. در جدول ۱-۱ میزان آب مورد نیاز پنج روش شکل‌دادن سرامیک‌ها را مشاهده می‌کنید که عبارت‌اند از:

۱- شکل‌دهی پلاستیک،

۲- ریخته‌گری دوغابی،

۳- شکل‌دهی با پرس،

۴- شکل‌دهی به روش ذوب و ریخته‌گری،

(در ساخت بعضی از فرآورده‌های سرامیکی، لازم است از روش ذوب و ریخته‌گری استفاده شود؛ مثلاً شیشه را ابتدا ذوب می‌کنند سپس شکل می‌دهند. معدودی از دیرگدازها نیز، با این روش شکل داده می‌شوند.)

۵- روش‌های پیشرفته‌ی شکل‌دادن سرامیک‌های مدرن.



جدول ۱-۱- محدوددهی درصد آب در روش‌های مختلف شکل‌دهی سرامیک‌ها

روش شکل‌دهی	حالت فیزیکی آمیز	درصد آب بر مبنای تر
ریخته‌گری دوغابی	دوغاب	۵۰ - ۲۵ (عموماً ۳۵)
شکل‌دهی پلاستیک	گل پلاستیک	۲۲ - ۱۸ (عموماً ۲۰)
پرس پلاستیک	پودر مرطوب	۸ - ۱۲
پرس نیمه خشک	پودر مرطوب	۹ - ۴
پرس خشک	پودر خشک	۴ - ۰

در توضیح سه روش اولیه، باید گفت که راه‌های مختلفی برای تقسیم‌بندی آن‌ها وجود دارد. یک نوع تقسیم‌بندی، بر اساس میزان آب مصرفی است. روش دیگر، مبتنی بر میزان ماده‌ی جامد تعریف شده است. هم‌چنین ممکن است تقسیم‌بندی بر مبنای قدمت تاریخی آن‌ها باشد، یا این‌که پلاستیسیته‌ی آمیز مورد نظر، اساس این تقسیم‌بندی قرار گیرد.

در کتاب حاضر، مبنای تقسیم‌بندی، «قدمت تاریخی روش‌های شکل‌دهی پلاستیک» در نظر گرفته شده است و به ترتیب، شکل‌دهی پلاستیک، ریخته‌گری دوغابی و سرانجام، شکل دادن به روش پرس پودر، در فصل‌های بعدی بیان خواهد شد.

هم‌چنین شکل‌دهی فرآورده‌های شیشه‌ای، جداگانه، در فصل چهارم و تحت عنوان شکل‌دهی به روش ذوب و ریخته‌گری، در پی خواهد آمد.

طبیعی است که به لحاظ رشد تکنولوژی و پیشرفت روش‌های دستگاهی، هر یک از فصل‌ها دارای انواع مختلفی از روش‌های نوین‌اند که در جای خود توضیح داده خواهد شد.

در نهایت، می‌توان تقسیم‌بندی روش‌های شکل دادن سرامیک‌ها را به این صورت نشان داد:

<ul style="list-style-type: none"> <li>۱- با دست</li> <li>۲- با دست و قالب</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>۱-۱- شکل دهی با دست</li> <li>۱-۲- شکل دهی با چرخ کوزه‌گری</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>۱- شکل دادن دستی</li> </ul>	الف - پلاستیک	روش‌های شکل‌دهی سرامیک‌ها	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>۲-۱- اکستروژن</li> <li>۲-۲- جیگر</li> <li>۲-۳- جولی</li> <li>۲-۴- رولر</li> <li>۲-۵- ماشین‌های تمام اتوماتیک</li> <li>۲-۶- تراش (خراطی)</li> <li>۲-۷- پرس پلاستیک</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>۲- دستگاهی</li> </ul>			
		<ul style="list-style-type: none"> <li>۱- توخالی</li> <li>۲- توپر</li> </ul>			ب - ریخته‌گری دوغابی
	<ul style="list-style-type: none"> <li>۱- نیمه‌خشک</li> <li>۲- خشک</li> <li>۳- ایزواستاتیک</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>۱- سرد</li> <li>۲- گرم</li> </ul>			ج - پرس
					د - ذوب و ریخته‌گری
					ه - روش‌های پیشرفته (شکل دادن سرامیک‌های مُدرن)

## شکل دهی پلاستیک

در این روش، از توده‌ی گل پلاستیک در ساخت فرآورده‌ها استفاده می‌شود. بنابراین مواد اولیه‌ی مورد مصرف، باید دارای پلاستیسیته‌ی مناسبی برای شکل دهی باشد. پس باید گفت شکل دهی سرامیک‌ها به روش پلاستیک، به پلاستیسیته‌ی رس وابسته است، اما باید توجه داشت که شکل دهی پلاستیک سرامیک‌ها به روش پلاستیک، یک روش واحد محسوب نمی‌شود، بلکه شامل مجموعه‌ای از روش‌های شکل دهی است که در همه‌ی آن‌ها، گل پلاستیک شکل داده می‌شود. در ضمن باید توجه داشت که امروزه با افزودن چسب‌ها (پلی‌وینیل الکل و ...) به مواد غیر پلاستیک، مخلوطی به دست می‌آید که خواص شکل پذیری آن مشابه گل پلاستیک است و آن را با روش‌های پلاستیک شکل می‌دهند.

روش‌های شکل دهی پلاستیک را می‌توان به دو بخش کلی شکل دهی پلاستیک «دستی» و «دستگاهی» تقسیم بندی کرد :

### الف) شکل دهی پلاستیک دستی



۱- شکل دهی با دست: این روش، قدیمی‌ترین روش شکل دادن به شمار می‌آید که در آن نقش دست کارگر ماهر در شکل دادن اهمیت خاصی دارد. انواع روش‌های شکل دهی دستی عبارت‌اند از: فتیله سازی، مسطح سازی، (جعبه سازی) و کار با دست در روش فتیله سازی، یک قطعه گل را بین دو کف دست به صورت فتیله درمی‌آورند، سپس اجزای آن را طوری روی هم می‌چینند تا شکل مورد نظر به دست آید و در صورت تمایل می‌توانند درزهای بین رشته‌ها را صاف کنند تا محصول یک پارچه‌ای به دست آید و سرانجام، به منظور تزیین، کنده کاری‌هایی بر روی سطح ظرف ایجاد کنند.

در شکل ۱-۱ تصویر کوزه‌ای را مشاهده می‌کنید که به این روش ساخته شده است.

شکل ۱-۱- کوزه‌ی دست‌ساز با روش فتیله سازی

در روش مسطح‌سازی عموماً یک توده گل توسط وردنه به صورت تخت درمی‌آید و به وسیله ابزار برش در ابعاد مختلف بریده می‌شود. سپس با متصل ساختن صفحات بریده شده قطعه‌ی مورد نظر ساخته می‌شود. محصولات متعددی نیز می‌توانند، بسته به مهارت فرد، توسط انگشتان دست و دیگر ابزارهای ابتدایی شکل داده شوند.

امروزه استفاده‌ی احتمالی از روش‌های شکل‌دهی با دست، صرفاً جنبه‌ی هنری دارد و در مقیاس تولید کارگاهی فاقد صرفه‌ی اقتصادی است.

**۲- شکل‌دهی با دست و قالب:** در این روش که از قالب نیز استفاده می‌شود، امکان ساخت محصولاتی با شکل‌های غیرمتمارن فراهم می‌آید. اساساً دلایل استفاده از قالب عبارت است از:

۱- سرعت تولید بالاتر، نسبت به شکل دادن با دست،

۲- امکان استفاده از دست‌های غیرهنرمند (عدم اتکا به کارگر ماهر)،

۳- تکرار تولید قطعات با ابعاد و نقش‌های یکسان،

۴- تسهیل در ساخت قطعات بزرگ.

به نظر برخی، قالب‌های اولیه به صورت گچی و یا از جنس سبده بوده ولی بعدها آن را از جنس چوب ساخته‌اند، ولی امروزه از انواع قالب‌های گچی استفاده می‌شود. در کارگاه‌های سنتی اطراف تهران، همدان، قم، میبد و ... برای ساخت گلدان‌های بزرگ، از قالب گچی استفاده می‌شود. گل آماده را به دیواره‌ی داخلی قالب گچی می‌چسبانند سپس با دست سطح آن را صاف می‌کنند تا یک لایه با ضخامت یکسان ایجاد شود. در واقع، قالب گچی سطح بیرونی گلدان را دربر می‌گیرد. اگر قالب گچی فرورفتگی یا برجستگی داشته باشد سطح گلدان نیز برجستگی و فرورفتگی خواهد داشت.

پس از مدتی، مقداری از آب گل به وسیله‌ی قالب گچی جذب و در نتیجه باعث انقباض محصول می‌شود و قطعه، به راحتی از قالب جدا می‌گردد. با پایان گرفتن مرحله‌ی شکل‌دهی، محصول آماده‌ی خشک شدن و پخت می‌شود.

از قالب چوبی، بیش‌تر برای شکل دادن آجرهای ساختمانی به روش سنتی استفاده می‌شود. امروزه حتی بعضی از انواع دیرگدازها نیز، به این روش تولید می‌شوند. قالب چوبی گاه دارای چند شبکه است. گل از پیش آماده شده را کارگر خشت‌زن، درون قالب قرار می‌دهد و به وسیله‌ی تیغه‌ای گل اضافی گرفته می‌شود. با برداشتن قالب، خشت‌های ساخته شده، روی زمین باقی می‌مانند. در برخی موارد برای تخلیه، قالب‌ها را برمی‌گردانند. گل مورد نیاز خشت‌زنی، باید

سفت تر از هنگامی باشد که قالب گچی به کار گرفته می‌شود. چون اولاً، قالب چوبی جذب آب ندارد؛ ثانیاً، بلافاصله باید تخلیه شود. پس شکل گل باید حفظ شود. به عبارت دیگر، محصول نباید پس از برداشتن قالب، شکل خود را از دست بدهد.

از سوی دیگر، در کار با قالب گچی به دلیل جذب آب به وسیله‌ی گچ، درصد آب گل می‌تواند بیش‌تر در نظر گرفته شود تا هنگام یک دست کردن آن در قالب گچی، خشک و شکننده نشود.

خشت‌زنی در برخی شهرها و مناطق ایران مرسوم است. یک گروه سه نفره با همکاری یک‌دیگر می‌توانند روزانه تا دو هزار قالب آجر را شکل دهند.

امروزه به وسیله‌ی اکسترودر حلزونی، به قطر ۴۰ سانتی‌متر، می‌توان در هر ساعت به‌طور متوسط ده‌هزار آجر ساختمانی استاندارد تولید کرد.

به هر حال، روش دست و قالب در مقایسه با روش‌های دستگاهی روش کندی محسوب می‌شود، اما به دلیل عدم نیاز به تکنولوژی و سرمایه‌گذاری، هنوز کاربرد در خور توجهی دارد.

گلدان‌های بزرگ و نقش برجسته، کاشی، آجر و قطعات نامتقارنی که در ساخت محراب‌ها و ستون‌های مساجد به کار می‌رود و حتی تابلوهای بعضی از اماکن به‌روشن دست و قالب تهیه می‌شود. در شکل ۱-۲ چند نمونه کاشی برجسته نشان داده شده است.



شکل ۱-۲—کاشی‌ها با نقش برجسته که به روش دست و قالب تهیه شده است.

۳- شکل دهی با چرخ کوزه‌گری : همان گونه که گفته شد استفاده از چرخ کوزه‌گری به حدود ۵۰۰۰ سال پیش بازمی‌گردد. درباره‌ی مخترعان این دستگاه، بین مورخین اختلاف نظر وجود دارد، اما مراکز معروف تمدن بشری یعنی ایران، مصر، چین و یونان از قدیمی‌ترین استفاده‌کنندگان آن بوده‌اند.

چون در این روش، شکل دادن همراه با چرخش انجام می‌گیرد، باید توجه داشت که فقط ظروف متقارن و دارای مقطع دایره‌ای را می‌توان با چرخ‌کاری تولید کرد. چرخ‌های اولیه، با دست حرکت می‌کردند، اما بعدها این کار با پا انجام گرفت و امروزه به وسیله‌ی موتورهای الکتریکی کار می‌کنند. در چرخ‌های پای «تصویر الف» که هنوز رایج است، صفحه‌ی بزرگی با نام لنگر وجود دارد که با پا به حرکت درمی‌آید. این صفحه به وسیله‌ی میله‌ای به صفحه‌ی دوار فوقانی سرچرخ متصل است. توده‌ی گل، بر روی این صفحه قرار می‌گیرد و هنگام چرخش، با دستان استادکار شکل می‌یابد.



(ج)



(الف)



(ب)

شکل ۳-۱- چرخ کوزه‌گری پایی (الف و ب) و برقی (ج)

در چرخ‌های کوزه‌گری الکتریکی، چرخش سرچرخ به وسیله‌ی یک موتور الکتریکی تأمین می‌شود. گفتنی است که برخی از روش‌های دستگاهی، از تکامل چرخ کوزه‌گری به‌وجود آمده‌اند.

## روش کار با چرخ کوزه‌گری

با قراردادن توده‌ی گل آماده‌ی کار (دارای پلاستیسیته‌ی مطلوب)، بر روی سرچرخ، عمل شکل دادن آغاز می‌گردد. چرخ‌کاری را می‌توان به مراحل کلی زیر تقسیم‌بندی کرد:

— ساخت استوانه‌ی توپر: در مرحله‌ی اول، سعی می‌شود توده‌ی گل به مرکز صفحه‌ی سرچرخ هدایت گردد.

برای این منظور، با نرمی دست، از کنار گل به آن فشار داده می‌شود و هم‌زمان با دست دیگر، از بالا، گل تحت فشار قرار می‌گیرد. چون چرخ در حال گردش است، فشار هم‌زمان دو دست در جهت عمود بر یک‌دیگر، گل را به‌صورت استوانه‌ای درمی‌آورد و اگر با دقت عمل شود، استوانه توپر می‌شود و در مرکز چرخ قرار می‌گیرد.

— ساخت استوانه‌ی توخالی: در این مرحله، هنگام چرخش استوانه‌ی ساخته شده در مرحله‌ی قبل، دو کف دست را دور گل حلقه می‌کنند و انگشتان شست هر دو دست را در مرکز گل فرو می‌برند تا یک حفره ساخته شود. در ادامه‌ی کار با انگشتان دو دست، می‌توان دیواره‌ی استوانه‌ی ساخته شده را از داخل و خارج تحت فشار قرار داد (شکل ۵-۱) و به تدریج دست‌ها را به بالا یا



شکل ۴-۱- گل در مرکز چرخ قرار داده می‌شود.





شکل ۱-۵- ساخت استوانه‌ی توپر

پایین حرکت داد. هم چنین می‌توان ضخامت دیواره و قطر دهانه‌ی گل را کم و زیاد کرد. در واقع با این حرکت‌ها می‌توان یک استوانه‌ی توخالی با ابعاد مناسب تهیه کرد. این استوانه از نظر اندازه باید با نمونه‌ای که قرار است شکل داده شود، تناسب داشته باشد (شکل‌های ۱-۷ و ۱-۸).



شکل ۱-۷- ساخت استوانه‌ی توخالی



شکل ۱-۶- برای ساخت استوانه‌ی توخالی انگشتان شست درون گل فرو برده می‌شود.





شکل ۸-۱- شروع اجرای طرح بدنه

– اجرای طرح : حال با انگشتان دست، طرح مورد نظر پیاده می‌شود. برای مثال، اگر دو انگشت سبابه، بدنه‌ی استوانه را به بیرون بکشند، این قسمت از استوانه به صورت «برآمده» شکل می‌گیرد؛ یا اگر دست به تدریج به بیرون و سپس به داخل کشیده شود قطعه، شبیه تنه‌ی کوزه، شکل می‌گیرد (شکل ۹-۱ تا ۱۲-۱).



شکل ۹-۱- جمع کردن دهانه‌ی کوزه



شکل ۱۰-۱- تنظیم ابعاد دهانه



شکل ۱۲-۱- محصول نهایی



شکل ۱۱-۱- بالا کشیدن دهانه‌ی کوزه

بعد از اجرای طرح، به وسیله‌ی سیم نازک، قطعه را از روی سرچرخ جدا می‌کنند و آن را از پایه‌ی قطعه عبور می‌دهند، سپس محصول از سرچرخ بریده می‌شود. بعد آن را در هوای آزاد قرار می‌دهند تا کمی خشک شود و استحکام نسبی پیدا کند (شکل ۱۳-۱).



شکل ۱۳-۱- جدا کردن محصول به وسیله‌ی سیم نازک از سرچرخ

— پرداخت کردن: در آخرین مرحله، قطعه‌ی نیمه مرطوب، به صورت وارونه، بر روی چرخ قرار داده می‌شود؛ سپس با ابزار تراش مخصوص محل قرارگیری روی سطح، سطح آن صاف و از ضخامت آن کاسته می‌شود تا به اندازه‌ی دل‌خواه برسد. ضمن این که ضخامت ته قطعه نیز تنظیم می‌گردد.

با دقت در مراحل چهارگانه‌ی ذکر شده، درمی‌یابید که در اجرای هر مرحله، مهارت و تجربه‌ی فرد، نقش اصلی را به عهده دارد و کسانی که حداقل یک بار چرخ‌کاری کرده باشند، اهمیت این مهارت را بهتر درمی‌یابند.

پس از این، با جزئیات اجرایی مراحل شکل دادن با چرخ کوزه‌گری، در دروس کارگاهی و همراه با کار عملی، آشنا خواهید شد.

## پلاستیسیته چیست و چگونه ارزیابی می‌شود؟

گفته شد که گل چرخ‌کاری، باید پیش‌تر آماده شود. این آماده‌سازی چگونه انجام می‌شود؟ چه راه‌هایی برای تشخیص «رسیدن گل مناسب برای شکل‌دهی با چرخ کوزه‌گری» وجود دارد؟ برای پاسخ به این پرسش‌ها ابتدا، لازم است پلاستیسیته را تعریف کنیم:

اگر در صورت اعمال نیرو به قطعه‌ای (با یک توده‌ی گل)، آن قطعه بدون گسیختگی و ترک، تغییر شکل یابد و پس از حذف نیرو، تغییر شکل پایدار بماند، این خاصیت، پلاستیسیته نام دارد.

هر چه پلاستیسیته‌ی گل بیش‌تر باشد، شکل‌پذیری آن راحت‌تر انجام می‌گیرد و احتمال بروز ترک نیز کم‌تر می‌گردد.

چرخ‌کاران سنتی، ترجیح می‌دهند گل موردنظر را خود تهیه کنند تا از رفتار و خواص آن اطلاع کافی داشته باشند. گاه گل را ده‌ها روز نگه می‌دارند. این عمل را خواباندن گل (کهنگی: Ageing) می‌نامند. خواباندن گل، پلاستیسیته را به نحو چشم‌گیری افزایش می‌دهد. می‌دانید که کار با گل غیرآماده بسیار مشکل است.

ورز دادن نیز، باعث بهبود خواص شکل‌پذیری گل می‌شود؛ بنابراین، قبل از آغاز مرحله‌ی شکل‌دادن، لازم است گل را به خوبی ورز بدهیم. این کار با دست یا دستگاه انجام می‌شود.

## اندازه‌گیری پلاستیسیته

پلاستیسیته را مستقیماً نمی‌توان اندازه‌گیری کرد، اما روش‌های مقایسه‌ای وجود دارد که بر مبنای آن پلاستیسیته‌ی دو خاک نسبت به یک‌دیگر مقایسه می‌شوند؛ برای مثال، پلاستیسیته‌ی بیش‌تر، باعث می‌شود استحکام خشک، انقباض تر به خشک و افزایش آب‌کارپذیری بیش‌تر گردد. چرخ‌کاران سنتی، برای ارزیابی پلاستیسیته‌ی گل، بیش‌تر از روش‌های تجربی استفاده می‌کنند؛ نمونه‌ای از آن، به این شرح است:

توده‌ی گل را در دست ورز می‌دهند و آن را بین دو دست به صورت یک رشته (فتیله) درمی‌آورند؛ به گونه‌ای که ضخامت فتیله به یک سانتی‌متر و طول آن به حدود ۲۰ سانتی‌متر برسد. سپس مطابق شکل ۱۴-۱، دو سر آن را روی هم می‌گذارند و فشار می‌دهند. اگر در محل قوس ترک یا گسیختگی مشاهده نشود، این گل دارای پلاستیسیته‌ی کافی برای چرخ‌کاری است.



شکل ۱۵-۱- پلاستیسیته‌ی نامناسب



شکل ۱۴-۱- پلاستیسیته‌ی مناسب

فتیله‌ی گل برای آزمایش پلاستیسیته به این شکل درمی‌آید.

مقایسه‌ی این دو، نشان می‌دهد که اگر چه این روش از کارآیی خوبی برخوردار است دقت کافی به همراه ندارد. امروزه به کمک روش‌های دستگاهی اندازه‌گیری پلاستیسیته، می‌توان درصد رطوبت حالت مطلوب شکل دادن را به‌طور دقیق تعیین کرد.

با توجه به آن‌چه گذشت، تنوع شکل‌های محصولاتی که با چرخ کوزه‌گری تولید می‌شوند، بیش‌تر از دیگر روش‌های پلاستیک است؛ بنابراین، ساخت محصولات هنری با این روش به‌خوبی امکان‌پذیر است، اما روش چرخ‌کاری محدودیت‌هایی نیز دارد. برای مثال، به نیروی ماهر نیازمند است و یا سرعت تولید آن در مقایسه با روش‌های دستگاهی پایین است. با این روش ظروفی ساخته می‌شوند که مقطع دایره داشته باشند. هم‌چنین در این روش، امکان تولید قطعات کاملاً هم‌اندازه، کم است. در ضمن روشی است که فقط بر پایه‌ی مواد پلاستیک بنا نهاده شده است.

با همه‌ی محدودیت‌هایی که در روش چرخ‌کاری مطرح شد، این روش هنوز در تولید قطعات و ظروف سنتی سرامیک جایگاه خاصی دارد، زیرا مزایای مهمی نسبت به دیگر روش‌ها دارد، که از آن جمله است: ارزان بودن روش و بی‌نیازی از سرمایه‌گذاری کلان.

---

توجه: روش‌های دیگری به نام ریکه، آتبرگ و روش دستگاهی ففر کورن و نظایر آن وجود دارد که برای اندازه‌گیری پلاستیسیته استفاده می‌گردد.

## ب) شکل دهی پلاستیک دستگاهی

تا به حال با شیوه‌های شکل دادن پلاستیک دستی محصولات سرامیکی آشنا شده اید. شکل دهی پلاستیک دستگاهی سرامیک‌ها، هم‌زمان با رشد تکنولوژی تنوع یافته است. در واقع، ماشین‌آلات به منظور افزایش سرعت تولید و هم‌چنین امکان تولید قطعات هم‌اندازه به خدمت گرفته شده‌اند. ضمن این که به موازات افزایش کارایی دستگاه‌ها نقش استادکار در تولید کاهش یافته است. تا جایی که بعضی از محصولات به صورت کاملاً اتوماتیک شکل داده می‌شوند. به خصوص که در این حالت، تولید محصولات افزایش چشم‌گیری پیدا کرده و قیمت تمام شده به حداقل ممکن رسیده است. دلایل یادشده ایجاب می‌کند از چگونگی تولید با روش‌های دستگاهی شکل دادن، اطلاعات کافی کسب شود. در این قسمت به تفصیل با شیوه‌های متنوع شکل دادن پلاستیک دستگاهی سرامیک‌ها آشنا خواهید شد.

**اکستروژن:** اکستروژن، روشی مؤثر و کارآمد، در شکل دادن نیمه پیوسته و پیوسته‌ی سرامیک‌ها به‌شمار می‌رود و از تجهیزات نسبتاً ساده‌ای برخوردار است. اکستروژن نوعی روش شکل دهی است که در فرآیند تراکم‌سازی<sup>۱</sup> (Consolidation) نیز کاربرد دارد.

بعضی فرآورده‌های پلاستیکی و مواد آلی، شبیه لوله‌های پلیکا و شلنگ‌های لاستیکی نیز، به روش اکستروژن شکل داده می‌شوند. این روش سال‌ها در ساخت بسیاری از محصولات سنتی سرامیک‌ها به کار گرفته شده است و اخیراً نیز در تولید سرامیک‌های پیشرفته مانند کاربرد سیلیسیم، نیتريد سیلیسیم و سرامیک‌های اکسیدی چون آلومینا کاربرد دارد.

همان‌طور که می‌دانید، این مواد دارای پلاستیسیته‌ی کافی برای شکل دهی نیستند؛ بنابراین، آن‌ها را با چسب‌ها مخلوط می‌کنند. در واقع این مواد، پلاستیسیته‌ی مخلوط را تأمین می‌کنند. از روش اکستروژن، علاوه بر لوله و استوانه‌ی توپر و نظایر آن، در ساخت صفحات، لایه‌های نازک و قطعات مشبک و لانه‌زنبوری نیز می‌توان استفاده نمود. (شکل ۱۶-۱) ضمناً روش اکستروژن، محدودیت‌هایی نیز دارد.

مناسب‌ترین محصولاتی که با این روش ساخته می‌شوند فرآورده‌هایی هستند که اندازه و شکل مقطع یکسان و ثابت در طول داشته باشند. به عبارت دیگر، باید قطر چنین فرآورده‌هایی در محور طول آن ثابت باشد.

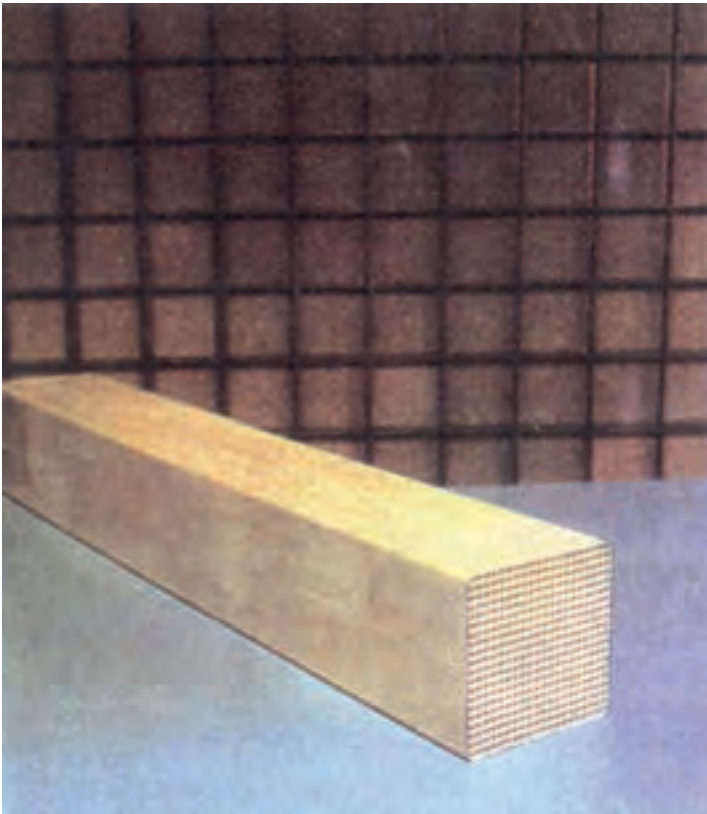
بعضی از محصولاتی که به روش اکستروژن شکل داده می‌شوند، عبارت‌اند از:

---

۱- تکه‌های گل به‌وسیله‌ی اکسترودر به شکل بلوک‌های مترکم و یک پارچه در می‌آیند تا در موارد خاص به کار گرفته

- ۱- لوله و تیوپ،
- ۲- میله یا استوانه‌ی توپر،
- ۳- قطعات مشبک لانه زنبوری،
- ۴- صفحه، به صورت کاملاً توپر یا توخالی،
- ۵- لایه‌های نازک.

شاید بتوان مواردی از قبیل خشک کردن، خارج کردن مواد آلی، چسب و پخت این محصولات را از جمله نکات منفی این روش به‌شمار آورد. حلال‌ها، چسب‌ها و افزودنی‌هایی که به منظور بهبود رفتار «آمیز»، در حین فرآیند شکل دادن، به آن اضافه می‌شوند، باید به نوعی در مراحل بعد خارج گردند، زیرا هر یک از آن‌ها ممکن است در ساخت قطعات با این روش، مبنای بسیاری از عیوب شوند.

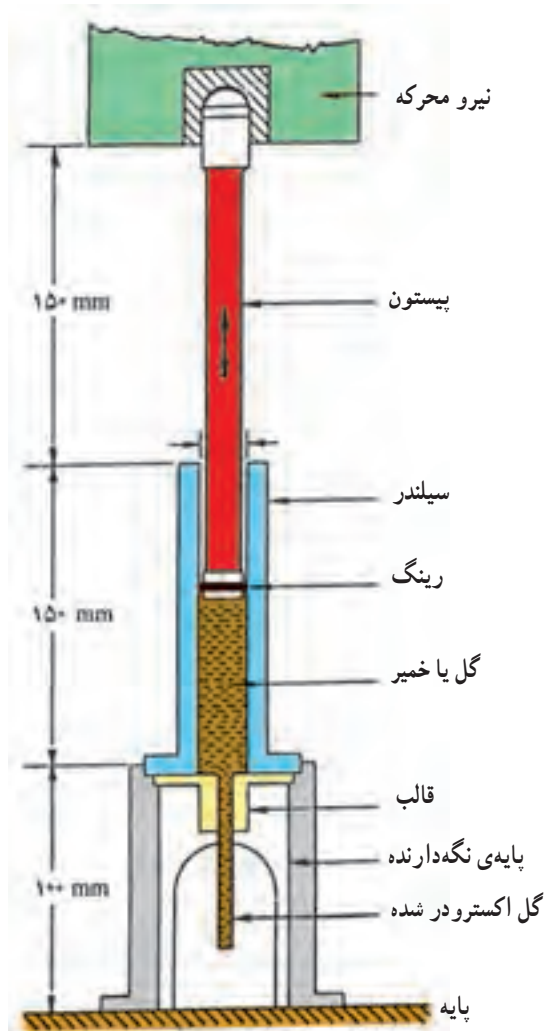


شکل ۱۶-۱- یک نمونه از مبدل سرامیکی لانه زنبوری (محصولات نوینی که به روش اکستروژن تولید می‌شود).



از نظر دستگاهی، سه نوع اکسترودر وجود دارد :

الف) اکسترودر پیستونی یا مرحله‌ای (Batch extruder): در این نوع، مجموعه‌ای حاوی پیستون و سیلندر وجود دارد که در انتهای آن قالب تعبیه شده است. با فشار پیستون، مخلوط یا گل درون سیلندر فشرده می‌شود و از قالب عبور می‌کند. امتیاز استفاده از این روش، امکان ایجاد فشارهای بسیار زیاد است. فشار پیستون می‌تواند با پمپ‌های هیدرولیک یا سیستم‌های مکانیکی تأمین گردد (شکل ۱۷-۱).



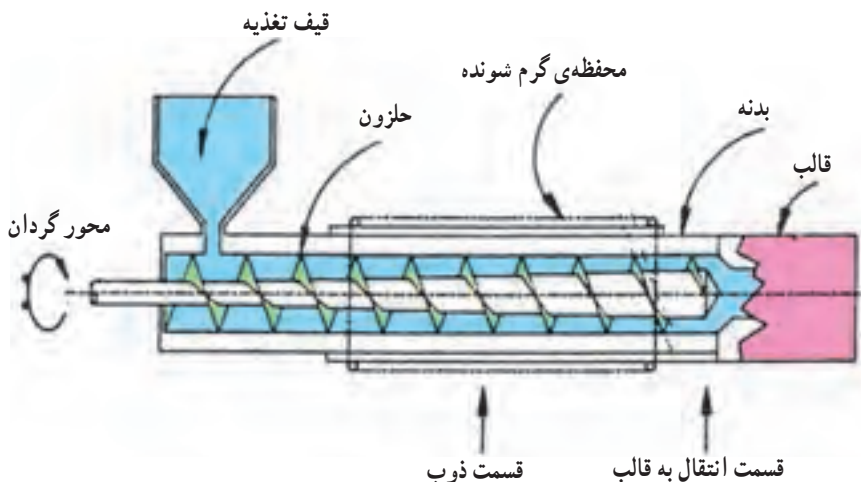
شکل ۱۷-۱- اکسترودر پیستونی



ترکیب (آمیز) می‌تواند به صورت پلاستیک باشد. در صورتی که بخواهند مواد سرامیکی غیرپلاستیک را با این روش شکل دهند، از مواد چسبی استفاده می‌کنند. این مواد در حالت سرد خاصیت پلاستیسیته دارند و با حرارت، حالت خمیری پیدا می‌کنند. در این حالت بعد از گرم کردن سیلندر مواد، مخلوط قابلیت شکل پذیری می‌یابد؛ سپس با عبور از قالب آن را شکل می‌دهند. در این وضعیت سعی می‌شود قالب سرد نگه داشته شود تا محصول بعد از خروج از قالب سرد گردد و شکل خود را حفظ کند. در شکل دادن گلهای پلاستیک، نیازی به گرم کردن محفظه نیست.

مهم‌ترین نقص اکسترودر پیستونی، نیمه پیوسته بودن تولید است؛ یعنی، در هر مرحله سیلندر بارگیری می‌شود و پس از اتمام مواد، پیستون به عقب کشیده می‌شود و بارگیری مجدداً انجام می‌گیرد. هرچه دهانه‌ی خروجی نسبت به قطر سیلندر کم‌تر باشد، تعداد دفعات بارگیری کم‌تر می‌شود. اکسترودرهای پیستونی ممکن است به صورت عمودی یا افقی نیز کار کنند.

ب) اکسترودر حلزونی (Screw extruder): این دستگاه که منحصراً به اکسترودر معروف شده، حاوی یک یا دو حلزون (به صورت دوقلو) است و عموماً در تولید مواد پلیمری، پلاستیکی (آلی) به کار گرفته می‌شود. برای مواد پلیمری، دهانه‌ی ورودی گرم می‌شود؛ سپس بسته به نوع مواد آن، قالب را گرم یا سرد می‌کنند. چون بعضی از پلیمرها با سرد شدن و برخی دیگر با گرم شدن سخت می‌شوند، لازم است آن‌ها پس از خروج از قالب تا استحکام محصول، قابلیت حفظ شکل موردنظر را داشته باشند (شکل ۱۸-۱).



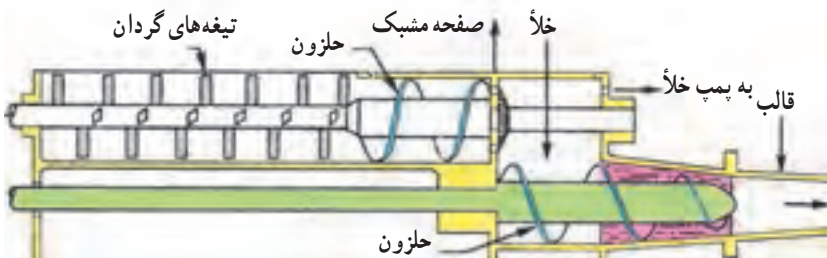
شکل ۱۸-۱- اکسترودر حلزونی مخصوص مواد پلیمری (تزریق پلاستیک)

هنگامی که از مخلوط مواد سرامیکی و آلی استفاده شود، مواد پلیمری به طور نسبی ذوب می‌گردد و مخلوط حاصل، قابلیت شکل پذیری می‌یابد. این حالت مواد، به وسیله‌ی حلزون‌ها، مخلوط و به جلو رانده می‌شود و در نهایت، با فشار وارد قالب می‌شود و شکل می‌گیرد.

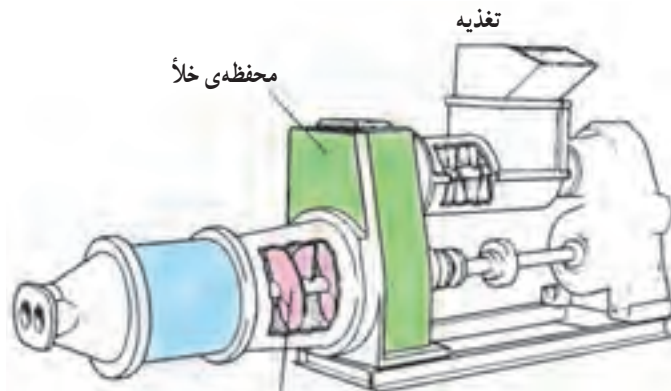
عموماً ابتدای محور حلزونی به صورت ماردون (تیغه‌های چاقویی) است و سپس به صورت حلزون درمی‌آید. در نوع دیگر اکسترودر، دو حلزون به صورت دوقلو طوری در کنار هم قرار گرفته‌اند که تیغه‌های یک حلزون از بین تیغه‌های دیگری عبور می‌کند و هر دو در یک محفظه کار می‌کنند.

این نوع اکسترودر علاوه بر این که در صنایع پلاستیک‌سازی به خوبی به کار گرفته می‌شود، در ساخت محصولات سرامیکی نیز اهمیت به‌سزایی دارد؛ به‌ویژه آن که در تولید سرامیک‌های مهندسی از این دستگاه استفاده می‌شود.

ج) پاگمیل: این دستگاه، هم نوعی مخلوط‌کننده و ورز دهنده است و هم به‌عنوان اکسترودر عمل می‌کند. در صورتی که هم‌زمان عمل هوازدایی را نیز انجام دهد به آن «پاگمیل هوازدا» گویند. مزیت استفاده از پاگمیل هوازدا این است که عمل مخلوط کردن، هواگیری، متراکم کردن و شکل دهی به روش اکستروژن همگی در یک دستگاه انجام می‌پذیرد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۹-۱- دو نوع پاگمیل هوازدا (شکل‌های الف و ب)

این دستگاه دارای دو محور حلزونی، مطابق شکل، است. یک حلزون مواد ورودی را به قطعات کوچک تر برش می دهد (پاگینگ). سپس آن را توسط حلزونی فشرده می کند و با عبور از صفحه مشبک به محفظه‌ی خلأ هدایت می نماید. در این محفظه، هواگیری انجام می شود، سپس حلزون دیگر گل را فشرده و مخلوط می کند تا مواد با عبور از قالب، شکل بگیرند. عمل هواگیری، باعث می شود تا پلاستیسیته‌ی مخلوط، بهبود یابد؛ هم چنین موجب افزایش تراکم و فشرده‌گی محصول می شود.

حلزون‌ها و تیغه‌ها عموماً با پوشش‌های مقاوم (در مقابل سایش) پوشیده شده‌اند تا هم فرسایش کم‌تری داشته باشند و هم از وارد شدن ناخالصی‌های فلزی به «آمیز» جلوگیری کنند. شکل دادن به وسیله‌ی پاگمیل در صنایع سرامیک، به ویژه صنعت آجر، به طور وسیع رایج شده است و استفاده از این دستگاه، امکان افزایش سرعت‌های تولید بسیار بالا را فراهم ساخته است.

## ۱- شکل دادن و پیش شکل دادن به روش اکستروژن

اکستروژن، روشی برای شکل دادن است، اما در بیش تر روش‌های دستگاهی شکل دادن نیز لازم است تا از گل پیش شکل داده شده استفاده شود؛ بنابراین، در این روش گاه پیش شکل دادن و زمانی شکل دادن، هدف اصلی قرار می گیرد.

**پیش شکل دادن با اکستروژن:** در اکستروژن، گاه پیش شکل دادن مورد نظر است و شکل دادن نهایی محصول با دیگر روش‌ها انجام می شود. تقریباً در تمامی روش‌های شکل دادن لازم است گل، یک دست و همگن گردد و توزیع رطوبت آن یکسان شود. هم چنین توده‌ی گل، خالی از حباب و هوا باشد. همگن این کارها با اکستروژن (پاگمیل هوازدا) تأمین می شود؛ برای مثال گل مناسب برای ساخت یک بشقاب یا فنجان بدین شکل عمل می شود:

توده‌ی گل وارد پاگمیل می گردد و به صورت ستون استوانه‌ای شکل با شرایط مطلوب درمی آید. این ستون گل، با سیم‌های نازک بریده شده، به صورت دیسک درمی آید (پیش شکل دادن)؛ سپس هر برش (دیسک) گل به دستگاه مربوط هدایت شده به صورت بشقاب یا فنجان، شکل داده می شود (شکل ۲-۱).

**شکل دادن با اکستروژن:** آجرهای ساختمانی، بلوک‌های تیغه‌ای و سقفی (لانه زنبوری)، هم چنین لوله‌های سرامیکی، با روش اکستروژن شکل داده می شوند. در واقع در این جا اکستروژن شکل نهایی قطعه را تأمین می کند. در ساخت آجر، قالب اکستروژن طوری ساخته می شود تا ستون گل خروجی، مکعب مستطیل باشد که پس از خروج آن را به ابعاد مورد نظر بریده، به طرف خشک کن می فرستند.



شکل ۲۰-۱- ستون گل خروجی از پاکمیل به اندازه‌ی معین بریده شده و به منظور شکل دادن به قالب هدایت می‌شود.

عمل بریدن، با سیم‌های نازک و عموماً به صورت چندتایی انجام می‌شود؛ برای نمونه، پس از خروج ۸۰ سانتی‌متر گل از دستگاه، یک شبکه‌ی سیم نازک با یک حرکت، آن را به ۱۰ قالب آجر با ضخامت‌های مساوی تقسیم می‌کند. در این روش، سرعت تولید زیاد است، با بعضی از دستگاه‌ها می‌توان ۶ تا ۲۰ هزار قالب آجر را در ساعت تولید کرد.

در صورت تعبیه‌ی قطعات فلزی در داخل قالب، می‌توان آجرهای مشبک و بلوک‌های لانه زنبوری یا لوله‌های توخالی فاضلاب را شکل داد (شکل ۲۱-۱).

اگر در داخل قالب خروجی دستگاه، یک استوانه‌ی توپر به‌عنوان هسته تعبیه شده باشد گل فشرده شده راهی جز عبور از میان قالب و هسته‌ی فلزی ندارد. پس استوانه‌ی خروجی به صورت توخالی شکل داده می‌شود (شکل ۲۲-۱).

این روش، برای ساخت لوله‌های توخالی مناسب است. بعضی لوله‌های فاضلاب که شکل منحنی دارند، ابتدا به همین روش به صورت مستقیم شکل داده می‌شوند، سپس کارگر آن‌ها را درون یک راهنمای منحنی شکل می‌پیچد تا خشک گردد. در ساخت لوله‌های بلند (حدود ۶ متر) از اکسترودرهای عمودی استفاده می‌شود. با یک نوع اکسترودر می‌توان در هر ساعت ۷۰۰ لوله‌ی کوتاه تولید کرد.



شکل ۲۱-۱- بلوک‌های مشبک و لانه‌زنبوری در حال شکل یافتن به وسیله‌ی پاگمیل



شکل ۲۲-۱- لوله‌های توخالی که به روش اکستروژن شکل داده شده‌اند.

## تنوع محصولات در روش اکستروژن

مهم‌ترین موارد استفاده از اکستروژن، در ساخت انواع آجرهای ساختمانی است، چون سرعت تولید بسیار بالاست؛ بنابراین، قیمت تمام شده‌ی محصولات پایین می‌آید؛ برای مثال با ۲۰ هزار قالب در ساعت در ۲۴ ساعت حدود ۵۰۰ هزار قالب آجر تولید می‌شود. گفتنی است که در صنعت آجر، دستگاه‌های شکل‌دهنده دارای موتورهای دیزلی هستند که انرژی لازم دستگاه را تأمین می‌کنند؛ از این رو نیاز به تأسیسات گسترده‌ای برای تولید ندارند.

معمولاً آجرهای بنا و نما با شکل‌های متنوع، هم‌چنین لوله‌ها و بلوک‌های توپر و توخالی، به روش اکستروژن تولید می‌شوند.

## اعمال خلأ و مزایای آن

ایجاد خلأ در اکستروژن، باعث حذف حباب‌های ریز هوا و تهیه‌ی توده‌ی گل یک‌نواخت می‌شود؛ بنابراین، پیوستگی گل در تمام نقاط آن برقرار می‌گردد و خاصیت پلاستیسیته‌ی آن بهبود می‌یابد؛ بنابراین قطعه‌ی تولید شده هم از تراکم بیش‌تری با خلأ بیش‌تر و هم از تراکم افزون‌تر و پلاستیسیته‌ی بهتر برخوردار خواهد شد؛ به‌ویژه هنگامی که اکستروژن با هدف پیش‌شکل دادن مطرح باشد و شکل دادن به وسیله‌ی دستگاه‌های دیگر انجام شود، پلاستیسیته‌ی مناسب، شکل دادن را آسان می‌کند و امکان بروز عیوب را کاهش می‌دهد.

## تهیه و آماده‌سازی گل

گل مورد نیاز برای اکستروژن (تغذیه)، باید پیش‌تر آماده شده باشد. آماده‌سازی به دو روش انجام می‌شود:

**الف — تهیه‌ی گل به کمک مخلوط‌کن:** در این روش، خاک به همراه مقدار مشخصی آب درون یک مخلوط‌کن ریخته می‌شود؛ سپس با یک دیگر مخلوط می‌گردد تا گل موردنظر به دست آید. این گل فاقد یک‌دستی است، اما چون سرعت تهیه‌ی آن زیاد است، در ساخت آجر و محصولات دیگر که ارزش اقتصادی کم‌تری دارند، از این روش استفاده می‌شود.

**ب — تهیه‌ی گل به وسیله‌ی فیلتر پرس:** خاک با مقدار زیادی آب به صورت دوغاب درمی‌آید. به این دوغاب می‌توان مواد افزودنی لازم اضافه نمود و با هم‌زدن کافی آن را به صورت کاملاً «همگن» درآورد؛ سپس دوغاب حاصل شده به دستگاه فیلتر پرس هدایت می‌شود تا آب آن



گرفته شود. توده‌های گل آب‌گیری شده که کیک نام دارد (شکل ۲۴-۱)، از بین صفحات فیلتر پرس خارج می‌شود. این کیک‌ها از نظر ترکیب و رطوبت، همگن هستند و به وسیله‌ی اکسترودر یا پاگمیل کاملاً ورز داده می‌شوند تا برای مراحل بعدی آماده گردند (شکل ۲۵-۱).



شکل ۲۳-۱- مخلوط‌کن گل



شکل ۲۴-۱- فیلتر پرس در حال تخلیه (به کیک‌های خارج شده از دستگاه دقت کنید)



شکل ۲۵-۱- کیک‌های به‌دست آمده از فیلتر پرس به وسیله‌ی کارگر وارد پاگمیل می‌شوند.

## ذخیره‌سازی و انبار کردن استوانه‌ها

هنگامی که اکستروژن، یک روش پیش شکل دادن باشد، استوانه‌های توپری که تولید می‌شوند باید در مراحل بعدی شکل داده شوند. بدین منظور، این ستون‌های گل را در محیط مرطوب انبار می‌کنند تا در آن‌ها شیب رطوبتی ایجاد نشود؛ یعنی درصد رطوبت درون و سطح گل یکسان باقی بماند. هم‌چنین اگر رطوبت گل برای شکل دادن کافی نباشد، بخار آب لازم به انبارها داده می‌شود تا رطوبت موردنظر به دست آید.

## عیوب اکستروژن و راه‌های برطرف کردن آن‌ها

محصولاتی که با روش اکستروژن تولید می‌شوند، ممکن است دارای عیب باشند. میزان غیریک‌نواختی در این قطعات اندک است، اما عواملی چون مقدار مواد پلاستیک در «بیچ»، اندازه‌ی ذرات، درصد رطوبت گل، میزان خلأ اعمال شده، قدرت دستگاه و نوع و شکل قالب اگر صحیح انتخاب نشوند، منشأ معایب مختلفی در قطعه خواهند شد.

### — ترک S شکل

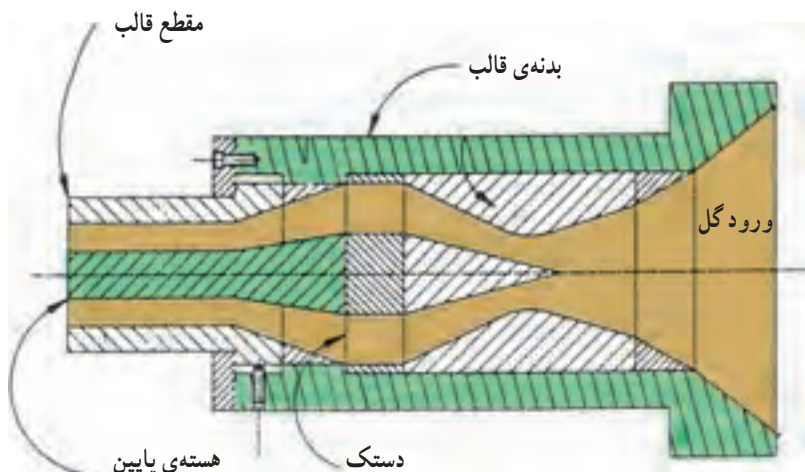
این ترک، از متداول‌ترین عیوب روش اکستروژن به‌شمار می‌رود و در درون قطعات توپر مشاهده می‌شود؛ برای مثال هنگامی که ستون‌های گل تولید می‌شوند، این ترک‌ها در ناحیه‌ی میانی مقطع آن‌ها به‌وجود می‌آیند.

ترک S شکل، چگونه به‌وجود می‌آید؟ می‌دانید که اندازه‌ی قطر ماریبیچ یا حلزون به سمت قالب خروجی به تدریج کم می‌شود. در ناحیه‌ای که حلزون به انتها می‌رسد گل‌های فشرده‌ی اطراف باید جای خالی آن را پر کنند؛ بنابراین، گل فشرده شده برای پرکردن جای خالی حلزون از اطراف به سمت مرکز هدایت می‌شود و در ناحیه‌ی میانی به یک‌دیگر وصل می‌شوند. در صورتی که خواص گل آماده شده، دارای خواص مطلوب نشود پیوستگی مناسب در محل اتصال، یعنی در مرکز ستون گل، به‌وجود نمی‌آید. در نتیجه گل این ناحیه هنگام خشک شدن به‌صورت ترک S شکل ظاهر می‌شود. البته روش‌های مختلفی جهت رفع این عیب ارائه شده است. به عنوان مثال هرچه پلاستیسیته‌ی گل بیش‌تر شود، این عیب کم‌تر بروز می‌کند و یا حوزه‌ی پدید آمده ترک‌پذیر محدودتر می‌گردد.

۱- بیچ (Batch) مقدار ماده‌ای است که برای یک مرحله‌ی شکل داده، آماده شده و ترکیب «آمیز» موردنظر را داراست.



راه دیگر کاهش یا حل این مشکل، افزودن طول قالب است. هرچه طول قالب بیش‌تر باشد، فشردگی ستون گل زیادتر می‌شود و در محل اتصال (در مرکز ستون گل) پیوستگی بیش‌تر می‌گردد.

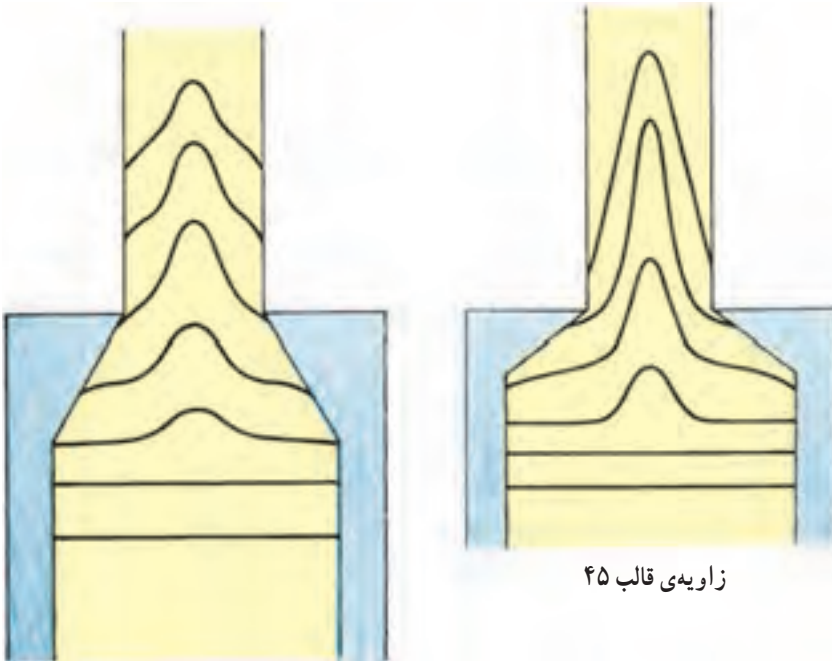


شکل ۲۶-۱- مقطع قالب اکستروژن

انتخاب صحیح طول و قطر حلزون، شیب پره‌ها (تیغه‌ها)، سرعت خروج گل، قدرت دستگاه و ... عوامل دیگری هستند که در رفع این عیب، تأثیر می‌گذارند.

### — لایه‌لایه شدن (Lamination)

از عمده مشکلات دیگر اکستروژن، عیب لایه‌لایه شدن است. با تغذیه‌ی گل‌های رنگی به دستگاه، می‌توان چگونگی جریان گل درون قالب را مشاهده کرد. به دلیل اصطکاک گل با جداره‌ی قالب، سرعت جریان مواد در ناحیه‌ی میانی بیش‌تر از کناره‌هاست. حالت لایه‌لایه شدن، گاه در مقطع ستون گل و زمانی در طول یا بر روی دیواره‌ی ستون مشاهده می‌شود.



زاویهی قالب ۳۰

زاویهی قالب ۴۵

شکل ۲۷-۱- اختلاف سرعت نواحی میانی و جانبی ستون گل هنگام خروج از اکسترودر

— لایه لایه شدن در مقطع گل : هنگامی که گل در قالب قرار می گیرد، تحت فشار است. با خروج ستون گل از قالب، این فشار آزاد می شود و در آن یک حالت بازگشت فنری مشاهده می کنیم؛ یعنی، اندازه ی قطر ستون گل بعد از خروج از قالب بیش تر می شود. کمبود پلاستیسیته ی گل، لایه لایه شدن را تشدید می کند. درصد آب مخلوط، فشار دستگاه و ... نیز بر روی حالت لایه لایه شدن تأثیر می گذارد.



شکل ۲۸-۱- لایه لایه شدن در مقطع گل

از طرف دیگر، اگر آمیز موردنظر، در حین خشک شدن انقباض زیادی داشته باشد، این حالت تشدید می‌شود. در این وضعیت کاهش سرعت خشک شدن می‌تواند از بروز این عیب جلوگیری کند.

— لایه‌لایه شدن در امتداد طول ستون گل (روی سطح جداره): اگر فشار اکستروژن زیاد باشد و قالب به خوبی روان کاری نشده باشد، به هنگام خروج ستون گل، لبه‌های آن بریده بریده می‌شود. کم کردن فشار و استفاده از مواد روغن کاری در سطح مشترک گل و قالب، این مشکل را برطرف می‌کند. اگر سطح قالب به وسیله‌ی آب کاری به صورت کاملاً صیقلی درآید، این عیب کم تر ظاهر می‌شود.



شکل ۲۹-۱

### — ترک شمعدانی (ستاره‌ای)



گاه ممکن است ذرات غیرپلاستیک درشت (شاموت)، که انقباض آن هنگام خشک شدن آن‌ها کم است؛ داخل مواد پلاستیک شود از این رو هنگام خشک شدن پیرامون این ذرات تنش ایجاد می‌شود و در نتیجه باعث بروز ترک ستاره‌ای می‌گردد.

شکل ۳۰-۱ ترک ستاره‌ای

در شکل دادن پلاستیک توسط اکستروژن عیوب دیگری نیز ممکن است به وجود آمده به منظور کنترل عیوب و کاهش ضایعات در ساخت محصولات می‌توان نکاتی را در آماده‌سازی و حتی حین شکل دادن رعایت کرد. به طور کلی با دقت در موارد زیر می‌توان امکان بروز عیوب را در این روش کاهش داد.

- ۱- کنترل پلاستیسیته‌ی آمیز،
- ۲- تنظیم سرعت خروج گل،
- ۳- کنترل اندازه‌ی ذرات،

- ۴- انتخاب درصد رطوبت مناسب،
- ۵- انتخاب طول و نوع مناسب قالب،
- ۶- پرداخت سطح داخلی قالب و آب کاری آن،
- ۷- گرم کردن سطح قالب،
- ۸- روان کاری در سطح قالب.

انتخاب و کنترل موارد فوق در بهبود تولید سرامیک‌ها به روش اکستروژن و ارتباط زیادی به دانش و تجربه فرد و هم‌چنین نوع مواد اولیه و ماشین آلات آن دارد. تغییر هر یک از این موارد می‌تواند به بروز تغییرات گسترده‌ای منجر گردد. مثلاً با افزودن رطوبت گل به میزان یک درصد ممکن است بسیاری از عیوب قالب را خود به خود برطرف ساخت یا با انتخاب روش صحیح روان کاری میزان تولید را افزایش داد. در انتهای این بحث باید گفت کار کردن به روش اکستروژن آسان نیست، اما به دلیل داشتن سرعت تولید بالا، از نظر اقتصادی ارزش سرمایه‌گذاری آن زیاد است؛ بنابراین، استفاده از روش حاضر، به‌دقت و تجربه‌ی کافی نیازمند است تا بتوان با شناخت صحیح عیوب و کشف راه‌حل‌های مناسب، بر مشکلات آن چیره شد.

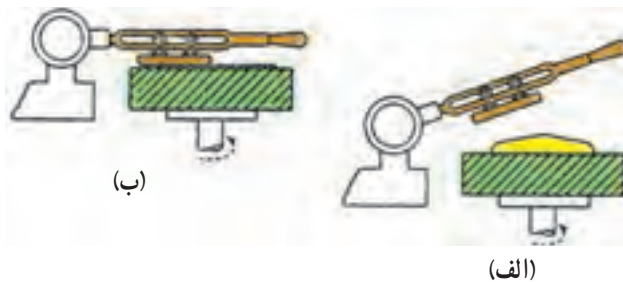
## ۲- شکل دادن با دستگاه جیگر (Jiggering)

شکل دادن به وسیله‌ی دستگاه‌های جیگر و جولی، در واقع روش تکامل یافته‌ی چرخ کاری به حساب می‌آید. تفاوت عمده‌ای که بین آن‌ها وجود دارد این است که در روش جیگر و جولی، نقش نیروی ماهر کاهش می‌یابد.

بشقاب، دیس و ظروف تخت به وسیله‌ی دستگاه جیگر و فنجان، کاسه و ظروف گود با جولی شکل داده می‌شوند. روش ساخت بشقاب به وسیله‌ی جیگر را می‌توان چنین بیان کرد: در مرحله‌ی اول، مقدار مورد نیاز دستگاه تأمین می‌شود. از ستون گل خروجی اکستروژدر گل‌ها به صورت برش (دیسک Disk) تهیه می‌شود. قطر این برش‌ها معمولاً کم‌تر از قطر نهایی قطعه‌ای است که باید تولید شود، اما ضخامت آن طوری در نظر گرفته می‌شود تا مقدار گل لازم برای کار تأمین گردد.

مرحله‌ی دوم «پهن کردن»<sup>۱</sup> نام دارد که در واقع نوعی پیش‌شکل دادن است. برش گل بر روی یک قالب، زیر دستگاه «گل پهن کن» قرار می‌گیرد.

در نتیجه‌ی این کار، شعاع برش گل زیاد می‌شود؛ تا حدی که از اندازه‌ی محصول نهایی، اندکی نیز بزرگ‌تر می‌گردد. واضح است که این کار، باعث کاهش ضخامت برش گل می‌شود (شکل ۱-۳۱).



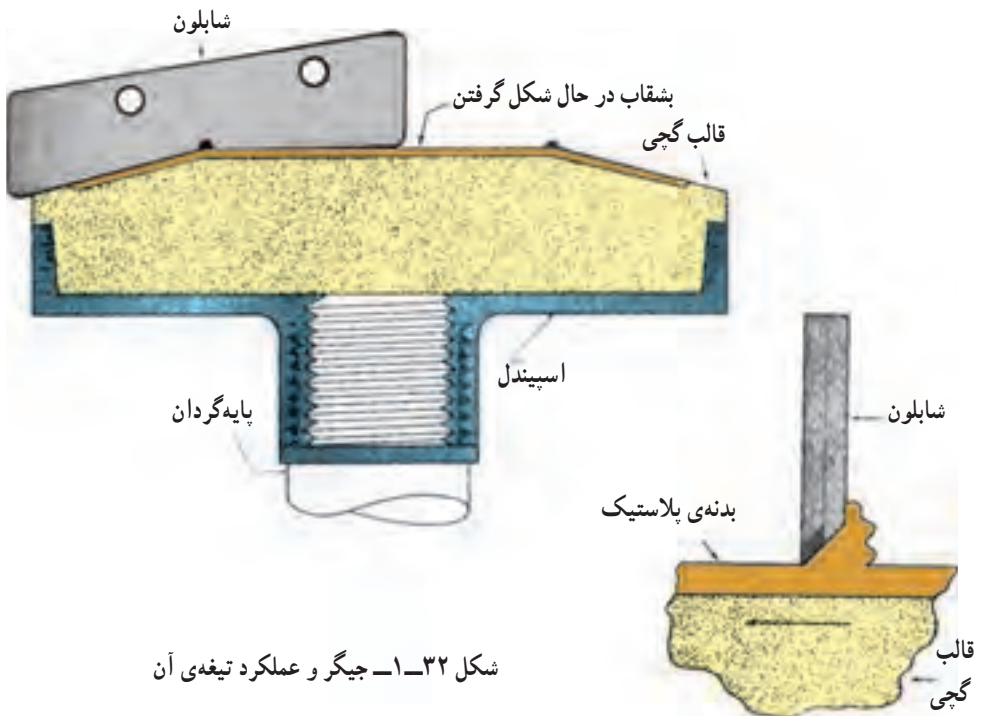
شکل ۱-۳۱- دستگاه گل پهن کن

یک قالب گچی تخت را، که برش گل در مرکز آن قرار داده می‌شود؛ در نظر بگیرید. این قالب، در حالی که دوران می‌کند، یک تیغه‌ی فلزی نیز برای پهن کردن گل بر روی آن فشار وارد می‌نماید. هرچه فشار بیش‌تر شود، گل، پهن‌تر می‌شود و قطر آن زیادتر می‌گردد. بعد از رسیدن به ابعاد دل‌خواه، برش گل پهن شده به وسیله‌ی دستگاه جیگر آماده‌ی شکل دادن می‌شود.

قالب گچی در جیگر، عبارت است از قالبی که دارای یک سطح محدب باشد. این سطح محدب قالب، می‌تواند داخل یک بشقاب را شکل بدهد. برش پهن شده‌ی گل در مرکز این قالب قرار داده می‌شود. قالب گچی خود بر روی یک پایه‌ی فلزی قرار می‌گیرد که به آن «اسپیندل»<sup>۱</sup> گفته می‌شود.

قالب گچی، پس از قرار گرفتن از روی اسپیندل، با روشن شدن دستگاه جیگر، شروع به دوران می‌کند. شکل پذیری نهایی بشقاب یا ظروف تخت در این مرحله انجام می‌گیرد و در حالی که قالب می‌چرخد، کارگر با دسته‌ای که دارای یک شابلون (تیغه‌ی شکل‌دهنده) است، روی گل را می‌فشارد. در حقیقت، شابلون پشت بشقاب را شکل می‌دهد و هم‌زمان داخل بشقاب به وسیله‌ی قالب گچی شکل می‌گیرد.

<sup>۱</sup> Spindle



شکل ۳۲-۱- جیگر و عملکرد تیغه‌ی آن

شابلون، طوری طراحی شده است که جهت فشار، از مرکز گل به طرف لبه‌ی بشقاب باشد؛ یعنی، ابتدا تماس در مرکز بشقاب آغاز می‌شود و به تدریج به سمت لبه پیش می‌رود. با این کار مقادیر گل اضافی از کناره‌ها خارج می‌شود.



شکل ۳۳-۱- دستگاه جیگر نیمه اتوماتیک

در پایان، گل‌های زیادی با یک ابزار تیز به راحتی بریده می‌شود.  
در هر مرحله می‌توان از پاشیدن آب برای کاهش اصطکاک و شکل‌پذیری بهتر، استفاده کرد.  
قسمت‌های مختلف دستگاه جیگر عبارت‌اند از:

- ۱- گل پهن‌کن،
- ۲- دسته‌ای که شابلون بر روی آن نصب می‌شود و شکل دادن را انجام می‌دهد،
- ۳- قالب گچی،
- ۴- اسپیندل،
- ۵- پایه گردان که به وسیله موتور به حرکت درمی‌آید.

### ۳- شکل دادن با دستگاه جولی (Jolleying)

این روش برای تولید قطعات گود، مثل فنجان و کاسه طراحی شده است. روش استفاده از جیگر و جولی شبیه یک دیگرند؛ با این تفاوت که در جیگر، داخل قطعه به وسیله قالب گچی و بیرون آن (پشت بشقاب) به وسیله تیغه یا شابلون ساخته می‌شود، اما در جولی عکس این حالت وجود دارد؛ یعنی، قالب گچی بیرون و قسمت خارجی فنجان و تیغه فلزی، سطح داخل آن را شکل می‌دهد. در این روش نیز به برش گل نیاز است. با دستگاه‌های پهن‌کن مخصوص، شکل ابتدایی این برش‌ها مشخص می‌گردد، اما بهترین روش پیش‌نهادی، استفاده از چرخ‌کاری برای پیش‌شکل دادن است. در ادامه‌ی کار آن را درون قالب می‌گذارند و آن را با شابلون فلزی شکل می‌دهند.



شکل ۳۴-۱- دستگاه جولی نیمه اتوماتیک



هنگامی که آخرین مراحل شکل دادن به وسیله‌ی دستگاه‌های جیگر و جولی پایان یافت، قالب گچی همراه با قطعه‌ی شکل داده شده، به خشک کن منتقل می‌شوند تا در اولین مرحله، قطعه از قالب جدا شود؛ سپس قطعه را برای خشک شدن به طرف دستگاه خشک کن مربوط انتقال می‌دهند. با توجه به حضور قالب گچی لازم است تا دمای خشک کن در این مرحله بیش‌تر از  $45^{\circ}\text{C}$  نگردد. درصد رطوبت گل در ابتدا حدود  $20\%$  درصد است که حین خشک کردن - زمانی که این مقدار به حدود  $10\%$  الی  $12\%$  درصد برسد - قطعه به راحتی از قالب گچی جدا می‌گردد و قالب پس از خشک شدن، مجدداً در مسیر تولید به کار گرفته می‌شود. با بعضی از انواع دستگاه‌های جولی، می‌توان قطعات توخالی بزرگی به قطر یک متر نیز ساخت.

دستگاه‌های جیگر و جولی، که به وسیله‌ی کارگر کنترل می‌شود، به صورت غیر خودکار عمل می‌کنند. این نوع دستگاه‌ها در مقیاس صنعتی کاربرد زیادی ندارند و صرفاً در کارگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. امروزه دستگاه‌های جیگر و جولی نیمه خودکار نیز طراحی کرده و ساخته‌اند، اما دستگاه‌های تمام اتوماتیکی نیز به نام گردان یا رولر - که سرعت تولید بسیار بالایی دارند - در صنعت به کار گرفته می‌شوند (شکل‌های ۱-۳۳ و ۱-۳۴).

شابلون‌های جیگر و جولی از فولاد نسبتاً سخت ساخته می‌شوند تا در مقابل سایش مقاوم باشند. هم چنین این شابلون‌ها از کاربیدها، به خصوص کاربید تنگستن و آلومینای زینتر شده نیز تهیه می‌شوند.

یادآور می‌شود در روش شکل دهی با جیگر و جولی هر قالب گچی حدود  $200$  سیکل تولید را طی می‌کند و درصد آب لازم برای ساخت قالب گچی حدود  $30\%$  درصد است.

#### ۴- شکل دادن با دستگاه‌های گردان (رولر)

دستگاه رولر، شکل تکامل یافته‌ی دستگاه‌های جیگر و جولی است و با یک دیگر تفاوت‌هایی نیز دارند. پیش‌تر گفته شد که مرحله‌ی نهایی شکل دادن در روش جیگر و جولی، به کارگیری تیغه‌های فلزی است. این کار در رولر به کمک یک حجم دوار، به نام بمب (bomb)، انجام می‌گیرد. یک برش گل در مرکز قالب گچی قرار داده می‌شود. آن‌گاه هم‌زمان سر رولر و اسپیندل توسط موتورهای جداگانه‌ای به حرکت درمی‌آیند. ضمن این که سرعت رولر کم‌تر از سرعت اسپیندل است و در واقع این اختلاف سرعت موجب می‌شود تا قطعه شکل بگیرد (شکل ۱-۳۵).



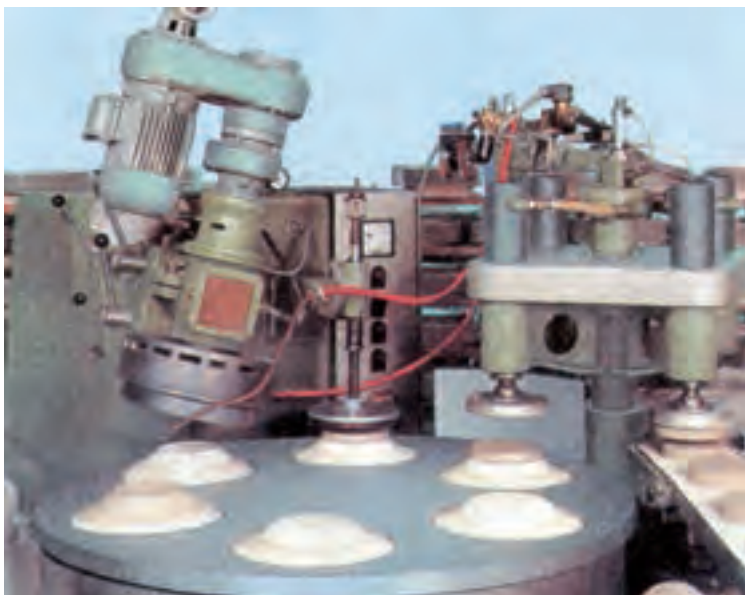


شکل ۳۵-۱- شکل دادن به وسیله‌ی رولر

امتیاز اصلی دستگاه رولر نسبت به جیگر و جولی این است که در رولر، عمل پهن کردن و شکل دادن در یک مرحله و هم‌زمان به وسیله‌ی سر دستگاه صورت می‌گیرد. غالباً سر دستگاه رولر را گرم نگه می‌دارند. این عمل باعث بخار شدن بخشی از آب سطحی گل می‌شود و از چسبیدن گل به سر دستگاه جلوگیری می‌کند. دمای سر دستگاه حدود  $80^{\circ}$  تا  $120^{\circ}$  درجه‌ی سانتی‌گراد است.

شکل دادن بشقاب و دیس به کمک رولر: در سی سال اخیر، به تدریج جیگر جای خود را به رولر داده است. در ابتدا رولر به منظور تولید ظروف گود طراحی شده بود، اما امروزه بهترین روش برای تولید ظروف تخت تلقی می‌شود.

قالب گچی را روی دستگاه رولر می‌گذارند و برای نگاه داشتن آن بر روی پایه‌ی دستگاه از خلأ استفاده می‌کنند. در حقیقت با مکش هوا قالب را نگه می‌دارند.



شکل ۳۶-۱- رولر تمام اتوماتیک بشقاب

چون قالب گچی متخلخل است، مکش ایجاد شده، گل را نیز بر روی سطح قالب گچی نگه می‌دارد. در این روش نیازی به پهن کردن نیست. در واقع پهن کردن و شکل دادن نهایی هم‌زمان انجام می‌شود.



شکل ۳۷-۱- دستگاه‌های رولر با چند سر برای شکل دادن

برش گل بر روی قالب گچی قرار می‌گیرد و به هنگام چرخش، سردستگاه پایین می‌آید. سرعت چرخش سردستگاه می‌تواند بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ دور در دقیقه باشد.\* پس از پایان مرحله‌ی شکل دادن، قالب از چرخش باز می‌ایستد و همراه با قطعه به سوی دستگاه خشک کن منتقل می‌شود. شکل دادن با دستگاه‌های گردان، دارای مزیت‌های زیادی است. شاید مهم‌ترین آن‌ها ادغام دو مرحله‌ی پهن کردن و شکل دادن باشد و امتیاز دیگر، شکل دادن به محصولات است که سطوحی بسیار صاف و صیقلی دارند.

در مورد شیوه‌ی کار دستگاه‌های رولر، باید گفت که عموماً سردستگاه که در حال چرخش است، پایین می‌آید و بر روی گل فشار وارد می‌کند. این عمل، در نهایت به دوران قالب گچی نیز منجر می‌شود. انواع دیگری از دستگاه‌های رولر را ساخته‌اند که سردستگاه آن‌ها ثابت است و این قالب گچی است که به سمت بالا حرکت می‌کند و گل را زیر فشار سردستگاه قرار می‌دهد و باعث چرخش خود قالب نیز می‌گردد تا قطعه شکل بگیرد.

به هر حال، در بعضی از دستگاه‌ها، نیروی محرکه برای چرخش به سردستگاه و در بعضی به پایه‌ی نگهدارنده‌ی قالب گچی متصل است و بعضی هم به هنگام اتصال با گل به چرخش درمی‌آیند. در نوع سوم رولر، هم سر و هم پایه با سرعت نزدیک به یک‌دیگر به چرخش درمی‌آیند و دیسک گل بین آن دو شکل می‌گیرد.

همان‌گونه که مشاهده می‌کنید، در همه‌ی حالات، اصول کار ثابت است و طراحی‌های صنعتی با هدف افزایش کارایی دستگاه انجام می‌گیرد و در آینده نیز ممکن است شاهد تغییرات جدیدی در ساخت این دستگاه‌ها باشیم. مهم‌ترین مزایای روش رولر عبارت‌اند از:

- ۱- بی‌نیازی از نیروی انسانی زیاد و امکان استفاده از نیروی نیمه ماهر و غیرماهر،
- ۲- استفاده از گل با رطوبت کم‌تر،
- ۳- سرعت تولید و بازده کاری بیش‌تر.

مهم‌ترین محدودیت این روش آن است که نمی‌تواند قطعات غیرمدور و پیچیده را شکل بدهد و فقط محصولات استی که مدور باشند به این روش شکل داده می‌شوند.

از دیگر ظروف تخت، دیس را می‌توان نام برد. دیس را نیز به وسیله‌ی رولر می‌توان شکل داد؛ هرچند که شکل آن مدور نباشد. در یک روش خاص، «برش» گل بر روی سطح قالب گچی قرار داده می‌شود. قالب گچی در این حالت دیس را شکل می‌دهد؛ پس سردستگاه با دوران حول خود، هم‌چنین چرخش در مسیر بیضوی، گل را به سطح قالب می‌فشارد. این حرکت دوگانه می‌تواند یک

\* سرعت دوران اسپیندل ۱۷۰ تا ۵۰۰ دور در دقیقه است.

دیس بیضوی را شکل دهد. در روش دیگر، سر دستگاه فقط به دور محور خود می چرخد و حرکت خارج از مرکز به وسیله پایه و قالب انجام می شود.

شکل دادن به فنجان و ظروف گود با دستگاه رولر: چنان که گفته شد دستگاه های گردان، ابتدا به منظور تولید فنجان و کاسه طراحی شده بودند، زیرا در ساخت این نوع محصولات به روش دستگاه جولی، مشکلات زیادی وجود داشته است.

سطح خارجی فنجان و کاسه در این روش با قالب گچی در تماس است و در نتیجه به صورت گود و یک تکه ساخته می شود. توده ی گل به صورت گلوله در می آید و وارد قالب می گردد؛ سپس سردستگاه وارد قالب گچی می شود و فنجان یا کاسه را شکل می دهد. با انتقال قالب ها به سمت «خشک کن» و هم زمان با از دست دادن رطوبت، قطعه ی منقبض شده به راحتی از قالب جدا می شود (شکل ۳۸-۱).



شکل ۳۸-۱- شکل دادن به فنجان با دستگاه رولر

در این روش می توان از دستگاه های تمام اتوماتیک (شکل ۳۶-۱)، نیز که توانایی شکل دادن به حدود ۲۰ فنجان را در دقیقه دارند استفاده کرد. گفتنی است که در این روش، فقط به بدنه ی فنجان شکل داده می شود؛ سپس دسته ی آن که از روش ریخته گری دوغایی یا روش دیگر ساخته شده است، به آن متصل می شود.

## ۵- شکل دادن با ماشین‌های تمام اتوماتیک

به‌طور کلی در صنعت، برای بهره‌وری بیش‌تر در تولید، هم‌چنین کاهش نقش نیروی انسانی، سعی می‌شود از دستگاه‌های خودکار استفاده شود. این دستگاه‌ها همراه با افزایش سرعت تولید و ارتقای کیفیت محصولات، هزینه‌ی تولید را نیز کاهش می‌دهند. انواع نیمه اتوماتیک و تمام اتوماتیک دستگاه‌های جولی، که در تولید توانایی‌های متفاوتی دارند ساخته شده است. کارگر ماهر با دستگاه جیگر حدود ۱۰۰ قطعه در ساعت تولید می‌کند اما در یک دستگاه جیگر نیمه اتوماتیک این تعداد به حدود ۱۵۰ عدد افزایش می‌یابد.

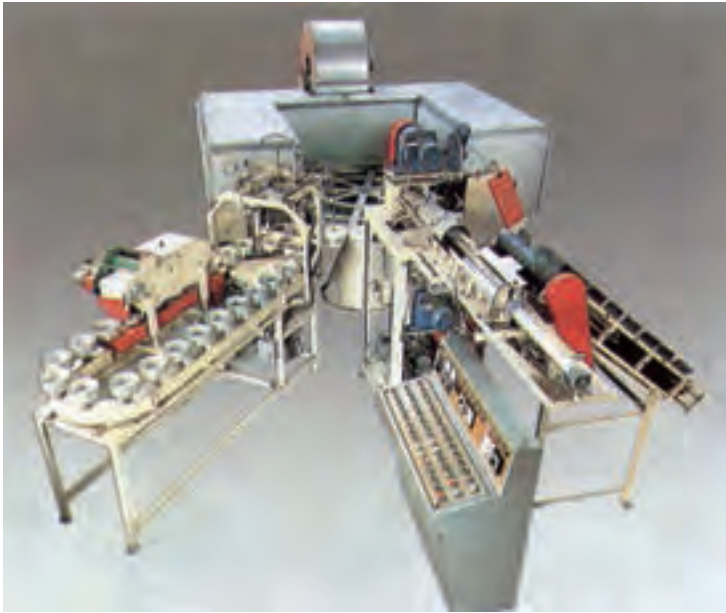
بعضی از انواع جیگرهای نیمه اتوماتیک، دارای یک میزگردان هستند و بر روی آن‌ها، سه، چهار یا تعداد بیش‌تری پایه، برای قرار گرفتن قالب، وجود دارد و برای شکل دادن به قطعه بالای هر پایه یک شابلون قرار داده شده است. برداشتن و گذاشتن قالب در این دستگاه به وسیله‌ی کارگر انجام می‌شود. چنین دستگاهی با ۸ سر می‌تواند تا حدود ۱۴۰۰ قطعه را شکل دهد؛ یعنی هر سر حدود ۱۸۰ قطعه در ساعت تولید می‌کند.

یک دستگاه جیگر با یک میزگردان، حاوی ۶ پایه‌ی نگه‌دارنده‌ی قالب است و عمل شکل دادن را فقط با یک سر انجام می‌دهد. هم‌زمان با چرخش میز، سردستگاه به سرعت پایین و بالا می‌رود. در این حالت، توانایی تولید دستگاه با یک سر به ۶۰۰ قطعه در ساعت می‌رسد و در مقایسه با یک دستگاه رولر با یک سر، این دستگاه بدون دخالت کارگر در هر ساعت ۶۰۰ قطعه تولید می‌کند. دستگاه‌های رولر تمام اتوماتیک با میزهای گردان و چند سر، برای شکل دادن، قابلیت‌های تولید بسیار بالایی دارند، به طوری که یک نوع آن‌ها حدود ۲۰ فنجان را در یک دقیقه شکل می‌دهد.

در انتها باید گفت که میزان دور ریز گل در روش رولر، کم‌تر از روش‌های جیگر و جولی است. یعنی در روش رولر، حداکثر ۲۵ درصد گل به صورت ضایعات خارج می‌شود و ۷۵ درصد آن، صرف ساخت محصول می‌گردد. ضمن این‌که این ضایعات می‌توانند دوباره در مسیر تولید به کار گرفته شوند.

## درصد آب در حین شکل دادن

مقدار آب مورد مصرف، بستگی به نوع مواد اولیه و شیوه‌ی شکل دادن دارد. هرگاه ترکیب «آمیز» ثابت باشد و از مواد اولیه‌ی یکسانی استفاده شود، مصرف آب، با توجه به روش‌های مختلف شکل دادن، متفاوت خواهد بود.



شکل ۳۹-۱- رولر تمام اتوماتیک فنجان

به طور کلی در روش‌های شکل دادن پلاستیک، مقدار آب بین ۱۸ تا ۲۲ درصد بوده است بیش‌ترین مقادیر آب مربوط به روش‌های دستی و چرخ‌کاری است. در روش جیگر و جولی مقدار آب کم‌تر است و دستگاه‌های رولر مصرف آب را به حداقل رسانده‌اند. درخور توجه است که هنگام شکل دادن به قطعه، هر چه مقدار رطوبت کم‌تر باشد، انقباض آن در خشک شدن کم‌تر و تغییر ابعاد آن نیز محدودتر می‌شود. ضمن آن که زمان خشک کردن نیز کاهش می‌یابد.

**قالب:** در روش‌های دستگاهی، جنس قالب از گچ است. اما انتخاب نوع گچ و نسبت گچ به آب، به طور مستقیم به روش شکل دادن بستگی دارد. گفته شد که درصد آب لازم برای قالب‌های جیگر و جولی، حدود ۳۰ درصد است، اما در رولر، چون استحکام قالب گچی باید بیش‌تر باشد، مقدار آب را اندکی کم‌تر از ۳۰ درصد انتخاب می‌کنند. در حالت‌های خاص برای افزایش استحکام قالب‌ها، به‌ویژه در ساخت قطعات بزرگ و پیچیده‌تر؛ مانند مقره‌ها، می‌توان با استفاده از مفتول فلزی قالب‌ها را مسلح کرد.

قالب‌های مورد استفاده یک تکه ساخته می‌شوند. در ساخت قالب‌های گچی، تلاش مستمری وجود دارد تا بتوان با استفاده از مواد اولیه و برخوردار از خلوص و کیفیت بالا، عمر قالب‌ها را افزایش داد.



## ۶- شکل دادن به روش تراش (خراطی)

آیا تا به حال دستگاه‌های تراش فلزات را دیده‌اید؟ تراش کاری، روشی مهم در شکل دادن به فلزات است. این روش در ساختن بعضی از قطعات چوبی نیز به کار گرفته می‌شود و به آن «خراطی» می‌گویند. تکه‌ای چوب یا فلز بر روی دستگاه تراش نصب می‌گردد و هم‌زمان با چرخش به وسیله تیغه‌های ویژه، شکل نهایی قطعه‌ی تراشیده شده، به دست می‌آید. از این روش در صنعت سرامیک نیز استفاده می‌شود.

در بیش تر روش‌های شکل دادن پلاستیک در مرحله‌ی پرداخت، که محصول دارای استحکام نسبی است، این روش به کار گرفته می‌شود. اما با روش تراش، تنها می‌توان قطعات خاصی را شکل داد. شکل دادن با روش تراش (خراطی) به محصولات سرامیکی نیز در دو مرحله انجام می‌گیرد:



شکل ۴۰-۱- تعدادی از محصولاتی که به روش تراش شکل داده می‌شوند.

در مرحله‌ی نخست، یک ستون گل به وسیله‌ی اکسترودر پیش شکل داده می‌شود؛ سپس استوانه‌های گل به صورت عمودی یا افقی به دور آن درمی‌آیند و با تیغه‌هایی تراش داده می‌شوند. این کار به صورت دستی، به گونه‌ی خودکار یا با دستگاه انجام می‌گیرد. بیش‌ترین کاربرد این روش، در ساخت مقره‌های فشار قوی صنعت برق است. ستون گل به وسیله‌ی یک شابلون به شکل مقره شکل داده می‌شود (شکل ۴۱-۱).

شکل دادن به روش تراش، در حالت‌های خاص به کمک استوانه‌هایی عملی می‌شود که قبلاً به صورت نیمه خشک یا خشک درآمده باشند و یا حتی پخت بیسکویت را پشت سر گذارده باشند. در این صورت، استوانه‌ی بیسکویت شده بر روی دستگاه قرار می‌گیرد و به وسیله‌ی ابزار و شابلون‌های تراش به شکل مطلوب درمی‌آید. بدیهی است که در این حالت جنس شابلون‌ها باید سخت‌تر باشد. به همین جهت آن‌ها را از جنس کاربید تنگستن و آلومینای زیت‌ر شده می‌سازند (شکل ۴۲-۱).



(ب)



(الف)

شکل ۴۱-۱- مقره‌ها در حال شکل‌گیری به روش تراش (خراطی)

## ۷- پرس پلاستیک

در این روش، به یک توده‌ی گل پلاستیک، با تحت فشار قرار گرفتن آن بین یک قالب دوتکه، شکل داده می‌شود. «قالب» عموماً از جنس گچ ساخته می‌شود. گرچه از قالب‌های فلزی نیز در این روش استفاده می‌گردد.

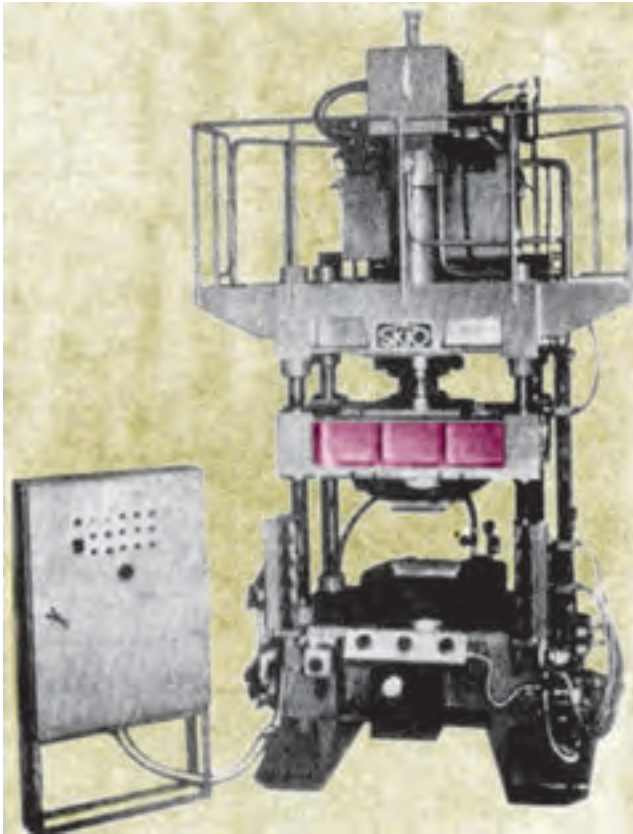
در این روش، گل را درون قالب می‌گذارند تا پرس شود. در صورت استفاده از برش گل حاصل شده از اکسترودر، می‌توان ابتدا آن‌ها را پهن کرد و سپس در قالب اصلی شکل داد. این عمل، به خصوص برای قطعات پیچیده‌تر توصیه می‌گردد زیرا بروز عیوب را در این قطعات کاهش می‌دهد.





شکل ۴۲-۱- مقره‌های بسیار بزرگ نیز به روش تراش تولید می‌شوند.

در این روش، به محصولاتی نیز، که دارای مقاطع دایره‌ای نیستند، شکل داده می‌شود. سفال‌های موج برای پوشش سقف، بعضی از ساگارها<sup>۱</sup> و حتی بسیاری از بوته‌های بزرگ نیز با این روش تولید می‌شوند.



شکل ۴۳-۱- دستگاه پرس پلاستیک

به طور کلی باید گفت که پرس پلاستیک روشی سریع و ارزان به حساب می‌آید و برای تولید انبوه قطعاتی که تقارن دایره‌ای ندارند و در عین حال شکل نسبتاً ساده‌ای دارند، بسیار مناسب است. در صورت استفاده از قالب‌های گچی، با آغشته کردن قالب با محلول سود سوزآور، استحکام آن را افزایش می‌دهند.

---

۱- به قطعاتی که محصولات را برای پخت روی آن‌ها قرار می‌دهند و به کوره فرستاده می‌شوند «ساگار» می‌گویند.

عیوب روش‌های شکل دادن پلاستیک دستگاهی و شیوه‌های برطرف کردن آن‌ها در هر یک از روش‌های شکل دادن، معایی متناسب با وضعیت تولید آن روش‌ها بروز می‌کند.

در این جا به چند عیب، که به نوعی در همه‌ی این روش‌ها مشترک‌اند، اشاره می‌شود:

**گسیختگی:** هنگامی که برش گل، به صورت په‌ن شکل داده می‌شود به دلیل پلاستیسیته‌ی کم، توانایی تغییر شکل پلاستیک کاهش می‌یابد و گل پاره یا گسیخته می‌شود.

این پدیده اغلب در تولید چینی استخوانی<sup>۱</sup> که درصد مواد پلاستیک آن کم است، مشاهده می‌شود. اگر در این حالت بتوان آمیز را تغییر داد با پاشیدن آب (اسپری) در مراحل مختلف کار می‌توان از بروز این عیب جلوگیری کرد. هم‌چنین در این وضعیت و در روش جیگر، باید تیغه‌ی فلزی را کم‌کم بر روی گل فشار داد. یا در رولر، سردستگاه و در روش تراش، شابلون باید به آهستگی به گل نزدیک شود تا شکل دهی صورت گیرد.

افزایش پلاستیسیته‌ی گل، پاشیدن به موقع آب، تنظیم سرعت دستگاه و دقت در مرحله‌ی شکل دادن، عواملی هستند که این معایب را برطرف می‌کنند یا امکان بروز آن را کاهش می‌دهند.

**جهت‌دار شدن ذرات رُسی:** از مهم‌ترین عیوبی که در شکل دادن پلاستیک دستگاهی می‌توان نام برد جهت‌دار شدن ذرات است. بروز این عیب در اغلب روش‌ها مشترک است. همان‌گونه که می‌دانید، ذرات رس، شکل ورقه‌ای (صفحه‌ای) و لایه‌ای دارند؛ از این رو ممکن است این لایه‌ها هنگام شکل دادن با یک‌دیگر هم‌جهت شوند و به صورت موازی روی هم قرار گیرند، در نتیجه مشکلاتی در کار ایجاد می‌کنند، زیرا هنگامی که ذرات هم‌جهت شوند، در مرحله‌ی خشک کردن انقباض جهت عمود بر لایه‌ها - به علت خروج آب بین لایه‌ها - از جهات دیگر بیش‌تر می‌شود و همین سبب بروز انقباض غیریک‌نواخت می‌گردد؛ یعنی، محصول در یک جهت میل بیش‌تری به انقباض دارد. در این حالت، ممکن است کاسه یا بشقاب تاب بردارد و در حالات شدیدتر، ترک بخورد.



(ب)

(الف)

شکل ۴۴-۱- جهت‌دار شدن ذرات رُسی

۱- چینی استخوانی (Bone china) نوعی چینی است که قسمت اعظم مواد اولیه‌ی آن را استخوان تشکیل می‌دهد.

شدت بروز این عیب در هر روش تفاوت می‌کند و به چندین عامل بستگی دارد. پلاستیسیته، درصد رطوبت، هواگیری مناسب هنگام ساخت استوانه‌ها در مرحله‌ی پیش شکل دادن، چگونگی پهن کردن گل و سرعت دوران دستگاه، از عواملی هستند که در برطرف کردن این معایب مؤثرند و با بررسی دقیق می‌توان تأثیر هر یک را شناخت و برای برطرف کردن آن عیوب به موقع وارد عمل شد.

### بهترین روش تولید محصولات متقارن

امید است با روش‌های شکل دادن پلاستیک دستگاهی، به‌خوبی آشنا شده باشید. حال باید پرسید که بهترین روش تولید هر محصول کدام است؟ با توجه به مطالب قبلی، بهترین روش تولید بشقاب، فنجان و کاسه استفاده از دستگاه‌های گردان یا رولر است.

زیرا اولاً تولید آن‌ها عموماً یک مرحله‌ای است و کم‌تر به پهن کردن گل نیازمندند؛ ثانیاً سطح محصولات صاف و صیقلی‌تر است؛ ثالثاً سرعت تولید این روش، نسبت به جیگر و جولی بالاتر است. در ساخت مقره‌های ستونی بزرگ، روش تراش متداول‌ترین و مطلوب‌ترین روش تولید به‌شمار می‌رود. مقره‌های بشقابی کماکان به روش رولر تولید می‌شوند.

هم‌چنین از روش تراش در ساخت محصولات پیچیده‌تر و خاص می‌توان استفاده کرد. در انتها ذکر این نکته لازم است که تقریباً همه‌ی قطعاتی که به روش‌های دستگاهی تولید می‌شوند، دارای شکل متقارن هستند و تنها در پرس پلاستیک امکان ساخت محصولاتی غیر متقارن وجود دارد. از طرف



شکل ۴۵-۱- بخش شکل دادن پلاستیک دستگاهی یک کارخانه‌ی چینی مظروف

دیگر، بعضی از محصولات ذکر شده در این بخش، با دیگر روش‌ها نیز تولید می‌شوند؛ برای مثال شکل دادن دیس بیش‌تر به روش ریخته‌گری دوغابی انجام می‌شود و یا روش‌های نوینی برای شکل دادن به بشقاب تعریف شده که به تدریج جای روش‌های قبلی را گرفته‌اند.

## پرسش‌های فصل اول

- ۱- شکل دهی پلاستیک سرامیک‌ها را طبقه‌بندی نمایید.
- ۲- چرا روش دست و قالب هنوز هم متداول است؟
- ۳- مراحل شکل دادن با چرخ کوزه‌گری را شرح دهید.
- ۴- پلاستیسیته چیست؟
- ۵- انواع اکسترودرها را نام ببرید.
- ۶- نحوه‌ی کار پاگمیل را توضیح دهید.
- ۷- دو نقش اکستروژن در شکل دادن سرامیک‌ها را بیان کنید.
- ۸- چه محصولاتی با اکستروژن تولید می‌شود؟
- ۹- دستگاه اکسترودر چگونه کار آماده‌سازی گل را انجام می‌دهد؟
- ۱۰- عیوب اکستروژن را نام ببرید.
- ۱۱- ترک S شکل چیست؟ چگونه به وجود می‌آید؟ راه برطرف کردن آن را بنویسید.
- ۱۲- روش جیگر را کاملاً شرح دهید.
- ۱۳- چه تفاوتی بین روش جیگر و جولی وجود دارد؟
- ۱۴- مراحل ساخت بشقاب به وسیله‌ی جیگر را شرح دهید.
- ۱۵- شکل دادن به وسیله‌ی رولر چگونه انجام می‌شود؟
- ۱۶- مزایای رولر در مقایسه با جیگر و جولی چیست؟
- ۱۷- روش تراش چیست و چه محصولاتی را به این روش شکل می‌دهند.
- ۱۸- نحوه‌ی کار پرس پلاستیک را توضیح دهید.
- ۱۹- جهت‌دار شدن ذرات رسی چیست؟
- ۲۰- بهترین روش تولید خشت، فنجان، مقره، بشقاب و گلدان چیست؟

### شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود:

- ۱- شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی را شرح دهد و انواع آن را تقسیم‌بندی کند.
- ۲- محصولاتی را که به روش ریخته‌گری دوغابی تهیه می‌شوند نام ببرد.
- ۳- روان‌سازی و اهمیت آن را بنویسد و چند روان‌ساز معروف را نام ببرد.
- ۴- ویژگی دوغاب روان‌سازی شده را بیان کند.
- ۵- روش اندازه‌گیری ویسکوزیته را شرح دهد.
- ۶- فاکتورهای قابل اندازه‌گیری دوغاب را نام ببرد.
- ۷- نحوه‌ی تشکیل جداره در قالب گچی را توضیح دهد.
- ۸- معایب روش ریخته‌گری دوغابی و راه برطرف کردن آن‌ها را بیان کند.
- ۹- کاربرد گچ قالب‌سازی را شرح دهد.
- ۱۰- کاربردهای مختلف روش ریخته‌گری دوغابی را بیان کند.
- ۱۱- کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی را در سرامیک‌های نوین بیان کند.
- ۱۲- مزایا و نقاط ضعف روش ریخته‌گری دوغابی را شرح دهد.

#### مقدمه

شکل دادن قطعات سرامیکی به روش ریخته‌گری دوغابی از حدود ۲ قرن پیش آغاز شده است. در این روش مخلوط مواد اولیه به‌صورت دوغاب آماده می‌شود؛ سپس دوغاب حاصل شده، درون یک قالب متخلخل که عموماً از جنس گچ است، ریخته می‌شود. در نتیجه، آب دوغاب به‌وسیله‌ی قالب جذب می‌شود و جداره‌ی نازکی از گل بر روی آن ایجاد می‌گردد. با گذشت زمان، این جداره ضخیم‌تر می‌شود و سپس دوغاب اضافی تخلیه می‌گردد.

قالب و جداره‌ی ساخته شده مدتی به حال خود گذاشته می‌شوند تا به تدریج آب بیش‌تری از جداره جذب قالب گچی شود. به موازات، درصد رطوبت قطعه نیز کاهش می‌یابد و استحکام آن بیش‌تر می‌شود. هم‌چنین با از دست دادن آب، جداره‌ی تشکیل‌شده‌ی درون قالب (محصول) انقباض می‌یابد و به راحتی از قالب جدا می‌شود. در این حال، قطعه را از قالب جدا می‌کنند و به خشک‌کن می‌فرستند. در اواسط قرن هجدهم میلادی از کربنات سدیم (سودا) که مقدار کمی از آن باعث روان شدن دوغاب می‌شد استفاده می‌کردند. بعدها امکان تهیه‌ی دوغابی با مقدار آب کم‌تر نیز میسر گردید.

در واقع بدون استفاده از این ماده (کربنات سدیم) برای تهیه‌ی دوغاب روان به ۴۰ تا ۶۰ درصد بر مبنای تر آب نیاز بود؛ حال آن‌که مقادیر کم کربنات سدیم درصد آب لازم را به ۳۰ تا ۳۵ درصد کاهش می‌داد. این عمل «روان‌سازی» نام دارد؛ یعنی، می‌توان با درصد کمی از مواد روان ساز و بدون مصرف آب زیاد، دوغابی روان تهیه کرد.

در فرآیند ریخته‌گری دوغاب، تهیه‌ی دوغابی با درصد آب کم و خواص جریانی مناسب، بسیار اهمیت دارد. این روش در ساخت محصولات سرامیکی؛ مانند: چینی، بدل چینی، چینی استخوانی، دیرگداز و... به کار گرفته می‌شود. هم‌چنین در تولید سرامیک‌های نوین و مهندسی، به خصوص ریخته‌گری مواد غیررسی، برای ساخت بدنه‌های اکسیدی (زیرکونیا، آلومینا، منیزیا و...) و غیراکسیدی (سیلیکون کارباید و...) اهمیت به‌سزایی یافته است.

مزیت مهم دیگر در کاربرد گسترده‌ی ریخته‌گری دوغابی، امکان تولید محصولاتی با شکل‌های پیچیده است؛ یعنی با تهیه‌ی قالب‌های چند تکه<sup>۱</sup> می‌توان قطعاتی با شکل‌های خاص را به سادگی تولید کرد. این روش به خصوص در ساخت قطعات گود و توخالی، که آن‌ها را به روش پرس و شکل دادن پلاستیک نمی‌توان تولید کرد، کاربرد یافته است.

اصلی‌ترین ضعف این روش، زمان بر بودن فرآیند است؛ برای مثال در پرس و یا روش‌های پلاستیک دستگاهی تا ۲۰ قطعه را در دقیقه می‌توان شکل داد؛ در حالی که در ریخته‌گری دوغابی، بسته به ضخامت محصول، از چند دقیقه تا چند ساعت برای شکل دادن یک محصول وقت نیاز است. گرچه متخصصان با افزایش تعداد قالب‌ها تا حدودی این عیب را برطرف کرده‌اند.

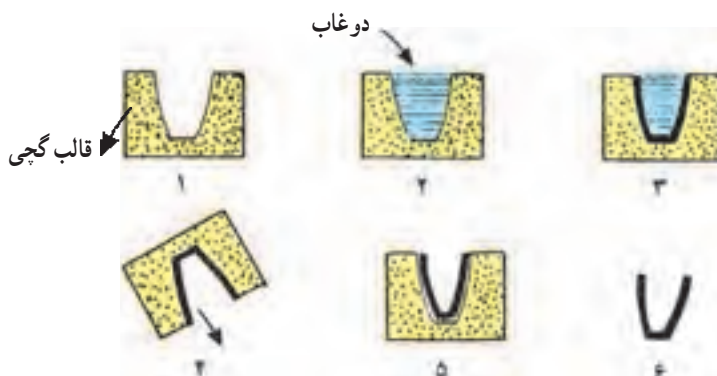
## انواع ریخته‌گری دوغابی

شکل دادن ریخته‌گری دوغابی به دو بخش تقسیم می‌شود:

۱- بعضی قالب‌ها از ۳۰ تکه هم ساخته شده‌اند.



الف) ریخته‌گری توخالی (Hollow casting): در این روش، دوغاب را در قالب گچی می‌ریزند و برای تشکیل جداره، به آن زمان کافی می‌دهند. در این صورت بعد از جذب آب دوغاب به وسیله قالب، ضخامت لایه به حد مطلوب می‌رسد و مازاد دوغاب تخلیه می‌گردد. بنابراین، قطعه حاصل شده از این روش به صورت توخالی شکل داده می‌شود. به همین دلیل گاهی به این روش ریخته‌گری تخلیه‌ای (Drian casting) نیز گفته می‌شود (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱- مراحل ریخته‌گری دوغابی توخالی

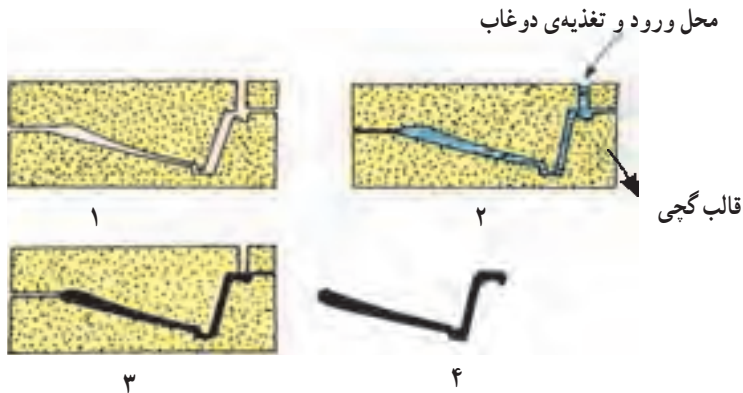
گلدان، قندان، پارچ و قوری از محصولاتی هستند که به این روش شکل داده می‌شوند. برگردن و تخلیه‌ی قالب ممکن است به صورت دستی یا با دستگاه‌های تمام اتوماتیک انجام شود.



شکل ۲-۲- برگردن قالب‌ها به صورت اتوماتیک انجام می‌گیرد.



ب) ریخته‌گری دوغابی توپر (Solid casting): شاید بتوان گفت شکل دادن به روش ریخته‌گری، در ابتدا صرفاً به منظور تولید قطعات توخالی ابداع گردیده اما بعدها در ساخت محصولات توپر نیز به کار رفته است. همان‌طور که در شکل ۳-۲ می‌بینید، در این روش تمامی دوغاب مصرف می‌شود.



شکل ۳-۲- مراحل ریخته‌گری دوغابی توپر

به عبارت دیگر، دوغاب برگشتی وجود ندارد. قطعه‌ای که با ریخته‌گری توپر شکل داده می‌شود، هرچه بزرگ‌تر باشد، به تغذیه‌ی بیش‌تری نیاز دارد، زیرا با جذب آب به وسیله‌ی قالب، حجم دوغاب کاهش می‌یابد. به همین منظور، قیف یا محفظه‌ای را برای تغذیه در بالای قالب قرار می‌دهند. اگر تغذیه با حجم کافی انجام نگیرد، سطح دوغاب در داخل قالب کاهش می‌یابد و شکل مورد نظر تأمین نمی‌شود. تذکر این نکته لازم است که هم‌زمان با افزایش ضخامت محصول، زمان ریخته‌گری نیز زیاد می‌شود: مثلاً برای شکل دادن به قوری‌ای که به روش ریخته‌گری توخالی تهیه می‌شود و ضخامت جداره‌ی آن ۲ تا ۳ میلی‌متر است، به ۱۵ تا ۲۵ دقیقه وقت نیاز است. حال آن‌که در چینی بهداشتی، که بعضی از قسمت‌های آن به روش ریخته‌گری توپر تولید می‌شود، زمان لازم برای ایجاد بدنه‌ای به ضخامت ۱۰ تا ۱۱ میلی‌متر، حدود ۱/۵ تا ۲ ساعت است.

می‌توان گفت، زمان ریخته‌گری توپر عموماً طولانی می‌شود، زیرا ضخامت محصول آن زیاد است. نکته‌ی دیگر این‌که در چینی بهداشتی دو دیواره‌ی گچی خواهیم داشت که حدود ۱۰ تا ۱۱ میلی‌متر از یک‌دیگر فاصله دارند. با شروع ریخته‌گری، جداره‌ها از هر دو طرف تشکیل می‌شوند. این توضیح که هرچه ضخامت این دو جداره زیادتر می‌شود، فضای بین آن‌ها کم‌تر می‌گردد تا جایی که این دو جداره در قسمت میانی به یک‌دیگر وصل می‌شوند.

از جمله مواردی که به این روش شکل داده می‌شوند بعضی از دیرگذاهاست. اما آن‌چه در

این مورد اهمیت یافته تهیهی دوغاب با روش پرس و شکل دادن پلاستیک است. زیرا یک نواختی بیش‌تری را ایجاد می‌کند. با این روش مواد اولیه را به‌صورت دوغاب تهیه می‌کنند و سپس با کاهش مقدار آب، آن‌ها را به صورت گل یا پودر درمی‌آورند.

## مروری بر روان‌سازی

همیشه آماده‌سازی دوغاب مناسب، از ترکیب رُسی، آسان نیست. چون اولاً نوع رس‌ها با یک‌دیگر تفاوت دارند؛ ثانیاً هنگامی که در مجاورت با مواد مختلف قرار می‌گیرند، واکنش متفاوتی از خود نشان می‌دهند. از طرف دیگر انتخاب مقادیر مختلف آب، واکنش جریانی دوغاب را شدیداً تغییر می‌دهد. در عین حال دوغاب آماده باید دارای خواص مناسبی باشد تا بتوان محصولی خوب با خواص مطلوب تولید کرد. باید اضافه کرد شرایط مطلوب برای دسترسی به دوغاب مناسب ریخته‌گری، از طریق تجربه و آزمایش به‌دست می‌آید.

گفته شد که تمامی تلاش‌ها باید در تدارک دوغابی با خواص مناسب باشد. روان‌سازها به کمک آمده‌اند تا بتوان دوغابی با درصد آب کم‌تر تهیه کرد. مقدار آب دوغاب، در وضعیت ثابت و در ابتدا، به نوع و مقدار ماده‌ی جامد بستگی دارد؛ برای مثال دوغاب‌هایی را مقایسه کنید که یکی حاوی مواد رسی و دیگری دارای مواد غیررسی باشد. طبیعی است که در وضعیت یکسان درصد آب لازم برای این دو با یک‌دیگر متفاوت است. دوغاب رسی برای روان شدن، به آب بیش‌تری نیازمند است.

کربنات سدیم و سیلیکات سدیم از جمله روان‌سازهای معدنی (غیرآلی) متداول‌اند که در صنعت، کاربرد زیادی دارند. از روان‌سازهای دیگر می‌توان تری‌پلی‌فسفات سدیم را نام برد. روان‌سازهای آلی مانند پلی‌وینیل آمین، اتیلن آمین و پلی‌آکریلات سدیم، نیز بر همین اساس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

عامل مهم در آمیز رُسی، حضور ذرات کلوئیدی<sup>۱</sup> رس است که با مواد شیمیایی افزوده شده واکنش می‌کنند. در واقع سیال بودن دوغاب به دافعه‌ی بین این ذرات بستگی دارد و کم‌ترین ویسکوزیته (بیش‌ترین سیال بودن) را با شناخت میزان و نوع ذرات کلوئیدی می‌توان ایجاد کرد.

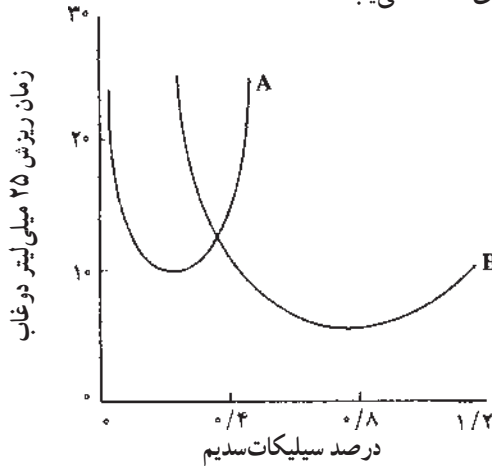
ذرات رس در آب باردار هستند اگر بین ذرات نیروی جاذبه وجود داشته باشد ذرات به هم متصل شده و سیالیت دوغاب کاهش می‌یابد. با افزودن روانسازها به دوغاب، بین ذرات رس نیروی دافعه پدید می‌آید که باعث افزایش سیالیت دوغاب (کاهش ویسکوزیته) می‌شود.

---

۱- تعریف کلوئید: یک سیستم کلوئیدی به‌صورت یک فاز دیسپرز (پخش‌شده) که حداقل یک بعد آن دارای اندازه بین

۱ نانو تا ۱ میلی‌متر در یک سیستم مایع باشد. مثلاً سیستم ذرات کلوئیدی رس در سیستم آب.

به نمودار ۲-۴ توجه کنید. منحنی A مربوط به دوغابی با ۷/۵ درصد رس بوده و دوغاب B دارای ۱۵ درصد رس است. همان گونه که مشاهده می کنید، دوغابی که مقدار رس آن بیش تر است، می تواند به ویسکوزیته ی کم تری (سیال بودن بیش تری) دست یابد. گرچه به مقدار روان ساز بیش تری نیازمند است؛ یعنی کم ترین ویسکوزیته یا بیش ترین سیال بودن برای دوغاب A با حدود ۰/۳۵٪ روان ساز و در مورد دوغاب B با ۰/۸٪ روان ساز ایجاد می شود، اما دوغاب B بهتر روان می گردد؛ یعنی به ویسکوزیته ی کم تری دست می یابد.



نمودار ۲-۴- منحنی تغییرات ویسکوزیته (زمان ریزش) دو نوع رس بر حسب مقدار سیلیکات سدیم

روان سازهای غیر آلی دیگری مانند آلومینات سدیم به کار گرفته شده اند، اما این روان سازها، دو عیب مشخص دارند که کاربرد آن ها را محدود می کند:

نخست این که باعث ورود قلیایی ها به دوغاب می شوند و می دانید که قلیایی ها نقطه ی ذوب سیستم را کاهش می دهند و دیگر آن که بعضی نمک ها، به خصوص نمک های سدیمی در مجاورت قالب گچی، تشکیل سولفات سدیم می دهند که در آب محلول هستند. در نتیجه موجب تجزیه ی قالب گچی می شوند و عمر آن ها را کاهش می دهند.

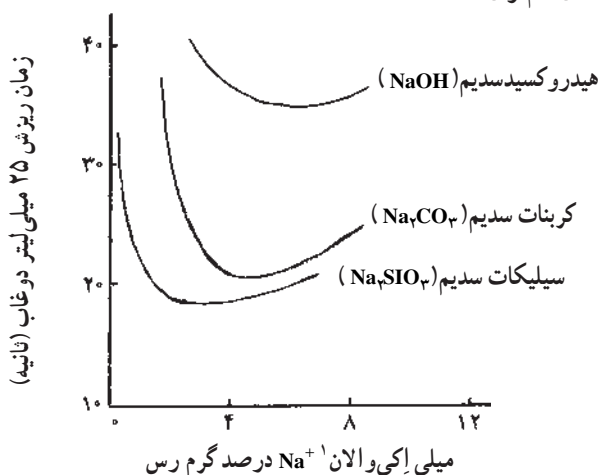
در مصرف روان سازهای آلی، این عیوب مشاهده نمی شود. به خصوص این که روان سازهای آلی هنگام خشک شدن و پختن از بدن خارج می شوند و هیچ خاکستری از خود به جای نمی گذارند. به هر حال، باید اذعان کرد که روان سازهای آلی ضمن این که گرانند هنگام مصرف بوی نامطبوعی ایجاد می کنند.

امروزه در صنایع سرامیک از روان سازهای آلی استفاده می شود. در نمودار ۲-۵ اثر افزودن

روان‌سازهای مختلف بر روی سیال بودن دوغاب نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود با افزودن هر نوع روان‌ساز ویسکوزیته به تدریج کاهش می‌یابد؛ یعنی دوغاب سیال‌تر می‌گردد. اما اگر درصد روان‌ساز، مصرف شده از حد معینی بیش‌تر شود مجدداً ویسکوزیته زیاد می‌شود؛ یعنی، با کاربرد بیش از حد روان‌ساز، مجدداً سیال بودن دوغاب کاهش می‌یابد.

معمولاً مقدار روان‌سازی که به دوغاب، برحسب وزن خاک خشک، اضافه می‌شود، حدود ۰/۲ تا ۰/۵ درصد است.

سیلیکات سدیم در نمودار ۵-۲ بیش‌ترین اثر را بر سیالیت دارد؛ یعنی با استفاده از سیلیکات سدیم می‌توان به ویسکوزیته‌ی کم‌تری دست یافت.



نمودار ۵-۲- منحنی تغییرات ویسکوزیته (زمان ریزش) برحسب نوع روان‌ساز مصرفی

خاطرنشان می‌شود هر نوع رسی با یک نوع روان‌ساز بهترین نتیجه را می‌دهد. گاهی برای یافتن بهترین سیالیت مخلوطی از دو یا چند روان‌ساز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به مطالب گفته شده، همیشه تهیه‌ی دوغاب با خواص جریانی مطلوب به سادگی مقدور نیست، زیرا هم در آب و هم در خاک‌های معدنی یون‌های فلوکولانت<sup>۱</sup> یافت می‌شود که بر روان‌سازی اثر منفی می‌گذارند.

۱- اِکی‌والان ظرفیت تبادل یونی عبارت است از اِکی‌والان یون‌های قابل تعویض به ازای جرم یا حجم واحد ماده مبادله‌کننده یون.

۲- موادی که سبب فلوکولاسیون (بستن) دوغاب می‌شوند و ویسکوزیته‌ی آن را زیاد می‌کنند.

در جدول ۲-۱ روان‌سازهای متداول صنعت سرامیک را مشاهده می‌کنید.

جدول ۲-۱- روان‌سازهای متداول صنعت سرامیک

روان‌سازهای غیر آلی (معدنی)	روان‌سازهای آلی
کربنات سدیم	پلی‌اکریلات سدیم
سیلیکات سدیم	پلی‌اکریلات آمونیم
یورات سدیم	سیترات سدیم
تری‌پلی فسفات سدیم	تارتارات سدیم
	پلی‌سولفونات سدیم
	سیترات آمونیم

### ویژگی‌های دوغاب روان‌سازی شده

دوغاب روان‌سازی شده، باید تقریباً واکنش ثابتی از خود نشان دهد. بنابراین، لازم است مبنایی وجود داشته باشد که با اندازه‌گیری آن‌ها بتوان به خواص جریانی دوغاب پی برد. این عوامل عبارت‌اند از:

۱- درصد آب دوغاب،

۲- ویسکوزیته‌ی دوغاب،

۳- وزن لیتر یا دانسیته‌ی دوغاب،

۴- (pH) دوغاب.

۱- درصد آب دوغاب: ترجیح داده می‌شود مقدار درصد آب دوغاب به حداقل برسد. از

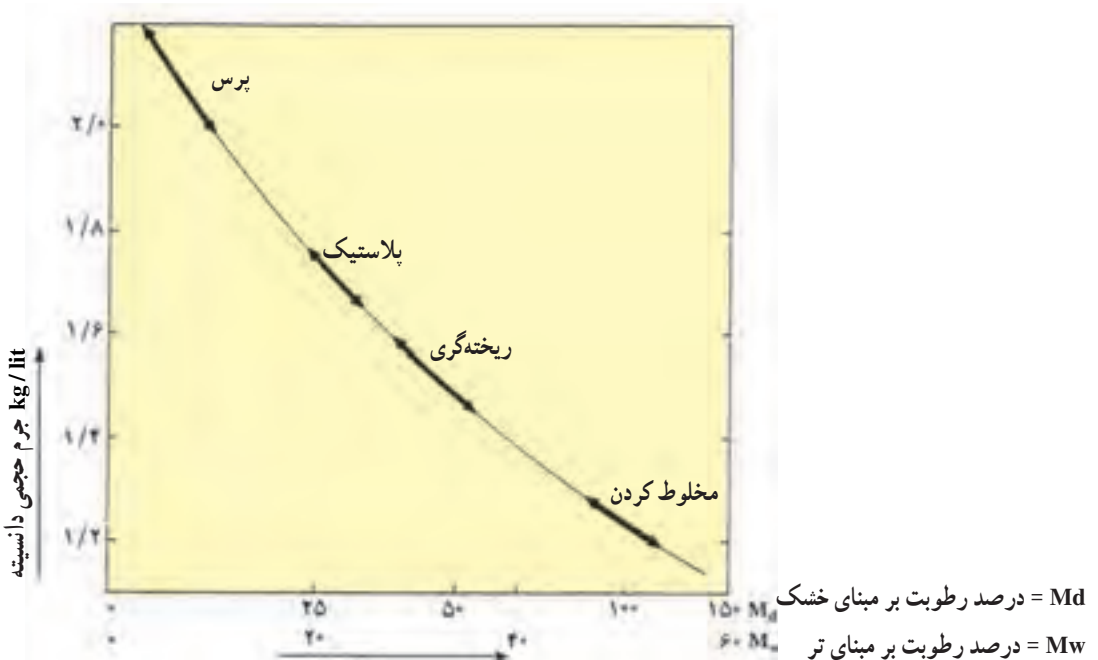
این‌رو، جنس «آمیز» انتخاب شده با اهمیت خواهد بود. هر چه میزان مواد رُسی «آمیز» افزایش یابد، دوغاب به آب بیش‌تری، نیازمند است. اما از دیگر سو، افزایش مواد رُسی، قابلیت روان‌سازی دوغاب را بهبود می‌بخشد.

محدوده‌ی درصد آب برای دوغاب‌ها، مطابق جدول ۲-۲ است.

جدول ۲-۲

نوع آمیز	درصد آب بر مبنای تر
فایر کلی	۱۶ - ۱۸
استون ور	۲۰ - ۲۲
ارتن ور و چینی نرم	۲۳ - ۲۸
چینی سخت	۲۸ - ۳۰
چینی استخوانی (بدون دی فلوکولانت)	۵۰
چینی استخوانی (با دی فلوکولانت)	۳۵

طبیعی است این ارقام با تغییر جنس و اندازه‌ی ذرات آن‌ها، اندکی تغییر می‌یابد. هرچه درصد آب کاهش یابد، سرعت ریخته‌گری زیادتر و زمان آن کوتاه‌تر می‌شود. هم‌چنین انقباض و زمان خشک شدن قطعه نیز کاهش می‌یابد و همان‌طور که می‌دانید در مجموع هزینه‌ی تولید نیز پایین می‌آید.



درصد افزایش رطوبت نمودار ۲-۶ - درصد آب دوغاب بدنه برای ریخته‌گری دوغابی بین ۲۷ تا ۳۵ مقدار است.

۲- ویسکوزیته‌ی دوغاب: ویسکوزیته عکس سیال بودن است. دوغاب مناسب برای ریخته‌گری باید دارای ویسکوزیته‌ی مناسبی باشد. افزایش درصد آب و انتخاب نوع و مقدار روان‌ساز، بر روی ویسکوزیته تأثیر می‌گذارد. به‌خصوص با استفاده از روان‌ساز مناسب، بدون این که مقدار آب افزایش یابد، می‌توان کاهش چشم‌گیری در ویسکوزیته‌ی دوغاب ایجاد کرد. معمولاً ویسکوزیته‌ی دوغاب چینی حدود ۴ تا ۵ پواز (دسی پاسکال ثانیه) است. اگرچه در عمل بیش‌تر از ویسکوزیته‌ی ریزشی برای سنجش سیالیت مناسب استفاده می‌شود.

اندازه‌ی ویسکوزیته به دو روش صورت می‌گیرد:

الف- روش غیرمستقیم: در این روش، حجم مشخص از دوغاب را (مثلاً  $100 \text{ cc}$ ) در ظرفی به شکل قیف با ابعاد مشخص (ویسکوزیتمتر ریزشی) می‌ریزند؛ سپس زمان خروج دوغاب از قیف را اندازه‌گیری می‌کنند. هرچه ویسکوزیته‌ی دوغاب کم‌تر باشد، زمان به‌دست آمده نیز کم‌تر خواهد بود. هرچند زمان ریزش دوغاب (t) واحد ویسکوزیته نیست، به‌طور غیرمستقیم نشان دهنده‌ی ویسکوزیته (نا روانی) دوغاب است. ضمن این که هرچه زمان ریزش کم‌تر باشد دوغاب روان‌تر است.



شکل ۲-۷- ویسکوزیتمتر چرخشی

ب- روش مستقیم: در این روش دوغاب آماده را کاملاً به هم می‌زنند؛ سپس آن را زیر دستگاه ویسکوزیتمتر چرخشی قرار می‌دهند. این دستگاه دارای میله‌ای است که به انتهای آن یک صفحه‌ی مدور وصل شده است. این صفحه در داخل دوغاب به چرخش درمی‌آید. هرچه دوغاب سفت‌تر باشد، چرخش صفحه کندتر می‌شود و نیروی لازم برای چرخش افزایش می‌یابد. با اندازه‌گیری مقاومت دوغاب در مقابل چرخش ویسکوزیته دوغاب مستقیماً به دست می‌آید (شکل ۲-۷).

۳- دانسیته‌ی دوغاب: سومین فاکتور قابل اندازه‌گیری دوغاب، دانسیته یا وزن لیتر آن است. در یک

ظرف یک لیتری که قبلاً وزن شده، دوغاب ریخته می‌شود؛ سپس وزن ظرف حاوی دوغاب محاسبه می‌شود. از تقسیم وزن دوغاب به حجم آن (یک لیتر)، دانسیته‌ی آن به‌دست می‌آید. هرچه درصد مواد جامد بیش‌تر باشد، دانسیته‌ی آن بیش‌تر خواهد بود. معمولاً دانسیته‌ی دوغاب بدنه‌ی چینی بین  $1/6$  تا  $1/8$  گرم بر سانتی متر مکعب است. حال آن که معمولاً دانسیته‌ی دوغاب لعاب بین  $1/3$  تا  $1/6$

گرم بر سانتی متر مکعب قرار دارد و دانسیته‌ی مناسب دوغاب لعاب متناسب با روش اعمال لعاب بر بدنه (ریزش، اسپری یا غوطه‌وری) تعیین می‌گردد.

۴- pH) دوغاب: حل شدن نمک‌های مختلف در دوغاب، اثر مستقیمی بر روی اسیدیته یا بی‌هاش سیستم دارد، برای مثال فلوکولاسیون در پی‌هاس‌های کم، اتفاق می‌افتد؛ حال آن‌که دی‌فلوکولاسیون در محدوده‌ی بی‌هاش (بین ۶ تا ۸) روی می‌دهد؛ بنابراین، با اندازه‌گیری بی‌هاش دوغاب به وسیله‌ی بی‌هاش متر، از نظر تجربی می‌توان بسیاری از خصوصیات دوغاب را بررسی کرد. پس از شناخت فاکتورهای قابل اندازه‌گیری دوغاب، ویژگی دوغاب مناسب برای ریخته‌گری را از نظر تجربی می‌توان چنین بیان کرد:

هنگامی که دوغاب بدنه به وسیله‌ی همزن شیشه‌ای به هم زده می‌شود، باید پشت همزن شیار ایجاد شود، ولی به‌زودی محو گردد. هم‌چنین اگر همزن از دوغاب بیرون کشیده شود، باید دوغاب از اطراف آن به صورت یک پارچه فرو بریزد (قطره قطره نچکد). در ضمن دوغاب باید برای مدتی به حال خود گذاشته شود (حدود ۲۴ ساعت) و رویه نبنند و در صورت رویه بستن باید در اولین هم‌زدن‌ها، این رویه مجدداً در دوغاب حل شود. در نهایت باید گفت: دوغاب نباید به‌سادگی ته‌نشین شود و رسوب کند.

برای رسیدن به حد مطلوب در دوغاب، عموماً آن را دست کم به مدت ۲ ساعت هم می‌زنند؛ سپس آن را ۲۴ ساعت به حال خود باقی می‌گذارند، زیرا زمان، اثر مطلوبی بر روی بروز خواص ثابت در دوغاب دارد. این خاصیت کهنگی نام دارد که در سرامیک از اهمیت خاصی برخوردار است. پس از طی این مراحل، آزمایش‌هایی بر روی دوغاب انجام می‌گیرد و در صورت مثبت بودن نتایج، برای مصرف به سالن‌های ریخته‌گری ارسال می‌شود.

## تشکیل جداره

هنگامی که دوغاب در تماس با قالب گچی قرار می‌گیرد، به دو دلیل جداره تشکیل می‌شود:

- ۱- جذب آب دوغاب به وسیله‌ی قالب گچی: به دلیل وجود تخلخل و لوله‌های موئین در قالب گچی، آب دوغاب لایه‌ی مجاور قالب به سرعت جذب می‌گردد و لایه‌ای از گل سفت بر روی جداره تشکیل می‌شود. این پدیده چگونه اثبات می‌شود؟

اگر این دوغاب در یک قالب متخلخل غیرگچی (مانند یک بدنه‌ی سفال) ریخته شود، به سبب جذب آب قالب متخلخل، باز هم بر روی بدنه‌ی قالب، جداره تشکیل می‌شود.



۲- تعویض یونی: هنگامی که دوغاب در تماس با جداری قالب گچی قرار می‌گیرد، در واقع یون کلسیم موجود در گچ وارد دوغاب می‌شود، آن را «فلوکوله» می‌کند؛ یعنی، در محل تماس، فلوکولاسیون رخ می‌دهد که منجر به تشکیل جداره می‌گردد.

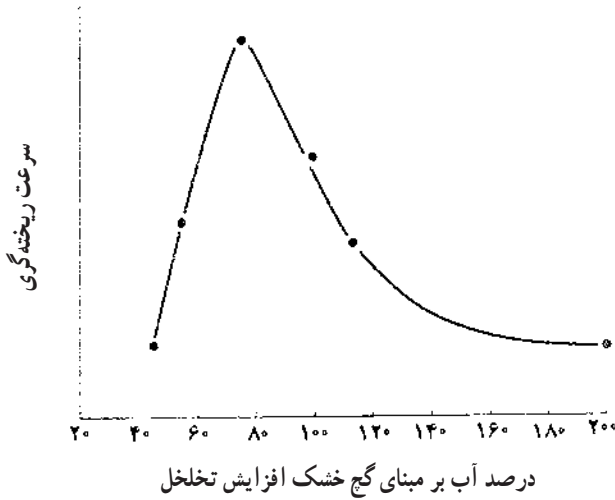
باید تأکید کرد که این پدیده، مهم‌ترین دلیل تشکیل جداره در قالب گچی در لحظات اولیه است. در ادامه با گذشت زمان، مکانیسم افزایش ضخامت جداره، بیش‌تر همان جذب آب به‌وسیله‌ی قالب است. یک آزمایش ساده موارد مطرح شده را ثابت می‌کند. اگر یک ظرف شیشه‌ای را که با محلول سولفات کلسیم<sup>۱</sup> پر شده است، تخلیه و خشک کنید، بر روی جداری ظرف شیشه‌ای که جذب آب ندارد یک لایه‌ی نازک سولفات کلسیم بر جای می‌ماند. حال با ریختن دوغاب سرامیکی در داخل آن، پس از مدتی، هنگامی که دوغاب تخلیه شود مشاهده می‌کنید که لایه‌ای نازک از گل، اما محکم بر روی جداری شیشه‌ای تشکیل شده است. حال آن که هیچ‌گونه جذب آبی صورت نگرفته است.

به نظر شما دلیل تشکیل این جداره چیست؟ در پاسخ می‌توان گفت تشکیل این لایه‌ی سخت، به دلیل وجود ذرات سولفات کلسیم بر روی جداری شیشه است و همین باعث فلوکولاسیون دوغاب در سطح ظرف می‌شود.

رابطه‌ی تشکیل جداره با زمان و قالب: اگر زمان نگاه‌داری دوغاب در قالب افزایش یابد، ضخامت جداری تشکیل شده نیز زیادتر می‌شود. اما این نوعی رابطه‌ی خطی نیست. در واقع سرعت ریخته‌گری در ابتدای فرآیند زیاد است، اما هرچه ضخامت جداره بیش‌تر شود، سرعت ریخته‌گری کندتر می‌گردد. این بدان معنی است که گرچه افزایش زمان ریخته‌گری، ضخامت قطعه را زیاد می‌کند، اما سرعت تشکیل جداره را به تدریج می‌کاهد.

از سوی دیگر، قالب، در تشکیل جداره و ضخامت آن بسیار تأثیرگذار است. هرچه مقدار آب در ساخت قالب گچی بیش‌تر باشد، قالب پس از خشک شدن، تخلخل و لوله‌های مویین بیش‌تری خواهد داشت. پس انتظار می‌رود ریخته‌گری با قالبی که درصد تخلخل بیش‌تری دارد، سریع‌تر انجام گیرد؛ یعنی در یک زمان مساوی جداری تشکیل شده در قالب با تخلخل بیش‌تر، ضخیم‌تر باشد (نمودار ۸-۲).

۱- گچ همان سولفات کلسیم آبدار  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  است.



نمودار ۸-۲- منحنی تغییرات سرعت ریخته‌گری (ضخامت) بر حسب درصد آب قالب

توجه کنید: اگر درصد آب لازم برای ساخت قالب گچی از حد معینی (۹۵ درصد) بیش‌تر شود، مجدداً سرعت ریخته‌گری کاهش می‌یابد. چون قدرت مکش لوله‌های موئین کم‌تر می‌شود. درصد آب لازم برای ساخت قالب‌های معمولی، بین ۷۵ تا ۹۵ درصد وزن خشک گچ است؛ یعنی برای ۱۰۰ گرم گچ، بین ۷۵ تا ۹۵ گرم آب احتیاج است.

**عیوب ریخته‌گری دوغابی و راه‌های برطرف کردن آن‌ها:** بعضی از عیوب، فقط در قطعاتی مشاهده می‌شوند که از ریخته‌گری دوغابی تهیه می‌گردند. این عیوب عبارت‌اند از:

۱- دایره دایره شدن (ایجاد دوایر)

۲- خط درز

۳- سوراخ‌های سنجاقی

۴- لکه یا خال ریخته‌گری

۱- **دایره دایره شدن (ایجاد دوایر):** در صورتی که در ریختن دوغاب به داخل قالب توقفی پیش‌آید، پس از خارج شدن قطعه از قالب در محل تماس دوغاب با قالب گچی، خطوط دایره شکلی دیده می‌شود که پس از پخت جلای شیشه‌ای می‌یابد و احتمال دارد در صورت اعمال لعاب شفاف (ترانس) پس از پخت لعابی این دوایر دیده شوند. به این عیب، عیب دایره دایره شدن می‌گویند.

این پدیده، با زیاد شدن قدرت جذب آب قالب، تشدید می‌شود. برای آن می‌بایست ریختن دوغاب در قالب با سرعت یکنواخت و بدون توقف صورت گیرد.

شاید بتوان گفت که دلیل اصلی بروز این عیب، ترکیب «آمیز» بدنه است؛ به خصوص اگر در آن میکا وجود داشته باشد. چون میکا به صورت یک لایه‌ی فوقانی از سایر اجزای دوغاب جدا می‌شود و هنگام ریختن در قالب، رویه‌ی بدنه را تشکیل می‌دهد. به طور کلی با کاهش یا حذف میکا، هم‌چنین کاهش ذرات کلوئیدی این عیب را می‌توان برطرف نمود.

**۲- عیب خط درز:** بیش‌تر قالب‌هایی که در ریخته‌گری دوغابی استفاده می‌شوند، چند تکه هستند؛ بنابراین، به هنگام تشکیل جداره، مقدار کمی دوغاب به داخل درزها نفوذ می‌کند، در نتیجه با باز کردن قالب، زوایدی بر روی جداره‌ی درزها به صورت برجسته باقی می‌ماند. این عیب در بدنه‌های بدل‌چینی به سادگی و به وسیله‌ی کاردک و اسفنج مرطوب برطرف می‌شود، اما در بدنه‌های چینی سخت، این عیب حتی بعد از پخت نیز آشکار می‌شود و به سادگی رفع نمی‌شود.

دلیل این موضوع، جهت‌گیری ذرات است. در بدنه‌ی چینی استخوانی، در صورتی که در حین ریخته‌گری به محل درزها ضربه زده شود، این جهت‌گیری در درزها به صورت اتفاقی خواهد بود و این عیب کاهش می‌یابد. به شرط این که در مرحله‌ی پرداخت کاری (در حالت نیمه‌عادی) زواید به‌خوبی پاک شده باشند، اما منحصراً در بدنه‌های چینی سخت می‌توان پرداخت کاری خط درز را بعد از پخت بیسکویت و به وسیله‌ی چرخ سنباده انجام داد تا اثر آن پس از پخت مشاهده نشود.

**۳- عیب سنجاقی:** گاهی بر روی سطوح بدنه‌ی ریخته‌گری شده، سوراخ‌هایی به اندازه‌ی ته‌سنجاق بر روی بدنه (بدون لعاب) مشاهده می‌شود. این عیب به دلیل حبس حباب‌های ریز هوا در دوغاب است، هنگامی که این حباب‌ها در سطوح خارجی بدنه قرار گرفته باشند. بنابراین، هر عامل ایجادکننده‌ی حباب در دوغاب باعث بروز این عیب می‌گردد. ویسکوزیته‌ی زیاد دوغاب و هم‌زدن سریع، آن دلایل بروز این پدیده‌اند.

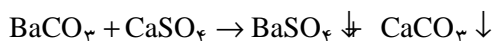
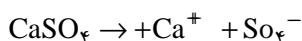
**۴- لکه یا خال ریخته‌گری:** به علت تخلیه نامناسب دوغاب و ماندن قطره در ته قطعه عیب لکه یا خال ریخته‌گری بوجود می‌آید که با تخلیه تحت زاویه  $45^\circ$  دوغاب از قالب می‌توان از این عیب جلوگیری نمود و یا در برخی موارد اولین قطره دوغاب در تماس با قالب گچی سریع خشک شده و یک لکه یا برآمدگی در ته قطعه ایجاد می‌نماید که با آرامی و یک‌نواخت ریختن دوغاب از این عیب هم می‌توان جلوگیری کرده و یا آن را به حداقل رساند.

برای جلوگیری از بروز این عیب، می‌توان هنگام ریختن دوغاب، ظرف دوغاب را با فاصله‌ی نزدیک‌تری به قالب نگه داشت و یا در صورت امکان هنگام ریختن دوغاب، قالب را چرخاند.

## ویژگی های دوغاب برگشتی

گفته شد در ریخته‌گری توخالی، دوغاب مازاد تخلیه می‌شود. دوغاب‌های تخلیه شده از نظر درصد آب، دانسیته و ویسکوزیته دست‌خوش تغییراتی شده‌اند. بنابراین، برای استفاده‌ی مجدد از آن‌ها، می‌توان با جمع کردن آن‌ها در یک حوضچه، نسبت به تنظیم مجدد آن‌ها اقدام کرد.

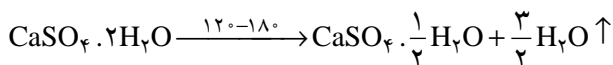
یکی از مهم‌ترین تغییراتی که ممکن است در دوغاب برگشتی روی دهد، وارد شدن یون کلسیم ( $\text{Ca}^+$ ) از طریق قالب گچی است که دوغاب را فلوکوله می‌کند. اثر این یون‌ها را می‌توان با افزودن حداکثر ۱/۸ درصد برمبنای خشک، کربنات باریم از بین برد. به این واکنش دقت کنید:



در نتیجه، یون مزاحم کلسیم ( $\text{Ca}^+$ ) ناشی از سولفات کلسیم با کربنات باریم واکنش داده و به صورت کربنات کلسیم رسوب می‌کند. بنابراین، اثر مخرب یون‌های فلوکوله‌کننده از بین می‌رود؛ ترکیبات تشکیل شده (کربنات کلسیم و سولفات باریم) در آب نامحلول هستند.

## گچ و قالب‌های گچی

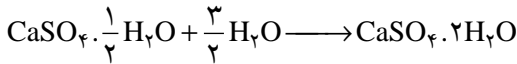
گچی که در صنعت سرامیک استفاده می‌شود، سولفات کلسیم با نیم‌مول آب است ( $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ )،  $\text{CaSO}_4$  و از پخت سنگ گچ به دست می‌آید، که مینرال عمده‌ی آن ژیس ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) است. دمای لازم برای این عمل، بین  $120^\circ$  تا  $180^\circ$  سانتی‌گراد است.



در تولید گچ قالب‌سازی، باید بسیار دقت نمود تا محصول از نظر ترکیب و ناخالصی، در حد مطلوب باشد.

بهترین نوع گچ، گچ  $\alpha$  نام دارد که نسبت به نوع  $\beta$  خواص بهتری را داراست. اما به دلیل گرانی، روش تولید گچ مورد مصرف در صنایع سرامیک مخلوطی از  $\alpha$  و  $\beta$  است که البته درصد بیش‌تری از آن را  $\beta$  تشکیل می‌دهد. در فرآوری گچ، فاز  $\alpha$  ویژگی‌های خوبی مانند استحکام بالا، اندازه‌ی کریستال‌های درشت‌تر و تبلور بیش‌تر از خود نشان می‌دهد. اما در گچ مصرفی برای ریخته‌گری دوغابی حضور هر دو فاز  $\alpha$  و  $\beta$  به صورت مخلوط نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

می‌دانیم که مخلوط حاصل از گچ و آب به تدریج سفت می‌شود؛ این عمل را «گیرش گچ» می‌گویند. در واقع، گچ در مجاورت آب مجدداً با جذب آب به صورت بلورهای ژئیس متبلور می‌شود. این واکنش گرمازاست.



در حقیقت با این عمل کریستالیزاسیون رخ می‌دهد و به هنگام تبلور، بلورهای سوزنی شکل ژئیس در هم فرو می‌روند و یک توده‌ی سخت و محکم را تشکیل می‌دهند.

سرعت گیرش گچ، بسته به نوع ماده‌ی اولیه و شرایط تشکیل محصول، متفاوت است. اما می‌توان با مواد افزودنی، گیرش آن را سرعت بخشید یا کند کرد.

برخی افزودنی‌ها به دوغاب گچ موجب کندشدن یا تسریع گیرش می‌شوند، سریشم، بوراکس و برخی چسب‌های آلی کندکننده و سولفات، نترات و کلرید پتاسیم تسریع‌کننده‌ی گیرش گچ‌اند.

با مروری بر درس‌های گذشته درمی‌یابید که در ساخت سرامیک‌ها، چه در روش پلاستیک و چه ریخته‌گری دوغابی، از قالب‌های گچی استفاده فراوانی می‌شود؛ بنابراین، گچ و قالب‌های گچی در صنعت سرامیک اهمیت بسیار زیادی دارند.

ویژگی‌های قالب مناسب برای ریخته‌گری دوغابی با قالبی که در روش پلاستیک دستگامی به کار گرفته می‌شود، متفاوت است، بنابراین، می‌توان به این نکات اشاره کرد:

۱- قالب‌های مورد استفاده در ریخته‌گری دوغابی باید تخلخل بیش‌تری داشته باشند.  
 ۲- در شکل دادن پلاستیک دستگامی، قالب‌ها باید استحکام بیش‌تر و در نتیجه تخلخل کم‌تری داشته باشند.

۳- در ساخت قالب‌های اصلی و مادر باید کم‌ترین تخلخل در نظر گرفته شود. چون در این نوع قالب‌ها، تراکم و استحکام بالا بسیار مورد توجه است.

هر قالب گچی برای روش پلاستیک دستگامی حدود ۳۰ درصد تخلخل دارد و عمر مفید آن حدود ۲۰۰ سیکل در تولید است، اما در ریخته‌گری دوغابی درصد تخلخل حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد است و بسته به نوع محصول بین ۵۰ تا ۶۰ سیکل در تولید به کار می‌روند.

از گچ ساختمانی نمی‌توان در ساخت قالب‌های سرامیکی استفاده کرد زیرا از نظر نوع فاز، خلوص و خواص فیزیکی مناسب نیست. گچ قالب‌سازی در شرایط کنترل‌شده‌ای تولید می‌شود تا ویژگی‌های لازم را داشته باشد.

## کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در صنایع مختلف سرامیکی

تا به حال با اهمیت و کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در تولید انواع محصولات سرامیکی



شکل ۹-۲- بوت‌های آلومینایی که به روش ریخته‌گری دوغابی (غیر رسی) ساخته شده‌اند.

آشنا شده‌اید. قوری، قندان، گلدان، چینی‌های بهداشتی، حتی فنجان و دیرگدازها و ... از جمله محصولاتی هستند که به این روش تولید می‌شوند. امروزه ریخته‌گری دوغابی با مواد غیر رسی، در صنایع نوین سرامیک، اهمیت به‌سزایی یافته است. معمول این است که آلومینا، سیلیکا، منیزیا، کاربید سیلیسیم و نظایر آن را با مواد افزودنی مناسب به‌صورت دوغاب درمی‌آورند، سپس دوغاب حاصل‌شده را در یک قالب متخلخل، مانند گچ، می‌ریزند و بدین ترتیب محصول موردنظر را شکل می‌دهند. بخش عمده‌ای از سرامیک‌های نوین و

مهندسی که در صنایع پیشرفته‌ی امروز به‌کار می‌روند، با این روش تولید می‌شوند. بوت‌ها، لوله‌ها و شکل‌های خاصی از جنس آلومینا و کاربید سیلیسیم و کاست‌های نسوز (ساگار) کلاهدک رادارهای پرنده نیز از جمله فرآورده‌هایی هستند که با این روش تولید می‌شوند.

در بعضی از این روش‌ها برای تهیه‌ی دوغاب به‌جای آب، از مایعات دیگری نظیر الکل و محلول‌های آلی استفاده می‌شود.

تنوع و گستردگی کاربرد روش ریخته‌گری دوغابی در صنایع مربوط به سرامیک‌های نوین، روزبه‌روز در حال افزایش است و اهمیت آن بیش‌تر می‌شود.

## مزایا و نقاط ضعف روش ریخته‌گری دوغابی

شاید بتوان گفت مهم‌ترین مزیت این روش، امکان تولید قطعات پیچیده است. با این توضیح که به‌وسیله‌ی گچ می‌توان از یک قطعه‌ی خاص، قالب‌های چند تکه تهیه کرد؛ سپس دوغاب تهیه شده را درون قالب ریخت و قطعات توخالی یا توپر را تولید نمود؛ یعنی قطعاتی که امکان شکل دادن آن به‌وسیله‌ی دیگر روش‌ها وجود ندارد یا از نظر اقتصادی مقرون به‌صرفه نیست، زیرا ساخت قالب‌های فلزی، مشکل و پرهزینه است.

از طرف دیگر، باید گفت که در فرآیند شکل دادن به روش ریخته‌گری دوغابی، به تجهیزات و دستگاه‌های پیچیده و گران، نیازی نیست.

با این همه، این روش کاستی‌هایی نیز دارد. پیش‌تر گفته شد که مثلاً سرعت تولید آجر ساختمانی با روش اکستروژن به ۲۰۰۰۰ قالب در ساعت نیز می‌رسد و یا سرعت تولید یک فنجان در روش رولر ۲۰ عدد در دقیقه است. حال آن که زمان لازم برای تشکیل جداره در قالب گچی حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه و در برخی موارد به ۱/۵ تا ۲ ساعت نیز می‌رسد.

بنابراین، «زمان بر بودن تولید به روش ریخته‌گری دوغابی» را می‌توان ضعف عمده‌ی این روش به‌شمار آورد. گرچه با افزایش تعداد قالب و روش‌های خاصی چون ریخته‌گری تحت فشار و چرخش قالب حین ریخته‌گری، می‌توان تا حدی سرعت تولید را در این روش بهبود بخشید. از طرف دیگر، چون انقباض قطعاتی که از ریخته‌گری دوغابی تولید می‌شوند زیاد است، تنظیم ابعاد محصولات در این روش دشوار خواهد بود.

## پرسش‌های فصل دوم

- ۱- مهم‌ترین مزیت روش ریخته‌گری دوغابی چیست؟
- ۲- انواع ریخته‌گری دوغابی کدام است؟
- ۳- دلایل استفاده از روان‌سازها را در دوغاب‌های ریخته‌گری بنویسید.
- ۴- انواع روان‌سازها را تقسیم‌بندی کنید و چند مثال بزنید.
- ۵- مقدار روان‌ساز مصرفی، برحسب وزن خشک «آمیز»، عموماً چه قدر است؟
- ۶- فاکتورهای قابل اندازه‌گیری در یک دوغاب کدام‌اند؟
- ۷- چرا درصد آب کم‌تر در دوغاب ترجیح داده می‌شود؟
- ۸- وزن لیتر دوغاب‌های بدنه و لعاب چینی در چه محدوده‌ای قرار دارد؟
- ۹- دلایل تشکیل جداره در قالب گچی را به تفصیل بیان کنید.
- ۱۰- عیوب ریخته‌گری دوغابی را نام ببرید.
- ۱۱- در یک دوغاب برگشتی چگونه می‌توان اثر افزایش یون کلسیم را از بین برد؟
- ۱۲- عوامل تسریع‌کننده و کندکننده‌ی در گچ را تعریف کنید و از هر کدام مثالی بزنید.
- ۱۳- نقش ریخته‌گری دوغابی را در صنایع نوین سرامیک بیان کنید.
- ۱۴- ضعف اصلی روش ریخته‌گری دوغابی چیست؟

## شکل دادن به روش پرس

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود:

- ۱- شکل دهی به روش پرس را تقسیم‌بندی کند.
- ۲- درصد رطوبت برای هر روش را بیان کند.
- ۳- معایب رطوبت بیش از حد را شرح دهد.
- ۴- معایب فشار بیش از حد را توضیح دهد.
- ۵- مواد افزودنی مجاز را برای هر روش ذکر کند.
- ۶- مزایا و محدودیت‌های دو روش پرس را نام ببرد.
- ۷- نحوه‌ی کار پرس ایزواستاتیک سرد و گرم را شرح دهد.
- ۸- علت استفاده از روش کوبیدن را بیان کند.
- ۹- محدودیت‌ها و مزایای روش کوبیدن را توضیح دهد.
- ۱۰- دو نمونه از موارد استفاده‌ی روش کوبیدن را نام ببرد.

### شکل دادن به روش پرس

بدنه‌های سرامیکی را می‌توان از طریق فشردن پودر مواد اولیه‌ی آن‌ها که به صورت گرانول درآمده‌اند، تولید نمود. که این فرآیند «پرس» نام دارد به طور کلی شکل دادن پودر به روش پرس برحسب درصد رطوبت موجود در پودر به دو بخش پرس نیمه خشک و پرس خشک طبقه‌بندی می‌شود. اما گاه برای ساخت برخی محصولات، گل مرطوب را پرس می‌کنند. در این حالت رطوبت گل، بسته به نوع ماده‌ی اولیه ممکن است بین ۱۲ تا ۱۸ درصد رطوبت داشته باشد. البته با توجه به حالت گل پلاستیک در برخی از منابع مطالعاتی شکل دادن گل پلاستیک توسط پرس را در بخش شکل دادن پلاستیک مورد بررسی قرار می‌دهند.



**پرس نیمه خشک (Semidry Pressing):** در پرس نیمه خشک درصد رطوبت مواد اولیه بین ۴ تا ۹ درصد است. در این روش مواد اولیه به وسیله ی خشک کن پاشیدنی به صورت گرانول درمی آید، زیرا رطوبت مورد نظر را داراست. اندازه ی این گرانول ها حدود ۵/۵ تا ۲ میلی متر است. روش پرس پودر در ساخت محصولات که شکل نسبتاً ساده ای دارند، کاربرد زیادی دارد. از مهم ترین آن ها می توان کاشی دیواری، کاشی کف، چینی الکتریکی و فرآورده های دیرگداز را نام برد. فرآیند شکل دهی به روش پرس کم تر، به صورت کاملاً اتوماتیک (خودکار) درآمده است. اما در مورد کاشی ها به دلیل شرایط خاص، به صورت اتوماتیک انجام می شود. (شکل ۱-۳)

فشار مورد نیاز در تولید کاشی، حدود ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است، بنابراین، به هر کاشی بر حسب ابعاد آن، بین ۴۰ تا ۱۰۰ تن نیرو وارد می شود. سرعت تولید در این روش در حدود ۳۰۰ تا ۶۰۰ کاشی در ساعت است.

در تولید کاشی نیز درصد رطوبت بین ۶ تا ۹ درصد است. هرچه مقدار رطوبت کاهش یابد،



شکل ۱-۳- پرس نیمه خشک کاشی

درصد انقباض آن کم تر می شود و فشار مورد نیاز برای شکل دادن نیز بیش تر می گردد. یکی از مشکلات شکل دهی به روش پرس پودر، حبس هوا در حین فشردن پودر است. گرانول سازی باعث کاهش بروز این عیب خواهد شد. در واقع این عمل سبب می شود ذرات محکم به یکدیگر بچسبند؛ بنابراین احتمال حبس هوا را کم تر می کند. از طرف دیگر، با گرانول سازی امکان جدا شدن ذرات ریز و درشت از بین می رود و هر گرانول تقریباً ترکیب «آمیز» اصلی را داراست. برای مقابله با مشکل حبس هوا به هنگام فشردن گرانول ها، به خصوص در تولید کاشی، لازم است فشار در دو مرحله یا بیش تر اعمال شود؛ البته در مرحله ی اول، نیروی کمی اعمال می شود. در فاصله ی بین مرحله ی اول و دوم،

هوای ناشی از فشردن پودر خارج می گردد، سپس در مرحله ی دوم، دوباره سمبه ی پرس پایین می آید

و فشار اصلی را اعمال می نماید. در وضعیت خاص ممکن است شکل دادن در ۳ مرحله یا بیش تر نیز انجام شود. مفره های فشار ضعیف نیز با حدود ۱۵ درصد رطوبت با روش پرس تولید می گردند.

**پرس خشک (Dry Pressing):** در این روش، میزان رطوبت بین صفر تا چهار درصد است. بنابراین محصولاتی را می توان با پرس خشک تولید کرد که به رطوبت کم تری نیازمندند. بنابراین مثال آمیزه های با درصد مواد رسی زیاد را به این روش نمی توان شکل داد.

استفاده ی صحیح از چسب و مواد روان کار، خواص پودر را برای پرس بهبود می بخشد. به دلیل استفاده از درصد رطوبت کم، انقباض خشک محصول در این روش، بسیار کم است و گاهی به صفر نیز می رسد. این امر، امتیازی مهم در تولید به شمار می رود؛ زیرا هر چه میزان انقباض کم تر باشد دقت ابعاد محصولات بیش تر می شود؛ یعنی می توان قطعات تولیدی را تقریباً هم اندازه در نظر گرفت.

مزیت دیگر پرس خشک، امکان اتوماتیک کردن سیستم تولید آن است. زیرا شرایط مواد اولیه، امکان چسبیدن محصولات به سنبه های پرس را از بین می برد.

مخلوط مواد اولیه ی مصرفی در این روش نیاز به آماده سازی و ساخت گرانول دارد. در ابتدا مخلوط مواد اولیه با آب، چسب و روان ساز در هم می آمیزد و به دوغاب تبدیل می شود، سپس به وسیله ی فیلتر پرس به صورت کیک در می آید؛ آن گاه کیک ها را خشک می کنند تا به درصد رطوبت مورد نیاز در فرآیند برسند. حال آن ها را خرد می کنند و از الک عبور می دهند تا گرانول ها به اندازه ی دل خواه در آیند.



در روش دیگر گرانول سازی، مواد اولیه را با فشار کمی پرس می کنند و به صورت بلوک یا آجر در می آورند. سپس آن ها را خرد می کنند و از الک عبور می دهند. در صنعت برای ساخت گرانول از خشک کن پاشیدنی (اسپری درایر) استفاده می شود؛ مثلاً برای ساخت کاشی لازم است که مواد اولیه به صورت گرانول در آیند تا بهتر پرس شوند. از این رو مواد اولیه ی بدنه ی کاشی به صورت دوغاب یکنواخت آماده سازی می شود. این دوغاب به کمک یک پمپ با فشار زیاد وارد اسپری درایر می شود. اسپری درایر دارای یک محفظه ی گرم قیفی شکل است.

شکل ۲-۳- دستگاه اسپری درایر

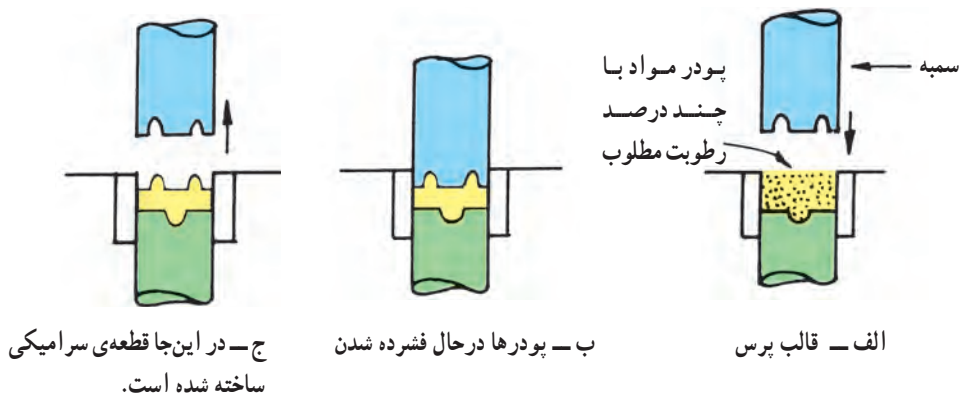
هرگاه دوغاب با فشار زیاد به درون این محفظه پاشیده شود، به صورت قطرات ریز درمی آید و هم‌زمان با سقوط در درون محفظه‌ی گرم خشک نیز می‌شود. دمای اسپری درایر را طوری تنظیم می‌کنند تا گرانول‌های خروجی دارای رطوبت مناسب جهت شکل دادن به روش پرس باشند. محدودیت پرس خشک، نداشتن قابلیت برای شکل دادن به محصولاتی با شکل پیچیده است. هم‌چنین محصولاتی با ضخامت زیاد را نمی‌توان به سادگی با پرس خشک شکل داد. بهترین موقعیت تولید در پرس خشک، دو یا سه مرحله‌ای شدن آن است. با افزایش مراحل پرس، در حقیقت، هم کیفیت محصول افزایش می‌یابد و هم امکان حبس هوا و لایه‌لایه شدن قطعه کم‌تر می‌شود.

گفته شد درصد رطوبت در این روش، بین صفر تا ۴ درصد است. در این محدوده هرچه مقدار رطوبت بیش‌تر شود، اصطکاک بین ذرات و قالب کم‌تر می‌شود و تراکم محصول افزایش می‌یابد. هم‌چنین به سبب این‌که مقدار رطوبت کم است، نیاز به افزودنی‌هایی برای بهبود خواص بودر لازم است. مقدار رطوبت، نوع و درصد مواد افزودنی با فشار متناسب است. هرچه افزودنی بیش‌تر

باشد، محصولات را با فشار کم‌تری می‌توان شکل داد. ضمناً افزایش بیش از حد این مواد ممکن است باعث چسبیدن قطعات به قالب یا سمبه شود. بنابراین اگر برای شکل دادن، در این روش فشار کم‌تر از حد مورد نیاز باشد، قطعه به خوبی شکل نمی‌گیرد، یا استحکام آن، پس از خروج از قالب، به قدری کاسته می‌شود که امکان جابه‌جایی آن وجود ندارد و در صورت استفاده از فشار بیش از حد مجاز، حالت لایه‌لایه‌ای در قطعه مشاهده می‌گردد؛ یعنی در آن (قطعه) ترک‌هایی موازی با سطح تحت فشار ایجاد می‌شود.



شکل ۳-۳- تصویر دستگاه پرس هیدرولیکی



شکل ۴-۳

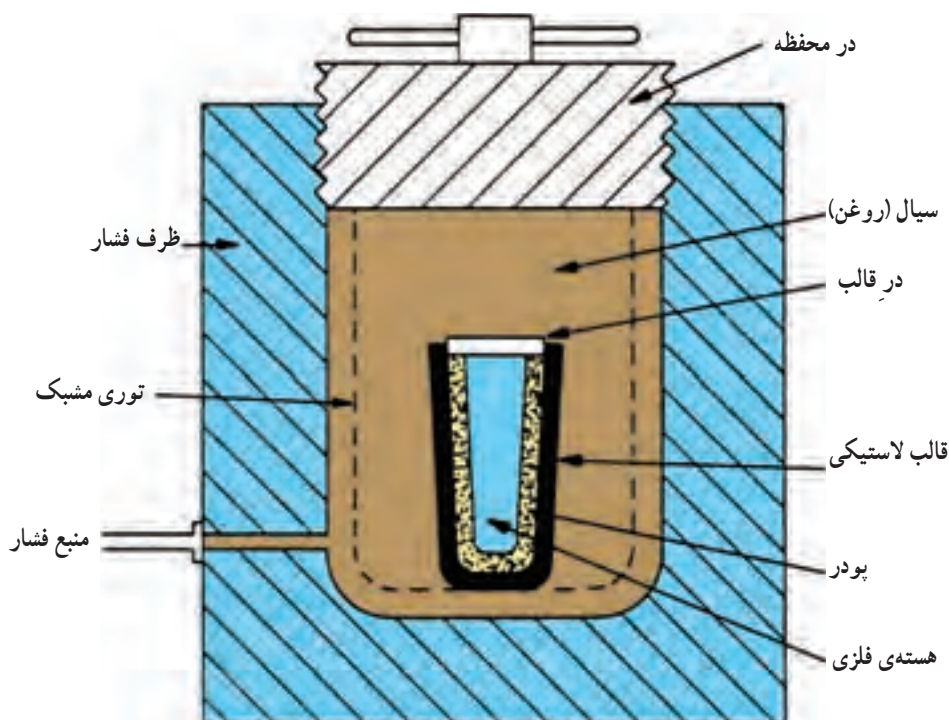
از آن جایی که در پرس (خشک و نیمه خشک)، فشار فقط در یک محور اعمال می‌شود، محصولات ضخیم از نظر تراکم دچار اختلاف شدید می‌شود. برای حل این مشکل، روش جدیدی به نام پرس ایزواستاتیک یا هیدرواستاتیک مطرح شده است.

پرس ایزواستاتیک سرد: در این روش، قطعه از تمامی جهات تحت فشار یکسان قرار می‌گیرد. بنابراین، مشکلات ناشی از پرس تک محور به وجود نمی‌آید. اساس کار به این صورت است که مواد اولیه، درون یک قالب ارتجاعی (لاستیکی) ریخته می‌شود. حالت ارتجاعی قالب باعث می‌شود که فشار، به راحتی به مواد اولیه منتقل شود.

قالب لاستیکی، درون ظرفی، که حاوی یک مایع واسطه مثل روغن است، قرار می‌گیرد. مایع درون محفظه، به وسیله‌ی یک پمپ هیدرولیک قوی فشرده می‌شود. چون مایع، قابلیت فشرده شدن ندارد، به ناچار فشار به تمام حجم مایع منتقل می‌گردد. در نتیجه فشار اعمال شده به قالب، در تمامی جهات و هم‌زمان انجام می‌گیرد.

چینی شمع اتومبیل و گلوله‌هایی از جنس آلومینا به این روش تولید می‌شوند. امروزه این روش در ساخت سرامیک‌های نوین، کاربرد گسترده‌ای یافته است. مزیت این روش، ایجاد تراکم یکسان در همه‌ی جهات یک قطعه است ولی هزینه‌ی زیاد این روش، کاربرد آن را محدود می‌کند.

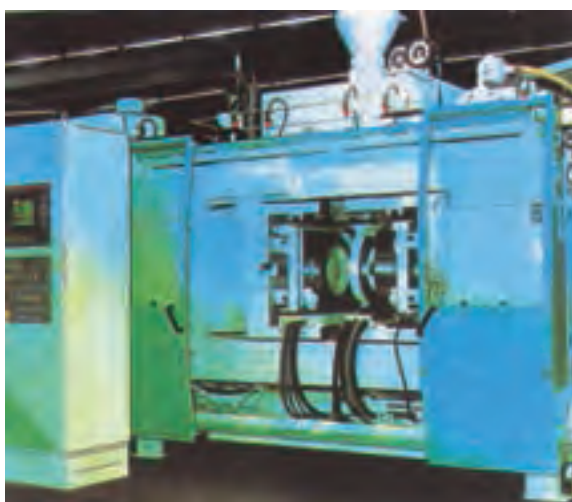
گفتنی است که با رشد صنعت و فناوری، هم‌اکنون قطعات بسیاری با این روش شکل داده می‌شوند؛ برای مثال غیر از محصولات نوین سرامیکی، به‌تازگی ظروف، به‌ویژه بشقاب نیز به روش پرس ایزواستاتیک تولید می‌گردد. زیرا این روش سرعت تولید و کیفیت محصول را افزایش می‌دهد. هم‌چنین در این روش نیازی به مواد رُسی نیست و بالاخره، در این روش، در مقایسه‌ی شکل‌دهی پلاستیک دستگاهی، نیازی به تهیه‌ی گل و خشک کردن نیست؛ از این‌رو بسیار مورد توجه صنعتگران قرار گرفته است (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵- پرس ایزواستاتیک (CIP)



شکل ۶-۳- گلوله‌ها و قطعاتی که به روش CIP ساخته شده‌اند.



شکل ۷-۳- پرس ایزواستاتیک بشقاب

امروزه شکل دادن به مواد اولیه‌ی غیرپلاستیک چون آلومینا، سیلیکا، کاربید و نیتربدسیلیسیم، با مقدار اندکی مواد افزودنی و با پرس ایزواستاتیک سرد انجام می‌گیرد. کاربرد این روش روز به روز در حال افزایش است.

## پرس گرم

در این روش هم‌زمان با فشردن پودر در روش پرس معمولی، حرارت هم اعمال می‌گردد. در روش پرس گرم یا داغ، عمل شکل‌دادن و پخت به طور هم‌زمان انجام می‌گیرد و قطعه‌ی سرامیکی پس از خروج از پرس نیاز به پخت ندارد. سرامیک‌های مدرن و مهندسی مانند سرامیک‌های آلومینایی و



زیر کونیایی به دلیل نقطه‌ی ذوب بالا به کمک پرس گرم ساخته می‌شوند. در این روش محصولات دچار تراکم زیادی می‌شوند و میزان تخلخل آن‌ها نیز کم است. ذکر این نکته ضروری است که اعمال هم‌زمان فشار و دما باعث می‌شود یک قطعه‌ی سرامیکی در دمای پایین‌تری ساخته شود.

پرس ایزواستاتیک گرم: همان‌طور که از نام این روش می‌توان حدس زد در این روش فشار ایزواستاتیک هم‌زمان با دما بر قطعه اعمال می‌گردد. در حقیقت، در این روش شکل دادن، مجموع مزایای روش‌های شکل دادن با پرس ایزواستاتیک سرد و هم‌چنین پرس گرم وجود دارد. در پرس ایزواستاتیک گرم از یک گاز داغ و مایع واسط یا روغن استفاده می‌شود. در این روش، قطعه عموماً توسط پرس معمولی پیش شکل داده می‌شود. سپس آن را درون یک قالب ویژه مثل قالب‌های شیشه‌ای یا فلزی خاص قرار می‌دهند. قالب‌ها درون محفظه‌ی پرس قرار داده می‌شود و گاز داغ به کمک پمپ‌های بسیار قوی وارد این محفظه‌ها می‌شود. فشار ایزواستاتیک و گرما به‌طور هم‌زمان از طریق قالب به قطعه اعمال می‌شود. جنس قالب‌های مخصوص به‌گونه‌ای است که در این دما و فشار، نرم شده‌ی فشار را به قطعه‌ی پیش شکل داده شده منتقل می‌کند. این روش برای ساخت قطعات ویژه‌ی سرامیکی استفاده می‌شود و از نظر اقتصادی بسیار گران قیمت و کاربردش محدود است.

### شکل‌دهی به روش کوبیدن

مواد اولیه به‌صورت گل پلاستیک یا پودر کاملاً مرطوب، درون قالب ریخته و کوبیده می‌شود. عمل کوبیدن را می‌توان با کوبه‌های دستی یا به‌وسیله‌ی پرس‌های پنوماتیک انجام داد. در این روش، تجهیزات خاصی به‌کار گرفته نمی‌شود، اما مهم‌ترین کاربردهایش را می‌توان به این ترتیب بیان کرد:

- ۱- تولید دیواره‌ها و قطعات بزرگ و حجیمی که ساخت قالب و پرس کردن آن‌ها ممکن نیست.
- ۲- ساخت قطعات پیچیده‌ای که در یک مرحله و به‌وسیله‌ی پرس نمی‌توان آن‌ها را شکل داد.
- ۳- شکل دادن به محصولاتی که تولید انبوه آن‌ها موردنظر نیست و ساخت قالب آن‌ها صرفه ندارد.

۴- ساخت محصول در محل مشخص، مانند ساخت بلوک مشعل کوره بر روی دیواره‌ی آجرچینی شده و یا ساخت بخشی از یک دیواره که شکل خاصی دارد؛ مانند لایه‌ی داخلی کوره‌های دوار فریت.

روش کوبیدن به‌خصوص، در بخش دیرگداز صنایع سرامیک به‌طور وسیع به‌کار گرفته می‌شود. ساخت، تعمیر و ترمیم کف و حتی دیواره‌ی کوره‌ها را به این روش می‌توان انجام داد. هم‌چنین

ساخت آجرها و بلوک‌های شکل‌دار در قالب‌های فلزی و چوبی به روش کوبیدن انجام می‌گیرد.



شکل ۸-۳- جرم و ملات برای کوبیدن و ریخته‌گری

## پرسش‌های فصل سوم

- ۱- انواع روش‌های شکل‌دادن با پرس را برشمارید.
- ۲- درصد رطوبت در روش‌های مختلف چه قدر است؟
- ۳- چرا اعمال فشار در روش پرس در بیش از یک مرحله انجام می‌شود؟
- ۴- مقدار کم رطوبت در پرس خشک با چه موادی جبران می‌شود؟
- ۵- عیوب ناشی از فشار بیش از حد چیست؟
- ۶- معایب ناشی از درصد رطوبت بیش از حد کدام است؟
- ۷- مهم‌ترین مزیت پرس ایزواستاتیک را بنویسید.
- ۸- پرس ایزواستاتیک گرم را شرح دهید.



### شکل دهی به روش ذوب و ریخته‌گری

- هدف‌های رفتاری در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود :
- ۱- نقش و کاربرد روش ذوب و ریخته‌گری را در سرامیک بیان کند و با فلزات مقایسه نماید.
  - ۲- دو دلیل محدودیت کاربرد این روش را بیان نماید.
  - ۳- روش‌های شکل دادن به قطعات شیشه‌ای توخالی را شرح دهد.
  - ۴- روش‌های عمده‌ی شکل دادن به شیشه‌ی جام را توضیح دهد.
  - ۵- مزایا و معایب این روش را در دیرگدازها بیان کند.

#### مقدمه

تاکنون با روش‌های متداول تولید و شکل دادن سرامیک‌ها آشنا شده‌اید. دانستید که روش شکل دهی سرامیک‌ها برخلاف فلزات، عموماً بر پایه‌ی ذوب قرار نگرفته است. اما بعضی از محصولات سرامیکی نیز به روش ذوب تهیه می‌شوند که معروف‌ترین آن‌ها شیشه است. مذاب شیشه قابلیت ریخته‌گری ندارد، بلکه به روش‌های خاصی شکل داده می‌شود.

دیرگدازها، دومین محصولاتی هستند که با روش ذوب تهیه می‌شوند. گفتنی است که بخش بزرگی از دیرگدازها به روش پرس تولید می‌شوند. دیرگدازهایی که به روش ذوب و ریخته‌گری تولید می‌شوند، حجم زیادی ندارند؛ اما در صنایع شیشه، سرامیک و ذوب فلزات از اهمیت زیادی برخوردارند.

بسیاری از بلوک‌های نسوز، که در کوره‌های با دمای بالا به کار می‌روند، به خصوص کوره‌هایی که با مذاب سروکار دارند، با روش ذوب و ریخته‌گری تهیه و تولید می‌شوند. تقریباً در ساخت تمامی کارخانجات شیشه کوره‌هایی وجود دارد که دیرگدازهای آن (معروف به زاک) به صورت ذوب و ریخته‌گری ساخته می‌شوند.

ذوب و ریخته‌گری سرامیک‌ها، با مشکلات فراوانی همراه است، به طوری که کاربرد آن را محدود ساخته است؛ از جمله:

- ۱- نقطه‌ی ذوب سرامیک‌ها بالاست.
  - ۲- مذاب‌های سرامیکی ویسکوزیته‌ی بالایی دارند. بنابراین، به خوبی قالب را پر نمی‌کنند.
  - ۳- هدایت حرارتی سرامیک‌ها پایین است. بنابراین، زمان سرد شدن آن‌ها طولانی است.
  - ۴- آن‌ها هنگام تبدیل از حالت مایع به جامد، انقباض‌های شدیدی از خود نشان می‌دهند، به طوری که گاهی باعث اعوجاج و معیوب شدن محصول می‌گردد.
- بنابراین، در این روش کوره‌های با دمای بالا و قالب‌هایی که تحمل حرارت‌های زیاد را داشته باشند، مورد نیاز است و در مجموع، روشی پرهزینه به شمار می‌آید.
- به طور کلی موادی دیرگداز نامیده می‌شوند که دارای نقطه‌ی ذوبی بالاتر از  $1580^{\circ}\text{C}$  داشته باشند.

جدول ۱-۴ - دمای ذوب مواد دیرگداز

نوع ماده	فرمول	دمای ذوب $^{\circ}\text{C}$
(کریستوبالیت) اکسید سیلیسیم	$\text{SiO}_2$	۱۷۱۳
اکسید آلومینیم	$\text{Al}_2\text{O}_3$	۲۰۵۰
اکسید کلسیم	$\text{CaO}$	$2278 \pm 10$
اکسید زیرکونیم	$\text{ZrO}_2$	۲۷۱۰
کاربید سیلیکون	$\text{SiC}$	۲۸۳۰

### شیشه

با نگاهی به پیرامون خود، می‌توانید محصولات مختلفی را بنگرید که از شیشه ساخته شده‌اند. ظروف شیشه‌ای در انواع شکل‌ها، لوازم تزئینی، مانند لوستر و گلدان، حباب و لامپ، شیشه‌های تخت یا جام، لوازم آزمایشگاهی، عدسی‌ها و لنزها، شیشه‌های ویژه، مانند شیشه‌های ضدگلوله و مقاوم در برابر اشعه‌ی X، چند لایه و نظایر آن نمونه‌ی فرآورده‌هایی هستند که به‌طور کاملاً گسترده‌ای در زندگی روزمره‌ی ما وجود دارند.

هر یک از محصولات شیشه‌ای، با روش خاصی تهیه می‌شوند و با روش‌های شکل دادن به دیگر سرامیک‌ها تفاوت دارد. در واقع بحث تولید و شکل دادن به شیشه نیاز به کتاب جداگانه‌ای

دارد. اما به دلیل اهمیت این محصول و برای آشنایی مختصر با بعضی از انواع روش‌های شکل دادن به شیشه، به آن اشاره می‌شود.

نکاتی که در مورد شکل دادن به شیشه اشاره می‌شود، صرفاً نظری اجمالی به روش‌های شکل دادن آن‌هاست تا بتوانید از این رهگذر، روش‌های مختلف شکل‌دهی به سرامیک‌ها را مقایسه کنید.

## شکل‌دهی ظروف شیشه‌ای

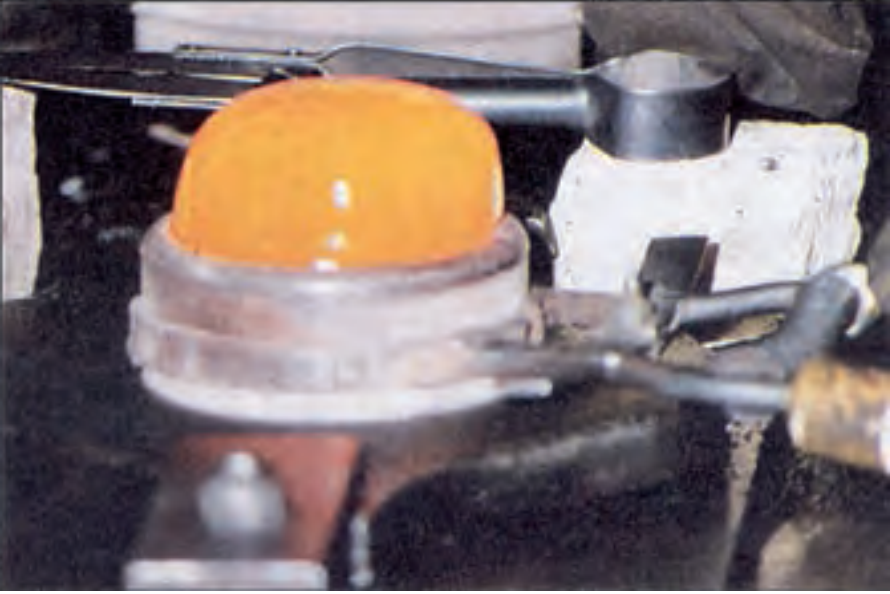
معمولاً مصنوعات شیشه‌ای را می‌توان به دو روش اصلی شکل داد :

**الف) روش دستی:** در این روش یک لوله‌ی دمش شیشه‌گری در مخزن یا تانک کوره وارد می‌شود و ضمن چرخش، مقدار مذاب مورد نیاز (لقمه) برداشته می‌شود و مازاد آن را شیشه‌گر دیگری با قیچی مخصوص می‌برد.

لوله‌ی مخصوص شیشه‌گری در اختیار کارگر ماهری قرار می‌گیرد تا به یک محصول شیشه‌ای شکل دهد. در روش دستی، راه‌های گوناگونی برای شکل دادن به قطعه‌ی موردنظر وجود دارد معمولاً یک کارگر ماهر، ضمن چرخاندن میله‌ی حاوی لقمه، با ابزار دستی یا قالب دستی، شکل موردنظر را پدید می‌آورد. توجه دارید که زمان شکل دادن محدود است و اگر به طول انجامد، مذاب سفت می‌شود و امکان شکل دادن آن از دست می‌رود حباب‌های شیشه‌ای و ظروف تزئینی؛ مانند گلدان نمونه‌ای از محصولات شیشه‌ای هستند که به روش دستی ساخته می‌شوند.

در شکل دادن به روش دستی، ممکن است لوله‌ی دمش حاوی لقمه دست به دست شود. هر کارگر لازم است بخشی از شکل قطعه را تأمین کند و یا قطعاتی به آن وصل نماید. (مانند دسته گلدان و یا لوله‌ی قوری)

در پایان مرحله‌ی شکل‌دهی، لازم است محصولات بلافاصله به کوره‌های مخصوصی (کوره‌ی آنبیل) منتقل شوند تا از شکستن در امان بمانند. در حقیقت حین شکل دادن، ظروف شیشه‌ای تحت تنش‌های مختلفی قرار می‌گیرند. برای رها کردن این تنش‌ها لازم است تا محصولات شیشه‌ای پس از پایان مرحله شکل‌دهی، در یک کوره عملیات حرارتی با دمای مناسب قرار داده شوند، در غیر این صورت ممکن است تنش‌های ذخیره شده در قطعه منجر به شکستن آن‌ها شود.



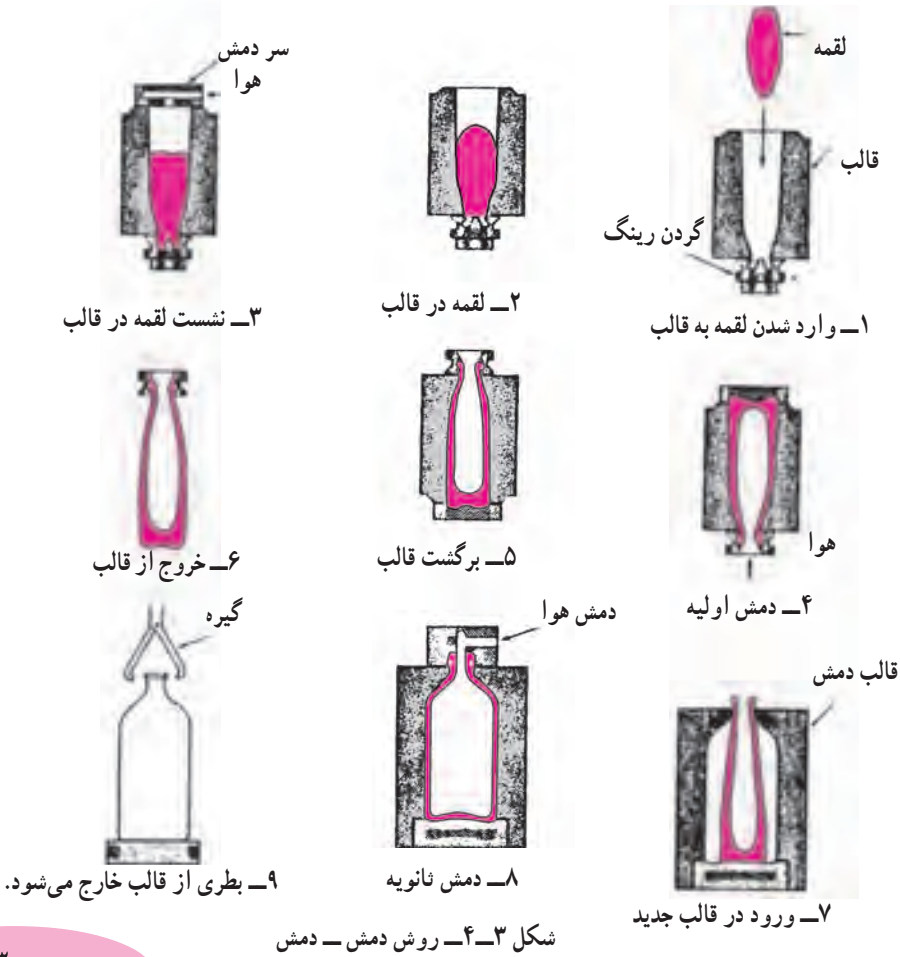
شکل ۱-۴- لقمه مذاب شیشه در شیشه‌گری دستی



شکل ۲-۴- دو نمونه از شیشه، که به صورت دستی شکل داده شده‌اند.

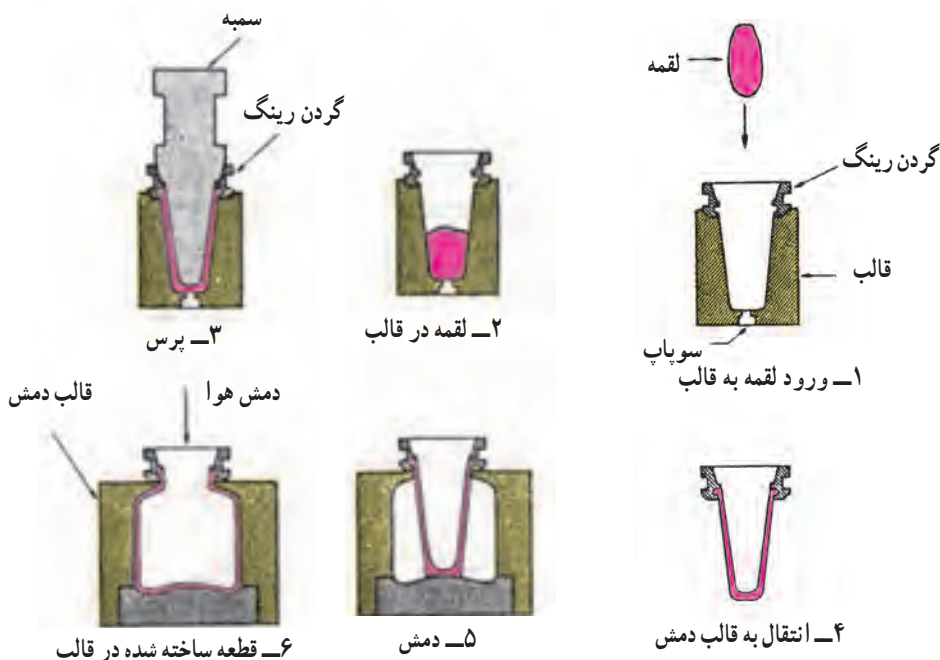
ب) روش دستگاہی: در این روش، ظروف شیشه‌ای معمولاً به سه شیوه شکل داده می‌شوند:

۱- روش دمش - دمش: به شکل ۳-۴ دقت کنید. در این روش لقمه در قالب اولیه خالی (Blank) وارد می‌شود؛ سپس به دلیل وزن خود نشست می‌کند. در این حالت هوای اولیه به درون قالب دمیده می‌شود و باعث پرسیدن قالب می‌گردد؛ یعنی مذاب شیشه در داخل قالب اولیه به صورت توخالی پخش می‌شود. آن‌گاه، قطعه‌ی نیم‌ساخته از قالب اولیه خارج می‌گردد و سپس وارد قالب اصلی می‌شود. در مرحله‌ی هفتم، قطعه‌ی نیم‌ساخته گرم می‌شود تا برای شکل دادن آماده گردد؛ سپس با دمش نهایی قطعه‌ی مورد نظر ساخته می‌شود. در آخرین مرحله، با بازشدن قالب، محصول خارج می‌گردد و به کوره‌های گرمکن (کوره‌ی آنیل) منتقل می‌شود. همان‌گونه که مشاهده کردید از این روش برای تولید محصولاتی که دهانه‌ی تنگ دارند استفاده می‌شود. در واقع محصولاتی که قطر دهانه‌ی آن‌ها، کم‌تر از قطر بدنه‌ی آن‌هاست.



شکل ۳-۴- روش دمش - دمش

۲- روش پرس - دمش: به شکل ۴-۴ دقت کنید، در این روش، لقمه از قسمت فوقانی قالب خالی (Blank) وارد می‌شود؛ سپس یک سمبه از بالا به قالب وارد می‌شود و شکل اولیه‌ی محصول ایجاد می‌شود؛ یعنی در این روش، شکل ابتدایی به‌طریق پرس ایجاد می‌گردد. قطعه‌ی نیم‌ساخته در این مرحله به‌وسیله‌ی یک اهرم، درون قالب اصلی یا قالب دمش قرار می‌گیرد. دقت کنید که این عمل نیز همراه با دوران محصول انجام پذیرد.



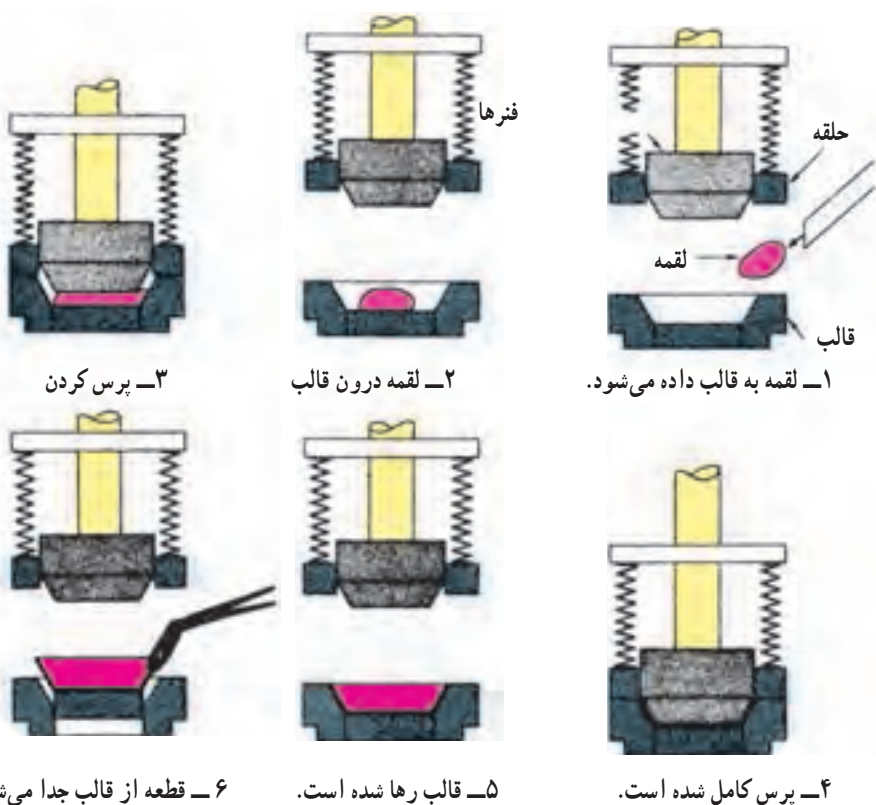
شکل ۴-۴- مراحل عمل روش پرس - دمش

در مرحله‌ی بعد، قالب همراه با محصول ابتدایی گرم می‌شود؛ سپس شکل قطعه به‌وسیله‌ی دمش پدید می‌آید و در مرحله‌ی آخر، محصول ساخته شده از قالب خارج می‌گردد. این مرحله همراه با سرد کردن قالب انجام می‌گیرد تا محصول شکل داده شده استحکام پیدا کند.

این روش، برای تولید محصولات دهان گشاد مناسب است.

۳- روش پرس: در شکل ۴-۵ چگونگی شکل دادن به شیشه‌ها با پرس نشان داده شده است. روش پرس نیز ممکن است به‌صورت دستی و یا دستگاهی انجام شود. در پرس دستی، لقمه که در انتهای میله‌ی شیشه‌گری قرار دارد، به بالای قالب هدایت و با قیچی بریده می‌شود تا مقدار مذاب لازم برای شکل دادن وارد قالب گردد؛ سپس به‌صورت دستی یا دستگاهی عمل پرس کردن انجام می‌گیرد.

پرس کردن شیشه‌ها با ماشین، از نظر اصول، شبیه پرس کردن دستی است؛ با این تفاوت که در روش دستگاهی تعدادی قالب بر روی میز فلزی دواری چیده می‌شوند؛ سپس میز طوری می‌چرخد که در هر مرحله لقمه‌ی موردنیاز وارد قالب شود. عمل بریدن لقمه نیز خودکار (اتوماتیک) انجام می‌گیرد؛ از این رو، لقمه‌های انتخابی در این روش یکسان است. بعد از پرس کردن، لازم است قالب سرد شود تا قطعه پس از خروج از قالب و کمی سخت شدن، بتواند شکل خود را حفظ نماید. عمل سرد کردن با جریان هوای سرد انجام می‌گیرد.



شکل ۴-۵- مراحل پرس کردن شیشه

در تمامی مراحل شکل دادن شیشه لازم است قطعات شکل داده شده بلافاصله به گرم‌خانه منتقل شوند.

## شکل دادن شیشه‌های جام (تخت)

شکل دهی به شیشه از نوع تخت، در طول تاریخ، تغییرات بسیاری داشته است. اما در همه‌ی این روش‌ها چند نکته‌ی مهم موردنظر بوده است.

۱- ضخامت شیشه در نقاط مختلف آن باید یکسان باشد.

۲- سطح آن صاف و عاری از پستی و بلندی باشد.

۳- امکان تولید آن با ابعاد (طول و عرض) زیاد، وجود داشته باشد.

بر این اساس، روش‌های شکل دادن به شیشه‌های جام (تخت) نیز به دو روش دستی و دستگاهی

تقسیم‌بندی می‌شود:

۱- روش دستی: در این روش، مذاب به وسیله‌ی دمش به شکل استوانه‌های بزرگ توخالی درمی‌آید؛ سپس آن را می‌برند و در دمای خاصی این ورقه‌های منحنی را به صورت مسطح درمی‌آورند. در این روش، چون وضعیت دمیدن در همه‌ی نقاط یکسان نیست، محصولات فاقد ابعاد ضخامت یک‌نواخت می‌شوند؛ به خصوص این که سطح این شیشه‌ها عموماً موج‌دار است و امکان تولید پیوسته با این روش وجود ندارد؛ هم‌چنین ابعاد محصول نیز دارای محدودیت است.

۲- روش‌های دستگاهی (غیردستی): شاید بتوان گفت که مهم‌ترین مزیت روش‌های دستگاهی شکل دادن به شیشه‌های تخت یا جام، امکان تولید پیوسته‌ی آن‌هاست. بعضی از روش‌های تولید شیشه‌ی جام به روش غیردستی بدین شرح است:

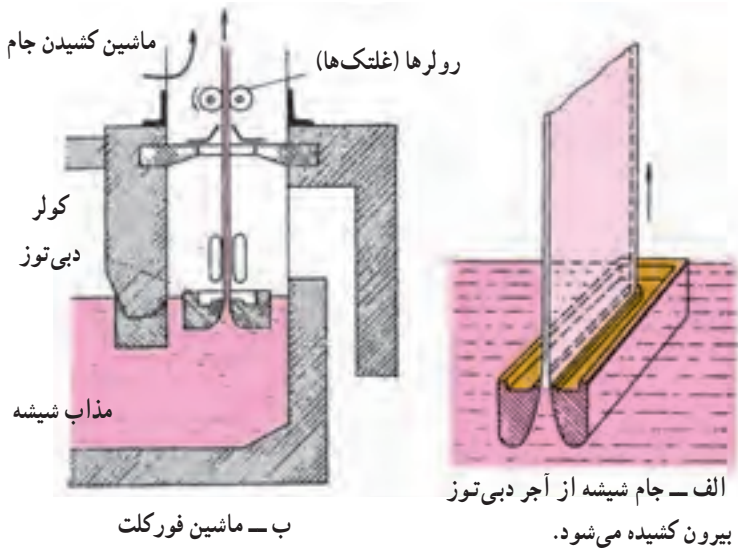
**الف) روش فورکلت (Four Cault):** این روش را شخصی به نام «فورکلت» ابداع نمود. روش کار، استفاده از یک بلوک دیرگداز بزرگ به نام دی توژ<sup>۱</sup> است که در وسط آن یک شکاف در طول ایجاد شده است.

این بلوک روی مذاب شیشه قرار می‌گیرد؛ سپس از بالا به آن فشار وارد می‌گردد. بر اثر فشار، مذاب از شکاف بالا می‌زند. مذاب بالا آمده را با دمیدن هوا کمی سرد می‌کنند؛ سپس آن را به همان صورت عمودی از بین چند غلتک عبور می‌دهند.

غلتک‌ها دو کار را به طور هم‌زمان انجام می‌دهند: اول این که مذاب شیشه را به سمت بالا می‌کشند. این کار به صورت پیوسته انجام می‌شود. دوم، در شیشه‌ی جام، سطوح صاف و ضخامت یکسان ایجاد می‌گردد.

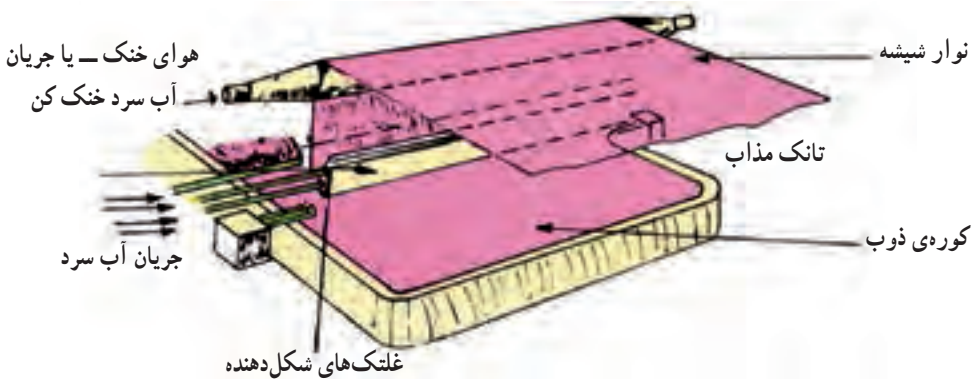


این روش در مقایسه با روش‌های دستی، موجب تحولی در صنعت شیشه گردید. اما به مرور اشکالات آن بروز کرد که به چند مورد آن اشاره می‌شود:



شکل ۶-۴- روش فورکلت

- ۱- محدود بودن عرض شیشه به دلیل محدودیت عرض آجر دبی‌توز.
  - ۲- عمود بودن سیستم تولید که نیاز به ارتفاع زیاد را ایجاد می‌کرد.
  - ۳- ایجاد سرد شیشه در اطراف آجر دبی‌توز و باریک شدن یا انسداد شکاف آن.
- ب) روش کلبرن (Colburn): در روش فورکلت، کشش شیشه به صورت عمودی انجام می‌گرفت؛ بنابراین، ضرورت داشت تا گرم‌خانه‌ی مورد نیاز برای تنش‌زدایی شیشه‌ی تولید شده، به صورت عمودی ساخته شود.
- در روش کلبرن، مذاب را به وسیله‌ی قلاب‌هایی به سمت بالا می‌کشند و پس از اندکی سرد کردن، آن را بر روی یک غلنک هدایت می‌کنند. با این عمل، کشیدن مذاب شیشه به صورت افقی انجام می‌گیرد. پس محدودیتی در طول گرم‌خانه وجود ندارد و می‌توان گرم‌خانه‌هایی با طول ۶۰ متر نیز ایجاد کرد (شکل‌های ۷-۴ و ۸-۴).
- هرچه سرعت کشش بیش‌تر باشد، از ضخامت شیشه کاسته می‌شود. با این روش جام‌های شیشه‌ای با عرض ۳/۶ متر نیز تولید می‌شود.



شکل ۷-۴ - روش کلبرن برای تولید شیشه جام



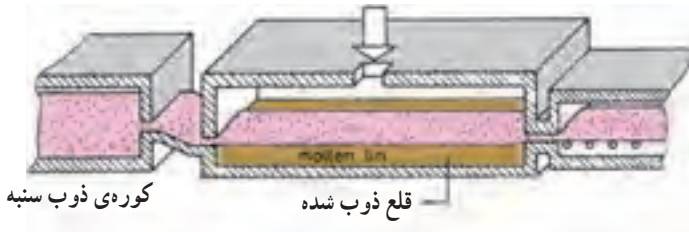
شکل ۸-۴

ج) روش «فلوت»<sup>۱</sup> (شناوری): این روش اهمیت زیادی در ساخت شیشه‌های جام پیدا کرده است، زیرا محصولی که به این روش ساخته می‌شود، دارای کیفیت بالایی است؛ ضخامت آن یکسان و سطح آن کاملاً صاف است. به همین دلیل، برای ساخت آینه، بیش‌تر از این نوع شیشه‌ها استفاده می‌شود.

در این روش، مذاب شیشه وارد حمام قلع مذاب می‌شود و بر روی آن شناور می‌گردد. درجه‌ی حرارت مذاب به آهستگی کم می‌شود؛ به‌گونه‌ای که بتواند به دمایی برسد که روی غلتک برود و به گرم‌خانه منتقل شود. هرچه سرعت دوران غلتک بیش‌تر شود، سرعت کشش زیادتر و ضخامت محصول کم‌تر می‌شود.

۱ - Float

### کنترل اتمسفر



شکل ۴-۹- تولید شیشه‌ی جام به روش فلوت

مذاب شیشه هنگامی که وارد حمام قلع می‌شود  $1050^{\circ}\text{C}$  و به هنگام خروج و قرار گرفتن بر روی غلتک‌ها  $600^{\circ}\text{C}$  گرما دارد و چون نقطه‌ی ذوب قلع کم‌تر از این دماست ( $232^{\circ}\text{C}$ )، پیوسته به‌صورت مذاب خواهد بود. از طرف دیگر، چون وزن مخصوص ( $2.5\text{g/cm}^3$ ) قلع بیش از شیشه است، شیشه می‌تواند به‌صورت شناور روی آن قرار گیرد؛ هم‌چنین این شیشه ( $2.3\text{g/cm}^3$ ) ارزان و قابل دست‌رس است. همه‌ی این‌ها دلایلی است که موجب انتخاب قلع می‌شود؛ بنابراین، مذاب شیشه در حمام قلع قرار می‌گیرد و چون به‌صورت شناور است و هیچ جریانی در مذاب قلع وجود ندارد، سطح آن کاملاً صیقلی و ضخامت آن یک‌نواخت است. (شکل ۴-۹)

### عملیات حرارتی شیشه

از آن جایی که محصولات شیشه‌ای پس از حالت مذاب سریعاً سرد شده‌اند به سرعت نیز انقباض می‌یابند؛ بنابراین، حامل تنش‌های حرارتی هستند، به طوری که خواص محصول را تغییر می‌دهند. از این رو برای دست‌یابی به خواص مطلوب فرآورده‌های شیشه‌ای، لازم است این محصولات تحت عملیات حرارتی قرار گیرند. در واقع عملیات حرارتی باعث می‌شود تنش‌هایی که در حین سرد شدن محصولات ذخیره شده‌اند رها شوند و به آن، مرحله‌ی «تنش‌زدایی» نیز گفته می‌شود.

### دیرگداز (نسوز)

بسیاری از آجرها و بلوک‌هایی از جنس آلومینا، سیلیکا، مولایت و نظایر آن، به ویژه بلوک‌های نسوزی که در ساخت کوره‌های شیشه به‌کار می‌روند، همگی با روش ذوب و ریخته‌گری تولید می‌شوند. این روش دارای مزایا و معایبی است که در پی خواهد آمد.

## مزایای ذوب و ریخته‌گری

۱- اولین و مهم‌ترین مزیت روش ذوب و ریخته‌گری این است که دست‌یابی به قطعات و محصولات بدون تخلخل را فراهم می‌سازد. دیرگدازهایی که با مذاب و سرباره در تماس هستند، هرچه تخلخل کم‌تری داشته باشند نفوذ مذاب به داخل آن‌ها کم‌تر می‌شود و در نهایت عمر آن‌ها زیادتر می‌شود.

۲- در صورت استفاده از ماده‌ی اولیه‌ی خالص، می‌توان به محصولی کاملاً متبلور دست یافت که درصد مواد آمورف (غیربلوری) آن کم باشد. مذاب‌ها فاز آمورف را سریع‌تر در خود حل می‌کنند؛ از این رو، بلوک‌هایی که فاز آمورف کم‌تری دارند، عمر طولانی‌تری نیز خواهند داشت.

## معایب ذوب و ریخته‌گری

۱- هنگام سرد کردن محصولات، انقباض زیاد است و امکان تشکیل حفره‌های انقباضی در قطعه وجود دارد؛ یعنی بیش‌تر در قسمت میانی محصول، حفره (مک) به وجود می‌آید.

۲- اگر سرعت سرد کردن زیاد باشد، ممکن است فاز شیشه (آمورف) زیادی تشکیل شود. می‌دانید که سرعت تبلور مذاب‌های سرامیکی پایین و دمای لازم برای ذوب مواد دیرگداز متفاوت است، اما عموماً از  $180^{\circ}\text{C}$  تا  $250^{\circ}\text{C}$  تغییر می‌کند؛ بنابراین، با توجه به شرایط، برای کارهای آزمایشگاهی از کوره‌های الکتریکی القایی و در مقیاس صنعتی، از کوره‌های قوس الکتریکی استفاده می‌شود.

در کوره‌های القایی، به دلیل داشتن هدایت الکتریکی، از بدنه‌ی گرافیتی یا کربنی استفاده می‌شود. اما در کوره‌های قوس، به هدایت الکتریکی پاتیل یا بدنه‌ی کوره نیاز نیست. زیرا بین دو الکترود و یا بین یک الکترود و مواد اولیه (به شرط هادی بودن) قوس الکتریکی ایجاد می‌شود و حرارت ناشی از این عمل باعث ذوب مواد می‌گردد.

بعد از این که مواد اولیه ذوب شد، آن‌ها را به داخل قالب‌های ریخته‌گری می‌دهند. قالب‌های مورد استفاده برای ذوب و ریخته‌گری می‌تواند ماسه‌ای و گاهی فلزی نیز باشند.

هم‌چنین برای ترکیبات دیرگدازتر از آلومینای کلسینه شده یا حتی گرافیت استفاده می‌شود. چون انقباض در این روش زیاد است، محصولات را بزرگ‌تر از حد مورد نیاز می‌سازند، سپس آن‌ها را برش داده به اندازه‌ی دل‌خواه درمی‌آورند.

همان‌گونه که می‌دانید، در فرآیند ذوب و ریخته‌گری، چون انجماد از کناره‌های قالب آغاز می‌شود و به تدریج به قسمت‌های میانی می‌رسد، لازم است این نوع محصولات پس از تولید، تحت عملیات حرارتی قرار گیرند تا به خواص مطلوب برسند.

به هر حال، گرچه این روش در مقایسه با ساخت محصولات سنتی کاربرد گسترده‌ای ندارد، اما محصولاتی که از این راه تولید می‌شوند، دارای خواص و ویژگی‌های بسیار مطلوبی هستند و در نوع خود منحصر به فردند؛ بنابراین، تولید آن‌ها فقط با روش ذوب و ریخته‌گری امکان‌پذیر است. نقش این فرآورده‌ها در صنایع سرامیک و ذوب فلزات و ... بسیار چشم‌گیر است. در واقع باید گفت: هر صنعتی که به نوعی با حرارت بالا سروکار دارد، نیازمند این نوع دیرگدازها (Fused Cast) است؛ پس، اهمیت این محصولات روز به روز در حال افزایش است. در جدول ۲-۴ ویژگی‌های چند نوع از این محصولات را مشاهده می‌کنید.

جدول ۲-۴- مقایسه‌ی خواص آجرهای ذوب و ریخته‌گری و زینتر شده

خواص	ذوب و ریخته‌گری شده با ۴۰ درصد $ZrO_2$ معروف به زاک* مورد مصرف در ساخت تانک کوره‌ی شیشه		به روش پرس شکل داده سپس در کوره زینتر شده است
	ZAS%۴۰	ZAS %۳۶	
ترکیب شیمیایی			
$ZrO_2$	۴۰/۴	۳۶/۴	۱۹/۵
$Al_2O_3$	۴۵/۴	۵۰/۱۷	۷۰
$SiO_2$	۱۲/۹	۱۱/۳	۱۰/۲
قلیایی	۱/۱	۱/۶	ت
$Fe_2O_3$	۰/۱	-	ت
$TiO_2$	۰/۱	-	ت
ناخالصی	-	-	%۰/۳
درصد تخلخل	۱	۱	۱۵-۲۳
استحکام خمشی (Psi)**	بیش از ۵۰۰۰	بیش از ۵۰۰۰	۲۰۰۰-۳۳۰۰
مقاومت در برابر شوک حرارتی	متوسط تا خوب	متوسط تا خوب	خوب تا عالی
مقاومت در برابر سایش	عالی	عالی	متوسط تا خوب

\* Z (زیر کونیا)، A (آلومینا)، C حرف اول نام شرکت Corbat Company.

\*\* فشار برحسب پوند بر اینچ مربع

## پرسش‌های فصل چهارم

- ۱- به چه دلایلی روش ذوب و ریخته‌گری کاربرد کم‌تری در شکل دادن سرامیک‌ها دارد؟
- ۲- دیرگدازهای ذوب و ریخته‌گری شده (Fused Cast) در مقایسه با دیگر دیرگدازها، چه ویژگی مهمی دارند؟
- ۳- چرا دیرگدازهای ذوب و ریخته‌گری شده را بزرگ‌تر از ابعاد مطلوب می‌سازند و سپس آن‌ها را برش می‌دهند؟
- ۴- روش ذوب و ریخته‌گری سرامیک‌ها عموماً در چه کوره‌هایی انجام می‌شود؟
- ۵- روش‌های شکل دادن ظروف شیشه‌ای را نام ببرید.
- ۶- انواع روش‌های شکل دادن شیشه جام را شرح دهید.
- ۷- مزیت شیشه‌ی فلوت (Float) را نسبت به سایر شیشه‌ها شرح دهید.
- ۸- چرا عملیات حرارتی بر روی محصولات شیشه‌ای و ذوب و ریخته‌گری انجام می‌شود؟



شکل ۱۰-۴- آیا می‌توانید روش شکل دادن هر یک از این محصولات را بیان کنید؟

## خشک کردن سرامیک‌ها

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود:

- ۱- خشک کردن را تعریف کند.
- ۲- عوامل مؤثر بر خشک شدن را بیان کند.
- ۳- انواع آب‌های موجود در قطعات سرامیکی را نام ببرد.
- ۴- مکانیسم انتقال آب از قطعه حین خشک شدن را شرح دهد.
- ۵- حالت چرمینگی قطعه را شرح دهد.
- ۶- دلیل انقباض خشک قطعه را توضیح دهد.
- ۷- مکانیزم‌های انتقال حرارت را نام ببرد.
- ۸- خشک‌کن‌ها را براساس عملیات کاری تقسیم‌بندی کند.
- ۹- خشک‌کن‌ها را براساس مکانیزم انتقال حرارت تقسیم‌بندی کرده نام ببرد.
- ۱۰- نحوه‌ی خروج آب از قطعه‌ی سرامیکی را بازگو کند.
- ۱۱- تأثیر ابعاد قطعه بر روی سرعت خشک شدن را توضیح دهد.
- ۱۲- دلایل بروز عیب در حین فرآیند خشک شدن را نام ببرد و هر یک را شرح

دهد.

### مقدمه

در فصل‌های پیشین روش‌های مختلف شکل دادن سرامیک‌ها را آموخته‌ایم. با دقت در فرآیند شکل دادن و هم‌چنین در مرحله‌ی آماده‌سازی در می‌یابیم که در بیش‌تر موارد از آب استفاده می‌شود. گاه برای آماده‌سازی مواد اولیه و گاه به عنوان محمل برای سیلان و حرکت ذرات جامد در یک دوغاب، زمانی به بروز پلاستیسیته‌ی مواد رسی کمک می‌کند و گاه نیز با مقادیر بسیار کم، رطوبت مورد نیاز فرآیند شکل دادن را توسط پرس تأمین می‌کند.

آب در مراحل مختلف فرآیند ساخت سرامیک‌ها کاربرد گسترده‌ای دارد. اما در پایان مراحل تقریباً در تمامی این کاربردها لازم است تا آب مصرفی از قطعه خارج شود و این عمل عمدتاً در خشک‌کن‌ها صورت می‌گیرد.

خروج آب از قطعه باعث نزدیک‌تر شدن ذرات جامد سرامیکی به یکدیگر و کاهش ابعاد محصول می‌گردد. میزان این انقباض وابستگی مستقیمی به میزان آب مصرفی در مراحل قبلی دارد. ولی سؤالی در این مورد مطرح است:

آیا خروج آب به هر روشی خشک‌کردن نام دارد؟

آیا کاهش آب دوغاب توسط فیلتر پرس نیز خشک‌کردن نام دارد؟

به طور کلی خشک‌کردن خروج آب از نمونه‌ی شکل داده شده به طریق تبخیر است. به عبارت دیگر، انتقال حرارت از محیط بر قطعه و انتقال هم‌زمان آب در جهت مخالف فرآیند خشک‌کردن نامیده می‌شود.

بر مبنای همین تعریف خشک‌کردن محصولات سرامیکی می‌تواند به صورت طبیعی در هوای آزاد مانند خشک‌کردن آجرهای ساختمانی، انجام پذیرد. از طرف دیگر خشک‌کردن یک محصول سرامیکی می‌تواند در خشک‌کن‌های تنها پیوسته تونلی یا خشک‌کن‌های غیر پیوسته انجام پذیرد. گاه زمان خشک‌کردن بر چند ده ساعت به طول می‌انجامد و گاه با استفاده از ماکروویو می‌توان زمان خشک‌شدن را به چند دقیقه کاهش داد.

همان‌طور که گفته شد هم‌زمان با خروج آب، محصول کوچک و کوچک‌تر می‌شود. اما انقباض تا پایان مرحله‌ی خشک‌کردن ادامه نمی‌یابد. در حقیقت خروج بخشی از آب باعث انقباض قطعه می‌شود ولی در مراحل پایانی خشک‌شدن انقباض پایان پذیرفته است. اما نکته‌ی قابل توجه این است که مرحله‌ی خشک‌شدن قطعه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است زیرا تغییرات ابعادی قطعات سرامیکی ممکن است عیوبی مانند تاب، ترک و یا دفرمگی ایجاد کند. در حقیقت کنترل دقیق مرحله‌ی خشک‌کردن ضامن تولید محصولاتی بدون عیب یا با ضایعات کم‌تر است.

در تمامی تکنیک‌های خشک‌کردن سرامیک‌ها تلاش شده است تا زمان خشک‌کردن کوتاه‌تر و دمای مصرفی کم‌تر شود. کارشناسان و محققان سرامیک می‌کوشند تا به منظور بهینه‌سازی فرآیند خشک‌کردن، سریع‌ترین تکنیکی را معرفی نمایند که ضایعات و عیوب را به حداقل برساند.

اغلب در فرآیند آماده‌سازی مواد اولیه، شاهد افزودن آب به آن‌ها هستیم، با این عمل، آماده‌سازی آسان‌تر و بهتر انجام می‌شود؛ هم‌چنین در صنایع سرامیک‌های سنتی، شکل‌دهی پودر پلاستیک همراه



با عامل کمکی آب صورت می‌گیرد، زیرا این عامل کمکی زمینه‌ی لازم را برای حرکت و لغزش ذرات بر روی یکدیگر فراهم می‌سازد و شکل‌دهی آن‌ها را آسان می‌گرداند. در صورتی که ذرات خشک قابلیت جابه‌جایی بر یکدیگر ندارند و عملاً شکل‌دهی قطعات سرامیکی پیچیده، غیرممکن می‌گردد. این عامل کمکی پس از آماده‌سازی مواد اولیه و یا شکل‌دهی بدنه‌ی سرامیکی از فرآیند تولید خارج می‌گردد. خروج آب به روش‌های گوناگون و با توجه به نوع آب درون قطعه صورت می‌گیرد. این عمل اگر به‌وسیله‌ی انتقال حرارت صورت پذیرد «فرآیند خشک شدن» نامیده می‌شود.

هم‌چنین خروج آب از نمونه‌ی شکل یافته - از طریق تبخیر - «خشک کردن» نام دارد.<sup>۱</sup> به عبارت دیگر: انتقال حرارت از محیط به قطعه و انتقال هم‌زمان آب در جهت مخالف را «فرآیند خشک کردن» نامند.

آب به دلایل مختلف به قطعه وارد می‌گردد و در مراحل مختلف و با روش‌های متفاوت از قطعه خارج می‌شود. شکل و حالت آب در قطعه، روش خروج آب و دمای آن را تعیین می‌کند.

## عوامل مؤثر بر خشک شدن سرامیک‌ها

به‌طورکلی عوامل مؤثر بر خشک شدن سرامیک‌ها را می‌توان به عوامل بیرونی و درونی، به شرح زیر، طبقه‌بندی نمود:

### الف) عوامل بیرونی مؤثر بر فرآیند خشک کردن

روش‌های انتقال حرارت و میزان رطوبت و شدت جریان هوا در خشک کردن، از جمله عوامل بیرونی به‌شمار می‌روند.

بدیهی است هرچه از میزان رطوبت موجود در هوا کاسته شود؛ به عبارت دیگر هرچه هوای خشک‌کن خشک‌تر باشد، سرعت خشک شدن محصولات بیش‌تر می‌شود. این موضوع را می‌توان در مقایسه‌ی خشک شدن لباس‌های شسته شده در تابستان و زمستان یا در شهرهای مرکزی با هوای خشک و شهرهای کنار دریا با رطوبت زیاد، بهتر درک نمود.

از سوی دیگر افزایش سرعت جریان هوا نقش مؤثری در افزایش سرعت خشک کردن دارد. با افزایش سرعت جریان هوا رطوبت تبخیر شده از قطعه دور می‌شود و امکان خروج مجدد بخارات آب فراهم می‌گردد.

در ادامه، روش‌های مختلف انتقال حرارت خواهد آمد.

---

۱- خشک کردن سرامیک‌ها به‌وسیله‌ی امواج مایکروویو نیز صورت می‌گیرد.

## ب) عوامل درونی مؤثر بر فرآیند خشک کردن

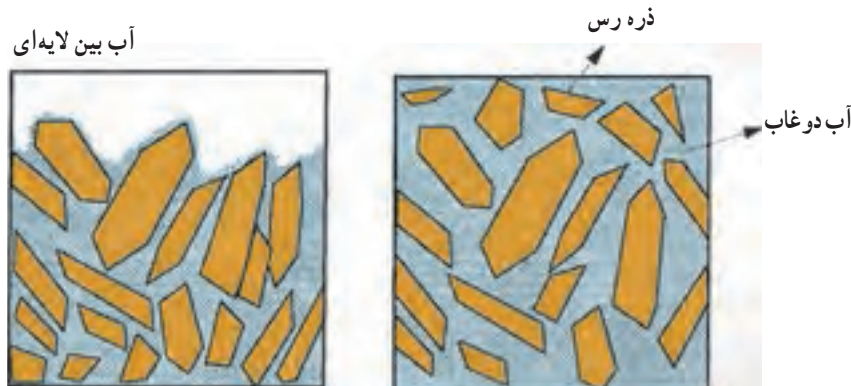
تمامی عواملی که درون قطعه رخ می‌دهد تا آب از لایه‌ی داخلی قطعه به سطوح خارجی منتقل شود عوامل درونی نام گرفته‌اند؛ از آن جمله می‌توان به چگونگی حرکت آب در داخل قطعه چه به صورت مایع و چه به صورت بخار اشاره نمود. اما لازم است انواع آب‌ها و نقش آن‌ها را در خشک کردن سرامیک‌ها معرفی نمود.

## انواع آب در ساخت سرامیک

ممکن است این برداشت نادرست، که در ساخت یک قطعه، از انواع مختلف آب بهره گرفته می‌شود، به ذهن خطور کند. حال آن که منظور از معرفی انواع آب، اشاره به نقش و وظیفه‌ی قسمتی از آب مصرفی در ساخت سرامیک‌هاست، که رفتار خشک شدن یا دیگر رفتارهای محصول را تبیین می‌نماید. مقادیر زیاد آب؛ مثلاً در فرآیند ساخت دوغاب، در شکل دادن با رطوبت کم توسط پرس نیمه‌خشک، نقش متفاوتی دارد. در معرفی انواع آب می‌توان از مقادیر زیاد آب به سمت مقادیر کم‌تر آب حرکت کرد.

آب دوغاب (سوسپانسیون): آماده‌سازی مواد اولیه‌ی سرامیکی و بدنه همواره با افزودن حدود ۵۰٪ آب همراه است. آب، ذرات ماده اولیه‌ی موجود در بدنه را کاملاً از یک‌دیگر باز می‌کند و به صورت دوغاب (سوسپانسیون) درمی‌آورد. این آب را آب سوسپانسیون یا آب دوغاب نامند که در حین شکل دادن، یا قبل از آن به وسیله‌ی قالب یا فیلتر پرس یا ته‌نشین‌سازی، خارج می‌شود و دوغاب به گل تبدیل می‌گردد و معمولاً به مرحله‌ی خشک شدن نیز نمی‌رسد. (شکل ۵-۱-الف)

آب بین لایه‌ای یا بین ذره‌ای: بعد از آن که آب سوسپانسیون خارج شد ذرات تقریباً به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند و آب به صورت فیلمی نازک (از چند نانو تا چند میکرون) پیرامون ذرات باقی می‌ماند. این آب به «آب بین لایه‌ای» معروف است. (شکل ۵-۱-ب)



ب

شکل ۵-۱

الف

قطعه در این حالت به شکل گل پلاستیک است و بسته به میزان آب گل پلاستیک، هرچه میزان آب کاهش یابد نیروی لازم جهت شکل دادن پلاستیک بیش تر می شود. خروج آب بین لایه‌ای معمولاً منجر به انقباض محصول می شود. به همین دلیل گاهی به آن «آب انقباضی» نیز گفته می شود.

## آب تخلخل

با خروج «آب بین لایه‌ای» ذرات به یکدیگر می پیوندند و انقباض پایان می پذیرد و حال آن که قطعه هنوز خشک نشده است. در این حالت قطعه را می توان مانند اسفنج فرض کرد، زیرا قطعه دارای حفره‌ها و تخلخل‌های مملو از آب بسیاری است. آب درون حفره‌ها و تخلخل‌ها را «آب تخلخل» نامند. بدیهی است در صورت ادامه‌ی خشک کردن با خروج «آب تخلخل» حین خشک شدن، انقباض مشاهده نمی شود.

## آب جذب شده

مولکول آب به دلیل پیوند میان اکسیژن و هیدروژن جهت دار و قطبی است. از سوی دیگر، می دانیم ذرات رس دارای بار الکتریکی هستند زیرا در سطح ذرات، پیوندهای اشباع نشده وجود دارد. شکست ذره‌ی رس عامل بار است. بنابراین، اگر مولکول قطبی آب در مجاورت این ذره‌ی رس قرار گیرد پیوند نسبتاً ضعیفی با ذره ایجاد می کند. این آب دارای ابعاد مولکولی است و از طریق نیروی فیزیکی «واندروالس» جذب ذره می شود. این آب را «آب جذب شده» گویند. حالت جذبی آب باعث می شود در دمای بالاتر از  $10^{\circ}\text{C}$  از قطعه خارج گردد، زیرا دلیل این امر، همان طور که گفته شد پیوند نسبتاً ضعیف است.

آب شیمیایی (آب هیدراته): آب یکی از اجزای سازنده‌ی شبکه‌ی مینرال به شمار می آید و هرچند به صورت فیزیکی در این شبکه (مینرال) موجود نیست، اما به صورت OH در آن وجود دارد. اگر به ساختمان کائولینیت نگاه کنیم دو مولکول ( $\text{H}_2\text{O}$ ) خواهیم یافت که جزء ساختار شبکه کائولینیت ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) است. این آب عملاً وجود ندارد و نمی تواند در دمای پایین از شبکه خارج گردد، زیرا خروج آن مستلزم شکست پیوند (OH) در ساختمان است؛ از این رو برای شکست پیوند و تأمین انرژی به دمای بالا نیاز دارد؛ برای مثال، آب شیمیایی کائولینیت در دمای بالاتر از  $40^{\circ}\text{C}$  آزاد می شود و از آن خارج می گردد. در دمای بالاتر از  $40^{\circ}\text{C}$  پیوندهای هیدروکسیلی (OH) شکسته می شود، و آب تشکیل می گردد و در حقیقت در این دما به صورت بخار از مینرال خارج می شود.

## مکانیسم انتقال و خروج آب از قطعه حین خشک شدن

همان‌طور که قبلاً گفته شد، خروج آب دوغاب (سوسپانسیون) به کمک فیلتر پرس یا قالب گچی انجام می‌شود و عموماً در خشک کن انجام نمی‌شود. تنها در برخی موارد مثل صنعت کاشی دوغاب وارد خشک کن پاشیدنی (اسپری درایر) می‌شود تا پودر گرانول مرطوب تهیه شود.

در این حالت حجم زیاد آب دوغاب به طور سریع خشک می‌شود. از آنجایی که محصول به دست آمده به صورت پودر است و نه یک محصول ساخته شده، انقباض، ترک و دیگر عیوب در آن مشاهده نمی‌شود و یا چندان اهمیتی ندارد؛ زیرا چنین پودری در فرآیند شکل دادن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

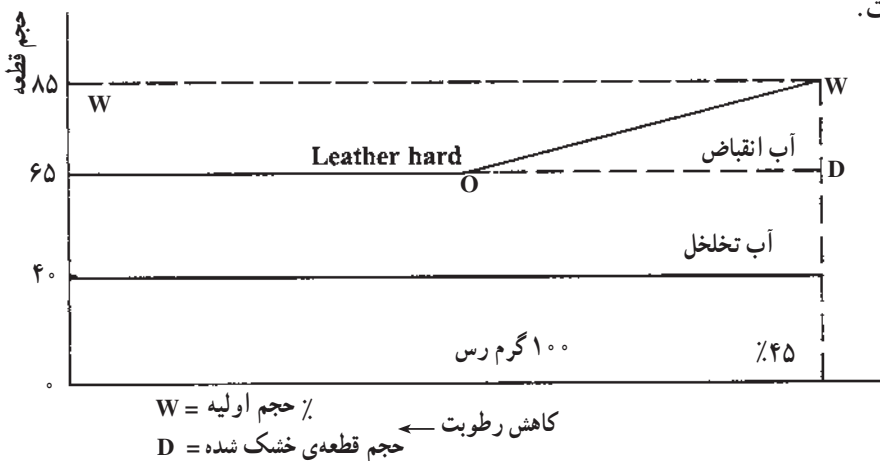
در حقیقت مراحل ابتدایی خشک کردن سرامیک‌ها با خروج آب بین لایه‌ای یا آب انقباض آغاز می‌گردد. هنگامی که یک قطعه‌ی خیس مانند قوری و قندان که به روش ریخته‌گری دوغابی شکل داده شده یا بشقاب و کاسه که به صورت پلاستیک ساخته شده‌اند در خشک کن قرار می‌گیرند، ابتدا سطح قطعه شروع به خشک شدن می‌کند. در همین حال به دلیل به وجود آمدن اختلاف درصد آب بین لایه‌ی سطحی و لایه‌ی درونی که معروف به شیب رطوبتی است، آب از درون به سمت بیرون قطعه حرکت می‌کند تا یک نواختی رطوبت دوباره برقرار گردد. در این مرحله آب به صورت مایع حرکت می‌کند. همزمان با خروج آب از قطعه، درصد رطوبت کلی محصول کاهش می‌یابد و انقباض یا نزدیک شدن ذرات به دلیل خروج آب رخ می‌دهد. در تمامی این مرحله از خشک شدن، آب به صورت مایع از درون به سطح می‌آید و با تبخیر از سطح خارج می‌گردد.

در پایان این مرحله که انقباض هم پایان می‌پذیرد، قطعه‌ی مرطوب تخلخل‌های زیادی دارد و مملو از آب است و قطعه از حالت گل پلاستیک به صورت دونم چرمینه درآمده است.

به همین دلیل پایان مرحله‌ی اول خشک شدن در سرامیک، به نقطه‌ی چرمینگی یا نقطه‌ی لدرهارد معروف است. در این مرحله رنگ قطعه روشن‌تر می‌شود و به رنگ خاک خشک یعنی رنگ تقریباً سفید شیری درمی‌آید. تغییر رنگ قطعه حین خشک شدن، نشان عبور از نقطه‌ی لدرهارد دارد. در مرحله‌ی چرمینگی قطعه از استحکام نسبی برخوردار است. بنابراین، عملیات پرداخت را می‌توان در این مرحله با رطوبت کم‌تر از حالت چرمینگی آغاز کرد. این نقطه‌ای است که سفالگران سنتی به آن «دونم» می‌گویند.

با ادامه‌ی فرآیند خشک کردن، رطوبت موجود در قطعه، ابتدا در لایه‌ی درونی تبخیر می‌شود، سپس به صورت بخار خارج می‌گردد. در حقیقت آب درون خُلل و فُرَج تخلیه می‌شود و این کار تا خشک شدن کامل قطعه ادامه می‌یابد.

در نمودار زیر تغییرات حجم قطعه، حین خشک شدن و نقطه‌ی چرمینگی، نشان داده شده است.



فرض کنید از ۱۰۰ گرم رس خشک و ۴۵٪ رطوبت، یک قطعه سرامیکی مرطوب ساخته شده است و حجم قطعه‌ی ساخته شده، پس از دانسیته مواد اولیه از خشک شدن کامل، ۴۰ سانتی متر مکعب باشد. در این صورت حجم قطعه‌ی مرطوب در آغاز مرحله‌ی خشک شدن ۸۵ سانتی متر مکعب است. با آغاز مرحله‌ی خشک کردن، رطوبت کاهش می‌یابد و معادل حجم آب خارج شده حجم قطعه نیز کاسته می‌شود (از W تا O) تا نقطه‌ی مرز لدرهارد برسد که انقباض پایان یافته است که حجم قطعه به ۶۵ سانتی متر مکعب می‌رسد درصد رطوبت O با ادامه فرآیند خشک کردن (از O تا D)، باقی مانده آب از قطعه مرطوب خارج می‌شود اما حجم قطعه تغییر نمی‌کند؛ چون از مرز لدرهارد گذشته است. یعنی حجم ثابت می‌شود. در این حالت با خروج رطوبت از تخلخل‌ها، هوا جای آن را می‌گیرد. در پایان خشک کردن، حجم نهایی قطعه ۶۵ سانتی متر مکعب است که ۴۰ سانتی متر مکعب آن حجم رس و ۲۵ سانتی متر مکعب آن حجم خلل و فرج موجود در قطعه است.

شایان ذکر است که چون در «نقطه‌ی چرمینگی» انقباض پایان می‌پذیرد، احتمال ترک خوردن و معیوب شدن نیز کم‌تر می‌شود. از این رو در مرحله‌ی اولیه‌ی خشک کردن سرامیک‌ها لازم است تا سرعت خشک کردن آهسته باشد و پس از عبور از «نقطه‌ی لدرهارد» می‌توان سرعت خشک کردن را با افزایش دما یا سرعت جریان هوا افزایش داد.

## مکانیسم انتقال حرارت

گرما چیست؟ انسان از گذشته‌های بسیار دور در برابر این پرسش قرار داشته است و متناسب

با دانش زمان خود، جوابی به این پرسش داده است. یونانیان قدیم گرما (آتش) را یکی از عناصر چهارگانه‌ی اولیه‌ی هستی می‌دانستند که جهان از آن ساخته شده است. پس از آن در علم کیمیا از عناصر گرمازا یاد کرد. یعنی برخی از عناصر قابلیت تولید گرما را دارند. سرانجام، با بیان تئوری مولکولی، ماهیت گرما را کاملاً تعریف کردند: گرما نوعی از انرژی است که به سبب اختلاف دمای دو سیستم، از یک سیستم به سیستم دیگر انتقال می‌یابد.

به‌طور کلی قطعات سرامیکی با انتقال حرارت از بیرون به بدنه‌ی آن‌ها خشک می‌شوند. گرما به‌روش‌های مختلفی مانند استفاده از مشعل، که با سوخت‌های فسیلی یا گاز کار می‌کنند، الکتریسیته و امواج میکروویو تولید می‌شود. حتی از گرمای خروجی کوره و آگزوز برای گرم کردن خشک‌کن‌ها استفاده می‌شود. اما چگونگی انتقال حرارت از منبع تولید گرما به محصول در حال خشک‌شدن بسیار اهمیت دارد.

نحوه‌ی انتقال حرارت از خارج به قطعه با سه روش میسر و ممکن خواهد بود:

- هدایت،
- همرفت (کنوکسیون)،
- تشعشع (تابش).

## هدایت

اگر ابتدای میله‌ای فلزی را بر روی شعله قرار دهیم پس از مدتی انتهای میله گرم خواهد شد. چگونه این عمل را توجیه می‌کنید؟ هرگاه قسمتی از ماده را گرم کنیم به آن انرژی حرارتی داده‌ایم؛ به عبارت دیگر، با حرارت دادن، انرژی منتقل شده به‌صورت جنبش مولکولی در ماده ظاهر می‌گردد. به علت تماس مولکول‌ها با یکدیگر جنبش مولکولی با سهولت به دیگر نقاط منتقل می‌شود و با این عمل، انرژی یا گرما از یک جهت به نقاط دیگر منتقل می‌گردد. جابه‌جایی انرژی حرارتی که به وسیله‌ی مولکول‌های ماده (جسم جامد) صورت می‌گیرد، «هدایت حرارتی» نام دارد. در این مکانیزم انتقال، وجود مولکول‌ها ضروری است، زیرا عامل هدایت‌اند.

هرگاه یک قطعه‌ی سرامیکی را روی سطح گرم قرار دهیم، حرارت از سطح گرم به قطعه و

سپس به داخل قطعه هدایت خواهد شد، زیرا هرگاه میان دو نقطه اختلاف دما وجود داشته باشد انتقال حرارت انجام می‌گیرد و همواره انتقال از نقطه‌ی گرم به نقطه‌ی سرد خواهد بود. در خشک‌کن‌های کف گرم محصولات شکل داده شده را بر روی یک سطح گرم، جهت خشک شدن قرار می‌دهند.

### همرفت (کنوکسیون)

آیا به نحوه‌ی گرمادهی رادیاتورهای شوفاژ فکر کرده‌اید؟ چگونه هوای اتاق گرم می‌گردد؟ در مکانیزم هدایت وجود جسم جامد و مولکول‌ها ضروری بود، اما در این حالت، مولکول‌ها با یک‌دیگر تماس مستمر ندارند. پس انتقال حرارت چگونه رخ می‌دهد؟ بهترین نمونه‌ی انتقال حرارت با مکانیزم همرفت، نحوه‌ی گرمادهی اتاق از طریق رادیاتورهای گرم است. مولکول‌های هوا از کنار رادیاتورها عبور می‌کنند و گرم می‌شوند. می‌دانیم هوای گرم به دلیل سبک بودن به سمت بالا می‌رود و هوای سرد جانشین آن می‌شود و چرخش مداوم هوای گرم و سرد در اتاق به گرمادهی در کل اتاق منجر می‌گردد.

به طور کلی در همرفت (کنوکسیون)، یک سیال (هوا) از روی قطعه عبور می‌نماید. در این حالت، مولکول سیال که گرم است قطعه را گرم می‌کند. لازمه‌ی این مکانیزم وجود سیال و فعال بودن مولکول گاز گرم است. در این انتقال (همرفت)، حرکت و جریان هوا (انتقال جرم) لازم است و هوای گرم در این شیوه، تأمین حرارت لازم را برای خشک شدن قطعه از سطح تأمین می‌کند. خشک‌کن کنوکسیون در صنایع سرامیک به کار می‌برند و با انتقال هوای داغ به داخل یک محفظه باعث می‌شود هوای گرم به سمت قطعه حرکت کند و موجب گرم کردن و نهایتاً خشک شدن آن شود.

### تشعشع

خورشید مهم‌ترین منبع تأمین‌کننده‌ی انرژی حرارتی کره‌ی زمین است. حرارت خورشید چگونه انتشار می‌یابد؟

در این مکانیزم، انتقال حرارت از طریق هدایت، مطرح نمی‌گردد. چرا؟ مکانیزم همرفت را نیز نمی‌توان روش مناسب انتقال حرارت دانست، زیرا فاصله‌ی زمین تا ستاره‌ی خورشید را فضای تقریباً خالی از مولکول دربر گرفته است. پس باید مکانیزمی را جست‌وجو کرد که حرارت، بدون نیاز به جسم جامد یا سیال (هوا)، منتقل و منتشر شود و از جسم گرم به جسم سرد، بدون دخالت هوای بین

آن‌ها، انتقال یابد. از سطح خارجی اجسام، انرژی‌ای ساطع می‌شود که می‌تواند از طریق امواج الکترومغناطیس (شکل ۲-۵) جابه‌جا گردد.

فرکانس صوتی	فرکانس رادیویی AM رادیویی و تلویزیونی و FM رادیویی	موج کوتاه رادار و MW به هم پیوسته	مادون قرمز	ماورای بنفش	اشعه‌ی X و Y													
	1000 km	10 km	100 m	1 m	1 cm	100 μm	1000 μm	10 nm										
	طول موج																	
	فرکانس Hz																	
	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>16</sup>	10 <sup>17</sup>	10 <sup>18</sup>

طیف الکترومغناطیس

شکل ۲-۵

خروج دایمی انرژی از سطح ماده را «تابش» گویند. انتقال حرارت در مکانیزم تابش یا تشعشع نیاز به مولکول‌های مواد ندارد و همان‌گونه که گفته شد، انتقال انرژی از طریق امواج صورت می‌گیرد. این امواج، مادون قرمز نامیده می‌شوند. همه‌ی اجسام، توانایی تابش (تشعشع) دارند، اما مقدار این توانایی متفاوت است. توانایی انتقال حرارت به وسیله‌ی تابش به دلایلی چند مربوط است که خارج از بحث ماست و در مقاطع بالاتر بدان خواهیم پرداخت. خشک‌کن‌های الکتریکی که المنت‌های حرارتی با تشعشع خود قطعه را خشک می‌کند نمونه‌ای از خشک‌کن‌های تشعشی است.

انتقال حرارت در مکانیزم تشعشع، همانند مکانیزم همرفت، فقط سطح قطعات را گرم می‌کند و انتقال گرما به درون قطعه را از طریق مکانیزم هدایت انجام می‌شود.

گرچه در این قسمت تلاش شده است تا مکانیسم‌های انتقال حرارت به‌طور مجزا معرفی شوند اما در حقیقت هر مکانیسمی به‌تنهایی حرارت را منتقل نمی‌کند. به‌عنوان مثال در خشک‌کن‌های هدایتی، علاوه بر گرم‌شدن قطعات، هوای اطراف هم گرم می‌شود و کنوکسیون رخ می‌دهد. دیگر این‌که هر قطعه، از خود گرمی تشعشع می‌کند و این تابش توسط اجسام سرد جذب می‌شود. در یک رادیاتور شوفاژ، که اتاق را گرم می‌کند، بیش‌تر حرارت انتقالی توسط مکانیسم کنوکسیون صورت می‌گیرد، ضمن این‌که لوله‌ها و رادیاتور حاوی آب گرم در لوله و کف اتاق را نیز گرم می‌کند. هم‌چنین گرمای رادیاتور با تشعشع خود در گرم کردن اتاق نقش دارد. در حقیقت همه‌ی مکانیسم‌های انتقال حرارت فعال‌اند، اما ممکن است یکی از آن‌ها نقش اصلی را داشته باشد و خشک‌کن ساخته شده به تبعیت از عامل اصلی، خشک‌کن هدایتی، کنوکسیونی و یا تابشی نامگذاری می‌شود.

۱- هر جسم به‌طور پیوسته تشعشع می‌نماید؛ مگر آن‌که به دمای صفر مطلق برسد.



## انواع خشک‌کن‌ها در صنعت سرامیک

از دیرباز سفالگران قطعات ساخته شده را در فضای باز کارگاه‌ها قرار می‌دادند تا خشک و آماده‌ی پخت شوند، اما امروزه استفاده از این شیوه غیراقتصادی است و هم‌چنین زمان بسیاری را صرف می‌کند تا قطعه کاملاً خشک شود. اجرای این شیوه در کارخانجات بزرگ و با تولید بالا ناممکن است زیرا فضای بسیار وسیعی را برای خشک کردن قطعات تولیدی لازم دارد. از سوی دیگر خشک شدن قطعات در آب و هوای مرطوب به راحتی میسر نیست. بنابراین، طراحی و ساخت اتاقک‌هایی با ابعاد مختلف برای خشک کردن قطعات ضروری است. طراحی و تولید خشک‌کن‌ها براساس نوع، حجم و ابعاد قطعاتی که باید خشک شوند انجام گرفته است.

خشک‌کن‌ها به روش‌های متفاوت طبقه‌بندی شده‌اند، اما بهترین دسته‌بندی خشک‌کن‌ها، طبقه‌بندی براساس عملکرد آن‌هاست.

خشک‌کن‌ها از نظر عملکرد دو نوع‌اند: خشک‌کن‌های پیوسته (مداوم) و غیر پیوسته (غیرمداوم).

### خشک‌کن‌های غیر پیوسته (متناوب)

خشک‌کن‌های غیر پیوسته ساختمان ساده‌ای دارند. در این خشک‌کن‌ها قطعات خشک‌شدنی در اتاقک خشک‌کن قرار می‌گیرد؛ سپس خشک‌کن روشن و گرم می‌شود (تغییر مقدار رطوبت قطعه به جریان هوا و زمان قطعه در خشک‌کن بستگی دارد). در این خشک‌کن‌ها، وضعیت خشک‌شدن را می‌توان با تغییر دما یا هوای درون خشک‌کن، در هر لحظه تنظیم کرد. گفتنی است قطعات در حین خشک شدن هم‌چنان در خشک‌کن هستند و پس از پایان مرحله‌ی خشک‌شدن از آن خارج می‌شوند. خشک‌کن‌های غیر پیوسته (شکل ۳-۵) می‌توانند بزرگ و یا مشابه خشک‌کن‌های آزمایشگاهی کوچک باشند.



شکل ۳-۵- خشک‌کن غیر پیوسته (مرحله‌ای)

## خشک‌کن‌های پیوسته

دما در خشک‌کن‌های پیوسته در تمامی نقاط یکسان است. اما با حرکت محصولات، دما افزایش می‌یابد و در پایان مجدداً کاسته می‌شود و سپس قطعه‌ی خشک را از آن بیرون می‌آورند. خشک‌کن‌های پیوسته اغلب دایره‌ای شکل یا تونلی (شکل ۴-۵) هستند. خشک‌کن‌های تونلی معروف‌ترین خشک‌کن‌های پیوسته در صنعت سرامیک هستند. در این خشک‌کن‌ها قطعات تر به‌طور مداوم وارد و از سوی دیگر به صورت خشک خارج می‌شوند و برخلاف خشک‌کن‌های متناوب، قطعات در حین خشک‌شدن در حرکت‌اند.

خشک‌کن‌های پیوسته در مقایسه با خشک‌کن‌های غیرپیوسته (متناوب) کاربرد بیش‌تری در صنعت دارند، زیرا در آن‌ها مواد یا قطعات به صورت یک‌نواخت‌تر خشک می‌شوند و فرآیند خشک شدن بهتر کنترل می‌گردد؛ هم‌چنین آن‌ها را به‌گونه‌ای ساده‌تر می‌توان به صورت اتوماتیک درآورد. نکته‌ی دیگر این که انرژی مصرفی آن‌ها کم‌تر است. بنابراین می‌توان گفت: غالباً خشک‌کن‌های مداوم بازده بیش‌تری نسبت به خشک‌کن‌های متناوب دارند. اما به هر حال هر دو نوع خشک‌کن، بسته به کاربرد آن‌ها، انتخاب و به‌کار گرفته می‌شوند.



شکل ۴-۵- خشک‌کن تونلی دو قلو برای خشک‌کردن کاشی

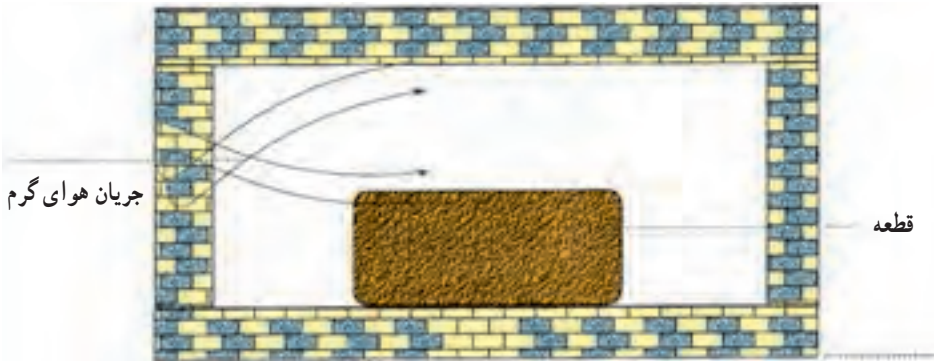
## مکانیسم خشک‌کن‌ها

با مکانیسم‌های مختلف انتقال گرما آشنا شدیم. خشک‌کن‌ها نیز بر همان اساس طراحی و ساخته شده‌اند. خشک‌کن‌های صنایع سرامیک، قطعات شکل داده شده یا مواد اولیه‌ی آماده‌سازی

شده را خشک می کنند.

خشک کن های مداوم و متناوب را براساس مکانیسم انتقال حرارت، می توان به انواع مختلفی طبقه بندی نمود؛ برخی از این خشک کن ها عبارت اند از:

**الف - خشک کن های کنوکسیون (همرفتی):** این خشک کن ها حرارت را با جابه جایی گاز گرم (هوا) به سطح قطعه ی سرامیکی یا مواد اولیه ی مرطوب انتقال می دهند. معمولاً در این خشک کن ها هوا از روی ماده ی تر عبور داده می شود تا رطوبت ماده خارج گردد (شکل ۵-۵). برای صرفه جویی انرژی در این خشک کن ها مقداری از هوای خروجی مجدداً به خشک کن برگشت داده می شود.

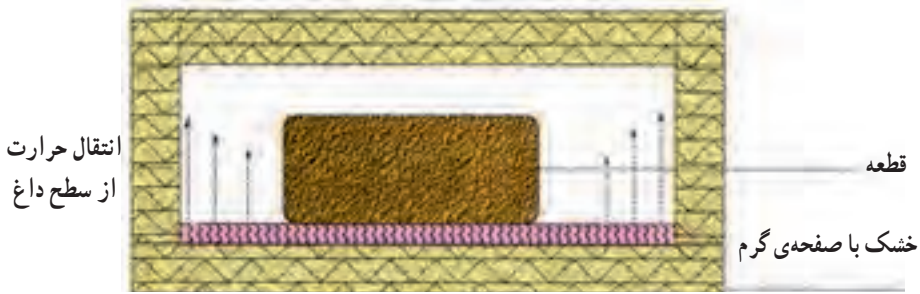


خشک با مکانیسم همرفت

شکل ۵-۵

معمولاً در این خشک کن ها از هوای داغ به صورت عامل خشک کننده استفاده می شود و می توان با صرف انرژی هوای داغ تولید کرد و یا می توان از حرارت اگزوزها و گازهای خروجی کوره نیز بهره گرفت.

**ب - خشک کن های هدایتی (تماسی):** این خشک کن ها براساس «مکانیسم تماسی» طراحی شده اند و انتقال حرارت را از یک سطح داغ به کف قطعه ی تر منتقل می کنند. سطح داغ خشک کن که به «خشک کن های کف گرم» نیز معروف است، به صورت سطح نواری، صفحه ای استوانه ای یا دیواره ای، طراحی و ساخته می شود. کلیه ی خشک کن هایی که بر این اساس طراحی شده اند دارای یک سطح داغ اند و معمولاً گرمای مورد نیاز را از طریق بخار داغ، مایعات یا فلزات گداخته (المان های حرارتی) تأمین می کنند و هنگامی که قطعات، درون این خشک کن ها و بر روی سطح گرم قرار می گیرند حرارت لازم برای تبخیر رطوبت ماده از سطح داغ به قطعه منتقل می گردد (شکل ۵-۶).



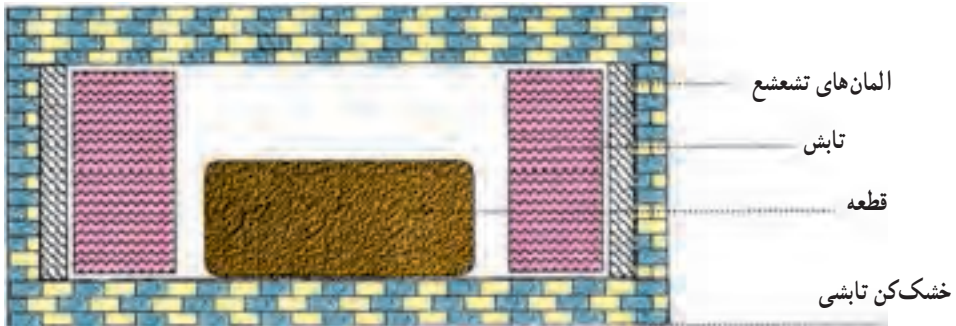
شکل ۵-۶

همان‌گونه که اشاره شد در این روش، حرارت منتقل شده به قطعه از سطح قطعه به درون قطعه نفوذ می‌کند؛ از این رو این نوع خشک‌کن‌ها در مقایسه با خشک‌کن‌های انتقالی (همرفت) از بازده بیش‌تری برخوردارند.

چرا بازده خشک‌کن‌های هدایتی بیش‌تر از خشک‌کن‌های همرفتی است؟

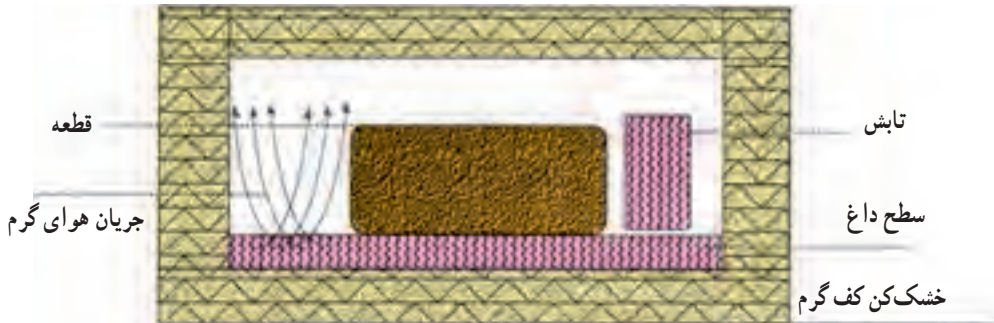
**ج - خشک‌کن‌های تشعشعی (تابشی):** پیش از این مکانیسم انتقال تابشی توضیح داده شد. این خشک‌کن‌ها نیز بر آن اساس طراحی شده‌اند و برای تبخیر رطوبت ماده انرژی لازم را از طریق تابش (مانند امواج مادون قرمز) تأمین می‌کنند.

لامپ‌های حرارتی، المان‌های حرارتی، سطح گرم و نظایر آن، می‌توانند از عوامل تابش باشند. هرگاه قطعه‌ای در درون این خشک‌کن‌ها قرار گیرد در اثر تابش، سطح ماده گرم می‌شود و مولکول‌های ماده تحریک و مرتعش می‌گردند و حرارت به درون ماده نیز نفوذ می‌کند، اما عمق این نفوذ زیاد نیست. به همین دلیل، در این نوع خشک‌کن‌ها سطح ماده گرم می‌شود و بدین وسیله مواد نازک و با ضخامت کم؛ مانند لعاب (پوشش‌ها و رنگ) خشک می‌شوند (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷

گفتنی است سرعت انتقال حرارت به کمک تابش بسیار سریع تر از روش های دیگر است. به همین دلیل در خشک کردن قطعات بزرگ و حجیم از خشک کن های تشعشعی کم تر استفاده می شود. باید توجه داشت خشک کنی که براساس شیوه ای خاص طراحی می شود فقط به یک روش حرارت را انتقال نمی دهد؛ برای نمونه، یک خشک کن آزمایشگاهی را در نظر بگیرید:



شکل ۸-۵

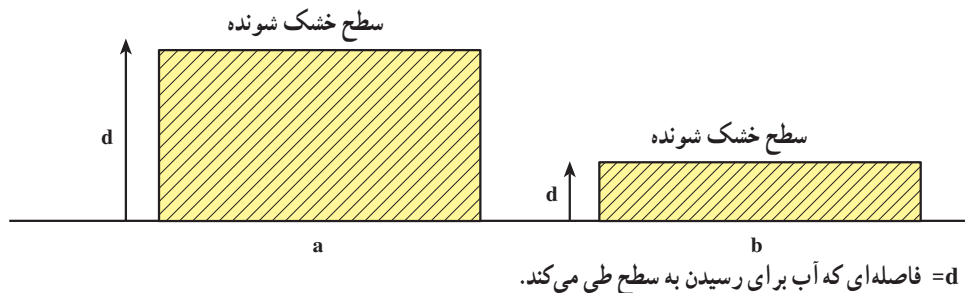
این خشک کن (شکل ۸-۵) براساس کف گرم و مکانیسم هدایت طراحی گردیده است، اما با اندکی دقت می توان دریافت که سطح داغ خشک کن مقداری انرژی را به صورت تابش نیز تولید می کند و این انرژی از طریق امواج الکترومغناطیسی (مادون قرمز) به قطعه ی تر می رسد. هم چنین هوای داخل محفظه ی خشک کن در مجاورت سطح داغ گرم شده به سیال فعال (گرم) تبدیل می گردد. این سیال انرژی حرارتی را از طریق همرفت (انتقال) به قطعه منتقل می نماید. پس خشک کنی که براساس مکانیسم هدایت طراحی شده بود به نوعی توسط مکانیسم های دیگر نیز حرارت را هدایت می کند. همان گونه که ملاحظه شد خشک کن ها براساس مکانیسم مشخص طراحی می شوند، اما در انتقال حرارت، از روش های دیگر انتقال حرارت نیز بهره می گیرند.

### بررسی قطعات در حین فرآیند خشک شدن

هر قطعه ی سرامیکی درون خشک کن، دارای رطوبت است. این رطوبت باید به کمک حرارت منتشر شود و از (خشک کن) تبخیر و از قطعه خارج گردد. اگر به فرآیند خروج آب بیش تر دقت کنیم در خواهیم یافت رطوبت در ابتدا از سطح قطعه تبخیر و خارج می گردد. از سوی دیگر می دانیم، قطعه دارای تخلخل های زیادی است. اغلب این تخلخل ها همانند مسیرهای باریک به سطح قطعه راه

دارند و همانند لوله‌های بسیار باریک (لوله‌ی موین) مملو از آب، قطعه را دربر گرفته‌اند. این آب از درون آن‌ها می‌تواند از درون به سطح قطعه حرکت کند. در این حالت تمامی انرژی داده شده به قطعه صرف تبخیر آب می‌شود. به معنای دیگر، در مرحله‌ی اول خشک شدن و تا قبل از «نقطه‌ی چرمینگی» دمای قطعه تقریباً ثابت می‌ماند. اما با کاهش رطوبت قطعه و هنگامی که دیگر پیوستگی آب درون قطعه از بین رود، یعنی آب بخار شده از سطح توسط لایه‌های درونی، جبران نمی‌شود. پس لایه‌ی سطحی قطعه خشک‌تر می‌شود، در حالتی که رطوبت درون قطعه بیش‌تر است و با زیاد شدن شیب رطوبتی، سطح قطعه گرم می‌شود و حرارت را به داخل هدایت می‌کند. در این حالت آب درون قطعه تبخیر می‌شود و از منافذ آن به صورت بخار خارج می‌شود.

تأثیر ابعاد قطعه، حین خشک شدن: با افزایش ضخامت یک قطعه مانند شکل ۵-۹ مسیر انتقال رطوبت از درون قطعه به بیرون طولانی‌تر می‌شود. پس انتظار می‌رود قطعه‌ی  $a$  که از قطعه‌ی  $b$  ضخیم‌تر است، دیرتر خشک شود؛ یعنی سرعت خشک شدن قطعه‌ی  $a$  کم‌تر است.



شکل ۵-۹

میزان خروج آب از واحد سطح در واحد زمان را «سرعت خشک شدن» یا «سرعت خشک کردن» می‌گویند.

سرعت خشک شدن یک قطعه سرامیکی همیشه ثابت نیست. در حقیقت در مراحل اولیه‌ی خشک شدن آب سریع‌تر و راحت‌تر از قطعه خارج می‌شود، اما هرچه قطعه خشک‌تر شود سرعت خشک شدن آن نیز کاهش می‌یابد به عبارت دیگر تمایل یک قطعه‌ی مرطوب برای از دست دادن آب بیش‌تر از قطعه‌ی نیمه مرطوب و نیمه خشک است. در قطعات بزرگ و بلوک‌های دیرگداز برای کمک به خروج آب از قطعه، از موادی به نام کمک خشک‌کن استفاده می‌کنند. افزودن نیم درصد کربنات و بیکرینات سدیم کمک زیادی به خشک شدن محصولات حجیم می‌کند. با گرم شدن قطعه، کمک خشک‌کن‌ها به صورت بخار درمی‌آید و مسیر لوله‌ای موئین را پاک‌سازی و باز می‌کنند. این

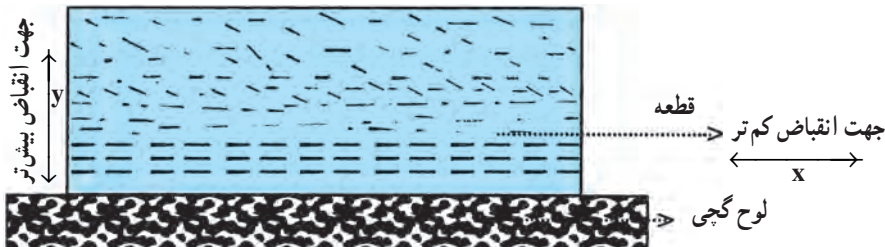


کار کمک شایانی به انتقال آب می‌کند، چه به صورت مایع یا بخار از لوله‌ی موئین و خشک شدن محصولات را سریع‌تر و کم‌خطرتر انجام می‌دهد.

### عیوب قطعه حین خشک شدن

طی فرآیند خشک شدن، عیوبی مانند پیچش (دفرمه شدن) و ترک در قطعات ظاهر می‌شود. برای بروز این عیوب سه دلیل می‌توان ذکر کرد:

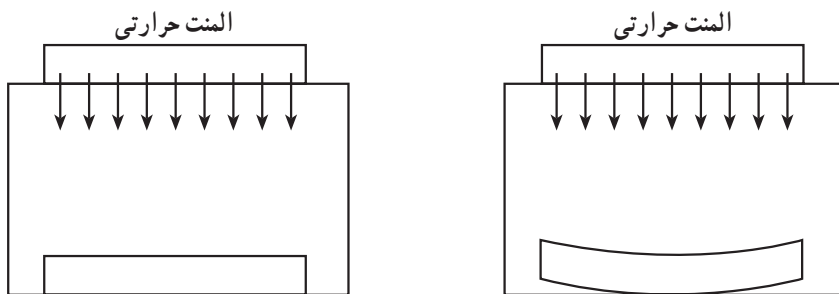
۱- انقباض غیریکنواخت: به شکل ۱-۵ نگاه کنید؛ در یک فرآیند ریخته‌گری دوغابی، ذرات رس به سمت لوح گچی کشیده می‌شوند و تقریباً به صورت لایه‌های موازی روی هم قرار می‌گیرند. آب زیادی بین لایه‌های ورقه‌ای شکل رس قرار دارد که با خشک شدن خارج می‌گردد. بنابراین انقباض در جهت  $y$  و عمود بر ضخامت قطعه بسیار بیش‌تر از انقباض در جهت  $x$  است. این اختلاف انقباض در جهت‌های مختلف، که به انقباض غیریکنواخت معروف شده ممکن است به بروز ترک یا دفرمه شدن قطعه بینجامد.



شکل ۱-۵

۲- خشک کردن غیریکنواخت: اگر یک کاشی در یک خشک‌کن تابشی، که اشعه‌ی مادون قرمز از بالا بر روی آن می‌تابد، قرار داده شود (شکل ۱۱-۵) سطح با لایه‌ی آن ضمن جذب گرما سریعاً خشک می‌شود و موجب انقباض می‌گردد. در حالی که سطح پایینی آن به کندی خشک می‌شود. در حقیقت شرایط یک‌نواختی برای خشک شدن در قطعه نیست. در این حالت کاشی تاب بر می‌دارد و در ادامه ممکن است به بروز ترک نیز منجر گردد.

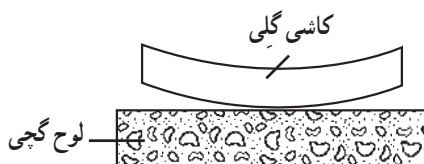
۳- غیریک‌نواختی در خشک شدن: خشک شدن سریع یک کاشی بر روی لوح گچی موجب می‌شود در سطح آن تحدب به وجود آید. این عیب در شکل ۱۲-۵ نشان داده شده است.



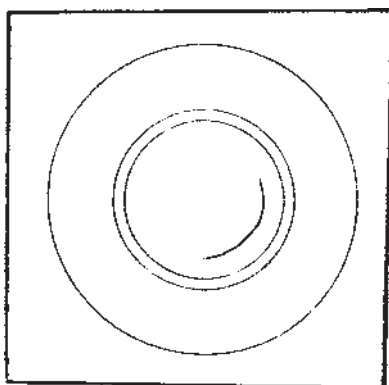
ب

الف

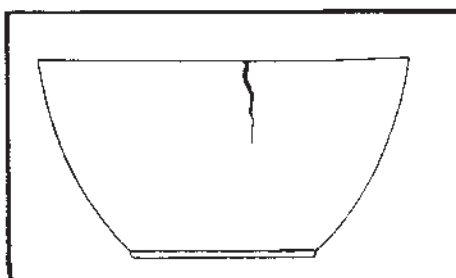
شکل ۱۱-۵



شکل ۱۲-۵



ترک خشک شدن در ته یک قطعه



ترک خشک شدن در لبه‌ی یک قطعه

شکل ۱۳-۵



## پرسش‌های فصل پنجم

- ۱- خشک کردن قطعات سرامیکی را تعریف کنید.
- ۲- انواع آب‌ها در قطعات سرامیکی را نام ببرید.
- ۳- آب سوسپانسیون چیست و در چه مرحله‌ای از قطعه خارج می‌شود؟
- ۴- آیا قطعه با از دست دادن آب بین لایه‌ای قابل شکل دهی مجدد است؟ چرا؟
- ۵- چرا آب جذب شده در دماهای بالاتر از  $100^{\circ}\text{C}$  در قطعه باقی است؟
- ۶- آب شیمیایی چیست و در چه دمایی از قطعه خارج می‌شود؟
- ۷- حالت لدرهارد قطعه را توضیح دهید.
- ۸- مکانیسم‌های انتقال حرارت را نام ببرید و هر یک را شرح دهید.
- ۹- کدام یک از مکانیسم‌های انتقال حرارت بازده بیشتری دارد؟
- ۱۰- اساس کار خشک‌کن‌های مداوم و غیرمداوم را شرح دهید.
- ۱۱- انتقال حرارت و خشک شدن قطعه در یک خشک‌کن صفحه‌ی گرم آزمایشگاهی، چگونه صورت می‌گیرد؟
- ۱۲- ابعاد قطعه چه تأثیری بر روی خشک شدن قطعه دارد؟
- ۱۳- دلایل ایجاد عیوب در مرحله‌ی خشک شدن را شرح دهید.
- ۱۴- علت تاب برداشتن قطعه در حین خشک شدن چیست؟

## پخت سرامیک‌ها

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از فراگیرنده انتظار می‌رود:

- ۱- مراحل پخت قطعه‌ی سرامیکی را در کوره نام ببرد.
- ۲- خشک شدن قطعه در مرحله‌ی پخت را توضیح دهد.
- ۳- سوختن و خروج مواد آلی از قطعه در مرحله‌ی پخت را شرح دهد.
- ۴- خروج کربنات‌ها و سولفات‌ها را از قطعه بیان کند.
- ۵- هم‌جوشی یا زینترینگ را توضیح دهد.
- ۶- تغییرات حجمی قطعه را در مراحل پخت نام ببرد.
- ۷- دلایل انبساط حجمی قطعه را در حین پخت توضیح دهد.
- ۸- دلایل انقباض حجمی قطعه را در حین پخت شرح دهد.
- ۹- عیوب قطعه در مرحله‌ی پخت را نام ببرد.
- ۱۰- دلایل دفرمگی قطعات را شرح دهد.
- ۱۱- انواع کوره‌های پخت را براساس نوع کار، تقسیم‌بندی کند.
- ۱۲- نحوه‌ی کار کوره‌های متناوب را شرح دهد.
- ۱۳- نحوه‌ی کار کوره‌های پیوسته را توضیح دهد.
- ۱۴- مزایا و محدودیت‌های کوره‌های متناوب و مداوم را مقایسه کند.
- ۱۵- سوخت کوره‌ها را نام ببرد.
- ۱۶- سوخت‌های جامد کوره‌ها را نام ببرد.
- ۱۷- سوخت‌های مایع کوره‌ها را نام ببرد.
- ۱۸- سوخت‌های گازی کوره‌ها را نام ببرد.
- ۱۹- کاربرد الکتروسیسته یا منبع انرژی کوره‌ها را توضیح دهد.

قطعات سرامیکی پس از خشک شدن فاقد استحکام کافی اند و اگر کم‌ترین نیرویی به آن‌ها وارد آید خرد می‌شوند و درهم می‌شکنند. یا اگر مجدداً با رطوبت تماس پیدا کنند ممکن است دفرمه و یا تخریب شوند.

برای استحکام کافی باید آن‌ها را پخت کرد. معمولاً این عمل در دمای بالاتر از  $900^{\circ}\text{C}$  انجام می‌شود. پخت قطعات سرامیکی بدون لعاب را «پخت بیسکویت» نامند.

اغلب سفال‌ها، دیرگدازها و محصولات بدون لعاب تنها یکبار پخت می‌شوند. در حالی که قطعات لعاب‌دار عموماً با دو پخت ساخته می‌شود در پخت بیسکویت قطعه برای حمل و نقل و لعاب‌زنی استحکام کافی پیدا می‌کند و پس از اعمال لعاب، پخت لعابی به منظور تأمین سطح شیشه‌ای انجام می‌گیرد.

در برخی از سرامیک‌ها، که نیاز به تزیین و دکور دارند، لازم است برای بار سوم و گاه بیش‌تر، آن‌ها را پخت نمود که به «پخت دکور» معروف است.

شایان ذکر است در محصولاتی که استحکام خشک مناسبی دارند؛ مثل چینی‌های بهداشتی، پخت بدنه و لعاب به‌طور هم‌زمان انجام می‌گیرد. این نوع محصولات «تک‌پخت» نام گرفته‌اند.

## بررسی تأثیر حرارت بر قطعه‌ی در حال پخت

قطعات پس از خشک شدن، برای استحکام موردنظر باید در کوره پخت شوند. تأثیر فرآیند پخت بر روی قطعات را در پنج محور می‌توان توضیح داد:

### ۱- خشک شدن کامل و خروج آب متبلور

قطعه پس از مرحله‌ی خشک شدن وارد کوره می‌شود. گرچه قطعه‌ها ظاهراً خشک به‌نظر می‌آیند، اما مقداری رطوبت در خود دارند و باید کاملاً خشک شوند. می‌دانیم هوای محیط همواره درصدی رطوبت دارد. بنابراین، اگر حتی قطعه‌ی خشک در هوای آزاد قرار گیرد، مقداری از رطوبت هوا را جذب می‌کند و آن را در تخلخل‌های خود به مایع تبدیل می‌نماید و این چنین مرطوب می‌شود. از سوی دیگر در مرحله‌ی خشک کردن تمام آب‌های جذب شده نمی‌توانند در آن دما از قطعه خارج شوند. در ضمن، آب شیمیایی یا تبلور تا دمای بالاتر از  $400^{\circ}\text{C}$  در قطعه باقی خواهد بود. بنابراین، در اولین مرحله‌ی پخت، ضروری است قطعه از رطوبت‌های مذکور کاملاً عاری

شود. البته باید توجه داشت این عمل با کمترین سرعت و به آرامی صورت گیرد تا احتمال بروز عیوب در قطعه به حداقل رسد. در این مرحله، به دلیل شکسته شدن پیوند OH (آب تبلور) استحکام قطعه کاهش می‌یابد و خروج سریع آب به صورت بخار می‌تواند حتی با تخریب قطعه همراه باشد.

پس لازم است زمان مرحله‌ی اول پخت، طولانی باشد و به تدریج از سرعت افزایش دما در کوره کاسته شود تا به هنگام خشک شدن سلامت قطعه حفظ شود.

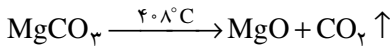
## ۲- سوختن و خروج ناخالصی‌های آلی از قطعه

مواد اولیه‌ی سرامیکی حاوی ناخالصی‌های فراوان است، از جمله ناخالصی‌های آلی در رس‌ها و چسب‌ها یا بیندرها. این مواد در دمای حدود  $750^{\circ}\text{C}$  با اکسیژن اتمسفر کوره ترکیب می‌شوند و می‌سوزند و از قطعه خارج می‌شوند.<sup>۱</sup>

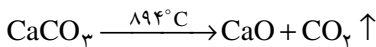
خروج این مواد از قطعه همراه با تخلخل است؛ ضمن آن که عدم خروج کامل آن باعث بروز عیوب رنگی در قطعه می‌گردد. همان‌طور که گفته شد خروج آب تبلور، استحکام قطعه را کاهش می‌دهد و در آن تخلخل‌هایی ایجاد می‌نماید. با خروج مواد آلی باز هم حجم تخلخل افزایش می‌یابد در حالی که استحکام قطعه بسیار پایین است.

## ۳- خروج کربنات‌ها و سولفات‌ها از قطعه

پس از مرحله‌ی خروج مواد آلی، خروج کربنات‌ها و سولفات‌ها آغاز می‌گردد. واکنش تجزیه‌ی کربنات‌ها از دمای  $400^{\circ}\text{C}$  شروع می‌شود:



دمای تجزیه‌ی کربنات‌ها عموماً همان دمای تجزیه‌ی کربنات کلسیم در نظر گرفته می‌شود.



واکنش تجزیه‌ی کربنات کلسیم در حدود دمای  $900^{\circ}\text{C}$  انجام می‌شود، اما دمای عملی واکنش، به اتمسفر، شکل، اندازه و ذرات بستگی دارد. بنابراین، ممکن است واکنش از دمای پایین‌تر از آنچه گفته شد، آغاز شود. یا آن که در دمای بالاتر از  $1000^{\circ}\text{C}$ ، نیز ادامه یابد.

سولفات‌ها نیز در دمای اندکی بالاتر از قطعه خارج می‌گردد، اما عموماً مقدار آن‌ها در

۱- باید اتمسفر کوره تا دمای  $700^{\circ}\text{C}$  حاوی اکسیژن لازم باشد (محیط اکسیدی)

اغلب بدنه‌های سنتی کم است و کم‌تر نیز به آن توجه می‌شود، ولی وجود سولفات بیش‌تر سبب بروز عیب در بدنه خواهد شد.

#### ۴- هم‌جوشی و یک‌پارچگی قطعه یا زینترینگ

در مراحل قبلی بحث تجزیه و خروج مواد از قطعه ملاحظه شده از جمله این که قطعه‌ای متخلخل با استحکام کم حاصل شد. اما در این مرحله با افزایش دما، ذرات ریز در دمایی پایین‌تر از «نقطه‌ی ذوب» و در مجاورت مواد کمک ذوب می‌توانند با یک‌دیگر جوش بخورند و به عبارت دیگر دو ذره‌ی جامد در محل اتصال با یک‌دیگر به دلایل مختلف، از قبیل «افزایش دما، فشار و تغییر انرژی و ذوب سطحی» پیوند برقرار کنند. در چنین شرایطی، هم‌جوشی با پیشرفت زمان رشد می‌کند و به سبب متراکم شدن ذرات، حجم کلی قطعه کاهش می‌یابد و از میزان تخلخل‌های قطعه کاسته می‌شود؛ در نتیجه دانسیته قطعه افزایش می‌یابد.

اما باید دانست هم‌جوشی ممکن است با تولید فاز مایع همراه باشد. توضیح این که گدازآورهای موجود در فرمولاسیون بدنه، تدریج نرم و سپس ذوب می‌شوند و آن‌گاه فاز یا فاز مایع شیشه‌ای را تولید می‌نمایند.

به‌طور کلی فاز مایع با نفوذ به محل‌های خالی قطعه می‌تواند تا ۹۰٪ کل حجم قطعه باشد، البته همین مقدار فاز مایع سبب پر شدن خلل و منافذ قطعه خواهد شد؛ بنابراین، پس از این مرحله با کاهش حجم قطعه و افزایش استحکام آن روبه‌رو می‌شویم، زیرا در پایان مرحله‌ی هم‌جوشی (زینترینگ یا زینتر شدن) ذرات کاملاً به یک‌دیگر متصل و یک‌پارچه می‌گردند و بسیاری از تخلخل‌ها پر می‌شود. در مراحل پایان پخت، انقباض پدید می‌آید و حجم قطعه کاهش می‌یابد، ضمن این که یک‌پارچگی و تراکم، استحکام آن را افزایش می‌دهد.

#### ۵- استحاله‌های فازی<sup>۱</sup>

با حرارت دادن در مواد، استحاله یا تغییر فاز مشاهده می‌شود. این استحاله و تغییر و تحول فازی در مواد گاه با تغییرات حجمی نسبتاً زیادی همراه است. این تغییرات اگر کنترل شده نباشد بسیار مخرب خواهد بود. به عنوان مثال در میان مواد موجود در آمیزهای سرامیکی، سیلیس دارای دو استحاله‌ی فازی است که در دمای محدوده‌ی پخت صورت می‌گیرد؛ از این‌رو، آشنایی با این استحاله‌ها (کوارتز و کریستوبالیت) بسیار مهم است.

۱- تغییر، تحول و تبدیل ساختمانی هر ماده از شکلی به شکل دیگر، در دمای مختلف، «استحاله» نام دارد.

سیلیس از اصلی ترین مواد اولیه در فرمولاسیون بدنه های سرامیکی به شمار می آید. در کتاب «مواد اولیه» با این ماده و مدیفیکاسیون های آن آشنا شدید.

کوارتز پایدارترین و فراوان ترین شکل سیلیس در حالت طبیعی است و در فرمولاسیون آمیز نیز دارای درصد بیش تری است.

کوارتز دارای دو شکل «کوارتز آلفا» و «کوارتز بتا» است. در دمای محیط و حالت پایدار فاز آلفا پایدار است. کوارتز آلفا در دماهای بالا به فاز بتا تبدیل می گردد. اگر کوارتز آزاد در فرمولاسیون آمیز وجود داشته باشد در حین فرآیند پخت با افزایش دما، قابلیت استحاله ی فازی  $\alpha$  به  $\beta$  ایجاد خواهد شد و در دماهای  $573^{\circ}\text{C}$  کوارتز آزاد از فاز  $\alpha$  به  $\beta$  تبدیل می گردد. این تغییر به صورت چرخش ساختمانی است و با تغییرات و انبساط حجمی زیادی همراه است.<sup>۱</sup> اگر سرعت افزایش دما کنترل نشود و تغییرات به آرامی صورت نگیرد، هم چنین مقدار کوارتز آزاد در بدنه زیاد باشد، انبساط حجمی ایجاد شده در قطعه زیاد و سریع خواهد بود؛ در نتیجه سبب ترک و شکست در قطعه می شود. از سوی دیگر، این استحاله به صورت برگشت پذیر (جابه جاساز) صورت می گیرد؛ یعنی به دلیل افزایش دما و انرژی در قطعه، طول پیوند و زاویه ی اتم های سازنده ی قطعه نسبت به یک دیگر تغییر می کند و چرخشی در قطعه حاصل می شود. در نتیجه حجم قطعه تغییر می یابد. اما چون این استحاله با تغییر شکل شبکه (تخریب شبکه و بازسازی آن) همراه نیست، با کاهش دما اتم ها به حالت اولیه باز می گردند؛ از این رو، این استحاله ها را برگشت پذیر می نامند.

بنابراین، باید توجه داشت بعد از مرحله ی پخت اگر کوارتز آزاد در قطعه باقی مانده باشد در حین فرآیند سرد کردن قطعه و در دمای  $573^{\circ}\text{C}$  قابلیت تبدیل فاز  $\beta$  به  $\alpha$  خواهد بود و اگر این استحاله صورت گیرد، همان گونه که در حالت اول با افزایش حجم همراه بود، در این مرحله، کاهش حجمی قطعه پدیدار می شود؛ بنابراین، ضروری است سرعت کاهش دمای قطعه، با کنترل دقیقی صورت بگیرد تا امکان بروز عیب در قطعه به حداقل برسد.

استحاله های متفاوتی حین پخت در سرامیک ها روی می دهد که آشنایی با آن ها می تواند ما را در تنظیم و ارائه ی یک برنامه پخت مطلوب راهنمایی کند.

### بررسی تغییرات حجمی قطعه در حین پخت

در فرآیند پخت، حجم و ابعاد قطعه در اثر حرارت، تغییرات زیادی می کند. بطور کلی ابعاد

۱- حدود ۲/۴٪

نهایی قطعات سرامیکی پس از پخت کاهش می‌یابد.

همان‌گونه که می‌دانیم مواد در اثر حرارت، انبساط می‌یابند. در حقیقت کلیه ذرات سرامیکی در یک قطعه در اثر حرارت منبسط می‌شوند (انبساط حرارتی). اما انقباض کلی به دلیل تشکیل فاز مذاب و پرکردن تخلخل‌ها، بسیار بیش‌تر از انبساط حرارتی ذرات است. با کاهش دما انبساط حرارتی برگشت پذیر می‌شود، اما انقباض ناشی از پخت سرامیک‌ها بازگشت‌ناپذیر است. انقباض پخت در زبان انگلیسی شرینجینگ به معنای «آب رفتگی» یا «درهم فرو رفتن» نام گرفته است و در کارخانجات تولیدی هم از این عبارت استفاده می‌شود.

با توجه به کوچک بودن انبساط حرارتی در مقایسه با انقباض سرامیک‌ها حین پخت محصولات متداول سرامیکی، می‌توان از انبساط حرارتی چشم‌پوشی کرد ولی در ساخت سرامیک‌های پیشرفته و مهندسی که اندازه و ابعاد محصول اهمیت زیادی دارند باید مورد توجه بیش‌تری قرار گیرد.

## انقباض پخت

اگر بار دیگر به مرحله خشک کردن قطعه نظری بیفکنیم، در خواهیم یافت انقباض از تر به خشک از ابتدای فرآیند خشک شدن آغاز می‌شود و تا مرحله لدرهارد ادامه می‌یابد و در مراحل پایانی خشک شدن، انقباض محسوس در قطعه صورت نمی‌گیرد.

اما در مرحله پخت با شروع فرآیند هم‌جوشی (زینترینگ) انقباض افزایش می‌یابد تا مراحل پایانی پخت، کاهش حجم قطعه صورت می‌گیرد. همان‌گونه که گفته شد، با افزایش دما و تولید فاز مایع ذرات درهم فرومی‌روند و به یک‌دیگر متصل می‌گردند؛ هم‌چنین با فاز مایع، تخلخل‌ها پر می‌شوند. بر اثر در هم فرورفتن ذرات و پرشدن خلل و منافذ، حجم کلی قطعه منقبض می‌شود.

آنچه در این انقباض بسیار مهم است عدم تناسب در زمان کاهش ابعاد قطعه و زمان کاهش وزن آن است. همان‌گونه که گفته شد، در مراحل اولیه با خروجی مواد فرار، کاهش وزن قطعه رخ می‌دهد و انقباض محسوس صورت نمی‌گیرد، اما در مرحله آخر پخت با پیشرفت زینترینگ، تخلخل‌ها پرت‌تر و قطعه کوچک‌تر می‌شود.

## بررسی عیوب قطعه در مرحله پخت

اگر انبساط یا انقباض حجمی به آرامی و کنترل شده صورت نگیرد یا این تغییرات به صورت یک‌نواخت در قطعه رخ ندهد، با عیوب مختلفی مانند تاب، ترک یا دفرمگی در قطعات مواجه خواهیم شد.

## مهم ترین عوامل تاب در قطعات

یک نواختی انتقال حرارت: پیش از این گفته شد اگر تغییرات حجمی یک نواخت نباشد قطعه دچار تنش و شوک می شود. برای مثال یک قوری چینی (پرسلان) را در نظر بگیرید، اگر آن را بر روی اجاق گاز قرار دهید چه اتفاقی رخ خواهد داد؟ چرا؟

این اتفاق در کوره نیز ممکن است رخ دهد. اگر انتقال حرارت به طور یک نواخت صورت نگیرد، یک طرف قطعه نسبت به طرف دیگر آن گرم تر می شود و انقباض در دو سمت قطعه نیز متفاوت می گردد. در نتیجه در قطعه شوک حرارتی ایجاد می شود و ممکن است بیش از توانایی تحمل قطعه باشد، و باعث ترک و شکست قطعه می شود. در این حالت قوری بر روی اجاق خواهد شکست.

## نحوه ی چیدن قطعات در کوره

اگر قطعات بر کف کوره چیده شوند سطح زیرین قطعه (پایه ی ظرف) نسبت به دیگر سطوح قابلیت تحرک کمتری خواهد داشت. این سطح، هم وزن قطعه را متحمل شده است و هم بر روی سطحی قرار دارد که با تغییرات دما تقریباً هیچ انقباضی ندارد؛ از این رو سبب انقباض کم تر پایه ی قطعه خواهد شد. پس در قسمت فوقانی قطعه، انقباض بیش تر و در سطح زیرین آن انقباض کم تر است. در صورت بروز انقباض غیر یک نواخت ممکن است در قطعه دفرمگی ایجاد شود، اما اگر این قطعه بر روی سطحی (صفحه ای) پخت نشده از جنس خود، قرار گیرد در حین مراحل پخت، قطعه همراه با صفحه ی زیرین خود منقبض و منبسط می گردد؛ در نتیجه، انقباض غیر یک نواخت، در قطعه به وجود نخواهد آمد و عیوب در قطعه ایجاد نخواهد شد.



قطعات مدور توخالی، مانند فنجان در اثر انقباض پخت ممکن است شکل یک نواخت را از دست بدهند. برای جلوگیری از این دفرمگی باید از دیسک های سرامیکی بر روی فنجان استفاده کرد. البته می توان فنجان ها را دوبه دو بر روی هم قرار داد تا به صورت یک نواخت پخت گردند و شکل مدور خود را حفظ نمایند (شکل ۱-۶).

شکل ۱-۶



بایستی توجه داشت تمامی عیوب مشاهده شده پس از پخت ممکن است مربوط به این مرحله نباشند. در حقیقت بسیاری از ترک‌های ریز و عیوب به وجود آمده در مرحله‌ی شکل دادن یا خشک کردن، در مرحله پخت خود را نشان می‌دهند.

برای رفع یا کنترل عیوب محصولات سرامیکی پس از پخت لازم است تا هم در مراحل قبلی دقت کافی اعمال شود و هم برنامه‌ی پخت متناسب با تحولات درونی محصول به طور صحیح طراحی و اجرا کرد.

### برنامه یا منحنی پخت

دانستیم با کنترل سرعت تغییرات حجمی در قطعه، عیوب کم‌تری را به وجود می‌آید؛ از این رو برای کنترل سرعت تغییرات باید درجه حرارت را کنترل کرد.

انتخاب سرعت مناسب برای تغییرات درجه‌ی حرارت – به منظور جلوگیری از بروز عیوب در قطعه – الزامی است و اگر رابطه‌ی صحیح زمان و تغییرات درجه‌ی حرارت، در طول مرحله‌ی پخت، برقرار نباشد خطر معیوب شدن قطعات، همواره وجود خواهد داشت.

خروج نامناسب آب شیمیایی، نیازمند کنترل سرعت افزایش دما در کوره است تا به آرامی این آب از قطعه خارج گردد و قطعه تخریب نشود. در دمای مختلف استحاله‌های فازی رخ می‌دهد و تغییرات حجمی زیادی را در قطعه ایجاد می‌کند. برای جلوگیری از تخریب قطعه باید سرعت این استحاله‌ها را کنترل کرد. به هنگام فرآیند پخت، مواد آلی با اکسیژن درون کوره ترکیب می‌گردد و می‌سوزد؛ در نتیجه، واکنش گرمازا ایجاد می‌شود و افزایش دما را سرعت می‌بخشد. به همین سبب، این افزایش دما باید کنترل شود.

همان‌گونه که ملاحظه شد، در مراحل مختلف پخت، برای افزایش دما در واحد زمان، به برنامه‌ای نیاز داریم که به آن «برنامه‌ی پخت» یا «منحنی پخت» گویند. انتخاب درست و صحیح این برنامه موجب کاهش بروز عیوب در قطعه در حین مراحل پخت خواهد شد. برنامه‌ی پخت براساس نوع بدنه، نحوه‌ی آماده‌سازی و شیوه‌ی شکل‌دهی قطعه، نوع، حجم و امکانات کوره و نظایر آن تهیه می‌گردد. در صفحه‌ی ۱۲۳ یک منحنی (برنامه) پخت مشاهده می‌شود.

### انواع کوره‌های پخت صنایع سرامیک

کوره‌های پخت صنایع سرامیک دارای محیط بسته‌ای هستند و با محیط اطراف، از نظر حرارتی کاملاً ایزوله شده‌اند. به عبارت دیگر، انتقال حرارت از داخل به خارج و به عکس، به حداقل

ممکن می‌رسد تا فرآورده‌های سرامیکی در درون این محیط چیده شوند و با افزایش دما پخت گردند. برای این منظور جداره‌ی کوره‌های سرامیکی از مواد دیرگداز ساخته شده‌اند تا در برابر درجه‌ی حرارت بالا مقاومت بیشتری داشته باشند. کوره‌های صنایع سرامیک از لحاظ نوع کار، دمای پخت، و نوع سوخت، حرارت‌دهی، نوع قطعات در حال پخت و همانند آن، متفاوت‌اند و براساس این تفاوت‌ها تقسیم‌بندی شده‌اند.

کوره‌های پخت سرامیک براساس «نوع کار» بر دو دسته تقسیم‌بندی می‌شوند: «کوره‌های متناوب» و «کوره‌های پیوسته». از سوی دیگر بسته به زمان پخت کوره‌ها به دو نوع کوره‌های متداول و کوره‌های پخت سریع طبقه‌بندی می‌شوند.

## کوره‌های متناوب

کوره‌های متناوب یا غیرمداوم، اتاقک بسته‌ای است که با توجه به کاربرد آن دارای ابعاد مختلف است. این کوره‌ها به صورت تناوبی (غیرمداوم) کار می‌کنند و مراحل کار با آن‌ها را می‌توان به پنج قسمت تقسیم‌بندی کرد:

- ۱- قطعات در کوره‌ی سرد چیده می‌شوند.
  - ۲- کوره روشن می‌شود و قطعات تا دمای پخت گرم می‌شوند.
  - ۳- در صورت نیاز تا زمان مشخص در آن دما می‌مانند.
  - ۴- کوره خاموش و سرد می‌شود.
  - ۵- قطعات پخت شده پس از خنک شدن (دمای محیط) تخلیه می‌گردند.
- در آغاز، کوره‌های سرامیکی متناوب سردند و باید سوخت زیادی مصرف شود تا گرم شوند. پس از رسیدن به دمای مورد نیاز، مجدداً کوره‌ها سرد و قطعات خارج می‌شوند. ملاحظه می‌کنید در این روش برای هر بار پخت، انرژی زیادی مصرف می‌شود و با سرد کردن کوره انرژی بسیاری تلف می‌گردد. اما از سوی دیگر، ابعاد و حجم کوره، قیمت پایین و سادگی ساختمان آن سبب گردیده است تا هنوز این کوره‌ها در کارخانجات و کارگاه‌های کوچک کاربرد فراوانی داشته باشند.
- در صفحه‌ی بعد تصاویری از کوره‌های متناوب نشان داده شده است.



شکل ۳-۶- کوره‌ی پخت دیرگدازهای سرامیکی (واگنی) درب ورودی به وسیله‌ی دو عدد سیم بکسل بالا و پایین می‌شود.



شکل ۲-۶- کوره‌های جعبه‌ای، در این کوره دیواره‌ها جابه‌جا شده بالا و پایین می‌رود.

کوره‌های پیوسته: روشن و خاموش شدن متناوب کوره‌ها، اتلاف انرژی بسیاری را در پی داشت، بنابراین، مهندسان به فکر ساخت و طراحی کوره‌هایی افتادند که اتلاف انرژی در آن به حداقل برسد و همواره کوره روشن باشد.

برای این منظور، مهندسی آلمانی به نام «هوفمن»<sup>۱</sup> در سال ۱۸۵۶ میلادی کوره‌ای را طراحی کرده که به نام خود او به «کوره‌ی هوفمن» مشهور گردید.

کوره‌های هوفمن براساس جلوگیری از اتلاف حرارتی طراحی گردیده بود. آن‌ها از چند کوره‌ی متناوب (محفظه‌ی پخت) به صورت زنجیره‌ای در کنار یکدیگر طراحی شده بودند و در نتیجه، مجموعه‌ای بسته را در کنار هم ایجاد می‌کردند. این کوره‌ها را به گونه‌ای در مجاورت یکدیگر قرار می‌دادند تا فضای داخلی آن‌ها با یکدیگر مرتبط گردد و جریان هوای درونی آن‌ها به راحتی به دیگر محفظه‌ها انتقال یابد.

در کوره‌های هوفمن روند فرآیند پخت به گونه‌ای برنامه‌ریزی می‌گردید تا اگر این کوره دارای چهار محفظه باشد،<sup>۲</sup> اولین محفظه در مرحله‌ی سرد شدن قرار گیرد؛ محفظه‌ی دوم در حال گرم شدن باشد و از حرارت اتلافی محفظه‌ی اول که در حال سرد شدن است استفاده نماید؛ محفظه‌ی سوم

۱- Friedrich Hoffmann

۲- محفظه‌ی پخت از سه واگن هم‌اندازه ساخته شده است.

بالاترین دما را برای پخت قطعات درون خود دارا باشد. محفظه‌ی چهارم در حال تخلیه و بارگیری قرار گیرد. بدین ترتیب، در این کوره‌ها اتلاف حرارتی در مقایسه با کوره‌های متناوب، کم‌تر است. قطعات در کوره‌های هوفمن ثابت است و جریان حرارتی (شعله‌ای) از یک اتاقک به اتاقک دیگر پی‌درپی در حرکت است و درون محفظه‌های پخت جریان دارد؛ از این‌رو، با سرد شدن یک محفظه (محفظه‌ی پخت) حرارت هدر نمی‌رود و حرارت اضافی به محفظه بعدی منتقل می‌شود بنابراین اتلاف حرارتی کم‌تری صورت می‌گیرد. اما این نکته را نباید از یاد برد، قطعاتی که درون این کوره‌ها پخت می‌شوند باید در برابر شوک حرارتی تحمل بالایی داشته باشند، زیرا با جریان هوا در کوره، شیب حرارتی زیادی به‌وجود می‌آید و قطعات را با شوک حرارتی روبه‌رو می‌کند، بنابراین، از آن‌ها کم‌تر برای پخت قطعات ظریف سرامیکی استفاده می‌شود و اغلب برای کوره‌های آجرپزی به‌کار گرفته می‌شوند.

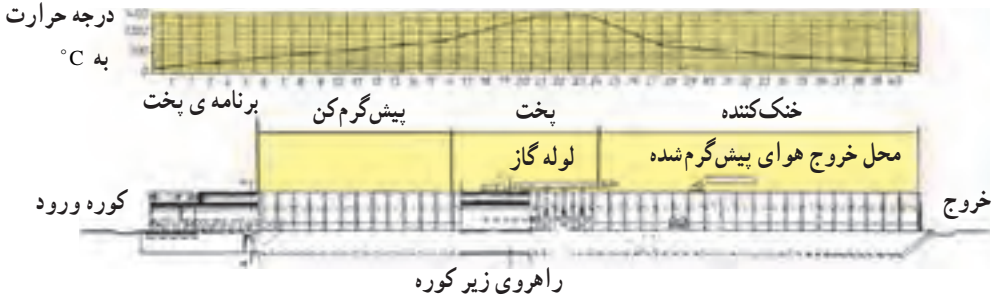
برای برطرف ساختن کاستی‌های کوره‌های هوفمن، کوره‌هایی طراحی و ساخته شد که شکلی همانند تونل دارد و از این‌رو به «کوره‌های تونلی» مشهور شده است. در کوره‌های تونلی محصولات و قطعات سرامیکی بر روی واگن قرار می‌گیرند و در محفظه‌ی کوره حرکت می‌کنند، بنابراین، کوره‌های تونلی دارای طول و حجم بزرگی بودند. کوره‌های تونلی با در نظر گرفتن سه منطقه طراحی شده است تا قطعه به آرامی «گرم»، «پخت» و «سرد» گردد و تغییرات حرارتی بر روی قطعات به آرامی صورت گیرد؛ هم‌چنین کم‌ترین شوک و تنش در آن‌ها ایجاد گردد تا از احتمال بروز عیوب در قطعات کاسته شود. در منطقه‌ی اولیه‌ی کوره، قطعات به آرامی گرم می‌شوند و کاملاً خشک می‌گردند تا از این طریق، تنش‌ها و عیوبی که در مباحث قبل بیان گردید، در قطعات ایجاد نگردد. این قسمت از کوره به نام منطقه‌ی «پیش‌گرم‌کن» کوره معروف است. در «پیش‌گرم‌کن» قطعات قبل از پخت، گرم و خشک می‌شوند و سپس وارد منطقه‌ی دوم کوره می‌گردند.

قطعات در منطقه‌ی دوم به حرکت در می‌آیند و با پیش‌روی در منطقه‌ی پخت، دمای آن‌ها افزایش می‌یابد تا به حداکثر دمای مورد نیاز پخت برسند، سپس در ادامه‌ی پیش‌روی قطعه در کوره، دما کاهش می‌یابد و قطعات وارد منطقه‌ی سوم می‌شوند. در منطقه‌ی خنک‌کننده دمای قطعات به آرامی کاهش می‌یابد تا در هنگام خروج قطعه، اختلاف دمای قطعه و محیط بیرون باعث بروز عیب در آن‌ها نگردد. کوره‌های تونلی به‌گونه‌ای طراحی گردیده‌اند که هوا از منطقه‌ی خنک‌کننده بر قطعه وزیده می‌شود و این جریان هوا وارد منطقه‌ی پخت شده‌ی گرم می‌گردد و با ورود هوای گرم در

۱- منطقه‌ای از کوره که دارای بالاترین دماست به «جهنم کوره» معروف است.

منطقه‌ی «پیش‌گرم» آن قسمت از کوره را نیز گرم می‌کند. بنابراین در کوره‌های تونلی از جریان هوا به بهترین نحو ممکن استفاده می‌شود تا از حرارت کوره، بیش‌ترین بهره‌ عاید گردد و اتلاف حرارتی به حداقل خود برسد.

در شکل ۴-۶ سه منطقه از کوره‌ی تونلی را مشاهده می‌کنید.



شکل ۴-۶

کوره‌های تونلی در مقایسه با کوره‌های متناوب، بازده حرارتی بیش‌تری دارند، اما احداث و ساخت آن‌ها پر هزینه است و فضای بیش‌تری را اشغال می‌کند. البته باید کوره‌های تونلی در طول شبانه‌روز روشن باشد زیرا روشن و خاموش کردن متناوب آن‌ها، هزینه‌ی بالایی دربر خواهد داشت. زمان طولانی پخت که تا سه روز نیز می‌انجامد از عیوب اصلی این کوره‌ها به‌شمار می‌آید.



شکل ۵-۶

۱- طول کوره‌های تونلی متداول حدود ۸۰ متر است و طول انواع قدیمی آن‌ها به ۲۱۰ متر نیز می‌رسید.

بنابراین، لازم بود عیوب از در کوره‌های تونلی برطرف شود. متعاقباً طراحی کوره‌هایی با طول و حجم کم‌تر کاستی‌های موجود در کوره‌های تونلی را برطرف ساخت. در این کوره‌ها دیگر واگن وجود ندارد، بلکه قطعات بر روی غلتک (رولر) از جنس سرامیک‌های دیرگداز قرار می‌گیرند و با چرخش آن‌ها قطعات درون کوره پیش می‌روند. زمان پخت در کوره‌های جدید بسیار کم شده است؛ از این رو، این کوره‌ها با نام «کوره‌های پخت سریع» مشهورند. قطعات در کوره‌های پخت سریع مانند کاشی، کم‌تر از یک ساعت پخت می‌شوند و از کوره خارج می‌گردند. برای پیشرفت و اصلاح و تکمیل کوره‌های پخت سریع، تلاش فراوانی صورت گرفته است تا جایی که به پخت فوق‌العاده سریع قطعات (در حدود ۱۵ تا ۲۵ دقیقه) نیز دست یافتند (کوره‌های مایکروویو).

## سوخت کوره‌ها

یکی از عوامل تفکیک و تقسیم‌بندی کوره‌ها، براساس نوع سوخت مصرفی آن‌هاست. انرژی حرارتی کوره‌ها با استفاده از سوخت‌های جامد، مایع و گاز یا الکتریسیته تأمین می‌شود.

## سوخت‌های جامد

منابع تولید انرژی سوخت‌های جامد عبارت‌اند از: کک و آنتراسیت، زغال سنگ قهوه‌ای (لیگنیت) و تورب، چوب و زغال چوب. با سوختن این مواد در کوره‌ها، انرژی زیادی حاصل می‌شود و از آن جهت پخت قطعات سرامیکی استفاده می‌گردد. شایان ذکر است در کوره‌های سنتی استفاده از سوخت جامد مرسوم بوده است و به دلایل مختلف از قبیل:

- ۱- تولید رطوبت در حین پخت (چوب)،
- ۲- گران و پرهزینه بودن (کک در مقایسه با چوب و زغال)،
- ۳- ذخایر کم در کشورهای صنعتی (زغال سنگ و چوب)،
- ۴- تولید خاکستر در محیط کوره،
- ۵- تولید گازهای مزاحم در اتمسفر کوره و تغییر خواص قطعات سرامیکی و نسوزهای کوره، این مواد به‌عنوان منابع تولید انرژی کم‌تر استفاده می‌شود و مصرف آن‌ها، به‌عنوان ماده‌ی سوختنی، در کوره‌های نوین محدود شده است.

جدول ۱-۶ ارزش گرمادهی سوخت‌های جامد را نشان داده است.

## جدول ۱-۶

ماده‌ی سوختی	ارزش حرارتی $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
چوب	۱۸۸۵۰
تورب	۲۳۹۰۰
زغال سنگ قهوه‌ای	۲۵۵۵۰
آنتراسیت	۳۳۵۰۰
کک	۳۳۹۰۰

### سوخت‌های مایع

مایعات اشتعال‌پذیر که غالباً ریشه‌ی آلی دارند و حاوی هیدروکربن‌های حاصل از نفت خام‌اند سوخت‌های مناسبی در صنایع پخت سرامیک به‌شمار می‌آیند.

نفت سفید، گازوییل و نفت کوره (مازوت) از مایعات مهم سوختنی هستند که با سوختن در کوره‌های صنایع سرامیکی انرژی مورد نیاز پخت قطعات را تأمین می‌کنند.

ذخایر ناکافی، گران بودن و تولید گاز با سولفور مزاحم در اتمسفر کوره، مهم‌ترین عواملی هستند که مصرف این مواد را محدود ساخته است، اما این مواد در کشورهای دارای ذخایر نفتی یکی از منابع اصلی سوخت به‌شمار می‌آید و در کارگاه‌های کوچک به‌کار گرفته می‌شوند.

چون ترکیبات نفت، که مواد سوختنی از آن‌ها به‌دست می‌آید متفاوت است، خصوصیات انرژی‌دهی مواد سوختنی نیز با یک‌دیگر متفاوت‌اند؛ بنابراین، نمی‌توان عددی ثابت برای ارزش گرمادهی هر یک از سوخت‌ها ارائه داد؛ با این همه، تمامی انواع آن‌ها (سوخت‌های مایع) دارای

ارزش حرارتی در محدوده‌ی  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  ۴۳۰۰۰-۴۲۰۰۰ هستند.

### سوخت‌های گازی

گازها رایج‌ترین و متداول‌ترین سوخت‌ها در پخت صنایع سرامیکی‌اند. استفاده از این مواد سوختی هزینه‌های تولید را کاهش داده، به دلیل عدم تولید خاکستر و گازهای مضر، مانند گوگرد، کیفیت محصولات را بالا برده است. گازهای طبیعی، مایع، گازهای کوره بلند، گاز زغال‌سنگ و گاز آب از گازهای مهم سوختنی هستند که در صنایع سرامیکی کاربرد دارند. کشور ایران، دومین کشور

دارنده‌ی منابع و ذخایر گازی در دنیا است؛ از این رو این ماده سوختی بهترین سوخت کوره‌های پیش‌رفته‌ی پخت سرامیک محسوب می‌شود که در کشور ما رایج است.

## رایج‌ترین گازهای مصرفی در کوره‌ها

رایج‌ترین گازهای مورد مصرف، هیدروکربن‌ها (پروپان و بوتان) هستند که از نفت یا به صورت طبیعی به دست می‌آیند. این مواد به راحتی در حرارت و فشار معین<sup>۱</sup> مایع می‌شوند و مجدداً در حین سوختن به راحتی به گاز تبدیل می‌گردند. پس حمل و نقل آن‌ها به راحتی صورت می‌گیرد؛ هم‌چنین استفاده و احتراق آن‌ها در کوره‌ها به سهولت انجام می‌پذیرد. از سوی دیگر، از سوختن آن‌ها انرژی حرارتی بسیار بالا تولید می‌شود.

جدول ۲-۶- ارزش حرارتی سوخت‌های گازی

نام سوخت	ارزش گرمادهی $\frac{\text{cal}}{\text{m}^3 \text{K}}$
گاز آب	> ۲۶۷۰
گاز زغال سنگ	۴۴۵۰
گاز طبیعی	> ۱۴۲۴۰
گاز پروپان خالص	$\cong ۲۴۲۴۰$
گاز بوتان خالص	$\cong ۳۰۵۰۰$

## الکتریسیته

الکتریسیته نیز یکی از منابع مهم تولید انرژی برای کوره‌های پخت سرامیکی به‌شمار می‌آید. کوره‌های الکتریکی انرژی حرارتی بالایی را ایجاد می‌کنند و بازده حرارتی بسیار بالایی دارند. انرژی حرارتی تولید شده، از طریق جریان برق در المان‌ها، حرارت ایجاد می‌کند و همانند اجاق‌های برقی دارای المان‌های حرارتی است به طوری که در برابر جریان الکتریکی از خود مقاومت نشان می‌دهد و این مقاومت سبب تولید گرما می‌گردد.

کوره‌ی الکتریکی در مقایسه با اجاق‌های برقی دارای المان‌های حرارتی بیش‌تر و قوی‌تری است؛ از این رو، الکتریسیته بیش‌تری مصرف می‌کند.

۱- دارای فشار و دمای بحرانی پایینی هستند.



بنابراین، هزینه‌ی تأمین انرژی کوره‌ی الکتریکی بسیار بالاست و قیمت محصولاتی که در این کوره‌ها پخت می‌شوند نیز گران خواهد بود. سه عامل مهم محدودیت در استفاده از این منبع انرژی عبارت‌اند از:

۱- بالا بردن هزینه‌ی برق،

۲- عمر کوتاه المان‌های حرارتی،

۳- گران قیمت بودن المان‌های حرارتی.

این سه عامل سبب شده‌اند کوره‌های الکتریکی در کارخانجات بزرگ کم‌تر به کار گرفته شود؛ با این همه، تمیزی سوخت و کنترل اتمسفر کوره، ساده و سهل‌الوصول بودن سوخت، نیز بازده و راندمان حرارتی بسیار بالا، سبب به کارگیری الکتریسیته به مثابه‌ی منبع تولید انرژی در وضعیت‌های خاص است.

حتی در کارگاه‌های کوچک استفاده از کوره‌های الکتریکی نیز مرسوم است.

کنترل برنامه‌ی پخت، اتمسفر کوره و بررسی تغییرات قطعه در حین فرآیند پخت، از عوامل بسیار مهمی است که کاربرد کوره‌های الکتریکی را در آزمایشگاه‌ها و آزمایشگاه کارخانجات امری ضروری ساخته است.

پیشرفت‌های دهه‌ی اخیر در کلیه‌ی صنایع، به خصوص در صنعت سرامیک امکان استفاده از کوره‌های مایکروویو را فراهم کرده است. در این کوره‌ها تولیدکننده امواج مایکروویو انرژی خود را به صورت تابش امواج به قطعه منتقل می‌کنند. انرژی جذب‌شده در قطعه به افزایش دما منجر می‌شود و نهایتاً پخت محصول به زمان کوتاهی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی انتخاب نوع و اندازه‌ی کوره در پخت سرامیک‌های مختلف براساس فاکتورهای نظیر سوخت قابل دسترس، دمای مورد نیاز پخت، جنس محصول و فاکتورهای اقتصادی تعیین می‌شود. در حقیقت کلیه‌ی ملاحظات فنی و اقتصادی در انتخاب کوره‌ی مناسب دخالت دارند. به‌عنوان مثال در یک کشور مثل ایران با ذخایر گاز فراوان کوره‌های گازسوز ارجحیت بیش‌تری دارند. از سوی دیگر در محصولاتی که به اتمسفر کوره بسیار حساس‌اند، لازم است از کوره‌های الکتریکی یا مایکروویو استفاده کنند.

طراحی، ساخت و بهره‌برداری مناسب از کوره‌های صنعتی در صنعت سرامیک از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به‌گونه‌ای که یکی از اصلی‌ترین فاکتورهای ارزیابی محصولات سرامیکی به مرحله‌ی پخت آن بستگی دارد.



شکل ۶-۶- کوره‌های آزمایشگاهی مافل «تابش غیر مستقیم حرارت به قطعه»



شکل ۶-۷- کوره‌های آزمایشگاهی غیر مافل «تابش مستقیم حرارت به قطعه»

## پرسش‌های فصل ششم

- ۱- مراحل پخت قطعات در کوره را نام ببرید و هر یک را به اختصار شرح دهید.
- ۲- هم‌جوشی یا زیترینگ را تعریف کنید.
- ۳- دلیل انقباض پخت قطعات را شرح دهید.
- ۴- علت انبساط حرارتی قطعه در حین پخت را توضیح دهید.
- ۵- علت انبساط حجمی قطعه در حین پخت را شرح دهید.
- ۶- مهم‌ترین عوامل پیچیدگی و دفرمگی در قطعات، هنگام پخت، چیست؟
- ۷- چگونه عدم یکنواختی انتقال حرارت، قطعه را دفرمه می‌سازد؟
- ۸- برای جلوگیری از بروز دفرمگی، قطعات را چگونه در کوره می‌چینند و می‌پزند؟
- ۹- برنامه‌ی پخت کوره‌های سرامیکی را تعریف کنید.
- ۱۰- انواع کوره‌ها براساس نوع و زمان کار کدام‌اند؟
- ۱۱- مراحل پخت در کوره‌ی متناوب را نام ببرید.
- ۱۲- چگونه کوره‌های هوفمن از اتلاف حرارت جلوگیری می‌کند؟
- ۱۳- نحوه‌ی پخت در کوره‌های تونلی را نام ببرید.
- ۱۴- مناطق مختلف کوره‌های تونلی را نام ببرید.

## واژه نامه

accelerater	شتاب دهنده، تسریع کننده
amorphous	آمورف
annealing	تنش زدایی (آنیل کردن)
anthracite	آنتراسیت
batch extruder	اکسترودر مرحله ای
biscuite	بیسکویت
black core	عیب مغز سیاه
blow - blow	روش دمش - دمش
body	بدنه
bone china	چینی استخوانی
bounded water	آب جذب شده
burner block	بلوک مشعل
casting	ریخته گری
chemical water	آب شیمیایی
clay broadener	گل پهن کن
colburn	روش کُلبرن
cold isostatic press (CIP)	روش پرس ایزواستاتیک سرد
conduction	هدایت
continuous dryer	خشک کن پیوسته
convection	کنوکسیون (همرفت)
crack	ترک
De - airing pugmill	پاگمیل هوازدا
decomposition	تجزیه
decoration firing	پخت دکور
defects	عیوب
deflocculated slip	دوغاب روان سازی شده
deflocculation	روان سازی
deformation	دفرمگی (بی شکلی)
densification	افزایش دانسیته قطعه
die	سمبه
drian casting	ریخته گری تخلیه ای

drying	خشک کردن
dry pressing	پرس خشک
electric insulator	مقره
element	المنت
evaporation	تبخیر
fast firing	پخت سریع
filter press	فیلتر پرس
firing	پخت
firing atmosphere	اتمسفر پخت
firing defects	عیوب پخت
firing fuel	سوخت کوره
firing schedule (program)	برنامه پخت
firing stages (steps)	مراحل پخت
firing strength	استحکام پخت
firing zones	مناطق کوره پخت
float	شناور (فلوت)
flux	کمک ذوب (فلاکس)
fused cast	ذوب و ریخته‌گری شده
fusion casting	روش ذوب و ریخته‌گری
glazed	لعابدار
glaze firing (glost firing)	پخت لعاب
granole	گرانول
hand made - manual	روش دستی
heat transfer	انتقال حرارت
heat treatment	عملیات حرارتی
hoffman kiln	کوره هوفمن
hollow	توخالی
hollow casting	ریخته‌گری توخالی
hollow cylinder	استوانه توخالی
homogeneous	همگن‌سازی
hot isostatic press (HIP)	پرس ایزواستاتیک گرم
interparticle water	آب بین ذره‌ای
isostatic press	پرس ایزواستاتیک
jigger	جیگر
jigging	شکل دادن به وسیله جیگر
jolly	جولی

jollyng	شکل دادن به وسیله جولی
kiln (furnace) arrangement	چیدمان
lamination	لایه لایه شدن
lattice water	آب شیمیایی (آب هیدراته)
leather hard	لدر هارد (چرمینگی)
lignite	زغال سنگ قهوه‌ای (لیگنیت)
Liquid phase	فاز مایع
manual shaping	شکل دادن دستی
mixer	مخلوط کن
mold / mould	قالب
molten glass	شیشه یا مذاب شیشه
molten metal	مذاب فلز
multi - pieces mould	قالب چند تکه
Peat	تورب
permeable (porous) mould	قالب متخلخل
phase transformation	استحاله‌های فازی
plasticity factor	عدد پلاستیسیته
plastic shaping	شکل دهی پلاستیک
plate	پشقاب
porosity water	آب تخلخل
pottery wheel	چرخ کوزه‌گری
pre shaping	پیش شکل دادن
press	پرس کردن
press - blow	روش پرس - دمش
pugmill	پاگمیل
radiation	تشعشع (تابش)
ramming	کوبیدن
refractory	دیرگداز
retarder	کند کننده
roller	غلتنک (رولر)
roller machine	ماشین رولر
rotating	گردان
saggar	ساگار
screw extruder	اکسترودر حلزونی
semidry pressing	پرس نیمه خشک
shales	کُک

shaping	شکل دادن
shrinkage	در هم فرو رفتن
sinter	زئیر
slag	سر باره
slip	دوغاب
slip casting	ریخته گری دوغابی
sodium carbonate	کربنات سدیم
sodium salts	نمک های سدیم
sodium silicate	سیلیکات سدیم
sodium sulfate	سولفات سدیم
solid casting	ریخته گری دوغابی توپر
solid cylinder	استوانه توپر
spindle	اسپیندل
spray dryer	اسپری درایر (خشک کن پاشیدنی)
star type crack	ترک شمعدانی (ستاره ای)
stencil	شابلون
store	ذخیره سازی، انبار کردن
s - type crack	ترک S شکل
suspension water	آب سوسپانسیون
symmetrical bodies	ظروف متقارن
thermal conductivity	هدایت حرارت
thermal expansion	انبساط حرارتی
thermo couple	ترموکوپل
tile	کاشی
trimming / polishing	پرداخت کردن
tungsten carbide	کاربید تنگستن
tunnel kiln	کوره تونلی
turning	تراش (خراطی)
vaccuming	هواگیری
viscosity	ویسکوزیته
void	حفره (مک)
wood	چوب (وزغال)

## منابع و مأخذ

### منابع فارسی

- ۱- مارقوسیان، واهاک کاسپاری. «دیرگذاها»/ جهاد دانشگاهی صنعتی شریف/ نوبت چاپ چهارم / ۱۳۶۹.
- ۲- رحیمی، افسون؛ متین، مهران. «تکنولوژی سرمایه‌های ظریف»/ شرکت خاک چینی ایران، نوبت چاپ دوم / ۱۳۸۳.
- ۳- سرپولکی، حسین. «شکل دادن پلاستیک سرمایه‌ها».
- ۴- تشکری، شعبانعلی. «سرمایک برای اهل فن»/ انتشارات گویا/ نوبت اول / ۱۳۷۰.

### منابع خارجی References

- ۱ \_ Singer, Felix; Singer, Sonya. "Industrial Ceramics" / Chapman & Hall LTD/1960.
- ۲ \_ F. H. Norton "Introducton To elements of Ceramics".
- ۳ \_ S.Reed, James, Wiley, Jon "Principles of Ceramic Processing".
- ۴ \_ F. H. Norton "Fine Ceramic".
- ۵ \_ Ryan, W.; Read ford, C. "Whitewares: Production, Testing And Quality Contral" / Pergamon Press/1989.
- ۶ \_ Dinsdale, Allen. "Pottery Scierice, Materials, Processes & Products"/ 1986.
- ۷ \_ F. H. Norton "Refractories".





## واژه‌نامه کتاب شکل‌دادن و پخت سرامیک‌ها

amorphous	آمورف
annealing	تنش‌زدایی (آنیل کردن)
anthracite	آنتراسیت
batchextruder	اکسترودر مرحله‌ای
biscuite	بیسکویت
black core	عیب مغز سیاه
blow - blow	روش دمش - دمش
body	بدنه
bone china	چینی استخوانی
bounded water	آب جذب‌شده
burner block	بلوک مشعل
casting	ریخته‌گری
chemical water	آب شیمیایی
clay broadener	گل‌پهن‌کن
colburn	روش کُلبرن
cold isostatic press (CIP)	روش پرس ایزواستاتیک سرد
conduction	هدایت
continuous dryer	خشک‌کن پیوسته
convection	کنوکسیون (همرفت)
crack	ترک
De - airing pugmill	پاگمیل هوازدا
decomposition	تجزیه
decoration fring	پخت دکور
defects	عیوب
deflocculated slip	دوغاب روان‌سازی‌شده
deflocculation	روان‌سازی
deformation	دفرمگی (بی‌شکلی)
densification	افزایش دانسیته قطعه
die	سمبه
drian casting	ریخته‌گری تخلیه‌ای
drying	خشک‌کردن
dry pressing	پرس خشک
electric insulator	مقره

element	المنت
evaporation	تبخیر
fast firing	پخت سریع
filter press	فیلتر پرس
firing	پخت
firing atmosphere	اتمسفر پخت
firing defects	عیوب پخت
firing fuel	سوخت کوره
firing schedule (program)	برنامه پخت
firing stages (steps)	مراحل پخت
firing strength	استحکام پخت
firing zones	مناطق کوره پخت
float	شناور (فلوت)
flux	کمک ذوب (فلاکس)
fused cast	ذوب و ریخته‌گری شده
fusion casting	روش ذوب و ریخته‌گری
glazed	لعابدار
glaze firing (glost firing)	پخت لعاب
granule	گرانول
hand made - manual	روش دستی
heat transfer	انتقال حرارت
heat treatment	عملیات حرارتی
hoffman kiln	کوره هوفمن
hollow	توخالی
hollow casting	ریخته‌گری توخالی
hollow cylinder	استوانه توخالی
homogeneous	همگن‌سازی
hot isostatic press (HIP)	پرس ایزواستاتیک گرم
interparticle water	آب بین ذره‌ای
isostatic press	پرس ایزواستاتیک
jigger	جیگر
jigging	شکل دادن به وسیله جیگر
jolly	جولی
jollying	شکل دادن به وسیله جولی
kiln (furnace) arrangement	چیدمان
lamination	لایه لایه شدن

lattice water	آب شیمیایی (آب هیدراته)
leather hard	لدر هارد (چرمینگی)
lignite	ذغال سنگ قهوه‌ای (لیگنیت)
Liquid phase	فاز مایع
manual shaping	شکل دادن دستی
mixer	مخلوط کن
mold / mould	قالب
molten glass	شیشه یا مذاب شیشه
molten metal	مذاب فلز
multi - pieces mould	قالب چند تکه
Peat	تورب
permeable (porous) mould	قالب متخلخل
phase transformation	استحاله‌های فازی
plasticity factor	عدد پلاستی سیتیه
plastic shaping	شکل دهی پلاستیک
plate	بشقاب
porosity water	آب تخلخل
pottery wheel	چرخ کوزه‌گری
pre shaping	پیش شکل دادن
press	پرس کردن
press - blow	روش پرس - دمش
pugmill	پاگمیل
radiation	تشعشع (تابش)
ramming	کوبیدن
refractory	دیرگداز
roller	غلتنک (رولر)
roller machine	ماشین رولر
rotating	گردان
saggar	ساگار
screw extruder	اکسترودر حلزونی
semidry pressing	پرس نیمه خشک
shales	کُک
shaping	شکل دادن
shrinkage	در هم فرو رفتن
sinter	زینتر

slag	سر باره
slip	دوغاب
slip casting	ریخته‌گری دوغابی
sodium carbonate	کربنات سدیم
sodium salts	نمک‌های سدیم
sodium silicate	سیلیکات سدیم
sodium sulfate	سولفات سدیم
solid casting	ریخته‌گری دوغابی توپر
solid cylinder	استوانه توپر
spindle	اسپیندل
spray dryer	اسپری درایر (خشک‌کن پاشیدنی)
star type crack	ترک شمعدانی (ستاره‌ای)
stencil	شابلون
store	ذخیره‌سازی، انبار کردن
s - type crack	ترک S شکل
suspension water	آب سوسپانسیون
symmetrical bodies	ظروف متقارن
thermal conductivity	هدایت حرارت
thermal expansion	انبساط حرارتی
thermo couple	ترموکوپل
tile	کاشی
trimming / polishing	پرداخت کردن
tungsten carbide	کاربید تنگستن
tunnle kiln	کوره تونلی
turning	تراش (خراطی)
vaccuming	هواگیری
viscosity	ویسکوزیته
void	حفره (مک)
wood	چوب (و ذغال)