بسم الله الرحمن الرحیم

تولید شیشه

رشتهٔ سرامیک

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

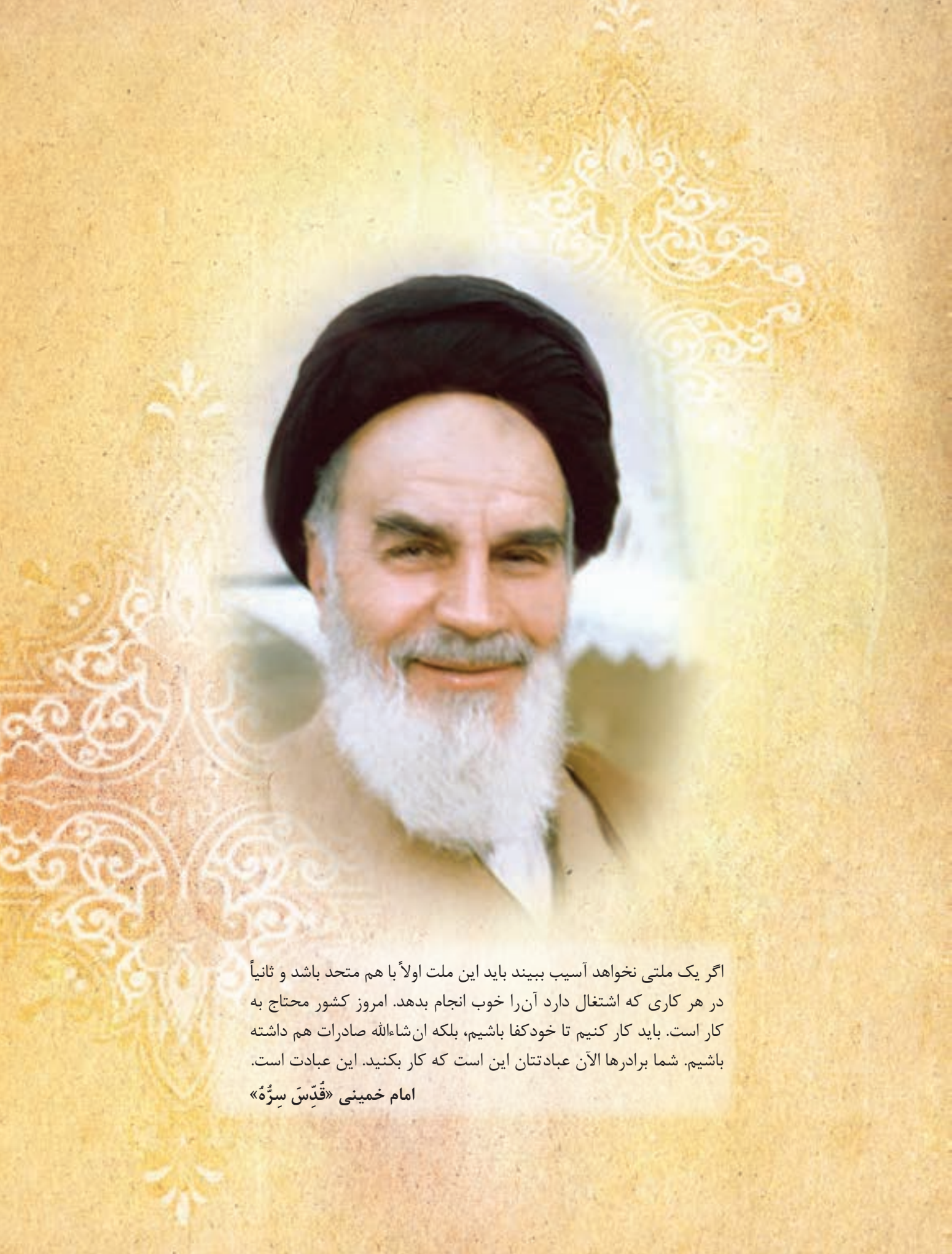
پایهٔ دوازدهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: تولید شیشه ـ ۲۱۲۵۱۱
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: ندیٰ دیده‌ور، ناصر ضیاییان مفید، غلامرضا امامی میبدی، بیژن افتخاری، محمدحسن نجاری، مهرداد حبیبی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
ناصر ضیاییان مفید، الهام صمدبین، محمدامین حائری (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: جواد صفری (مدیر هنری) ـ سمیه قنبری و سوروش سعادتمندی (صفحه‌آرا) ـ ابوالفضل بهرامی (عکاس) ـ محمود شوشتری، مریم دهقان‌زاده (رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶ ، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب‌گاه: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (دارو پخش) تلفن: ۵ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ دوم ۱۳۹۸

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

شابک ۱ – ۳۱۴۷ – ۰۵ – ۹۶۴ – ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 3147–1**



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

امام خمینی «قُدِّسَ سِرُّهُ»

فهرست

پودمان ۱: آماده‌سازی مواد اولیه شیشه ۱

پودمان ۲: ساخت مذاب ۳۷

پودمان ۳: شکل‌دهی شیشه ۶۳

پودمان ۴: عملیات تکمیلی شیشه ۱۰۷

پودمان ۵: تزیین شیشه ۱۴۷

سخنی با هنرجویان گرامی

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار واقعی به‌طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود.
در رشته تحصیلی ـ حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:
۱ـ شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی ساخت مذاب شیشه
۲ـ شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه
۳ـ شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها
۴ـ شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر
بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی‌وحرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی‌وحرفه‌ای را تدوین نموده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.
این درس، ششمین درس شایستگی‌های فنی و کارگاهی است که ویژه رشته سرامیک در پایه دوازدهم تألیف شده است. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت‌های آینده شغلی و حرفه‌ای شما بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب‌ها را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.
کتاب درسی تولید شیشه شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا چند واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحلهٔ کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب نمایید. هنرآموز محترم برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نماید و نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی مجدد تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. کارنامه شما در این درس شامل ۵ پودمان و از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی برای هر پودمان خواهد بود و اگر در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید تنها در همان پودمان لازم است مورد ارزشیابی قرار گیرید و پودمان‌های قبول شده در مرحلهٔ اول ارزشیابی مورد تأیید است و لازم به ارزشیابی مجدد نمی‌باشد. همچنین این درس دارای ضریب ۸ است و در معدل کل شما بسیار تأثیرگذار است.

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

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

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

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

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش

سخنی با هنرآموز گرامی

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

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

پودمان اول: دارای عنوان آماده‌سازی مواد اولیه شیشه است. در این واحد یادگیری انواع مواد اولیه اصلی و فرعی در ساخت شیشه توضیح داده شده است و روش‌های آماده‌سازی آنها آورده شده است.

پودمان دوم: ساخت مذاب نام دارد که در آن روش‌های ساخت مذاب شیشه، حباب‌زدایی و همگن‌سازی آن شرح داده شده است. همچنین انواع کوره‌های صنعت شیشه جهت تهیهٔ مذاب معرفی شده است.

پودمان سوم: دارای عنوان شکل‌دهی شیشه است. در این پودمان انواع روش‌های شکل‌دهی دستی و دستگاهی برای تولید شیشه‌های تخت و ظروف شیشه‌ای توضیح داده شده است.

پودمان چهارم: دارای عنوان عملیات تکمیلی شیشه است که در آن انواع روش‌ها شامل آنیل کردن، تمپرینگ، برش دادن، لمینیت‌کردن شیشه و مات‌کردن شیشه توضیح داده شده است.

پودمان پنجم: این پودمان تزیین شیشه نام دارد که در آن نحوهٔ اجرا و اصول روش‌های مختلف تزیین شیشه شامل تراش، فیوزینگ شیشه و حرارت مستقیم آمده است.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی‌وحرفه‌ای و کاردانش

پودمان ۱

آماده‌سازی مواد اولیهٔ شیشه

برای ساخت قطعات شیشه‌ای با خواص مطلوب، لازم است آمیز مناسب تهیه شده و بعد از آماده‌سازی و عملیات حرارت‌دهی ذوب شود. مذاب حاصل، باید به‌گونه‌ای باشد که قابلیت شکل‌دهی داشته باشد و بعد از شکل دادن بدنهٔ شیشه‌ای قابل قبولی از لحاظ کیفیت تولید شود.

واحد یادگیری ۱

شایستگی آماده‌سازی مواد اولیه شیشه و یادگیری مهارت آن

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارتی است که بر اساس آن، مواد اولیه مورد استفاده در ساخت انواع شیشه را انتخاب و آمیز مناسب برای ساخت محصولات شیشه‌ای آماده‌سازی شود.

استاندارد عملکرد

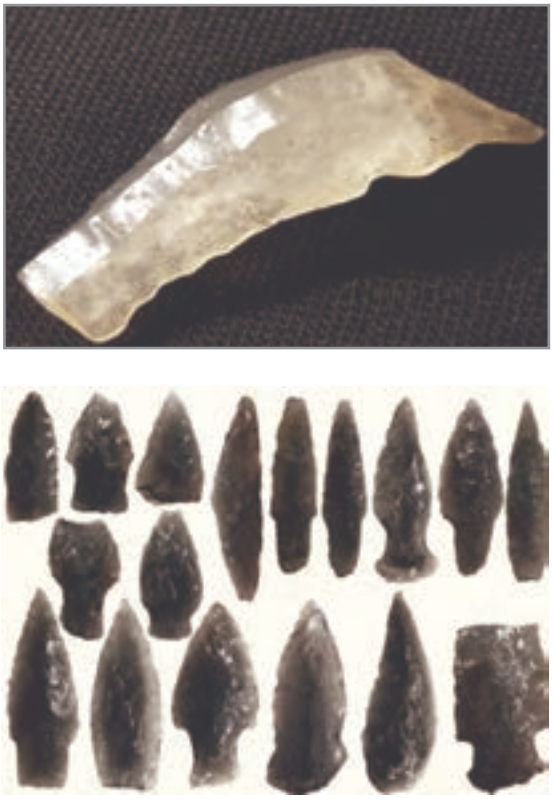
خردایش و دانه‌بندی مواد اولیه (مش ۱۰۰ـ۶۰)، توزین مواد اولیه براساس فرمولاسیون، آماده‌سازی مواد اولیهٔ شیشه‌های سربی، سیلیکاتی و بوروسیلیکاتی براساس آنالیز شیمیایی شیشه.

شکل ۱ چند محصول شیشه‌ای و مواد اولیه ساخت این محصولات را نشان می‌دهد. چه ارتباطی بین این دو تصویر وجود دارد؟

الف) محصولات شیشه‌ای **ب) مواد اولیه**

شکل ۱

آیا تا به حال به این موضوع فکر کرده‌اید که شیشه در چه زمانی کشف و مورد استفادهٔ بشر قرار گرفته است؟ طبق شواهد تاریخی، قبل از کشف روش ساخت شیشه بشر از هزاران سال پیش، از شیشهٔ طبیعی برای ساخت ابزارهایی مانند سرنیزه استفاده می‌کرد.



شکل ۲ــ سرنیزه‌های تاریخی ساخته شده از شیشه طبیعی

برخی از شیشه‌های طبیعی از سریع سرد شدن مواد مذاب حاصل از فوران آتشفشان‌ها به‌وجود می‌آیند که از آن جمله می‌توان به شیشه اُبسیدین[1] اشاره کرد.
همچنین نمونه‌هایی از شیشه‌های طبیعی در صحرای لیبی کشف شده‌اند. در شکل ۳ اُبسیدین و نمونه‌هایی از شیشه‌های طبیعی موجود در صحرای لیبی نشان داده شده است.

الف

ب

شکل ۳ـ الف) شیشه‌های اُبسیدین ب) شیشه‌های طبیعی موجود در صحرای لیبی

پس از کشف روش ساخت شیشه، از طریق ذوب ترکیبات سیلیس، خاکستر گیاهان و آهک، ساخت ظروف شیشه‌ای آغاز شد. شیشه‌های ساختهٔ دست بشر شیشه مصنوعی نامیده می‌شوند.
مهره‌های رنگین شیشه‌ای نیز از ساخته‌های ابتدایی بشر بوده‌اند که نمونه‌هایی از آن در شکل ۴ نشان داده شده است. این مهره‌ها به عنوان وسایل زینتی مورد استفاده قرار می‌گرفتند و در دوره‌ای نقش پول امروزی را داشته‌اند و برای داد و ستد استفاده می‌شدند.

شکل ۴ـ مهره‌های شیشه‌ای تاریخی

۱ـ Obsidian

در کشور ما ایران نیز تاریخ آغاز صنعت شیشه‌سازی به طور کامل شناخته نشده است و تنها طبق شواهد باستان‌شناسی این هنر در هزارهٔ دوم قبل از میلاد رایج بوده است. شیشه‌های رنگین بکار رفته در بناهای تاریخی ایران و شیشه‌های ظروف باستانی نشان دهندهٔ قدمت شیشه‌گری در ایران است.

الف

ب

شکل ۵ـ الف) مسجد نصیر الملک شیراز (دوره قاجار) ب) جام شیشه‌ای (دوره ساسانیان)

امروزه اهمیت صنعت شیشه برکسی پوشیده نیست و کاربرد شیشه در تمام عرصه‌های زندگی بشر مشاهده می‌شود. در شکل ۶ برخی از موارد استفاده از شیشه نشان داده شده است:

شکل ۶ـ برخی از کاربردهای شیشه

عبور نور از ویژگی‌های محصولات شیشه‌ای است. به‌نظر شما دلیل پشت پیدایی شیشه چیست؟

شکل ۷

شیشه ماده‌ای است که در اثر سریع سردکردن مذاب و رساندن آن به دمای محیط، متبلور نشود. به‌دلیل سریع سردکردن مذاب، زمان لازم برای ایجاد ساختار منظم اتمی وجود ندارد و ساختار بی‌نظم ایجاد می‌شود. گرانروی مذاب شیشه زیاد است که این عامل همراه با سرعت سرمایش کنترل شدهٔ مذاب باعث تشکیل ساختار شیشه‌ای می‌شود.

موادی برای ساخت شیشه مناسب هستند که در دمای ذوب گرانروی بالایی دارند و در هنگام سرد شدن نتوانند به ساختار منظم شبکه‌های بلوری تغییر آرایش دهند.

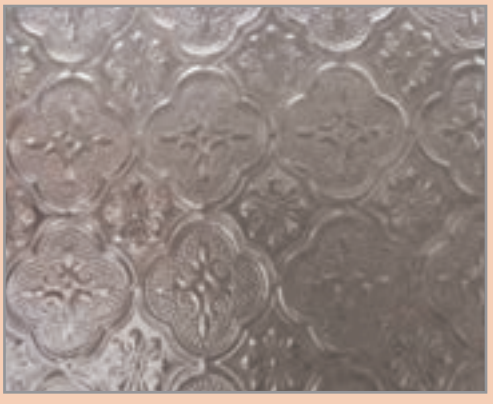
تحقیق کنید

چگونه سردکردن آهسته باعث تبلور مذاب شیشه می‌شود؟

نکته

شیشه‌ها اینگونه شناخته شده‌اند که اجسامی ذاتاً شفاف هستند که نور را به‌خوبی از خود عبور می‌دهند و پشت آنها به وضوح قابل مشاهده است. اما چنانچه نیاز باشد می‌توان با روش‌هایی مانند تغییر ترکیب شیمیایی (شیشه‌های اُپال) یا تغییر سطح شیشه (مشجرکردن شیشه) قابلیت عبوردهی نوری شیشه را کاهش داد یا کاملاً از بین برد.

در شکل ۸ برخی از این شیشه‌ها نشان داده شده است.



الف

ب

شکل ۸ــ الف) شیشه مشجر ب) شیشه اُپال

بیشتر بدانید

تمام مواد شفاف که نور را به راحتی از خود عبور می‌دهند دارای ساختار آمورف و شیشه‌ای نیستند و ممکن است دارای ساختار بلوری باشند. به عنوان نمونه تک‌بلور کوارتز و تک‌بلور آلومینا (یاقوت) به دلیل نداشتن مرزدانه و عیوب ساختاری شفاف هستند. اما سنگ چخماق به دلیل داشتن مرزدانه شفاف نیست.

الف

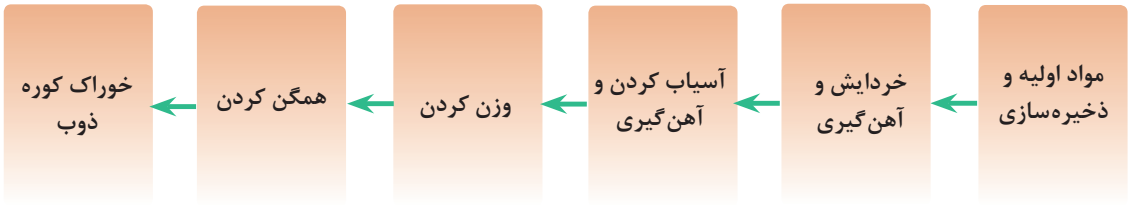
ب

ج

شکل ۹ـ الف)تک بلور کوارتز ب)تک بلورآلومینا (یاقوت) ج) سنگ چخماق

فرایند آماده سازی آمیز شیشه

مراحل تهیه آمیز شیشه مطابق نمودار ۱ است.

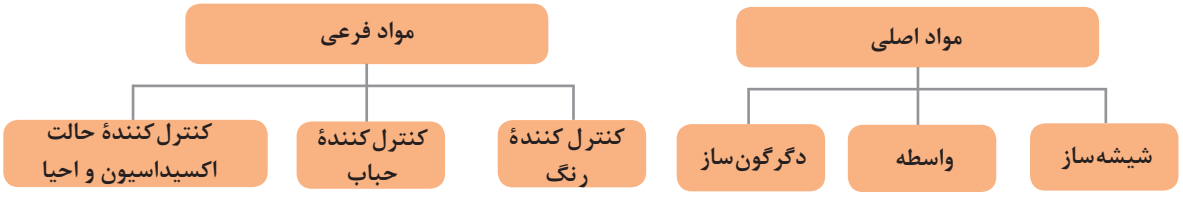


نمودار ۱ـ مراحل تهیهٔ آمیز شیشه

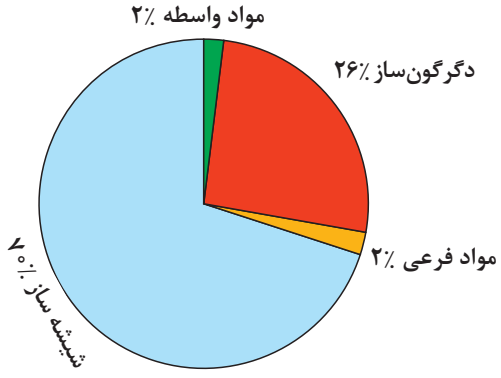
مواد اولیهٔ شیشه

آیا می‌توان هر نوع ماده‌ای را در آمیز شیشه به‌کار برد؟

مواد سازندهٔ شیشه به دو دسته مواد اصلی و فرعی تقسیم‌بندی می‌شوند:



نمودار ۲



نمودار ۳ــ انواع مواد اولیهٔ شیشه

نکته

وجود مواد اصلی سازندهٔ شیشه در ساخت هر نوع شیشه الزامی است، اما حضور مواد فرعی در آمیز انواع شیشه ضرورت ندارد. به عنوان مثال مواد رنگی‌کننده فقط در برخی از آمیزهای شیشه استفاده می‌شوند.

مواد اصلی آمیز شیشه

مواد اصلی آمیز شیشه شامل مواد شیشه‌ساز، مواد واسطه و دگرگون‌ساز هستند.

۱ مواد شیشه‌ساز

شیشه‌سازها موادی هستند که حتی اگر به تنهایی ذوب و سریع سرد شوند متبلور نمی‌شوند و ساختار آمورف ایجاد می‌کنند. سیلیس (SiO_2) مادهٔ اصلی شیشه‌ساز در شیشه است که بیشترین جزء وزنی آمیز را به خود اختصاص می‌دهد.

شکل ۱۰ــ سیلیس

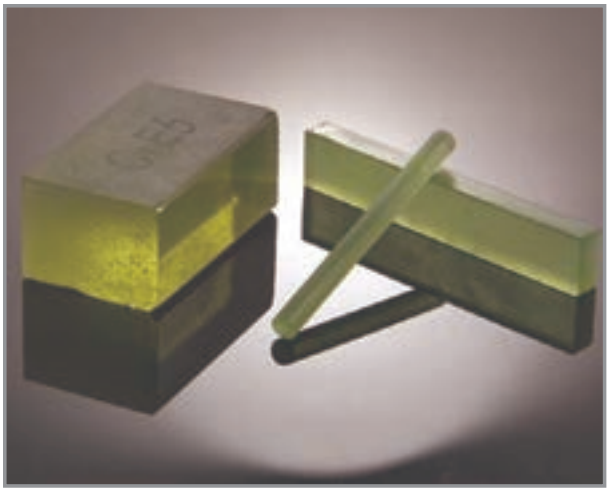
در آمیز تمام شیشه‌ها مانند شیشه‌های ساختمانی، خودرو و ظروف غذاخوری از سیلیس به میزان زیادی استفاده می‌شود. درصد مصرف این اکسید به نوع، کاربرد و خواص مورد انتظار از شیشهٔ تولید شده بستگی دارد. در جدول ۱ محدودهٔ درصد سیلیس در شیشه‌های مختلف آمده است.

جدول ۱ــ درصد سیلیس در شیشه‌های مختلف

نوع شیشه	درصد سیلیس
شیشهٔ ساختمانی	۷۱ ـ۷۳
ظروف غذاخوری بلوری	۶۹ ـ۷۳
ظروف شیشه‌ای کریستال	۶۰ ـ۷۰
شیشهٔ خودرو	۷۱ ـ۷۳

به جز سیلیس، مواد دیگری نیز می‌توانند به‌عنوان مادهٔ شیشه‌ساز مورد استفاده قرار گیرند، مانند بوراکسید و فسفراکسید که در درصدهای وزنی بالا نقش شیشه‌ساز دارند. این اکسیدها نسبت به سیلیس کاربردهای محدودتری دارند و برای ساخت برخی از شیشه‌های خاص مانند شیشه‌های با کاربرد در دستگاه لیزر استفاده می‌شوند.

الف) فسفر اکسید



ب) شیشه فسفاتی با کاربرد در دستگاه لیزر

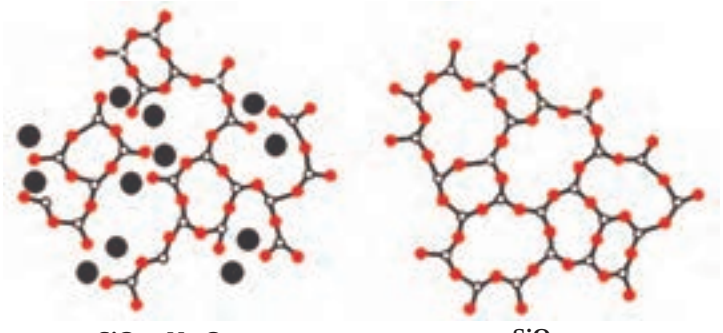
شکل ۱۱

۲ دگرگون‌سازها

سیلیس و سایر ترکیبات مورد استفاده در آمیز شیشه دارای دمای ذوب بالایی هستند و پس از ذوب شدن و تشکیل مذاب، گرانروی زیادی دارند. بنابراین نیاز است که در آمیز شیشه از مواد دگرگون‌ساز استفاده شود که باعث کاهش دمای ذوب و کاهش گرانروی مذاب شوند.

اصلی‌ترین و مرسوم‌ترین دگرگون‌سازها اکسیدهای قلیایی مانند Na_2O، K_2O و اکسیدهای قلیایی خاکی مانند BaO، MgO و CaO هستند.

در شکل ۱۲ نقش دگرگون‌سازها در ساختار شیشه نشان داده شده است. همان‌طور که در این تصویر می‌بینید در حضور Na_2O پیوند بین چهاروجهی‌های سیلیس شکسته می‌شود.



SiO_2

الف) شیشه سیلیسی

$SiO_2 - Na_2O$

ب) شیشه حاوی دگرگون‌ساز Na_2O

شکل ۱۲ــ نقش دگرگون‌سازها در ساختار شیشه

فعالیت کلاسی

کار عملی ۱ : ساخت ماکت ساختار شیشه‌ای

مواد و ابزار: میله و ساچمهٔ مغناطیسی (می‌توان از سایر اجسام کروی در دو اندازهٔ مختلف و میله برای اتصال استفاده کرد).

شرح فعالیت:

با استفاده از میله و ساچمه مغناطیسی ماکتی از ساختار شیشه با مواد دگرگون‌ساز و بدون مواد دگرگون‌ساز بسازید و با هم مقایسه کنید.

۳ مواد واسطه

مواد واسطه یا دوام دهنده موادی هستند که به تنهایی قادر به ایجاد ساختار شیشه‌ای نیستند، اما اگر همراه مواد شیشه‌ساز در آمیز شیشه استفاده شوند، در شرایطی می‌توانند باعث بهبود برخی از خواص شیشه مانند مقاومت در برابر ضربه، سایش، شوک حرارتی و خوردگی شیمیایی شوند.

شکل ۱۳ــ کنترل خواص شیشه با افزودن مواد واسطه

میزان استفاده از مواد اولیهٔ واسطه در آمیز اغلب شیشه‌ها در حدود ۶ـ۱درصد است.
مهم‌ترین و اصلی‌ترین مادهٔ واسطه آلومینیوم اکسید (Al_2O_3) است. در آمیز شیشه می‌توان Al_2O_3 مورد نیاز را از کائولن، فلدسپات یا آلومینیوم اکسید تأمین کرد.

شکل ۱۴ــ کائولن

در برخی از شیشه‌ها سرب اکسید نیز به‌عنوان مادهٔ واسطه استفاده می‌شود.

نکته

افزودن سرب اکسید معمولاً به شکلی انجام می‌شود که در ترکیب نهایی شیشه بیشتر از ۲۴ درصد سرب‌اکسید وجود داشته باشد تا قابلیت تراشکاری آن بیشتر شود. این اکسید علاوه بر نقش دوام‌دهنده باعث بهبود درخشندگی شیشه می‌شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: تأثیر حرارت بر مواد اولیه اصلی

مواد و ابزار: کورهٔ ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس، بوتهٔ دیرگداز (۳ عدد)، ترازو، سیلیس، فلدسپات، کائولن

شرح فعالیت:

۱ طبق جدول زیر، ۵۰ گرم از مواد اولیه زیر را وزن کرده و در ۳ بوته به‌صورت جداگانه بریزید.

بوته	۱	۲	۳
مادهٔ اولیه	سیلیس	کائولن	فلدسپات

۲ بوته‌ها را درون کوره قرار دهید.

۳ در کوره را ببندید و دما را در ۱۱۰۰ درجهٔ سلسیوس با زمان ماندن یک ساعت تنظیم کنید.

۴ پس از اتمام حرارت‌دهی و سردشدن، بوته را با رعایت نکات ایمنی از کوره خارج کرده و آمیزها را با هم مقایسه کنید.

نکات ایمنی

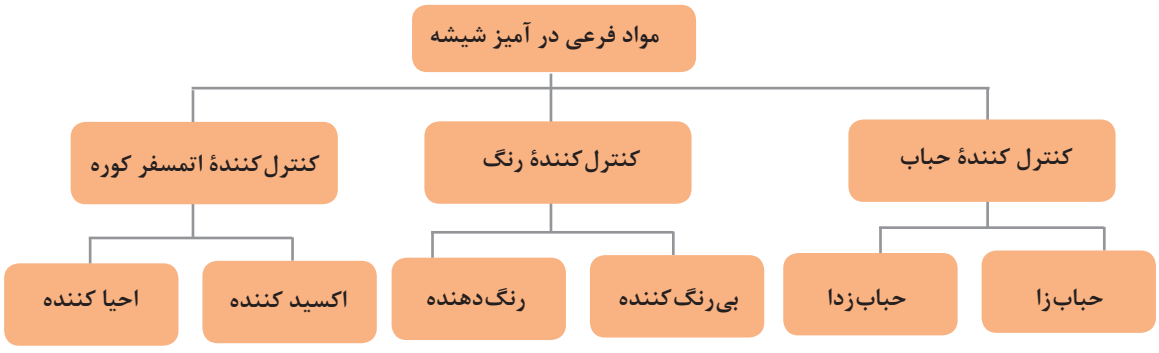
۱ هنگام باز کردن کوره از دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.

۲ هنگام برداشتن بوته با انبر مراقب خطرات احتمالی باشید.

مواد اولیهٔ فرعی آمیز شیشه

وجود عیوبی مانند حباب و ته رنگ سبز در شیشه از کیفیت ظاهری آن می‌کاهد و شیشه را معیوب می‌کند. بنابراین در کارخانه‌های شیشه‌سازی به آمیز شیشه موادی اضافه می‌شوند تا از بروز این عیوب پیشگیری شود. مقدار مصرف این مواد بسیار کم است بنابراین به آنها مواد فرعی یا جزئی گفته می‌شود.

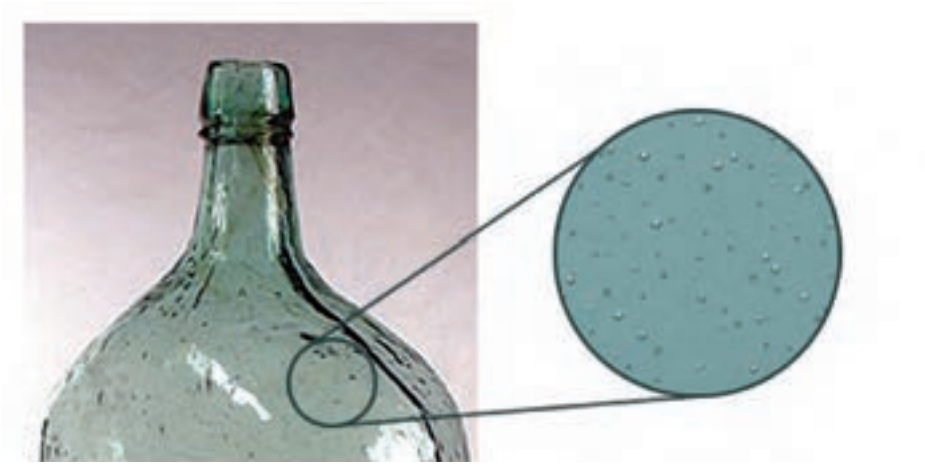
در نمودار ۴ انواع مواد فرعی در آمیز بر اساس تأثیر آنها بر کیفیت شیشه، آورده شده است:



نمودار ۴ــ انواع مواد فرعی

۱ کنترل‌کنندهٔ حباب

برخی از مواد اصلی مانند کلسیم کربنات و بوراکس در هنگام ذوب شدن تجزیه شده و گاز تولید می‌کنند. مقدار زیادی از این گازها پیش از ذوب شدن کامل آمیز از آن خارج می‌شوند، ولی برخی از این گازها فرصت خارج شدن پیدا نمی‌کنند. بنابراین در مذاب باقی می‌مانند و باعث به‌وجود آمدن حباب‌هایی با اندازه‌های مختلف در شیشه می‌شوند.



شکل ۱۵ـ حباب در بدنه شیشه‌ای

حباب‌ها بر اساس مقدار و اندازه، اثر نامطلوبی بر ویژگی‌های نوری و استحکام شیشهٔ تولید شده دارند و مقدار عبور نور و شفافیت را کاهش می‌دهند. همچنین حباب‌ها اطراف ذرات سیلیس را احاطه کرده و مانع از ذوب‌شدن سیلیس می‌شوند.

تحقیق کنید

حباب‌های ایجاد شده در شیشه از چه گازهایی تشکیل شده‌اند؟

در برخی از کارخانه‌ها برای حباب زدائی و تصفیهٔ مذاب به آمیز شیشه موادی اضافه می‌کنند تا در دماهای بالا در مذاب گاز تولید شود. این گازها باعث می‌شوند که حباب‌های گیر افتاده در مذاب بزرگ‌تر شوند و با فشار بیشتر به سطح مذاب آمده و از آن خارج شوند. به مواد تولیدکنندهٔ گاز در مذاب، حباب‌زدا یا تصفیه‌کننده گفته می‌شود. مهم‌ترین مواد حباب زدا عبارت‌اند از:

ـ سدیم سولفات (Na_2SO_4) به همراه درصد کمی کُک

ـ آرسنیک اکسید (As_2O_5)

ـ آنتیموان اکسید (Sb_2O_5)

ـ نمک طعام ($NaCl$) به همراه فلوئورین (CaF_2) و سدیم نیترات ($NaNO_3$)

ـ سدیم نیترات ($NaNO_3$)

ـ سریم اکسید (CeO_2)

انواع مواد حباب‌زدا مورد استفاده برای شیشه‌های مختلف در جدول ۲ آورده شده است:

جدول ۲ـ انواع مواد حباب‌زدا

نوع شیشه	حباب‌زدا
سیلیکاتی	سدیم سولفات (Na_2SO_4) به همراه درصد کمی کُک
بوروسیلیکاتی	نمک طعام ($NaCl$) و فلوئورین (CaF_2) به همراه سدیم نیترات ($NaNO_3$)
کریستال‌های سربی	آرسنیک اکسید (As_2O_5) و آنتیموان اکسید (Sb_2O_5)

فعالیت کلاسی

ظرف بزرگی را آماده کنید و انواع توپ شامل پینگ پنگ، تنیس، هندبال و فوتبال را به‌طور جداگانه با اعمال نیرو کاملاً در آب غوطه‌ور کنید.
آیا اندازه توپ‌ها بر مقدار نیرویی که برای غوطه‌وری به کار می‌رود مؤثر است؟

فعالیت کلاسی

چند محصول شیشه‌ای مانند بطری یا شیشهٔ تخت را انتخاب کنید و با ذره‌بین حباب‌های احتمالی موجود در آنها را مشاهده کنید و سپس عملکرد مواد حباب‌زدا در مذاب را مورد بررسی قرار دهید.

۲ کنترل کنندهٔ رنگ

الف) بی‌رنگ‌کننده‌ها: مواد اولیهٔ مصرفی برای تولید شیشه باید دارای کمترین میزان ناخالصی‌های رنگ‌زا باشند. مواد اولیهٔ اصلی آمیز شیشه که از معدن استخراج می‌شوند گاهی مقداری ناخالصی دارند که درصد کمی از این ناخالصی‌ها اثرات نامطلوبی بر خواص شیشه تولیدی دارند.
ترکیبات آهن (آهن دو ظرفیتی) و کروم از جمله ترکیباتی هستند که باعث به وجود آمدن رنگ‌های نامطلوب در شیشه می‌شوند.

نکته

در مواد معدنی مانند سیلیس احتمال حضور ناخالصی آهن بیشتر از کروم است.

الف ب

شکل ۱۶ـ الف) شیشهٔ بی‌رنگ شده ب) شیشهٔ بی‌رنگ نشده

تحقیق کنید

۱ رنگ نامطلوب در محصولات شیشه‌ای چه تأثیری بر کاربرد آنها می‌تواند داشته باشد؟

۲ ترکیبات آهن و کروم به ترتیب باعث ایجاد چه رنگ‌هایی در شیشه می‌شوند؟

برای بی‌رنگ‌کردن شیشه‌ها به آمیز مقدار اندکی از مواد زیر اضافه می‌شود:

- آرسنیک اکسید
- آنتیموان اکسید
- کبالت اکسید
- عنصر سلنیم یا سلنیم‌دی‌اکسید

بیشتر بدانید

رنگ‌بری شیشه با دو روش انجام می‌شود:

۱ـ شیمیایی: به آمیز شیشه ترکیباتی اضافه می‌کنند که باعث محو شدن رنگ نامطلوب می‌شود. به این مواد که باعث محوشدن رنگ می‌شوند بی‌رنگ‌کننده گفته می‌شود.

۲ـ فیزیکی: رنگ نامطلوب شیشه توسط رنگ‌های دیگر هم‌پوشانی شده و محو می‌شود.

نورهای گوناگون از ترکیب سه نور اصلی سبز، آبی و قرمز پدید می‌آیند که ترکیب آنها نور سفید را به‌وجود می‌آورد.

شکل ۱۷

اساس بی‌رنگ‌کردن شیشه‌ها به روش فیزیکی ایجاد رنگ مکمل آن است که با ترکیب چند نور رنگی، نور سفید ایجاد می‌شود.
اگر در ترکیب شیشه، آهن سه ظرفیتی باشد باعث ایجاد رنگ زرد کاهی می‌شود که برای محو شدن آن باید ماده‌ای که رنگ آبی در شیشه ایجاد می‌کند، به آمیز اضافه شود تا شیشه بی‌رنگ شود. به‌همین منظور به آمیز درصد جزئی کبالت اکسید اضافه می‌شود.
اگر در شیشه‌ای آهن دو ظرفیتی باشد باعث ایجاد رنگ سبز مایل به آبی شده که برای محو آن باید ماده‌ای که در شیشه رنگ صورتی ایجاد می‌کند افزود. بنابراین به آمیز درصد جزئی عنصر سلنیم یا سلنیم‌دی‌اکسید اضافه می‌کنند.

ب) رنگ‌دهنده‌ها: برای تولید شیشه‌های رنگی به آمیز شیشه مقدار اندکی رنگدانه‌های معدنی یا اکسید عناصر واسطه که خاصیت رنگ‌زایی دارند اضافه می‌کنند.
گاهی برای تولید رنگ از یک یا چند اکسید رنگی در آمیز شیشه استفاده می‌شود.

شکل ۱۸ــ شیشه‌های رنگی

پرسش

چرا ظروف شیشه‌ای زیر را رنگی تولید می‌کنند؟

الف

ب

شکل ۱۹ــ الف) ظرف شیشه‌ای مواد دارویی ب) ظروف شیشه‌ای نگهداری مواد شیمیایی و آزمایشگاهی

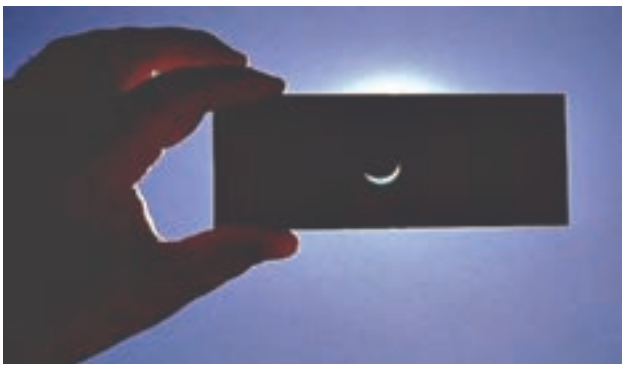
۳ کنترل‌کنندهٔ حالت اکسیداسیون و احیا

یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده برای رنگی‌کردن شیشه‌ها استفاده از اتمسفر احیایی است.
برای احیایی کردن اتمسفر کوره، به آمیز ترکیبات غنی از مواد کربنی (مانند زغال چوب، ضایعات لاستیک و پلاستیک، گازوئیل، قیر و روغن سوخته اتومبیل) اضافه می‌کنند. این مواد در کوره گازهای کربنی تولید می‌کنند به‌طوری که اتمسفر کاملاً احیایی می‌شود. به شیشه‌های تولید شده در این شرایط، شیشه‌های احیایی گفته می‌شود.

شکل ۲۰ـ شیشه‌های احیایی

در شکل ۲۱ـ الف شیشهٔ جلوگیری‌کننده از عبور اشعهٔ خورشید نشان داده شده است که از جمله شیشه‌های احیایی هستند. شیشهٔ ماسک جوشکاری که از آسیب رساندن اشعه‌ها به چشم هنگام جوشکاری جلوگیری می‌کند نیز از این نوع است که در شکل ۲۲ـ ب آمده است.

ب



الف

شکل ۲۱ـ الف) شیشهٔ جلوگیری کننده از عبور اشعه خورشید ب) ماسک جوشکاری

گفت‌وگو کنید

علاوه بر مواد اولیه اصلی و فرعی معمولاً از خُرده شیشه نیز در ترکیب آمیز استفاده می‌شود. دربارهٔ دلایل استفاده از آن گفت‌وگو کنید.

شکل ۲۲ــ خُرده شیشه

ذخیره‌سازی

سیلوهای ذخیره‌سازی مواد اولیهٔ شیشه، نخستین واحد هر شرکت سازندهٔ شیشه است. در این بخش از کارخانه باید هر مادهٔ اولیه از تأمین کننده‌های مختلف به‌صورت جداگانه انبار شود به گونه‌ای که از ورود ناخالصی‌ها و گرد و غبار محیطی به درون آنها محافظت شود.

شکل ۲۳ــ ذخیره‌سازی مواد اولیهٔ شیشه

نکته

بیشتر کارخانه‌های شیشه‌سازی دارای کوره‌های پیوسته هستند و به‌صورت مداوم کار می‌کنند. بنابراین لازم است مقدار مواد اولیهٔ ذخیره‌شده کنترل شود تا بخش تولید هیچگاه با کمبود مواد اولیه مواجه نشود.

فکر کنید

در صورت کافی نبودن یکی از مواد اولیهٔ آمیز در سیلوهای ذخیره‌سازی، چه مشکلاتی در روند تولید ایجاد می‌شود؟

شکل ۲۴ـ سیلوی ذخیرهٔ مواد اولیه

نکته

ظرفیت تمامی قسمت‌های یک واحد تولیدی شیشه به میزان مذاب خروجی از کوره بستگی دارد.

در صنعت شیشه‌سازی، اغلب مواد اولیهٔ اصلی مانند سیلیس، کلسیم‌کربنات، دولومیت، کائولن و فلدسپات به‌صورت کلوخه‌ای یا فله وارد کارخانه می‌شوند، اما برخی از مواد اولیه مانند سدیم کربنات، پتاسیم کربنات، بوراکس، بوریک اسید، سرنج، سرب سیلیکات و اکسیدها به‌علت جذب رطوبت به‌صورت بسته‌بندی شده وارد کارخانه می‌شوند.

شکل ۲۵ـ ذخیره‌سازی مواد اولیه به‌صورت فله و بسته‌بندی شده

خردایش و آهن‌گیری مواد اولیه

مواد کلوخه‌ای اغلب به کمک سنگ‌شکن فکی خرد می‌شود و سپس در سیلوهای اتاقکی ذخیره می‌شوند. پس از عملیات خردایش در مسیرهای انتقال مواد به سیلوها که با نوار نقاله صورت می‌گیرد با قرار دادن چندین آهن‌ربای قوی سعی می‌شود تا آهن‌های موجود در مواد اولیه تا حد ممکن گرفته شود.

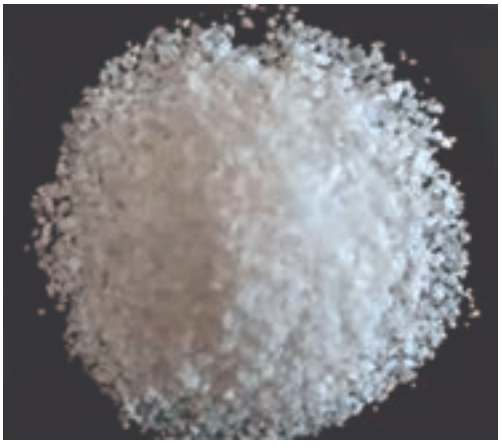
شکل ۲۶ـ خردایش و آهن گیری مواد اولیه

پرسش

چرا مواد اولیهٔ شیشه باید آهن‌گیری شود؟

آسیاب‌کردن و آهن‌گیری

آیا اندازهٔ ذرات مواد اولیه تأثیری بر فرایند ذوب دارد؟



الف

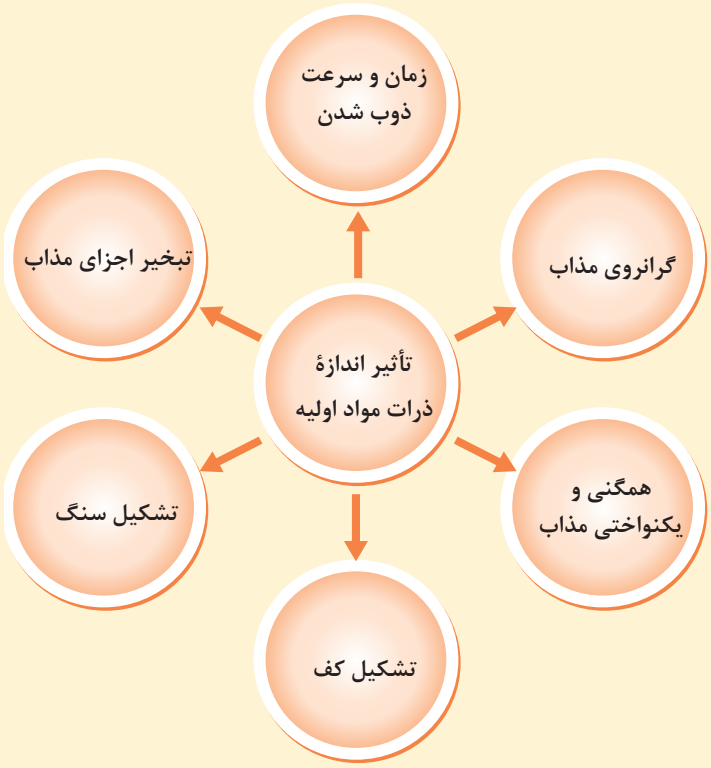
ب

شکل ۲۷ـ الف) سیلیس دانه درشت ب) سیلیس دانه ریز

مواد اولیهٔ شیشه به منظور دستیابی به دانه‌بندی مناسب برای فرایند ذوب به آسیاب منتقل می‌شوند. آسیاب‌های مورد استفاده در صنایع شیشه بیشتر از نوع فکی، چکشی و میله‌ای است.

گفت‌وگو کنید

تأثیر اندازهٔ ذرات مواد اولیه بر فرایند ذوب در نمودار ۵ آمده است. در مورد هر یک از این عوامل در کلاس گفت‌وگو کنید.



نمودار ۵

نکته

محدودهٔ دانه‌بندی آمیز شیشه‌ها بین مش ۲۰ تا ۱۵۰ است که معمولاً مش ۶۰ تا ۱۰۰ بیشتر رایج است.

نکات ایمنی

در مراحل خردایش و آسیاب کردن مواد اولیه باید از ایجاد گرد و غبار در محیط جلوگیری شود زیرا اغلب مواد مصرفی در تولید شیشه باعث بیماری‌های ریوی و مشکلات زیست محیطی می‌شوند. برای جلوگیری از ایجاد گرد و غبار لازم است نکات زیر رعایت شود:

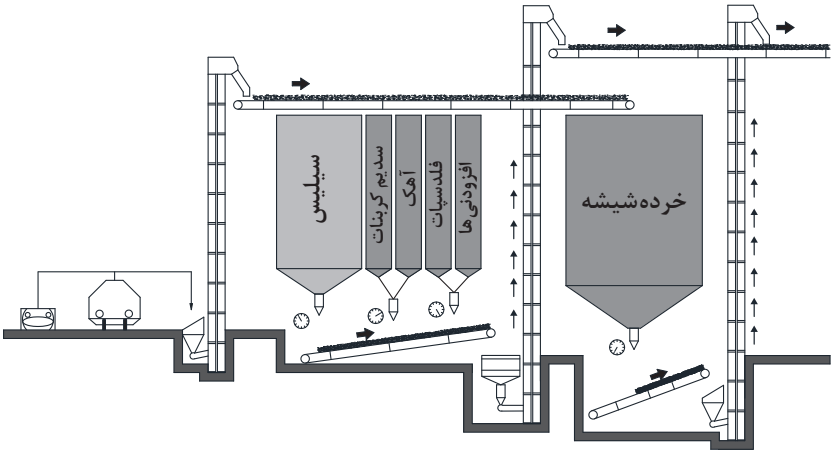
۱ به مواد اولیه درصد کمی آب اضافه شود.

۲ از سیستم‌های فیلتراسیون قوی استفاده شود.

۳ روی نوار نقاله‌ها، بالابرها و دهانه ورودی سنگ شکن و آسیاب سیستم مه آب مورد استفاده قرار گیرد.

شکل ۲۸ـ جلوگیری از ایجاد گرد و غبار با سیستم مه آب

همان‌طور که در شکل ۲۹ می‌بینید پس از آسیاب‌کردن مواد و رساندن آنها به دانه‌بندی لازم، مواد با نوار نقاله و بالابرها به سیلوهای سرپوشیده منتقل می‌شوند.



شکل ۲۹ـ انتقال مواد با نوار نقاله و بالابر به سیلوهای سرپوشیده

در کارخانه‌های تولید شیشه بخش اصلی آمیز را سیلیس تشکیل می‌دهد، این مواد در فضای سقف‌دار انبار می‌شوند و هنگام برداشت به‌صورت برشی از انبارها برداشته می‌شود.

شکل ۳۰ـ سیلوی سقف دار و برداشت برشی مواد

پرسش

چرا سیلیس به صورت برشی از انبارها برداشته می‌شود؟

موادی مانند فلدسپات، کائولن و کلسیم‌کربنات (آهک) که مقادیر آنها نسبت به سیلیس کمتر است در سیلوهای فلزی ذخیره می‌شوند.

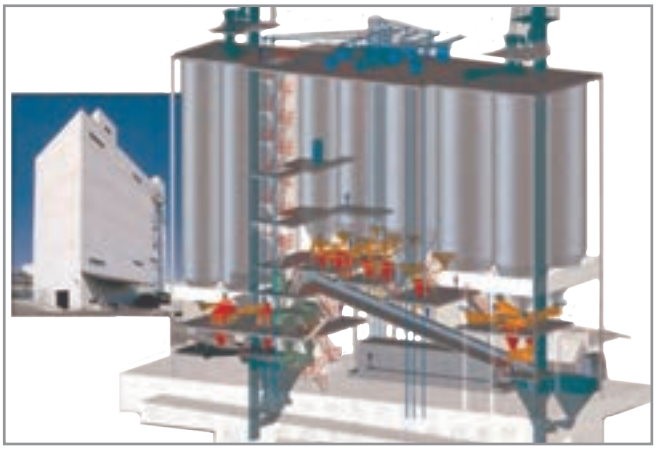
در هنگام انتقال مواد پودر شده از آسیاب به سیلو لازم است دوباره عملیات آهن‌گیری انجام شود.

شکل ۳۱ـ فرایند آهن‌گیری هنگام انتقال مواد پودر شده

وزن کردن مواد اولیه

هر یک از مواد اولیهٔ آمیز شیشه (اصلی و فرعی) متناسب با درصد آنها در آمیز وزن شده و درون مخلوط‌کن (بچ پلانت) ریخته می‌شود. معمولاً ترتیب وزن کردن مواد اولیه به این روش است که ابتدا مواد اصلی مانند سیلیس و سپس مواد فرعی وزن می‌شود.

در اکثر کارخانه‌های شیشه مراحل آماده‌سازی آمیز، به‌صورت دستگاهی طبق برنامه به‌صورت خودکار از اتاق‌های فرمان انجام می‌شود.



شکل ۳۲ـ وزن کردن و مخلوط کردن مواد اولیه

همگن کردن آمیز

آمیز شیشه در مخلوط‌کن (بچ پلانت)[1] در مدت زمان ۳ تا ۵ دقیقه به‌خوبی همگن و یکنواخت می‌شود.

شکل ۳۳ـ مخلوط‌کن (بچ پلانت)

نکته

به آمیز کاملاً خشک در بچ پلانت حدود ۲ تا ۵ درصد از آمیز، آب اضافه می‌شود.

۱ـ batch plant

کنجکاوی

دلایل افزودن آب به آمیز در بچ پلانت چیست؟

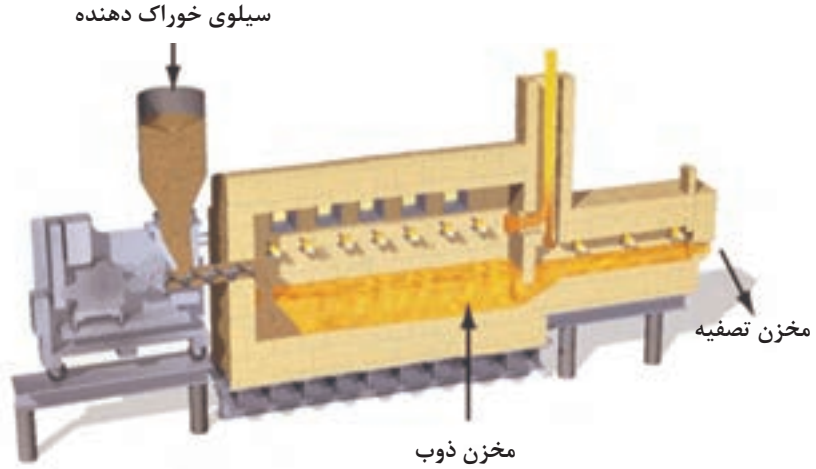
شکل ۳۴ـ افزودن آب به آمیز

خرده شیشه به دو روش به آمیز اضافه می‌شود:

الف) در مسیر انتقال آمیز از بچ‌پلانت به سیلو، خرده‌شیشه با درصد معین به آمیز روی نوار نقاله افزوده می‌شود.

شکل ۳۵ـ خرده شیشه

ب) در مجاور کوره و در ارتفاع کمی بالاتر از آن، سیلوی خوراک دهنده قرار دارد که آمیز از طریق نوار نقاله، به آن منتقل می‌شود. از مخزن حاوی خرده شیشه نیز به‌صورت لایه لایه (یک لایه آمیز و یک لایه خرده شیشه) به سیلوی خوراک دهنده افزوده می‌شود.



شکل ۳۶ـ کوره و سیلوی خوراک‌دهنده

روش نمونه‌برداری از آمیز

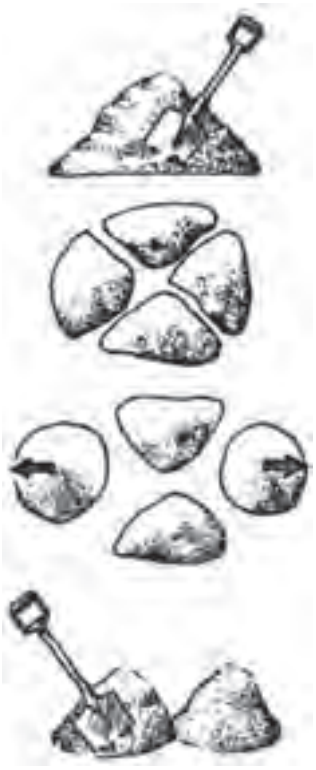
فرض کنید که از شما خواسته شده است که مقداری از آمیز شیشه را برای بررسی آزمون چگالی انتخاب کنید. از کدام قسمت سیلو، آمیز را انتخاب می‌کنید؟

به منظور کسب نتایج کامل‌تر بهتر است روش نمونه‌برداری تصادفی باشد که روش آن مطابق زیر است:

۱ـ از قسمت‌های مختلف سیلوی نگهداری آمیز، مقداری آمیز برداشته می‌شود و به خوبی با هم مخلوط می‌شود.

۲ـ آمیز پس از برداشتن به چهار قسمت تقسیم می‌شود.

۳ـ دو قسمت از چهار قسمت حذف می‌شود و دو قسمت باقی‌مانده با هم مخلوط می‌شود.
۴ـ مراحل ۲ و ۳ برای مخلوط باقی‌مانده باید حداقل ۴ بار تکرار شود تا مقدار آمیز مناسب که نشان‌دهندهٔ خواص کل آمیز باشد، حاصل شود.



شکل ۳۷ـ مراحل نمونه‌برداری از آمیز

فعالیت کارگاهی

کارعملی ۳: آماده‌سازی آمیز خرده شیشه
مواد و ابزار: تکه‌های شیشه، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوتهٔ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، آهن‌ربا
شرح فعالیت:
۱ تکه‌های شیشه را خرد کنید.
نکته: برای خردکردن تکه‌های شیشه آنها را داخل پارچهٔ ضخیمی پیچیده و با ضربه خرد کنید.
۲ خرده شیشه‌ها را درون هاون چینی ریخته و بسایید.
۳ آمیز ساییده شده را از الک مش ۴۰ تا ۱۲۰عبور دهید.
۴ با چرخاندن آهن‌ربا در آمیز، آهن‌گیری کنید.
۵ آمیز آماده شده را درون بوته بریزید.

نکات ایمنی

۱ هنگام برداشتن مواد از ماسک و دستکش استفاده کنید.
۲ هنگام ساییدن آمیز عینک ایمنی بزنید.
۳ دقت کنید که طی مراحل آماده‌سازی آمیز، ایجاد گرد و غبار به حداقل برسد.

انواع شیشه

انتخاب مواد اولیه برای آماده‌سازی بستگی به نوع شیشهٔ تولیدی دارد. پرمصرف‌ترین شیشه‌ها از لحاظ ترکیب شیمیایی در نمودار ۶ آورده شده است:

نمودار ۶

۱ شیشهٔ سودا ـ آهکی

حدوداً ۹۰ درصد از محصولات شیشه‌ای که برای مصارف روزمره مانند شیشه‌های در و پنجره ساختمان، خودرو، انواع بطری، ظروف پذیرایی، آشپزخانه‌ای و تزیینی کاربرد دارند از نوع شیشه‌های سودا ـ آهکی هستند.

الف ب ج

شکل ۳۸ـ برخی از کاربردهای شیشهٔ سودا ـ آهکی الف) شیشه‌های ساختمانی ب) ظروف شیشه‌ای ج) بطری عطر

خواصی که از اغلب محصولات شیشه‌ای انتظار می‌رود شامل موارد زیر است:

۱ عبور نور و شفافیت
۲ مقاومت در برابر شوک حرارتی (تغییرات ناگهانی دما)
۳ مقاومت شیمیایی

شیشه‌های سودا-آهکی از لحاظ خواص مطرح شده و کیفیت در مقایسه با سایر شیشه‌ها نسبتاً مطلوب هستند و نیاز مصرف کنندگان را برای مصارف روزمره برآورده می‌کنند. همچنین قیمت آنها به‌ویژه در تولید انبوه نسبتاً پایین است.

سیلیس، سدیم اکسید و کلسیم اکسید اجزای اصلی آمیز این شیشه‌ها را تشکیل می‌دهند. البته به میزان کمی آلومینیوم اکسید، منیزیم اکسید و بعضی از اکسیدهای دیگر در آمیز این شیشه‌ها استفاده می‌شوند. در کارخانه‌های شیشه‌سازی به آمیز شیشه در حدود ۴۰ـ ۱۵ درصد خرده شیشه که از ضایعات شیشه به‌دست می‌آیند اضافه می‌کنند.

شکل ۳۹ـ آمیز شیشهٔ سودا-آهکی تهیه شده از خرده شیشه

نکته

از آنجایی که سدیم اکسید مورد نیاز برای تولید این شیشه‌ها از سودا (Na_2CO_3) و کلسیم اکسید را از آهک ($CaCO_3$) تأمین می‌کنند شیشه‌های سودا آهک (سودالایم) نیز نامیده می‌شوند.

جدول ۳ـ محدودهٔ آنالیز شیمیایی شیشه‌های سودا‌ـآهکی

اکسید	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	CaO	MgO
درصد	۷۰ـ۷۳/۵	۰/۶ـ۲	۱۳ـ۱۵	۶ ـ۱۱	۳/۵ ـ۴/۵

در کارگاه‌های شیشه‌گری ترکیب آمیز سودا‌ـآهکی که در کوره بارگیری می‌شود به سه روش تهیه می‌شود:

۱ مواد اولیه (عیار)

۲ مواد اولیه و خرده شیشه

۳ خرده شیشه

فعالیت کارگاهی

کارعملی ۴: آماده‌سازی آمیز شیشه سیلیکاتی

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم‌کربنات، دولومیت، کلسیم‌کربنات، ترازوی آزمایشگاهی، الک مش ۴۰ الی ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوتهٔ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش و آهن‌ربا.

شرح فعالیت:

براساس محدودهٔ مینرالی شیشه‌های سیلیکاتی مطابق جدول زیر از هر خاک وزن کنید.

ترکیب	سیلیس	سدیم کربنات	دولومیت	کلسیم کربنات	کائولن	فلدسپات
درصد وزنی	۴۵ـ۵۵	۳۵ـ۴۵	۱۲ـ۱۸	۴ـ۸	۲ ـ ۴	۲ ـ ۴

۱ خاک‌ها را درون هاون چینی ریخته و بسایید.

۲ آمیز ساییده شده را از الک عبور دهید.

۳ با چرخاندن آهن‌ربا در آمیز، آهن‌گیری کنید.

۴ آمیز آماده شده را در درون بوته بریزید.

نکته

به آمیز آماده شده می‌توانید ۲۰ تا ۴۰ درصد خرده شیشه که از جنس سیلیکاتی است اضافه کنید.

نکات ایمنی

۱ هنگام برداشتن مواد حتماً ماسک زده و از دستکش استفاده کنید.
۲ هنگام ساییدن آمیز عینک ایمنی بزنید.
۳ طی مراحل آماده‌سازی آمیز از ایجاد گرد و غبار بپرهیزید.

شکل ۴۰ـ شیشه بورو سیلیکاتی

۲ شیشه‌های بوروسیلیکاتی

آمیز اصلی شیشه‌های بوروسیلیکاتی را سیلیس و بوراکسید تشکیل می‌دهد که علاوه بر این آلومینیوم اکسید، سدیم اکسید و پتاسیم اکسید نیز استفاده می‌شود.
شیشه‌های بوروسیلیکاتی در مقایسه با شیشه‌های سوداآهکی از مقاومت بالاتری در برابر شوک حرارتی، مقاومت شیمیایی و تا حدی از سختی برخوردار هستند.

این شیشه‌ها برای مصارف آزمایشگاهی، دارویی، صنعتی و حرارتی (پیرکس) تولید می‌شوند و قابلیت استفاده در معرض حرارت مستقیم را دارند.

الف

ب

ج

شکل ۴۱ـ شیشه بوروسیلیکاتی الف) آزمایشگاهی، ب) حرارتی و ج) آزمایش حرارتی شیشه

محدودهٔ آنالیز شیمیایی شیشه‌های بوروسیلیکاتی در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴ــ ترکیب شیمیایی شیشه‌های پیرکس

اکسید	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Na_2O	K_2O
درصد	۷۹/۵ـ۸۰/۵	۱۲ـ۱۳	۲ـ۲/۸	۲ـ۲/۵	۰ـ۱/۱

فعالیت کارگاهی

کارعملی ۵: آماده‌سازی آمیز شیشه بوروسیلیکاتی

مواد و ابزار: سیلیس، فلدسپات پتاسیک، بوراکس، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوته دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش

شرح فعالیت:

۱ طبق جدول زیر مواد اولیهٔ آمیز را از هر خاک وزن کنید.

ترکیب	سیلیس	بوراکس آبدار	فلدسپات پتاسیک
درصد وزنی (٪)	۵۰ ـ ۶۰	۴۰ ـ ۶۰	۶ ـ ۱۰

۲ طبق مراحل ۲ تا ۴ کار عملی ۴ آمیز شیشه را آماده‌سازی کنید.

نکته: به آمیز آماده شده می‌توانید ۲۰ تا ۴۰ درصد خرده شیشه که از جنس بوروسیلیکاتی است، اضافه کنید.

نکات ایمنی

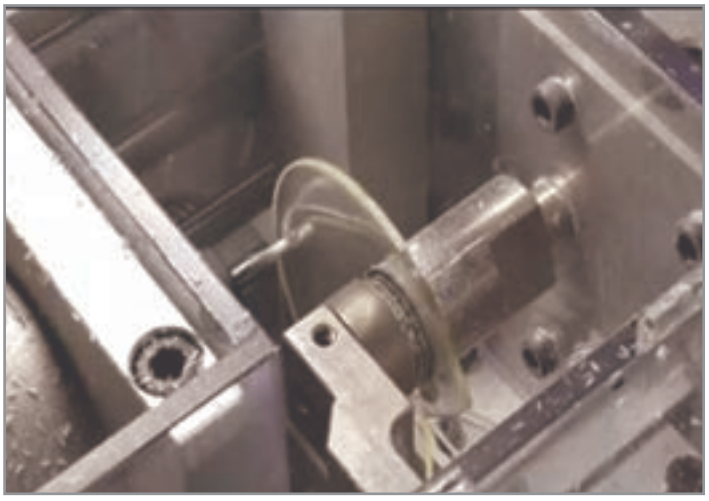
۱ هنگام برداشتن مواد حتماً از ماسک و دستکش استفاده کنید.
۲ هنگام ساییدن آمیز عینک ایمنی بزنید.
۳ دقت کنید که در طی مراحل آماده‌سازی آمیز، ایجاد گرد و غبار به حداقل برسد.

۳ شیشهٔ سربی (کریستال)

در آمیز شیشهٔ سربی درصد قابل ملاحظه‌ای سرب اکسید (۲۶ـ۱۸درصد) استفاده می‌شود که این اکسید باعث ایجاد خواص نوری مطلوب در این شیشه می‌شود.

شکل ۴۲ـ شیشهٔ سربی

شیشهٔ‌جاذب امواج خطرناک و برخی ظروف شیشه‌ای تزیینی از جنس شیشهٔ سربی هستند.
شیشهٔ سربی سختی کمی دارد که در ظاهر نامطلوب است، اما این ویژگی امکان تراش دادن و برشکاری آنها را فراهم می‌کند. بنابراین با تراش دادن می‌توان طرح‌های هندسی مختلفی در این نوع شیشه ایجاد کرد.



شکل ۴۳ـ تراش دادن شیشه سربی

کنجکاوی

با تراشکاری یا برشکاری شیشهٔ سربی چه نوع محصولاتی را می‌توان تهیه کرد؟

در جدول۵ مقدار آنالیز شیمیایی مواد سازندهٔ شیشهٔ سربی بیان شده است:

جدول ۵ــ آنالیزشیمیایی شیشهٔ سربی

اکسید	SiO_2	PbO	K_2O	Na_2O	ZnO	B_2O_3
درصد	۶۰ـ۷۰	۱۸ـ۲۶	۱۰ـ۱۲	۲ـ۴	۰ـ۱/۵	۰ـ۲

فعالیت کارگاهی

کارعملی۶ : آماده‌سازی آمیز شیشهٔ سربی

مواد و ابزار: سیلیس، سرب‌اکسید (سرنج)، سدیم کربنات، پتاسیم کربنات، روی اکسید، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوته دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش

شرح فعالیت:

۱ براساس محدودهٔ مینرالی شیشهٔ سربی مطابق جدول زیر از هر خاک وزن کنید.

ترکیب	سیلیس	سرنج	پتاسیم کربنات	سدیم کربنات	روی اکسید
درصد وزنی	۵۵ـ۶۰	۲۵ـ۳۵	۱۵ـ۱۸	۳ـ۵	۱ـ۲

۲ طبق مراحل ۲ تا ۴ کار عملی ۴ آمیز شیشه را آماده‌سازی کنید.

نکات ایمنی

۱ هنگام برداشتن مواد حتماً از ماسک و دستکش استفاده کنید.
۲ هنگام ساییدن آمیز عینک ایمنی بزنید.
۳ دقت کنید که در طی مراحل آماده‌سازی آمیز، ایجاد گرد و غبار به حداقل برسد.

فعالیت کارگاهی

کارعملی۷ : مقایسهٔ چگالی کلی و ظاهری آمیز شیشه‌های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و سربی

مواد و ابزار: آمیز شیشه سیلیکاتی، آمیز شیشه بوروسیلیکاتی، آمیز شیشه سربی، ترازو

شرح فعالیت:

آمیز هر یک از شیشه‌های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و سربی را مطابق کارهای عملی۴ تا ۶ آماده کنید و چگالی کلی و ظاهری آنها را با هم مقایسه کنید.

۴ شیشهٔ اُپال

شیشهٔ اُپال به حالت نیمه‌شفاف تا غیرشفاف است و ظاهری شبیه به ظروف چینی دارد. این شیشه در برابر شوک حرارتی مقاومت مناسبی دارد، بنابراین بیشتر در ظروف آشپزخانه و در برخی از شیشه‌های صنعتی مقاوم به حرارت کاربرد دارد.

شکل ۴۴ـ شیشهٔ اُپال

نکته

شیشهٔ اُپال با افزودن ترکیباتی مانند CaF_2 و P_2O_5 به آمیز شیشه تولید می‌شوند.

ارزشیابی نهایی

شرح کار:
۱ـ آماده‌سازی وسایل و تجهیزات تهیهٔ آمیز شیشه
۲ـ آماده‌سازی مواد اولیهٔ تهیهٔ آمیز شیشه
۳ـ آماده‌سازی آمیز شیشه‌های سیلیکاتی
۴ـ آماده‌سازی آمیز شیشه‌های بوروسیلیکاتی
۵ـ آماده‌سازی آمیز شیشه‌های سربی

استاندارد عملکرد:
خردایش و دانه‌بندی مواد اولیه (مش ۱۰۰ـ۶۰)، توزین مواد اولیه براساس فرمولاسیون، آماده‌سازی مواد اولیهٔ شیشه‌های سربی، سیلیکاتی و بوروسیلیکاتی براساس آنالیز شیمیایی شیشه.
شاخص‌ها:
۱ـ آماده‌سازی ماشین‌آلات مواد اولیهٔ شیشه
۲ـ تهیهٔ آمیز شیشه‌های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و شیشه سربی

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد ذوب شیشه
ابزار و تجهیزات: مواد اولیهٔ آمیز شیشه، ترازو، هاون، الک با مش‌های مختلف، انبر، بوته، ماسک، دستکش نسوز، کفش ایمنی، ماسک تنفسی، لباس کار، پیش بند مناسب (نسوز یا چرمی)، تجهیزات اطفای حریق

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده‌سازی وسایل و تجهیزات تهیهٔ آمیز شیشه	۱	
۲	آماده‌سازی مواد اولیهٔ تهیهٔ آمیز شیشه	۲	
۳	آماده‌سازی آمیز شیشه‌های سیلیکاتی	۱	
۴	آماده‌سازی آمیز شیشه‌های بوروسیلیکاتی	۱	
۵	آماده‌سازی آمیز شیشه‌های سربی	۱	
شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب		۲	
میانگین نمرات			*

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

پودمان ۲

ساخت مذاب

با یک عملیات ذوب موفق برای آمیز شیشه می‌توان محصولی با کیفیت مطلوب تولید کرد. آشنایی با انواع کوره و نحوهٔ عملکرد هر یک، ما را قادر می‌سازد روش مناسب برای ذوب آمیز را متناسب با نوع محصول تولیدی انتخاب کنیم.

واحد یادگیری ۲

شایستگی ساخت مذاب و یاد گیری مهارت آن

هدف از این شایستگی کسب دانش و مهارت ساخت انواع مذاب شیشه با آمیزهای مختلف است. همچنین انواع کوره، روش کوره‌بانی و چگونگی ذوب انواع آمیز توضیح داده شده است.

استاندارد عملکرد

ساخت مذاب شیشه با توجه به فرمولاسیون، محاسبهٔ مقدار مواد حباب‌زدا، رنگی‌کننده و بی‌رنگ‌کننده، همگن‌سازی مذاب.

برای ساخت یک محصول شیشه‌ای پس از تهیه آمیز شیشه، مواد اولیه باید ذوب شده و تبدیل به مذاب شیشه شوند.

مواد اولیهٔ شیشه

مذاب شیشه

محصول شیشه‌ای

شکل ۱

ساخت مذاب شیشه شامل سه مرحله است که این مراحل در کورهٔ ذوب شیشه اتفاق می‌افتد.

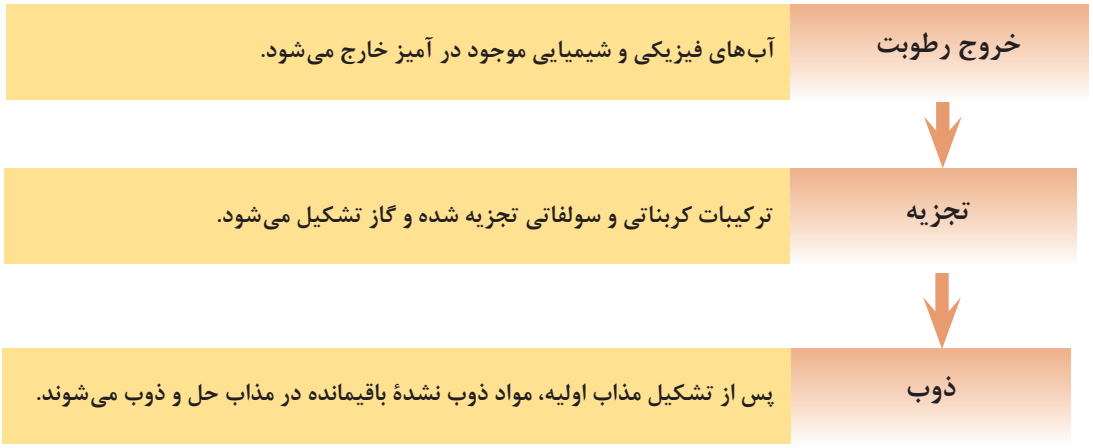
نمودار ۱

ذوب آمیز شیشه

ابتدا آمیز آماده شده در قسمت بچ پلانت که در سیلوی خوراک دهندهٔ کوره ذخیره شده است، متناسب با ظرفیت کوره به صورت تدریجی به کوره تغذیه می‌شود.

شکل ۲ــ تغذیهٔ تدریجی کوره

مشعل‌ها دمای آمیز را افزایش می‌دهند. با بالا رفتن دما، فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی در آمیز رخ می‌دهد تا مذاب تشکیل شود. واکنش‌های انجام شده در آمیز به شرح زیر است:



نمودار ۲ــ واکنش‌های انجام شده در آمیز شیشه هنگام ذوب

فعالیت کلاسی

دو نوع ماده اولیه کربناتی و سولفاتی را نام ببرید و واکنش تجزیه آنها را بنویسید.

مراحل ذوب شیشه با کورهٔ گاز سوزــ آزمایشگاهی

۱ ابتدا اندکی شیر گاز کوره باز شود. سپس مشعل کوره را با میله‌ای که در سر آن پنبه نسوز آغشته به مواد سوختنی قرار دارد روشن کنید.

۲ اجازه دهید تا کوره در شعله کم برای مدت زمان کافی کار کند و حرارت به‌تدریج افزایش یابد. علت افزایش تدریجی حرارت کوره موارد زیر است:

الف) بوته تَرَک بر ندارد.

ب) به آرامی آب‌های موجود در آمیز خارج شود.

نکته

اگر حرارت سریع افزایش یابد آب‌های درون آمیز به سرعت تبخیر می‌شود که باعث می‌شود مقداری از آمیز به بیرون بوته پاشیده شود.

۳ شیر هوا را کمی باز کنید و فن دمندهٔ کوره را روشن کنید.

۴ مقدار گاز و هوا را به آرامی افزایش دهید.

۵ فرصت دهید تا تمامی آمیز ذوب شود.

۶ مدت زمان قرارگیری مذاب در کوره باید به قدری باشد که حباب‌ها از مذاب خارج شوند.

۷ پس از ذوب شدن کامل آمیز اندکی از مقدار گاز و هوا را کاهش دهید تا کمی دمای کوره کاهش یابد. این کار باعث افزایش گرانروی مذاب و انحلال حباب‌های ریز در آن می‌شود و قابلیت شکل‌پذیری مذاب بیشتر می‌شود.

مراحل ذوب شیشه با کورهٔ الکتریکی آزمایشگاهی

۱ بوته را در نقطه‌ای از کوره قرار دهید تا از دریچهٔ کوره قابل مشاهده باشد.
۲ برنامهٔ حرارتی را به شرح زیر تنظیم کنید:
الف) با سرعت کم دما افزایش یابد.
ب) سپس سرعت گرمایش (بالارفتن دما) بیشتر شود.
ج) با رسیدن به دمای ذوب برای مدت زمان مشخصی در این دما باقی بماند.
د) سپس دما کمی کاهش یابد و مدت زمانی در این دما باقی بماند.
۳ پس از تنظیم برنامه حرارتی، کوره را روشن کنید.
۴ در دمای بالا فرصت دهید تا تمامی آمیز ذوب شود.
۵ مدت زمان قرارگیری مذاب در کوره به‌قدری باید باشد که حباب‌ها از مذاب خارج شوند.
۶ پس از ذوب شدن کامل آمیز کمی دمای کوره را کاهش دهید. در اثر این کار گرانروی مذاب به مقدار کمی افزایش می‌یابد تا مذاب قابلیت شکل‌پذیری داشته باشد.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم‌کربنات، کلسیم‌کربنات، دولومیت، بوتهٔ دیرگداز، کورهٔ ذوب گازی یا الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی، ماسک.

شرح فعالیت:

۱ بر اساس جدول زیر آمیز شیشه سیلیکاتی را آماده‌سازی کنید و داخل بوته دیرگداز بریزید.

جدول ۱

ترکیب	سیلیس	سدیم‌کربنات	دولومیت	کلسیم‌کربنات	کائولن	فلدسپات
درصد وزنی	۵۵ ـ ۴۵	۴۵ ـ ۳۵	۱۸ ـ ۱۲	۸ ـ ۴	۴ ـ ۲	۴ ـ ۲

۲ بر روی دیرگدازهای کف کوره مقداری پودر آلومینا بریزید.
۳ بوتهٔ دیرگداز حاوی آمیز شیشه سیلیکاتی را درون کوره قرار دهید.
۴ با رعایت نکات ذکر شده در مورد روش کار کورهٔ آزمایشگاهی، مذاب شیشه را تهیه کنید.
نکته: برای ذوب کردن این آمیز، درجه حرارت کوره باید حدوداً ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس باشد.
۵ دمای کوره را به ۸۰۰ درجهٔ سلسیوس کاهش دهید.
۶ با کمک و نظارت هنرآموز، بوته را از کوره خارج کرده و سرد شدن و تبدیل آن به شیشه را در محیط مشاهده کنید.
۷ پس از سرد شدن، نمونه خود را کدگذاری کرده و در جای مناسبی نگهداری کنید.

نکات ایمنی

۱ کورهٔ گاز سوز باید در مکانی قرار گیرد که تهویهٔ مناسب هوا به خوبی انجام شود.
۲ هنگام کار با کوره حتماً از ماسک، دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.
۳ برای برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه از کوره الکتریکی، حتماً برق کوره را قطع کنید.
۴ هنگام برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه، فاصلهٔ مناسب از کوره را رعایت کنید و از انبر با طول کافی برای انتقال بوته استفاده کنید.
۵ بوته را روی قطعهٔ سرامیکی نسوز قرار دهید و از دست زدن به آن خودداری کنید.

حباب‌زدایی وتصفیه مذاب

مایعات به‌طور طبیعی دارای گاز هستند. گازها می‌توانند به‌صورت حباب‌های قابل مشاهده در مایعات مانند حباب هوای حبس شده در عسل باشند. همچنین گازها می‌توانند به صورت حل شده در مایع و غیرقابل مشاهده باشند مانند انحلال اکسیژن در آب که امکان حیات آبزیان را مهیا می‌سازد ولی غیرقابل مشاهده است.

حباب هوا در داخل عسل

ماهی در آب

شکل ۳

در داخل مذاب شیشه نیز امکان حبس شدن هوا وجود دارد. هوای حبس شده اگر به‌صورت حباب باشد باعث کاهش عملکرد و تغییر کیفیت ظاهر شیشه می‌شود ولی اگر به‌صورت حل شده باشد غیر قابل مشاهده بوده و فقط با استفاده از میکروسکوپ قابل تشخیص خواهد بود.

پرسش

ماندن حباب در محصول شیشه‌ای چه اثراتی می‌تواند در ظاهر و عملکرد آن داشته باشد؟

شکل ۴

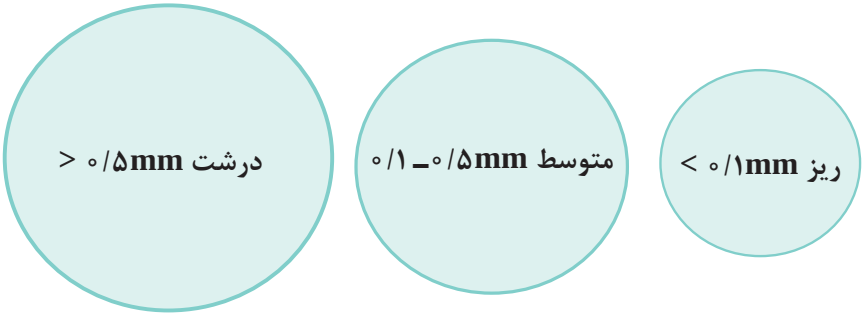
پس از تشکیل مذاب، اساسی‌ترین مرحلهٔ حباب‌زدایی است. گرانروی مذاب شیشه در بهترین حالت فرایند ذوب، در حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ پواز است. بنابراین مقداری از گازها نمی‌توانند از مذاب خارج شوند و باعث تولید حباب در اندازه‌های مختلف در شیشه تولیدی می‌شوند.

نکته

مذاب شیشه از آب سفت‌تر است و گرانروی آن در کوره حداقل ۱۰۰۰۰ برابر آب است.

انواع حباب‌ها از لحاظ اندازه

حباب‌های موجود در مذاب شیشه می‌توانند دارای اندازه‌های متفاوت باشند.



روش‌های حباب زدایی

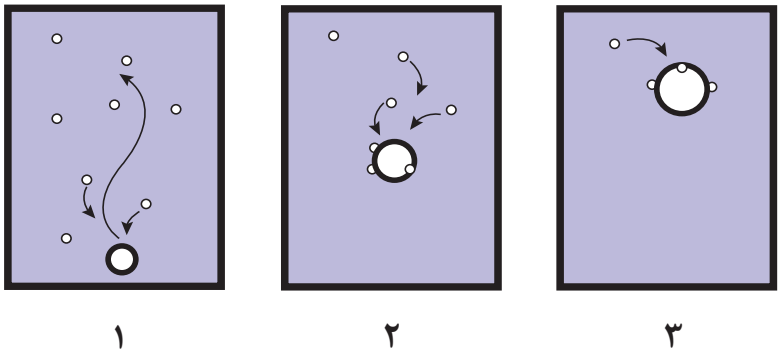
برای حذف گازها و حباب‌زدایی مذاب از روش‌های مختلفی مانند حل‌کردن گازها در مذاب و خارج‌کردن آنها از داخل مذاب، می‌توان استفاده کرد.

۱ **حل‌کردن گازها و حباب‌ها درون مذاب:** مشابه حالت میعان با سردکردن بعضی از گازها می‌توان آنها را در مایع حل کرد. از این روش برای حل‌کردن گاز کربن‌دی‌اکسید در نوشابه نیز استفاده می‌شود. به همین ترتیب می‌توان از این ویژگی برای از بین بردن حباب‌ها در مذاب شیشه استفاده کرد. انحلال حباب‌های ریز در مذاب در دمای پایین بیشتر اتفاق می‌افتد ولی نمی‌توان تمامی حباب‌ها و گازهای موجود در مذاب را حل کرد. در شرایط ایده آل حداکثر ۱۰ درصد حباب‌ها را می‌توان در مذاب حل کرد.

نکته

مقدار حباب‌زدایی مذاب بستگی به اهمیت و کارآیی شیشهٔ تولیدی دارد.

۲ **خارج کردن حباب‌ها از درون مذاب:** حباب‌های متوسط و بزرگ را می‌توان با افزایش اندازهٔ حباب از درون مذاب خارج کرد. با افزودن مواد حباب‌زا به آمیز، این مواد در مذاب گاز تولید می‌کنند که این گازها باعث بزرگ‌تر و پرفشار شدن حباب‌های موجود در مذاب شده و در نتیجه خروج حباب‌ها از مذاب اتفاق می‌افتد.



شکل ۵ــ خروج حباب با افزودن مواد حباب‌زا

نکته

در بعضی از کارخانه‌ها علاوه بر استفاده از مواد حباب‌زا به کمک روش‌هایی دیگر مذاب را حباب‌زدایی می‌کنند. دمیدن هوا یا اکسیژن خالص به درون مذاب از کف کوره با دستگاه هواساز انجام می‌شود که در این روش هوا یا اکسیژن دمیده شده باعث درشت‌تر و پرفشار شدن حباب‌ها می‌شود. حباب‌ها به سمت سطح مذاب حرکت می‌کنند. این روش در مخزن تصفیه کوره انجام می‌شود.

فعالیت کلاسی

با بررسی ظاهری انواع شیشه با کاربردهای مختلف مانند ظروف، بطری، در و پنجره و عینک وجود حباب در آنها را با هم مقایسه کنید.

۳ **همگن کردن و تنظیم گرانروی مذاب:** دو مذاب شیشه از کوره خارج شده است؛ یکی از مذاب‌ها کاملاً یکنواخت است و مواد اولیه به صورت کامل ذوب شده است و در دیگری عدم یکنواختی و ذوب نشدن مقداری از مواد اولیه قابل مشاهده است. محصول ساخته شده از کدام‌یک از این مذاب‌ها یکنواخت خواهد بود؟

شیشهٔ همگن

شیشهٔ ناهمگن

شکل ۶

در شیشهٔ تهیه شده از مذاب غیرهمگن، رگه‌هایی قابل مشاهده است. این رگه‌ها و عدم همگنی باعث ایجاد خواص مکانیکی، شیمیایی و نوری متفاوت در قسمت‌های مختلف شیشه می‌شود.

برای اینکه یک مذاب همگن داشته باشیم، باید شرایط زیر وجود داشته باشد:

۱ آمیز یکنواخت باشد و خوراک‌دهی کوره به روش صحیح صورت گیرد.

۲ زمان و دمای کافی در نظر گرفته شود.

۳ مذاب گرانروی و جریان مناسب داشته باشد.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: تهیهٔ مذاب شیشهٔ بور و سیلیکاتی

مواد و ابزار: سیلیس، فلدسپات پتاسیک، بوراکس، بوتهٔ دیرگداز، کورهٔ ذوب گازی یا الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی، ماسک.

شرح فعالیت:

۱ بر اساس جدول زیر آمیز شیشهٔ بوروسیلیکاتی را آماده‌سازی کنید و داخل بوته دیرگداز بریزید.

جدول ۲

ترکیب	سیلیس	بوراکس آبدار	فلدسپات پتاسیک
درصد وزنی	۶۰ ـ ۵۰	۶۰ ـ ۴۰	۱۰ ـ ۶

۲ مطابق با کار عملی ۱ مذاب شیشه بوروسیلیکاتی را تهیه کنید.

نکات ایمنی

۱ کورهٔ گاز سوز باید در مکانی قرار گیرد که تهویهٔ مناسب هوا به خوبی انجام شود.
۲ هنگام کار با کوره حتماً از ماسک، دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.
۳ برای برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه از کوره الکتریکی، حتماً برق کوره را قطع کنید.
۴ هنگام برداشتن بوته حاوی مذاب شیشه، فاصلهٔ مناسب از کوره را رعایت کنید و در هنگام برداشتن بوته دقت کافی داشته باشید.

انواع کوره در صنعت شیشه

در صنعت شیشه کوره‌های متنوعی براساس نوع شیشه، روش و ظرفیت تولید مورد استفاده قرار می‌گیرند. کوره‌های شیشه بر اساس خوراک‌دهی به دو دسته پیوسته، ناپیوسته و بر اساس بازیافت حرارتی به دو دسته بدون سامانه بازیافت حرارتی و دارای سامانه بازیافت حرارتی تقسیم بندی می‌شوند. انواع کوره‌های مورد استفاده در صنعت شیشه‌سازی در جدول زیر آمده‌است.

جدول ۳

نوع کوره	پیوسته	ناپیوسته	بدون سامانه بازیافت حرارت	با سامانه بازیافت حرارت
بوته‌ای[۱]		✓	✓	
مخزنی روزکار[۲]	✓		✓	
ریکوپراتوری[۳]	✓			✓
ریجنراتوری[۴]	✓			✓
کورهٔ الکتریکی[۵]	✓	✓	✓	
کوره با سوخت اکسیژن[۶]	✓		✓	

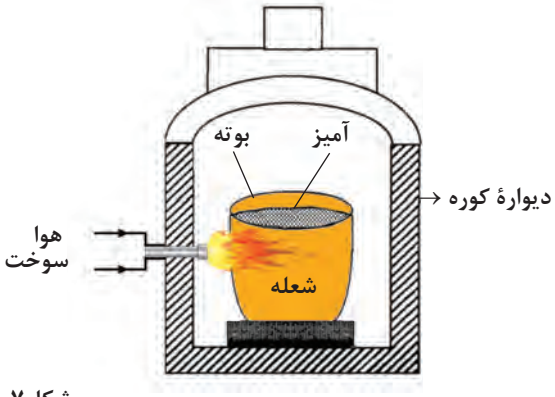
۱_ Pot Furnace
۲_ Day Tank
۳_ Recuperative
۴_ Regenerative
۵_ Electric Furnace
۶_ Oxygen _ Fuel

در کورهٔ پیوسته می‌توان خوراک‌دهی آمیز و برداشت مذاب را همزمان انجام داد. در حالی که در کورهٔ ناپیوسته پس از تکمیل خوراک‌دهی و ذوب، مذاب کاملاً تخلیه می‌شود و سپس این مراحل به ترتیب تکرار می‌شود.

کوره‌های بوته‌ای

کورهٔ بوته‌ای شامل بوته‌ای است که داخل کوره قرار گرفته و عمل بارگیری و برداشت مذاب از داخل بوته انجام می‌گیرد. این کوره در موارد زیر به کار می‌رود:

- در کارگاه‌های کوچک شیشه‌گری که حجم تولید کم است.
- برای ساخت محصولات خاصی که مقدار کمی مذاب مورد نیاز است.
- برای ساخت شیشه‌های رنگی که برای تزیین شیشه‌های تولیدی به‌کار می‌روند.

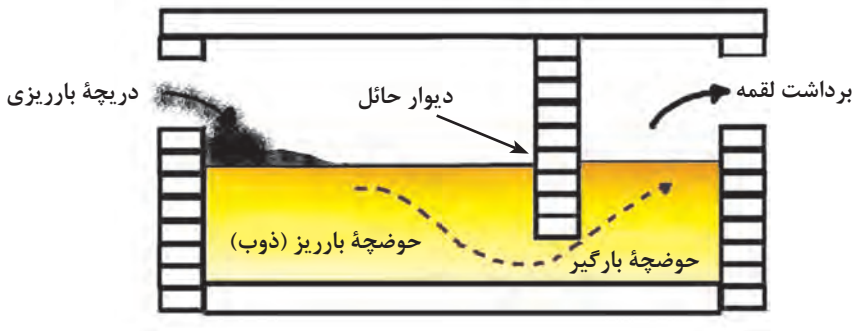


شکل ۷ــ کورهٔ بوته‌ای

حجم کوره‌های بوته‌ای بسیار کوچک است و ظرفیت تولید مذاب در آنها کمتر از ۱ تن در روز است. به‌دلیل ظرفیت تولید مذاب بسیار کم، نمی‌توان به آنها دستگاه‌های شکل‌دهی متصل کرد.

کوره‌های مخزنی روزکار

فضای اصلی کوره‌های مخزنی روزکار شامل دو قسمت حوضچهٔ بارریز و بارگیری است که با دیوارهٔ حائل از هم جدا شده‌اند. در این کوره‌ها قسمت حوضچه بارریز، آمیز را به مذاب تبدیل می‌کند و در قسمت حوضچهٔ بارگیر مذاب را تصفیه و گرانروی را برای شکل‌دهی تنظیم می‌کنند.



شکل ۸ــ کورهٔ مخزنی روزکار

۱ **حوضچهٔ بارریز:** در قسمت حوضچهٔ بارریز (ذوب)، آمیز به کمک مشعل ذوب می‌شود. دمای حوضچهٔ ذوب به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که مذاب گرانروی پایینی داشته و بتواند با عبور از دیوار حائل به حوضچهٔ بارگیر وارد شود.

۲ **دیوار حائل:** دیواری است که ما بین حوضچهٔ ذوب و حوضچهٔ بارگیر قرار گرفته و آنها را از هم جدا می‌کند. این دیوار گلوگاهی دارد که در پایین آن تعبیه شده است.

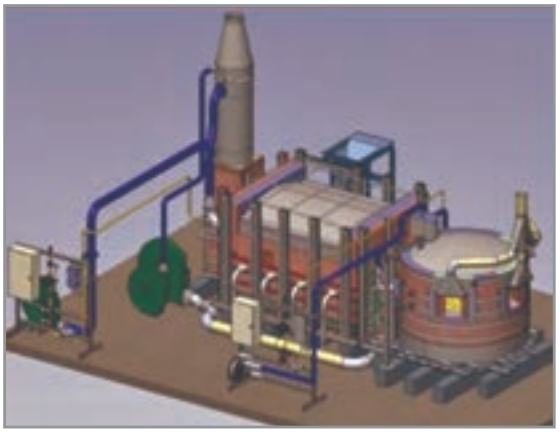
وظایف دیوار حائل شامل موارد زیر است:

- از ورود مواد ذوب نشده، سنگ‌ها و کف شناور بر سطح مذاب به درون حوضچهٔ بارگیر جلوگیری می‌کند.
- امکان تنظیم دماهای متفاوت را برای حوضچه‌ها فراهم می‌کند.

۳ **حوضچهٔ بارگیر:** در حوضچهٔ بارگیر (لقمه‌برداری)، به مذاب فرصت داده می‌شود تا حباب‌ها از داخل آن خارج شوند. سپس با کاهش دما، گرانروی مذاب برای شکل‌دهی تنظیم می‌شود. در دیوارهای حوضچهٔ بارگیر، دریچه‌هایی برای برداشتن لقمه مذاب یا بار تعبیه شده است.

شکل۹ــ برداشت بار از حوضچهٔ بارگیر

کوره‌های مخزنی روزکار، شب‌ها نیز روشن می‌مانند ولی عملیات ذوب‌گیری در آنها انجام نمی‌شود.



شکل ۱۰ــ کوره‌های مخزنی روزکار

کوره‌های روزکار مساحتی در حدود ۱۰ مترمربع داشته و ظرفیت تولید آنها در یک نوبت کاری ۱ تا ۱۰ تن است. مزیت این کوره‌ها نسبت به نوع بوته‌ای علاوه بر ظرفیت بالاتر، کارکرد پیوسته است.

شکل۱۱ ـ کوره‌های مخزنی روزکار

نکته

عموماً کوره‌های بوته‌ای و مخزنی روزکار را با آجرهای دیرگداز یا گاهی با خشت‌های خام سیلیسی می‌سازند. ابعاد آجرهای دیرگدازی که در تماس با مذاب شیشه هستند بزرگ انتخاب می‌شود تا از درز بین آنها کاسته شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی۳: تهیه مذاب شیشهٔ سربی

مواد و ابزار : سیلیس، سدیم‌کربنات، سرب‌اکسید (سرنج)، پتاسیم‌کربنات، روی‌اکسید، بوتهٔ دیرگداز، کورهٔ ذوب گازی یا کورهٔ الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی، ماسک.

شرح فعالیت:

۱ بر اساس جدول زیر آمیز شیشهٔ سربی را آماده‌سازی کنید و داخل بوتهٔ دیرگداز بریزید.

جدول ۴

ترکیب	سیلیس	سرنج	پتاسیم‌کربنات	سدیم‌کربنات	روی‌اکسید
درصد وزنی	۵۵ـ۶۰	۲۵ـ۳۵	۱۵ـ۱۸	۳ـ۵	۱ـ۲

۲ مطابق با کار عملی ۱ مذاب شیشهٔ سربی را تهیه کنید.

نکته

برای ذوب کردن این آمیز حدوداً ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجهٔ سلسیوس حرارت لازم است.

نکات ایمنی

۱ کورهٔ گاز سوز باید در مکانی باشد که تهویهٔ مناسب هوا به خوبی انجام شود.
۲ هنگام کار با کوره حتماً از ماسک، دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.
۳ برای برداشتن بوته حاوی مذاب شیشه از درون کورهٔ الکتریکی حتماً برق کوره را قطع کنید.
۴ هنگام برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه، فاصلهٔ مناسب از کوره را رعایت کنید و در نحوهٔ برداشتن بوته دقت کافی داشته باشید.

کوره‌بانی کوره‌های بوته‌ای و مخزنی روزکار

کوره‌بان وظیفه راه‌اندازی و کنترل کوره را بر عهده دارد و باید بر نحوهٔ بارگیری و شرایط عملیاتی کوره نظارت کامل داشته باشد. برخی از نکات فنی که کوره‌بان باید مدنظر قرار دهد عبارت است از:

۱ قبل از اولین بارگیری، مشعل‌ها روشن شوند تا کوره پیش‌گرم شود.
۲ بارگیری اولیه باید با خرده شیشه انجام شود و طبق برنامه حرارتی مناسب، دمای کوره افزایش داده شود.

نکته

برنامهٔ حرارتی برای افزایش دما، توسط سازندهٔ کوره و با توجه به نوع دیرگدازهای مورد استفاده ارائه می‌شود.

۳ ارتفاع مذاب و حجم بارگیری مطابق با ظرفیت و حجم مفید کوره باشد.
۴ با لقمه‌گیری و بررسی گرانروی و شکل‌پذیری مذاب، شرایط مناسب را در حوضچهٔ بارگیری کنترل کند.
۵ اگر گرانروی مذاب برای شکل‌دهی مناسب باشد، حرارت مشعل‌ها ثابت نگه داشته می‌شود تا دما و گرانروی مذاب بدون تغییر باقی بماند.

شکل ۱۲

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم کربنات، کلسیم کربنات، دولومیت، مواد حباب‌زدا (آرسنیک اکسید یا آنتی‌موان اکسید یا سدیم سولفات یا سدیم نیترات)، بوتهٔ دیرگداز، کورهٔ ذوب گازی یا کورهٔ الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی، ماسک.

شرح فعالیت:

۱ بر اساس جدول زیر آمیز شیشه سیلیکاتی را تهیه کنید.

جدول ۵

ترکیب	سیلیس	سدیم کربنات	دولومیت	کلسیم کربنات	کائولن	فلدسپات
درصد وزنی	۵۵ ـ ۴۵	۴۵ ـ ۳۵	۱۸ ـ ۱۲	۸ ـ ۴	۴ ـ ۲	۴ ـ ۲

۲ به مقدار ۰/۵ الی ۱ درصد از آمیز، به آن مادهٔ حباب‌زدا اضافه کنید.

۳ مطابق با کار عملی ۱ مذاب شیشه سیلیکاتی را تهیه کنید.

نکات ایمنی

۱ کورهٔ گاز سوز در مکانی باشد که تهویهٔ مناسب هوا به خوبی انجام شود.

۲ هنگام کار با کوره حتماً از ماسک، دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.

۳ برای برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه از درون کورهٔ الکتریکی حتماً برق کوره را قطع کنید.

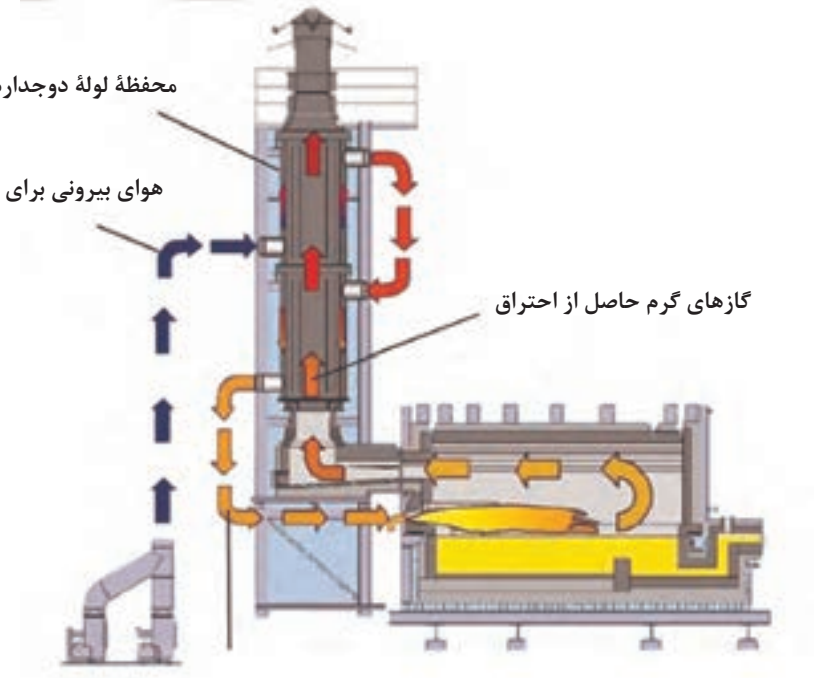
۴ هنگام برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه، فاصله مناسب از کوره را رعایت کنید و در هنگام برداشتن بوته دقت کافی داشته باشید.

کوره‌های پیوسته با سامانهٔ بازیافت حرارتی

شعلهٔ حاصل از احتراق مخلوط سوخت و هوا است. برخی از کوره‌ها مجهز به سامانه‌ای هستند که هوای مورد نیاز مشعل‌ها را به کمک حرارت گازهای خروجی از کوره پیش‌گرم می‌کند که به آن سامانهٔ بازیافت حرارتی می‌گویند. این سامانه باعث افزایش دمای شعله و کاهش مصرف انرژی می‌شود. افزایش دمای شعله نیز امکان افزایش ظرفیت تولید مذاب را مهیا می‌سازد.

شناخته‌شده‌ترین سامانه‌های بازیافت حرارتی سامانه‌های ریکوپراتوری و ریجنراتوری هستند.

سامانهٔ ریکوپراتور از یک لوله دوجداره ساخته شده است که هوای داغ کوره در یک جداره و هوای مورد نیاز مشعل‌ها در جدارهٔ دیگر جریان دارند. جریان گازها در خلاف جهت یکدیگر بوده و حرارت از گازهای داغ خروجی به هوای سرد ورودی مشعل انتقال می‌یابد.



شکل ۱۳ــ کورهٔ ریکوپراتوری

فکر کنید

چرا جنس لولهٔ درونی در کوره‌های ریکوپراتوری از فلزاتی با خاصیت هدایت حرارتی بالا ساخته می‌شود؟

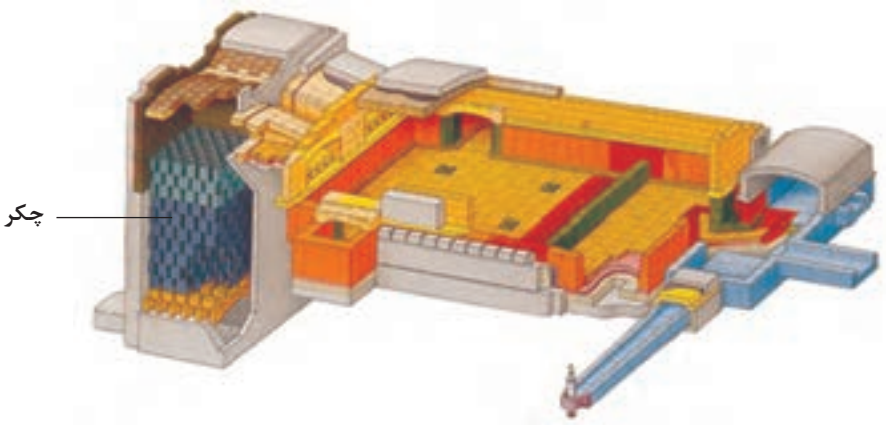
در سامانهٔ ریجنراتور برای گرم کردن هوای مورد نیاز مشعل‌ها از دو مجموعه چکر[۱] استفاده می‌شود. چکرها اتاقک‌هایی هستند که از آجرهای دیرگداز چیده شده به صورت شطرنجی، صلیبی یا دودکشی ساخته شده‌اند. یکی از چکرها وظیفهٔ خروج هوای داغ کوره و چکر دیگر، وظیفهٔ تأمین هوای مشعل‌ها را بر عهده دارد. وظیفهٔ چکرها در دوره‌های زمانی ۱۵ تا ۲۰ دقیقه‌ای به‌طور مداوم جابه‌جا می‌شود. در هر دوره زمانی آجرها توسط گازهای داغ خروجی گداخته می‌شوند و در دورهٔ بعدی حرارت خود را به هوای سرد ورودی به مشعل‌ها منتقل می‌کنند.

انواع کوره‌های ریجنراتوری

پشت گذر

در این کوره‌ها، چکرها در ابتدای کوره و به اندازه عرض کوره در کنار هم ساخته می‌شوند.

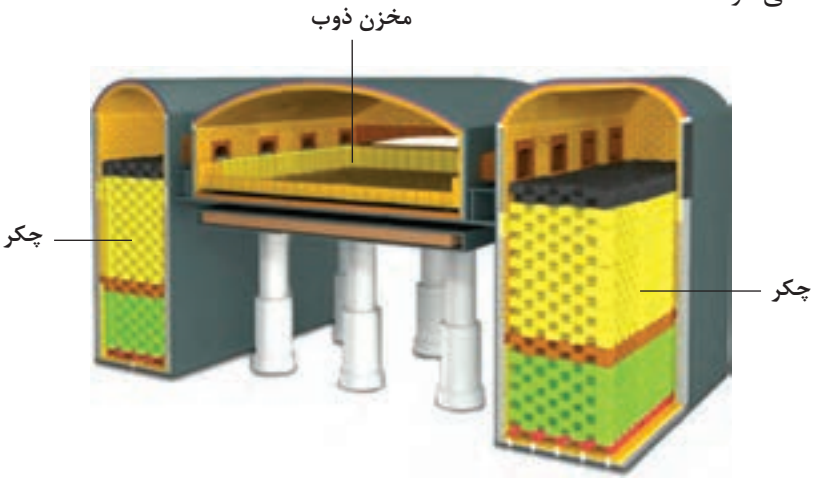
۱ـ Checker



شکل ۱۴ ـ کورهٔ پیوسته مجهز به سامانهٔ بازیافت حرارتی ریجنراتور با چکرهای پشت‌گذر

پهلو گذر

در کوره‌های پهلو گذر (کنارگذر)، چکرها در دو طرف دیواره‌های جانبی به اندازهٔ طول قسمت مخزن ذوب کوره ساخته می‌شود.



شکل ۱۵ ـ کورهٔ پیوسته مجهز به سامانهٔ بازیافت حرارتی ریجنراتور با چکرهای پهلو گذر

جدول ۶

نوع سامانه	ریجنراتور	ریکوپراتور
دمای هوای مورد استفاده برای مشعل	۱۳۰۰ـ ۸۵۰ درجهٔ سلسیوس	۸۵۰ ـ ۴۰۰ درجهٔ سلسیوس
ظرفیت تولید مذاب در ۲۴ ساعت	۸۵۰ ـ ۶۰ تن	۶۰ـ۳۰ تن

پرسش

دمای مشعل در کدام سامانهٔ بازیافت حرارتی بیشتر است؟
ظرفیت تولید مذاب با استفاده از کدام سامانهٔ بازیافت حرارتی افزایش بیشتری دارد؟

فعالیت کارگاهی

کار عملی۵: تهیه مذاب شیشهٔ سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا و بی‌رنگ کننده

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم کربنات، دولومیت، کلسیم کربنات، مواد حباب‌زدا و بی‌رنگ کنندهٔ شیمیایی (مانند: آرسنیک‌اکسید، آنتیموان‌اکسید، سدیم‌سولفات، سدیم‌نیترات)، بی‌رنگ کننده‌های فیزیکی (کبالت‌اکسید، کبالت کربنات، کبالت‌سیلیکات، سلنیم‌اکسید، سلنیم کربنات)، بوتهٔ دیرگداز، کورهٔ ذوب گازی یا الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی، ماسک

شرح فعالیت:

۱ بر اساس جدول زیر آمیز شیشهٔ سیلیکاتی را تهیه کنید.

جدول۷

ترکیب	سیلیس	سدیم کربنات	دولومیت	کلسیم کربنات	کائولن	فلدسپات
درصد وزنی	۴۵ ـ ۵۵	۳۵ ـ۴۵	۱۲ـ۱۸	۴ ـ ۸	۲ ـ ۴	۲ ـ ۴

۲ به آمیز به میزان ۰/۵ الی ۱ درصد مادهٔ حباب زدا و ۰/۱ الی ۰/۵ درصد ماده بی‌رنگ کننده شیمیایی و ۰/۰۱ الی ۰/۰۳ درصد ماده بی‌رنگ کننده فیزیکی اضافه کنید.

۳ مطابق با کار عملی ۱ مذاب شیشه را تهیه کنید.

نکات ایمنی

۱ کورهٔ گاز سوز در مکانی باشد که تهویهٔ مناسب هوا به خوبی انجام شود.

۲ هنگام کار با کوره حتماً از ماسک، دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.

۳ برای برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه از درون کوره الکتریکی حتماً کوره باید خاموش باشد.

۴ هنگام برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه، فاصله مناسب از کوره را رعایت کنید و در نحوهٔ برداشتن بوته دقت کافی داشته باشید.

اجزای مختلف کوره‌های پیوسته مجهز به سامانه بازیافت حرارتی

ظرفیت و ابعاد کورهٔ پیوسته مجهز به ریکوپراتور و ریجنراتور حداقل بیش از ۱۰ برابر کوره روزکار است. این کوره شامل قسمت‌های زیر است:

حوضچهٔ بارریز ← مخزن ذوب ← دیوار حائل و گلوگاه ← مخزن تصفیه ← کانال تنظیم گرانروی مذاب

۱ **حوضچهٔ بارریز:** در ابتدای مخزن ذوب کوره و در ارتفاع کمی بالاتر از سطح مذاب، دریچهٔ بارریز قرار دارد که از آن آمیز به درون مخزن ذوب ریخته می‌شود.

پرسش

ابعاد حوضچهٔ بارریز و محل قرارگیری آن در کوره به چه عاملی بستگی دارد؟

شکل ۱۶ــ دریچهٔ بارریز کوره‌های شیشه ظروف و بطری

شکل ۱۷ــ دریچهٔ بارریز کوره‌های شیشه تخت

دریچهٔ بارریز در کوره‌های تولید بطری و شیشه‌های ظروف به صورت دریچه‌ای مربعی شکل مشابه دهانهٔ کانال کولر در دیوار پهلو یا پشت مخزن ذوب واقع شده است (شکل ۱۶).
در کوره‌های شیشهٔ تخت با ظرفیت تولید بالا (کوره‌های با ظرفیت ۴۰۰ تا ۸۵۰ تن) دریچهٔ بارریز در دیوار پشت (عرض) مخزن ذوب به اندازه عرض کوره واقع شده است (شکل ۱۷).

۲ **مخزن ذوب:** مخزن ذوب[۱] حوضچه‌ای است که با حرارت مشعل‌ها در آن واکنش‌های ذوب انجام می‌شود و آمیز کاملاً ذوب می‌شود. ابعاد مخزن ذوب بستگی به ظرفیت کوره دارد.

الف) مخزن ذوب کورهٔ ریجنراتوری پشت گذر

ب) داخل کورهٔ ریجنراتوری پهلو گذر

شکل ۱۸

۱ـ Tank melting

شکل۱۹ـ دیوار حائل و گلوگاه در انتهای مخزن ذوب

۳ دیوارحائل و گلوگاه: گلوگاه[۱] کانالی است که در دیوار حائل تعبیه شده است تا از طریق آن، مذاب از مخزن ذوب به مخزن تصفیه منتقل شود. گلوگاه‌ها می‌توانند دارای ابعاد و شکل متنوعی باشند.

گلوگاه علاوه بر انتقال مذاب به حوضچهٔ تصفیه، باعث افت دمایی آن در حدود ۲۰۰ درجه سلسیوس می‌شود.

بیشتر بدانید

یکی از دلایل اصلی افت عمر کوره، خوردگی در گلوگاه است. در برخی از کوره‌ها با ظرفیت بسیار بالا مانند کورهٔ تولید شیشه تخت، طراحی متفاوتی برای گلوگاه و دیوار حائل استفاده می‌شود.

۴ مخزن تصفیه: با ورود مذاب به مخزن تصفیه دو شرط برای بهبود حباب زدایی و همگن شدن ایجاد می‌شود که شامل موارد زیر است:

۱ـ راکد ماندن مذاب درون مخزن برای مدت زمان مشخص

۲ـ کاهش دمای مذاب به میزان ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس

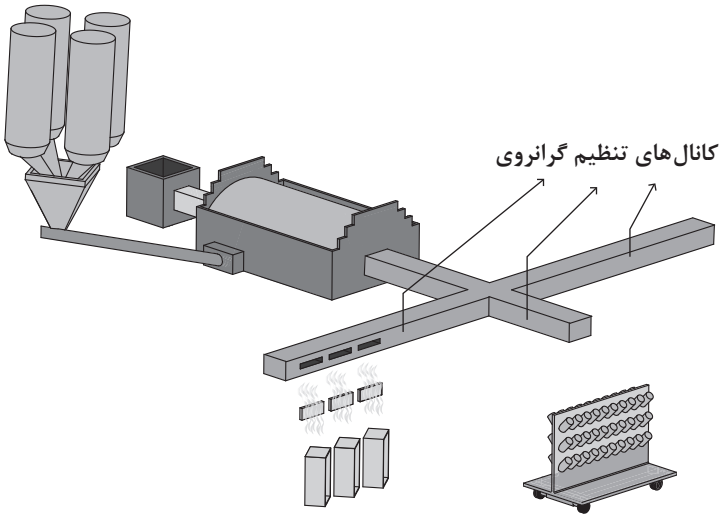
نکته

در برخی از کارخانجات شیشه در مخزن تصفیه از همزن مکانیکی برای همگن کردن مذاب و تا حدودی تصفیه کردن آن استفاده می‌کنند.

شکل۲۰ـ همزن مکانیکی

۱ـ Throat

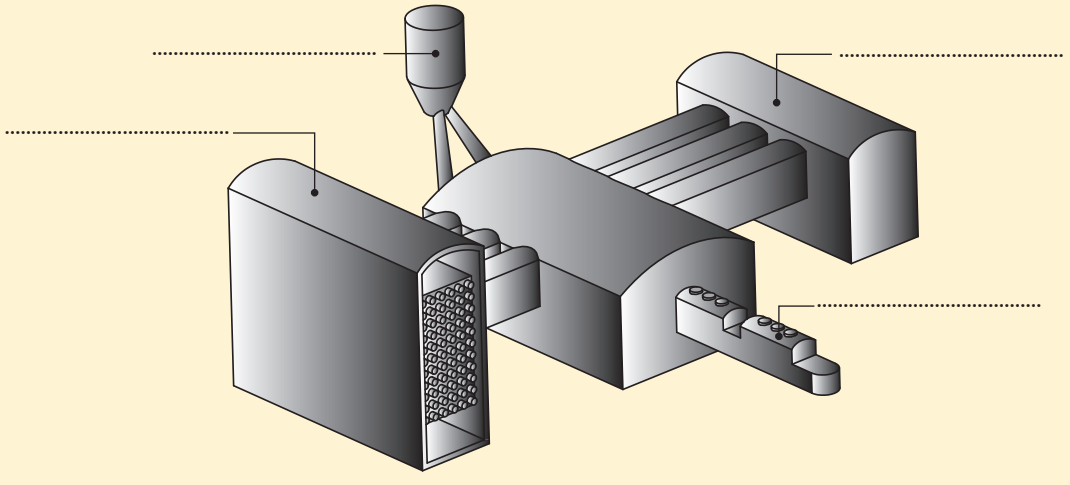
۵ کانال تنظیم گرانروی مذاب: کوره‌های تولید شیشه ظروف یا بطری، در انتهای مخزن تصفیه به کانال‌هایی متصل می‌شوند که مذاب را به سمت دستگاه‌های شکل‌دهی هدایت می‌کند. براساس تعداد خطوط شکل‌دهی این کانال‌ها ساخته می‌شود. در این کانال‌ها از دمش هوا برای کاهش دمای مذاب و تنظیم گرانروی آن برای شکل‌دهی استفاده می‌شود.



شکل ۲۱ــ کوره با کانال تنظیم گرانروی (فورهارث)

فعالیت کلاسی

با توجه به آموخته‌های خود، در شکل زیر جاهای خالی که مربوط به قسمت‌های مختلف کوره است را پر کنید.



شکل ۲۲

عوامل مختلفی که بر سرعت ذوب آمیز و ظرفیت تولید شیشه تأثیر دارند در جدول زیر آمده است:

جدول۸ ـ عوامل مؤثر بر سرعت ذوب و ظرفیت تولید شیشه

ردیف	عامل	توضیحات
۱	دمای کوره	مؤثرترین عامل در سرعت ذوب و تشکیل مذاب، میزان درجه حرارت است. با افزایش دمای کوره، زمان مورد نیاز برای ذوب شدن آمیز کاهش می‌یابد و در نتیجه سرعت ذوب و ظرفیت تولید افزایش می‌یابد.
۲	نوع کوره	سیستم بازیافت حرارت کوره اصلی‌ترین عامل در میزان دما و حجم حرارت است. در میان کوره‌های صنایع شیشه، کوره‌های ریجنراتوری که دارای چکرهای پهلو گذر هستند بالاترین بازدهی حرارت را دارند که تأثیر مستقیم بر عملیات ذوب و در نهایت باعث افزایش ظرفیت تولید می‌شود.
۳	آمیز شیشه	اگر درصد SiO_2 و Al_2O_3 در آمیز شیشه‌ای کم باشد و درصد اکسیدهای دگرگون‌ساز به ویژه قلیایی‌ها بیشتر باشد سرعت ذوب افزایش می‌یابد. اما این امر به افت خواص مکانیکی و شیمیایی شیشه منجر می‌شود.
۴	درصد خرده شیشه	در کارخانجات شیشه‌سازی، مقدار مشخصی خرده شیشه به عنوان کمک ذوب به ترکیب آمیز اضافه می‌شود. مقدار خرده شیشهٔ اضافه شده به آمیز در محدوده ۱۵ تا ۴۰ درصد متغیر است. با افزایش درصد خرده شیشه، سرعت ذوب افزایش می‌یابد.
۵	میزان همگنی آمیز	در فرایند آماده‌سازی آمیز و انتقال به مخزن ذوب، شرایطی باید ایجاد شود تا ناهمگنی در آمیز ایجاد نشود. اگر آمیز ورودی به مخزن ذوب کاملاً همگن باشد سرعت ذوب افزایش می‌یابد.

نکته

برای افزایش دادن سرعت ذوب و ظرفیت تولید نمی‌توان درصد اکسیدهای دگرگون ساز یا خرده شیشه را از مقدار مشخصی بیشتر افزایش داد، زیرا باعث کاهش خواص و کیفیت شیشه تولیدی می‌شوند.

نکته

درهنگام ریختن آمیز به درون مخزن ذوب کوره باید به نکات زیر توجه شود:

۱ از ایجاد گرد و غبار جلوگیری شود.

۲ جدایش و ناهمگنی در آمیز ایجاد نشود.

۳ تغذیهٔ آمیز به‌صورت مقطعی و بر اساس میزان ظرفیت خروج مذاب از کوره باشد تا فرصت ذوب اولیه به مواد داده شود و به هم نچسبند.

شکل ۲۳ـ ریختن آمیز به درون کوره

نکته

ابعاد خُرده شیشه، از اندازهٔ سایر مواد اولیه آمیز باید درشت‌تر باشد تا سرعت ذوب مطلوب شود.

کنجکاوی

۱ چرا درشت بودن اندازه خُرده شیشه باعث افزایش سرعت ذوب آمیز می‌شود؟

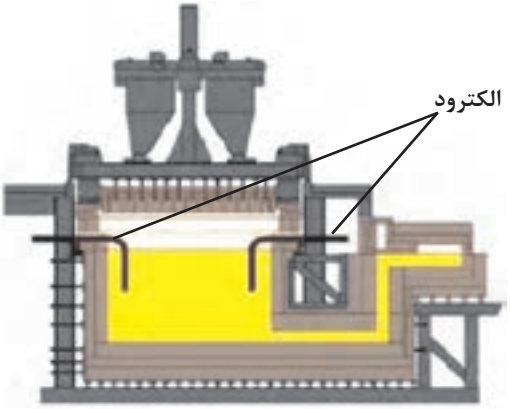
۲ در کارخانجات تولید شیشه اندازه خُرده شیشه‌های مصرفی در چه محدوده‌ای در نظر گرفته می‌شود؟

بیشتر بدانید

در برخی از کوره‌ها، از اکسیژن به جای هوا برای سوختن مشعل‌ها استفاده می‌شود. در این حالت نیز دمای شعله افزایش یافته و ظرفیت تولید بیشتر می‌شود. این کوره‌ها به کورهٔ سوخت اکسیژن[۱] معروف هستند.

کورهٔ الکتریکی: در کوره‌های الکتریکی به جای استفاده از احتراق مشعل‌ها، حرارت مورد نیاز از انرژی الکتریکی الکترودهای معلق در داخل مذاب فراهم می‌شود. در شکل ۲۴ نمونه‌ای از این کوره‌ها نشان داده شده است. این کوره‌ها می‌توانند مجهز به سامانه بازیافت حرارتی نیز باشند.

۱ـ Oxy-fuel



شکل ۲۴ـ کورهٔ الکتریکی

فعالیت کارگاهی

کار عملی۶ : تهیهٔ مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا، بی رنگ کننده و رنگی کننده

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم‌کربنات، دولومیت، کلسیم‌کربنات، مواد حباب‌زدا و بی‌رنگ‌کننده شیمیایی (آرسنیک‌اکسید یا آنتیموان‌اکسید یا سدیم‌سولفات یا سدیم‌نیترات) و بی‌رنگ‌کننده فیزیکی (کبالت‌اکسید یا کبالت‌کربنات یا کبالت‌سیلیکات و سلنیم‌اکسید یا سلنیم‌کربنات)، انواع اکسیدهای رنگی یا رنگدانه‌ها، بوتهٔ دیرگداز، کوره ذوب گازی یا کوره الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی و ماسک

شرح فعالیت:

۱ بر اساس جدول زیر آمیز شیشهٔ سیلیکاتی را تهیه کنید.

جدول ۹

ترکیب	سیلیس	سدیم‌کربنات	دولومیت	کلسیم‌کربنات	کائولن	فلدسپات
درصد وزنی	۴۵ ـ۵۵	۳۵ـ۴۵	۱۲ـ۱۸	۴ـ۸	۲ـ۴	۲ـ۴

۲ به آمیز به میزان ۰/۵ الی ۱ درصد مادهٔ حباب‌زدا و ۰/۱ الی ۰/۵ درصد مادهٔ بی‌رنگ‌کننده شیمیایی، ۰/۰۱ الی ۰/۰۳ درصد مادهٔ بی‌رنگ‌کننده فیزیکی و ۱ الی ۵ درصد مادهٔ اکسید رنگی یا رنگدانه اضافه کنید.

۳ مطابق با کار عملی ۱ مذاب شیشه را تهیه کنید.

نکات ایمنی

۱ کورهٔ گازسوز در مکانی باشد که تهویهٔ مناسب هوا به خوبی انجام شود.
۲ هنگام کار با کوره حتماً از ماسک، دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.
۳ برای برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه از درون کوره الکتریکی حتماً برق کوره را قطع کنید.
۴ هنگام برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه، فاصله مناسب از کوره را رعایت کنید و در نحوهٔ برداشتن بوته دقت کافی داشته باشید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۷ : تهیه مذاب شیشهٔ سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا و احیایی‌کننده

مواد و ابزار : سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم‌کربنات، دولومیت، کلسیم‌کربنات، مواد حباب‌زدا (مانند: آرسنیک‌اکسید، آنتیموان‌اکسید، سدیم‌سولفات، سدیم‌نیترات)، انواع مواد حاوی کربن (ضایعات لاستیک و پلاستیک یا روغن سوخته یا زغال چوب)، بوتهٔ دیرگداز، کورهٔ ذوب گازی یا الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی و ماسک

شرح فعالیت:

۱ بر اساس جدول زیر آمیز شیشهٔ سیلیکاتی را تهیه کنید.

جدول ۱۰

ترکیب	سیلیس	سدیم‌کربنات	دولومیت	کلسیم‌کربنات	کائولن	فلدسپات
درصد وزنی	۴۵ ـ ۵۵	۳۵ـ۴۵	۱۲ـ۱۸	۴ـ۸	۲ـ۴	۲ـ۴

۲ به آمیز به میزان ۰/۵ الی ۱/۵درصد مادهٔ حباب‌زدا و ۵ الی ۱۰ درصد مادهٔ احیایی کننده اضافه کنید.
۳ مطابق با کار عملی ۱ مذاب شیشه را تهیه کنید.

نکات ایمنی

۱ کورهٔ گاز سوز در مکانی باشد که تهویهٔ مناسب هوا به خوبی انجام شود.
۲ هنگام کار با کوره حتماً از ماسک، دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.
۳ برای برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه از درون کوره الکتریکی حتماً کوره باید خاموش باشد.
۴ هنگام برداشتن بوتهٔ حاوی مذاب شیشه، فاصله مناسب از کوره را رعایت کنید و در نحوهٔ برداشتن بوته دقت کافی داشته باشید.

ارزشیابی نهایی

شرح کار:
۱ـ تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و سربی
۲ـ تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا
۳ـ تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد بی رنگ‌کننده
۴ـ تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد رنگ‌کننده
۵ـ تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد احیاکننده

استاندارد عملکرد:
ساخت مذاب شیشه با توجه به فرمولاسیون، محاسبهٔ مقدار مواد حباب‌زدا، رنگی‌کننده و بی‌رنگ‌کننده، همگن‌سازی مذاب.
شاخص‌ها:
تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و سربی
تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا بی‌رنگ‌کننده، مواد رنگ‌کننده و یا احیا کننده

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد ذوب شیشه
ابزار و تجهیزات: مواد اولیهٔ آمیز شیشه، کوره گازی یا الکتریکی ذوب شیشه، بوتهٔ ذوب شیشه، انبر، بوته، دستکش نسوز، ماسک، عینک ضد اشعه و لوازم حفاظت فردی، لباس کار

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی	۲	
۲	تهیهٔ مذاب شیشه‌های بوروسیلیکاتی	۱	
۳	تهیهٔ مذاب شیشه‌های سربی	۱	
۴	تهیهٔ مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا	۱	
۵	تهیهٔ مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد بی‌رنگ‌کننده، رنگ‌کننده و احیاکننده	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۳

شکل‌دهی شیشه

فرایند تولید شیشه مسیر تکاملی از یک هنر و حرفهٔ دستی تا رسیدن به فناوری پیشرفته را طی کرده است. روش‌های مختلف شکل‌دهی شیشه، امکان تولید محصولات شیشه‌ای متنوع را فراهم کرده است.

واحد یادگیری ۳

شایستگی شکل‌دهی شیشه و کسب مهارت آن

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت شکل‌دهی مذاب شیشه به روش دستی و دستگاهی است که براساس آن مراحل شکل‌دهی انواع روش‌ها به همراه نکات فنی و عملی توضیح داده شده است. کسب مهارت شکل‌دهی بدنه‌های مختلف شیشه‌ای در این واحد مورد توجه قرار دارد.

استاندارد عملکرد

شکل‌دهی بدنه شیشه‌های تزیینی، آزمایشگاهی، مهره‌های شیشه‌ای، ساخت الیاف شیشه‌ای، برش لوله برای روش شیشه‌گری با شعله، ساخت‌گوی شیشه‌ای به روش دستی.

محصولات شیشه‌ای با روش‌های دستی و دستگاهی شکل‌دهی می‌شوند. در شکل ۱ دو روش شکل‌دهی شیشه نشان داده شده است.

روش دستی

روش دستگاهی

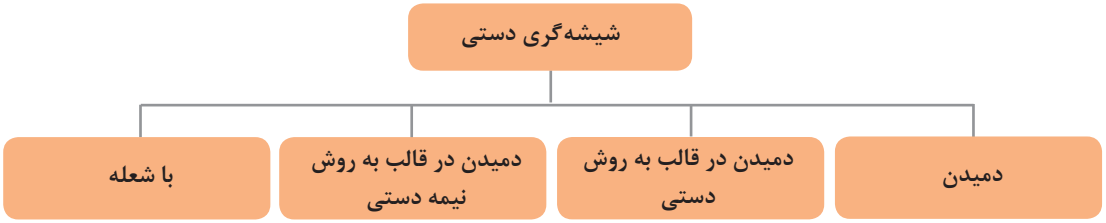
شکل ۱

شیشه‌گری دستی

شیشه‌گری هنر شکل‌دادن مذاب شیشه است. در این روش محصولات مختلفی از مذاب شیشه به وسیله دست و ابزارهای متعدد تولید می‌شود. برخی از محصولات شیشه‌گری دستی در شکل ۲ نشان داده شده است.

شکل ۲ــ محصولات تولید شده به روش شیشه‌گری دستی

تولید شیشه به روش دستی با روش‌های متعددی انجام می‌شود که پرکاربردترین آنها در نمودار ۱ نشان داده شده است.



نمودار ۱

هر یک از روش‌های شیشه‌گری دستی به وسایل و ابزارهایی نیاز دارد. ابزار کار شیشه‌گری دستی بسیار مختصر و ساده است. در جدول ۱ مهم‌ترین ابزارهای شیشه‌گری نشان داده شده است.

جدول ۱ــ انواع ابزارهای شیشه‌گری دستی

نام ابزار	تعریف و کاربرد ابزار	تصویر
لولهٔ دم	لوله‌ای توخالی که برای برداشتن مذاب از کوره و شکل‌دهی شیشه به روش دمیدن مورد استفاده قرار می‌گیرد.	
قاشق	این وسیله نقش قالب را دارد و معمولاً از جنس چوب یا گرافیت است.	
قالب تخته	این وسیله از دو تختهٔ چوبی یا گرافیتی ساخته شده و در مواردی مانند شکل دادن و کنترل پایه ظروف مورد استفاده قرار می‌گیرد.	

انبر	این وسیله برای صاف‌کردن مذاب و شکل‌دهی قسمت‌های مختلف قطعه شیشه‌ای استفاده می‌شود.	
قیچی	برای بریدن مذاب اضافی یا ایجاد لبه در ظروف و جداکردن قطعه از میله دم استفاده می‌شود.	
سنگ کار	برای شکل‌دهی مذاب شیشه روی آن استفاده می‌شود.	
کاردک	برای شکل‌دهی یا بریدن قطعهٔ شکل‌دهی شده از میلهٔ دم مورد استفاده قرار می‌گیرد.	

افرادی که در کارگاه شیشه‌گری فعالیت می‌کنند با مذاب دما بالا و حرارت مستقیم سروکار دارند؛ بنابراین ایمنی در هنگام کار و استفاده از وسایل ایمنی ضرورت دارد. در جدول ۲ ابزار و تجهیزاتی که برای ایجاد ایمنی در هنگام شیشه‌گری به‌کار می‌رود آمده است.

جدول ۲ـ وسایل ایمنی مورد نیاز در شیشه‌گری

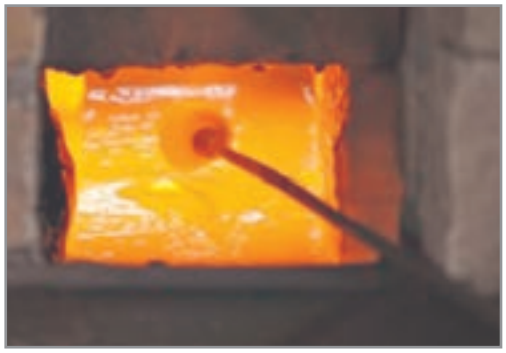
نام وسیله	تصویر
عینک شیشه‌گری	
دستکش نسوز	
پیش‌بند آستین‌دار نسوز	
نیم‌چکمه نسوز ریخته‌گری	

شیشه‌گری به روش دمیدن

مراحل شیشه‌گری به روش دمیدن به شرح زیر است:

۱ برداشتن مذاب از کوره با میله دم: مهم‌ترین وسیله شیشه‌گری دستی لوله‌ای توخالی است که به آن «دم» گفته می‌شود و برای برداشتن مذاب شیشه از داخل کوره مورد استفاده قرار می‌گیرد. با فرو بردن و چرخاندن دم داخل مذاب شیشه، مقدار مورد نظر ماده مذاب روی میله قرار می‌گیرد و روی نوک میله ثابت می‌شود. پس از دمیدن در دم، گوی کوچکی که به آن «گوی اول» گفته می‌شود، به‌دست می‌آید.

شکل ۳ـ ایجاد گوی اول بر روی میله دم



شکل ۴ـ افزایش قطر گوی اول با برداشتن مذاب بیشتر

۲ **افزایش قطر گوی مذاب:** بعد از کمی سرد و سفت شدن گوی اول، بار دیگر لولهٔ دم به داخل شیشه مذاب فرو برده شده و مذاب شیشه بیشتری برای ساخت قطعهٔ مورد نظر برداشته می‌شود که اصطلاحاً به آن **بار** یا **لقمه** گفته می‌شود. گِردیِ گوی اول باعث می‌شود تا مقدار مذاب شیشه که در مرحله دوم برداشته می‌شود در تمام جهت‌ها دارای قطر مساوی باشد.

۳ **دمیدن در میله:** پس از افزایش قطر گوی، با دمیدن درون میلهٔ دم‌حبابی در گوی مذاب ایجاد می‌شود.

شکل ۵ـ ایجاد حباب در لقمهٔ مذاب با دمیدن

۴ **سرد کردن گوی و قرار دادن آن درون قاشق:** با ایجاد حرکات متناوب و دورانی سعی می‌شود که گوی حاصل از مرحلهٔ قبل کمی سرد شود تا بتواند شکل اولیهٔ خود را حفظ کند و برای مرحلهٔ بعد آماده شود. در این مرحله گرانروی مذاب شیشه زیاد و قطر آن کم است. به‌همین دلیل گوی شیشه‌ای برای رسیدن به یکنواختی بیشتر، داخل قاشق قرار می‌گیرد.

سرد کردن گوی با ایجاد حرکات متناوب و دورانی

قرار گیری گوی مذاب درون قاشق

شکل ۶

نکته

برای اینکه قاشق نسوزد و همچنین مذاب به قاشق نچسبد، هر چند دقیقه یکبار قاشق درون آب قرار داده می‌شود.

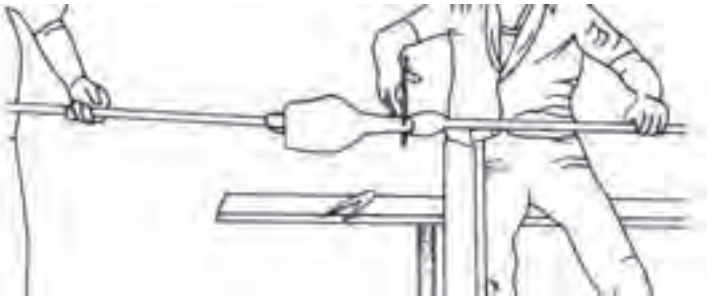
۵ شکل‌دهی گوی شیشه‌ای: پس از حرارت دهی مجدد، با توجه به ابعاد و شکل قطعه مورد نظر درون میلهٔ دم دمیده می‌شود تا گوی کره‌ای شکل به‌وجود آید. سپس مذاب به کمک انبر یا چرخاندن بر روی تخته کار شکل داده می‌شود.

شکل ۷ــ شکل‌دهی گوی با کمک ابزار

گفت‌وگو کنید

آیا جنس تخته‌ای که در مرحلهٔ شکل‌دهی استفاده می‌شود، اهمیت دارد؟

۶ جدا کردن قطعه از میلهٔ دم : برای جداکردن قطعه از میلهٔ دم از میلهٔ دم دیگری که حاوی مقدار کمی شیشهٔ مذاب است و به آن واگیره گفته می‌شود، استفاده می‌شود. پس از اینکه لقمه مذاب به شکل موردنظر را به‌دست می‌آورد، فرد دیگری به آرامی انتهای قطعه ساخته شده را به واگیره می‌چسباند. سپس با قلم موی مرطوب یا قیچی روی شیشه خط می‌اندازد و با ضربه ملایمی آن را از لوله اصلی جدا می‌کند.



شکل ۸

نکته

شیشه شکل‌دهی شده در مجاورت هوای عادی پس از دقایقی به علت سرد شدن سطح شیشه و گرم ماندن درون آن می‌شکند و به همین دلیل اشیاء ساخته شده به گرمخانه منتقل می‌شوند تا به‌تدریج خنک شوند.

شکل ۹ـ قرارگیری شیشه در گرمخانه

تحقیق کنید

در کارگاه شیشه‌گری، صنعتگر، استادکار و کارگران وردست چه وظایفی دارند؟

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: شکل‌دهی گوی شیشه‌ای به روش دمیدن

مواد و ابزار: خرده شیشه، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوته دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش نسوز، میلهٔ دم، قاشق، انبر، حوضچه آب، سنگ کار

شرح فعالیت:

خُرده شیشه را آماده‌سازی و ذوب کنید و سپس مطابق مراحل شکل‌دهی به روش دمیدن، گوی شیشه‌ای را شکل‌دهی کنید.

نکات ایمنی

- در هنگام شیشه‌گری از لباس و دستکش نسوز استفاده کنید.
- از دست زدن مستقیم به ظروفی که درون آنها مذاب است بپرهیزید.
- تشعشعات داخل کوره و مذاب شیشه خطرناک است بنابراین حتماً از عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام دمیدن، هوای داغ را به درون دهان خود نکشید زیرا بخارات و هوای داغ منجر به سوختگی دهان و اجزای درونی بدن می‌شود.
- در هنگام شیشه‌گری نباید محیط اطراف شیشه‌گر شلوغ باشد.
- فرد شیشه‌گر باید در فاصلهٔ مشخصی از کوره باشد تا حرارت منجر به سوختگی او نشود.

فعالیت کلاسی

مشخص کنید هر یک از تصاویر جدول ۳ چه مرحله‌ای در شیشه‌گری دستی را نشان می‌دهد.

جدول ۳

تصویر	توضیحات

دمیدن در قالب به روش دستی

این روش شباهت زیادی به روش دمیدن دارد. برخی از محصولات شکل‌دهی شده با این روش در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

ب الف

شکل ۱۰ــ محصولات شکل‌دهی شده با روش دمیدن در قالب

خلاصهٔ مراحل شکل‌دهی به روش دمیدن در قالب در زیر بیان آمده:

۱ در ابتدا گوی شیشه‌ای با روش دمیدن ایجاد می‌شود.

۲ گوی ایجاد شده داخل قالب قرار داده می‌شود. سپس درون میلهٔ دم می‌دمند تا مذاب شیشه شکل قالب را به خود بگیرد. همزمان فرد دیگری وظیفه باز و بسته کردن قالب را به عهده دارد.

الف) شیشه‌گر در حال دمیدن در قالب

ب) مسئول کنترل قالب و باز و بسته کردن آن

شکل ۱۱ــ شکل‌دهی گوی شیشه‌ای با روش دمیدن در قالب

نکته

در برخی از کارگاه‌های شیشه‌گری به منظور داغ شدن قالب و جلوگیری از چسبیدن مذاب درون آن، مقداری گازوئیل یا آرد داخل قالب پاشیده می‌شود که در هنگام تماس با مذاب سوخته و شعله‌ور می‌شود.

شکل ۱۲ــ ایجاد شعله در اثر تماس قالب آغشته به گازوئیل با مذاب

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: شکل‌دهی به روش دمیدن در قالب به روش دستی

مواد و ابزار: خُرده شیشه، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوتهٔ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، میلهٔ دم، قاشق، انبر، حوضچهٔ آب، سنگ کار، قالب، آرد

شرح فعالیت:

طبق کار عملی ۳ در پودمان اول خُرده شیشه را آماده‌سازی و ذوب کنید و سپس مطابق مراحل به روش دمیدن در قالب به روش دستی شکل‌دهی را انجام دهید.

نکات ایمنی

- در هنگام شیشه‌گری از لباس و دستکش نسوز استفاده کنید.
- از دست زدن مستقیم به ظروفی که درون آنها مذاب است بپرهیزید.
- تشعشعات نوری کوره و مذاب شیشه خطرناک است بنابراین حتماً از عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام دمیدن، هوای داغ را به درون دهان خود نکشید زیرا بخارات و هوای داغ منجر به سوختگی دهان و اجزای درونی بدن می‌شود.
- در هنگام شیشه‌گری نباید محیط اطراف شیشه‌گر شلوغ باشد.
- فرد شیشه‌گر باید در فاصله مشخصی از کوره باشد تا حرارت منجر به سوختگی او نشود.
- در هنگام قرارگیری لقمه مذاب درون قالب امکان شعله‌ور شدن وجود دارد؛ بنابراین باید شیشه‌گر در فاصله ایمنی قرارگیرد.

فعالیت کلاسی

شباهت‌ها و تفاوت‌های روش دمیدن و دمیدن در قالب به روش دستی را در جدول ۴ یادداشت کنید.

جدول ۴

شباهت	تفاوت
.....	.....
.....	.....

دمیدن در قالب به روش نیمه دستی

در این روش از قالب‌های پرس بادی استفاده می‌شود که برای تولید محصولاتی مانند بطری و گلدان به‌کار می‌رود.

شکل ۱۳ــ قالب پرس بادی

مراحل شکل‌دهی با دمیدن در قالب به روش نیمه‌دستی به شرح زیر است:

۱ مقدار مناسبی مذاب با میلهٔ دم از کوره برداشته می‌شود و آن را بسیار سریع از میله دم جدا کرده و در قالب پرس قرار می‌دهند.

۲ با بستن قالب فشار هوا از دستگاه پمپ هوا به درون آن وارد می‌شود و مذاب شکل قالب مورد نظر را می‌گیرد.

۳ سپس به سرعت قطعه شکل‌دهی شده از قالب خارج می‌شود. به منظور جلوگیری از ایجاد تنش و کنترل سرعت سرد شدن، شیشه در گرمخانه قرار داده می‌شود.

شیشه‌گری با شعله

بسیاری از محصولات تزیینی شیشه‌ای و شیشه‌های آزمایشگاهی مانند استوانهٔ مدرج به‌وسیلهٔ مشعل شکل‌دهی می‌شوند.

شکل ۱۴ــ شیشه‌گری با شعله

در شکل‌دهی دستی با شعله، لوله‌های شیشه‌ای توپر و توخالی به‌صورت آماده تهیه شده و به کمک مشعل با دمیدن و ابزارهای شیشه‌گری شکل‌دهی صورت می‌گیرد. مشعل‌های شیشه‌گری انواع مختلفی دارند که برخی از آن‌ها در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

شکل ۱۵

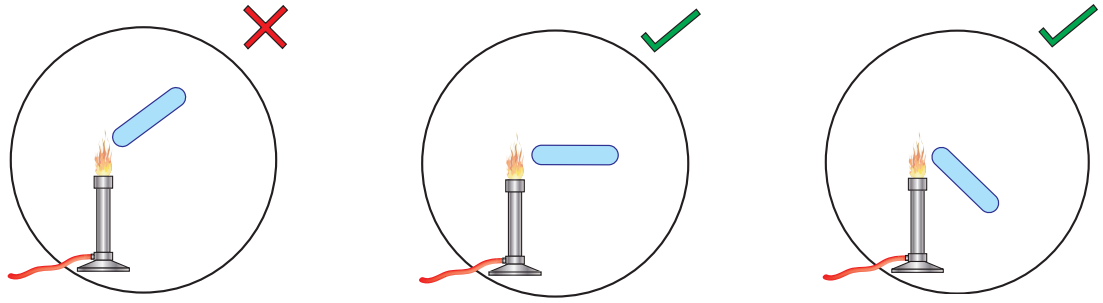
نکته

جنس لولهٔ شیشه‌ای که در روش شیشه‌گری با شعله به‌کار می‌رود اهمیت دارد و معمولاً از جنس بوروسیلیکاتی (پیرکس) است.

در شکل ۱۶ برخی از محصولات شکل‌دهی شده با شعله نشان داده شده است. با این روش می‌توان آثار هنری زیبایی را تولید کرد.

شکل ۱۶ــ برخی از محصولات شیشه‌گری با شعله

شیوهٔ صحیح و ناصحیح قرارگیری لولهٔ شیشه‌ای در مقابل شعله در شکل ۱۷ نشان داده شده است:



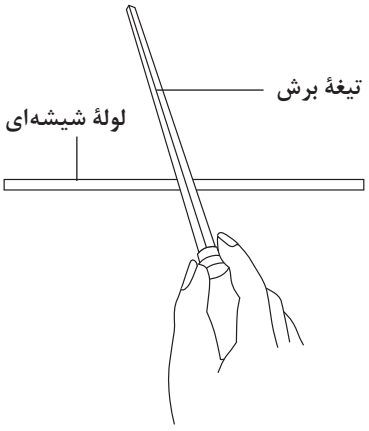
الف ب ج

شکل ۱۷ــ نحوهٔ قرارگیری لولهٔ شیشه‌ای در روش شیشه‌گری با شعله

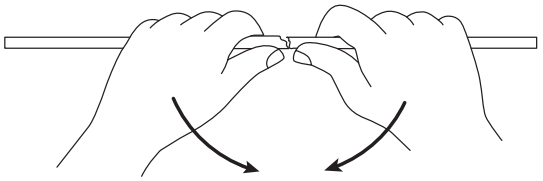
فکر کنید

چرا لولهٔ شیشه‌ای مطابق شکل ۱۷ قسمت ج نباید مقابل شعله قرار داده شود؟

شیوهٔ برش لوله شیشه‌ای برای شیشه‌گری با شعله



۱ــ روی دیوارهٔ لولهٔ شیشه‌ای به کمک تیغه خط یا شیاری ایجاد کنید.

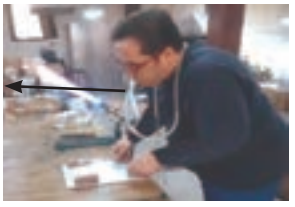


۲ــ انگشتان دو دست خود را در دو طرف شیاری که در مرحله قبل ایجاد کرده بودید قرار دهید. انگشتان خود را بچرخانید تا برش ایجاد شود.

شکل ۱۸ــ برش لولهٔ شیشه‌ای

در جدول ۵ مراحل شکل‌دهی یک نمونه شیشهٔ آزمایشگاهی به روش شیشه‌گری با شعله نشان داده شده است.

جدول ۵ــ مراحل شکل‌دهی شیشه آزمایشگاهی

شماره	شرح فعالیت	تصویر
۱	انتخاب لولهٔ شیشهٔ اولیه و برش آن در ابعاد مورد نظر	
۲	حرارت دهی اولیه با شعله	
۳	شکل‌دهی و دمیدن همزمان به لولهٔ گرم شده	
۴	حرارت‌دهی مجدد	
۵	شکل‌دهی و دمیدن مجدد و ایجاد انحنا (این مرحله چندین بار تکرار می‌شود)	 دمیدن از طریق این لوله انجام می‌شود.
۶	بریدن دو انتهای لوله پس از شکل‌دهی	
۷	محصول نهایی	

نکات ایمنی

شیشه‌گری با شعله با استفاده از کپسول‌های گازهای خطرناک (گاز پروپان و اکسیژن) انجام می‌شود و از سوی دیگر کار با حرارت مستقیم و دمای بسیار بالای شعله نیازمند مهارت، رعایت اصول ایمنی و استفاده از وسایل ایمنی است.

از جمله خطراتی که در هنگام شیشه‌گری با آن‌ها مواجه هستید، شامل موارد زیر است:

- سوختگی دست و لباس
- آسیب به چشم (احتمال ایجاد بیماری‌هایی نظیر زخم قرنیه و آب مروارید)
- خطرات ناشی از گاز و نشت آن

نمایش فیلم

فیلم مربوط به شیشه‌گری با شعله را مشاهده کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: شیشه‌گری با شعله

مواد و ابزار: لولهٔ شیشه‌ای پیرکس، مشعل، انبر، قیچی، تخته

شرح فعالیت:

۱ طبق روش بیان شده در شکل ۱۸ لوله شیشه‌ای را به طول ۱۵ سانتی‌متر برش دهید.

۲ با رعایت اصول ایمنی شیر مربوط به گاز مشعل را باز کنید.

نکته: شیر مربوط به مشعل را به میزان کم باز کنید و در هنگام روشن‌کردن آن صورت خود را دور از مشعل قرار دهید.

۳ لولهٔ شیشه‌ای را با شعله شکل‌دهی کنید.

نکات ایمنی

- در هنگام شیشه‌گری با شعله مراقب باشید تا حرارت باعث سوختن لباس یا دست‌هایتان نشود.
- در هنگام شیشه‌گری لباس با آستین گشاد یا شال گردن نپوشید.
- تشعشعات شعله و مذاب شیشه خطرناک است، بنابراین حتماً از عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام دمیدن، هوای داغ را به درون دهان خود نکشید، زیرا بخارات و هوای داغ منجر به سوختگی دهان و اندام‌های داخلی بدن می‌شود.
- در هنگام شیشه‌گری نباید محیط اطراف شیشه‌گر شلوغ باشد.
- فرد شیشه‌گر باید در فاصله مشخصی از شعله قرار گیرد تا حرارت منجر به سوختگی او نشود.

فعالیت کلاسی

با توجه به روش‌هایی که تاکنون آموخته‌اید روش شکل‌دهی هر یک از محصولات شیشه‌ای جدول ۶ را مشخص کنید.

جدول ۶

محصول	روش شکل‌دهی

بیشتر بدانید

تاریخچه شیشه‌گری در ایران

شیشه‌گری یکی از قدیمی‌ترین صنایعی است که بشر به آن پرداخته است. براساس کاوش‌های صورت گرفته، شیشه‌گری در ایران باستان قدمت داشته است. بطری‌های شیشه‌ای کشف شده از حفاری‌های معابد چغازنبیل (خوزستان)، نشان‌دهندهٔ قدمت شیشه‌گری در کشورمان است.

با کشف اشیای شیشه‌ای در دوره اشکانیان و ساسانیان می‌توان گفت صنعت شیشه‌سازی در ایران رواج داشته و روش «دمیدن» و «دمیدن در قالب» استفاده می‌شد. دورهٔ غزنویان و سلجوقیان را می‌توان دورهٔ شکوفایی هنر و صنعت شیشه‌گری در ایران نامید. ظرف‌های شیشه‌ای بسیار زیبا با تزیینات مختلف به صورت تراشیده یا با نقوش افزوده از این دوره‌ها کشف شده است.

طبق بررسی‌های انجام شده با روی کار آمدن سلسلهٔ صفوی و توجه خاص به این رشته، کارگاه‌های شیشه‌گری در اصفهان و شیراز ساخته شد.

شکل ۱۹ــ نمونه‌هایی از شیشه‌های باستانی

بازدید

از کارگاه‌های شیشه‌گری در شهرستان خود بازدید کرده و گزارشی در کلاس ارائه کنید.

تولید شیشه به روش دستگاهی

در هر یک از محصولات نشان داده شده در شکل ۲۰ از شیشه استفاده شده است که به روش دستگاهی تولید می‌شوند. آیا می‌توان این شیشه‌ها را با روش دستی شکل‌دهی و تولید کرد؟

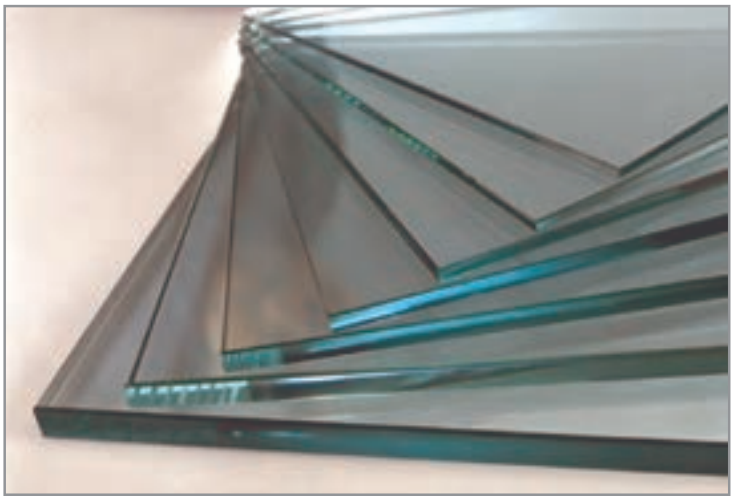
الف ب ج

شکل ۲۰

امروزه اغلب محصولات شیشه‌ای با روش دستگاهی تولید می‌شوند و تعداد محدودی از کارگاه‌های شیشه‌گری به روش دستی فعالیت دارند. در تولید شیشه به روش دستگاهی تمام مراحل تولید شیشه به‌صورت خودکار انجام می‌شود. طراحی دستگاه‌های خط تولید به‌گونه‌ای است که محصول مورد نظر، در زمان کوتاهی شکل گیرد. مهم‌ترین تولیدات شیشه به روش دستگاهی شیشهٔ تخت و ظروف شیشه‌ای هستند.

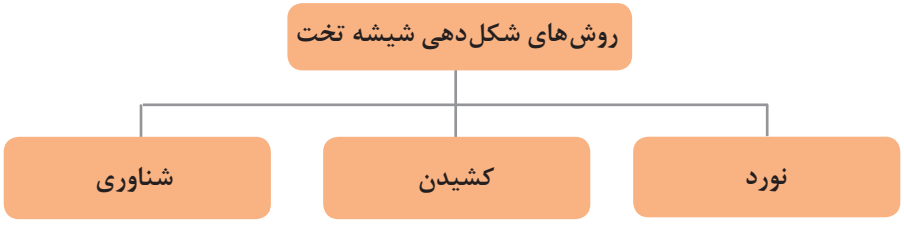
شیشهٔ تخت

شیشهٔ تخت کاربردهای متنوعی مانند شیشهٔ اتومبیل، آینه و شیشه‌های مصرفی ساختمان دارد. در فرایند ساخت این شیشه‌ها هدف تولید شیشه‌ای با دو سطح کاملاً موازی و بدون اعوجاج در ظاهر آن است.



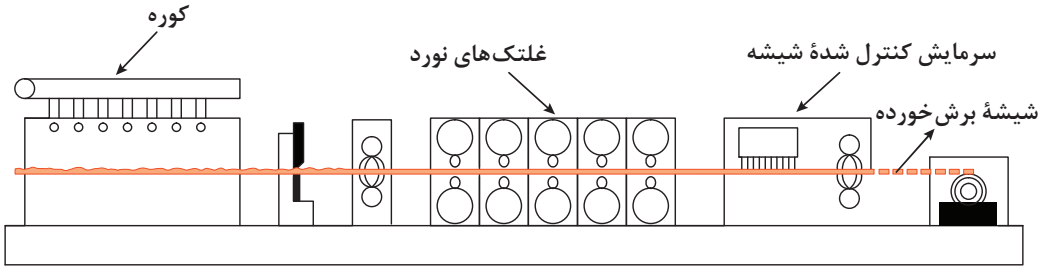
شکل ۲۱

شیشهٔ تخت با روش‌های مختلفی قابل تولید است که برخی از این روش‌ها در نمودار ۲ بیان شده است:



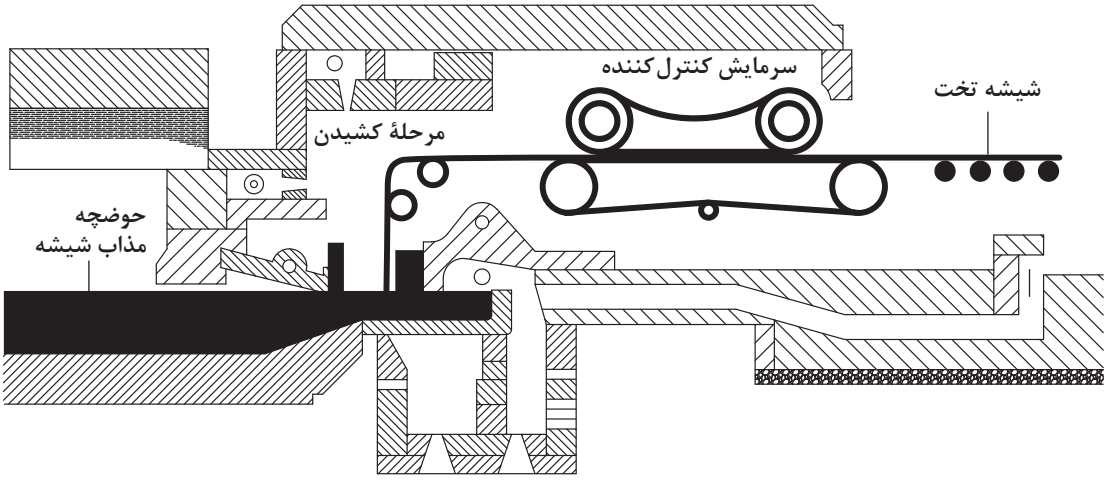
نمودار ۲

روش نورد: در روش نورد شیشهٔ تخت با قرارگیری مذاب بین غلتک‌های فولادی شکل می‌گیرد. در این روش مذاب از بین غلتک‌های دوتایی که در خلاف جهت هم در حال حرکت هستند، عبور می‌کند. در شکل ۲۲ فرایند شکل‌دهی شیشهٔ تخت به روش نورد نشان داده شده است.



شکل ۲۲ـ شکل‌دهی شیشهٔ تخت به روش نورد

روش کشیدن (کُلبِرن[1]): در شکل ۲۳ مراحل تولید شیشهٔ تخت به‌صورت کلی نشان داده شده است.



شکل ۲۳

۱ مذاب به وسیله قلاب‌هایی به سمت بالا کشیده می‌شود.

۲ مذاب کمی سرد شده و سپس بر روی غلتک‌های افقی هدایت می‌شود. نحوهٔ قرارگیری غلتک‌ها به‌گونه‌ای است که مذاب شیشه خم شده و سپس کشیده می‌شود.

۳ پس از قرارگیری شیشه بر روی غلتک‌ها با کنترل دما شیشه تولید می‌شود و پس از خروج از گرمخانه شیشه‌ها برش داده می‌شوند.

نکته

برای کنترل دما و سرد کردن مذاب شیشه در روش کشیدن، داخل غلتک لوله‌هایی وجود دارد که آب در آن‌ها جریان دارد. بنابراین با عبور مذاب از روی غلتک‌ها با انتقال حرارت به آب درون غلتک، مذاب کمی سرد می‌شود. در برخی از کارخانه‌ها نیز به کمک جریان یکنواخت هوای سرد، مذاب سرد می‌شود.

۱ـ Colburn

فکر کنید

دو حالت زیر را برای تولید شیشه به روش کشیدن درنظر بگیرید، در کدام حالت ضخامت شیشهٔ نهایی کمتر خواهد بود؟
الف) غلتک با سرعت کم
ب) غلتک با سرعت زیاد

تحقیق کنید

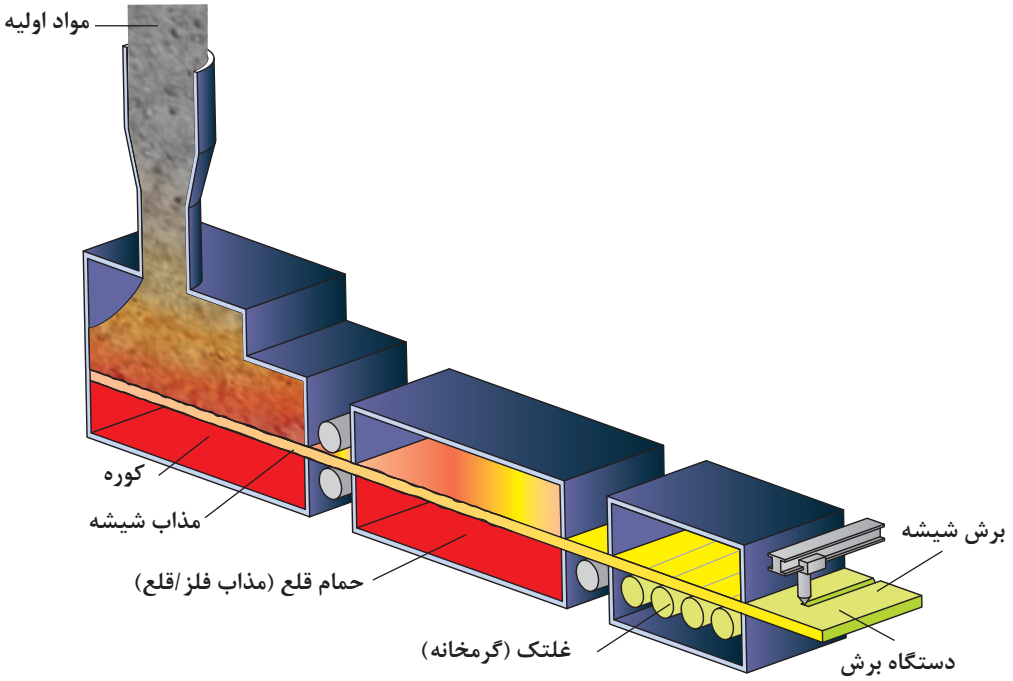
نوع دیگر از روش کشیدن به نام فورکُلت[1] است. دربارهٔ این روش و کاربرد آن تحقیق کنید.

روش شناوری[2] (فلوت): روش شناوری (فلوت) پیشرفته‌ترین روش در تولید شیشهٔ تخت است که امروزه کاربرد فراوانی دارد. در روش شناوری از این ویژگی استفاده می‌شود که با ریختن دو مایع غیرقابل انحلال در هم، مایع بالایی به‌صورت لایه‌ای با ضخامت یکنواخت بر روی مایع زیرین شناور می‌شود.
فرض کنید که مقداری روغن روی آب مانند شکل ۲۴ ریخته‌اید، چرا روغن روی آب به این شکل قرار می‌گیرد؟

شکل ۲۴ـ شناوری لایهٔ روغن بر روی آب

۱ـ Four Cault
۲ـ Float

در شکل ۲۵ مراحل تهیه شیشهٔ تخت با روش شناوری (فلوت) نشان داده شده است:

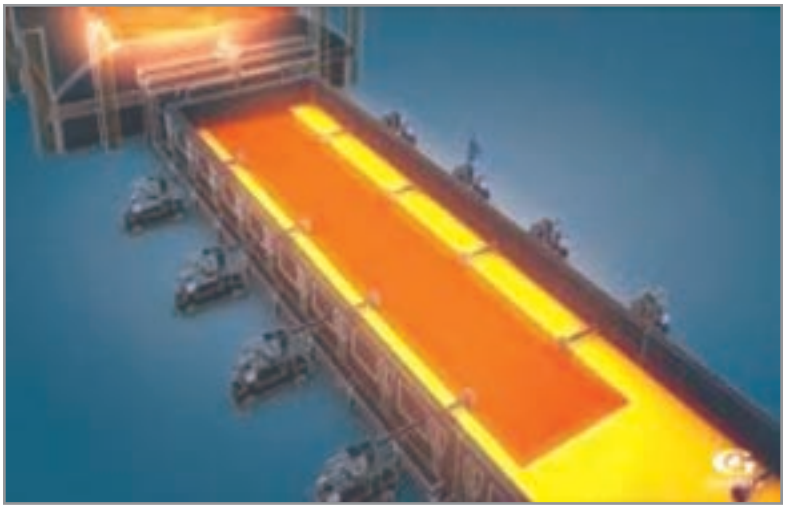


شکل ۲۵ــ تولید شیشه به روش فلوت

۱ مذاب شیشه به‌طور پیوسته متناسب با عرض و ضخامت شیشهٔ تولیدی بر روی مذاب فلز قلع در مکانی سرپوشیده به نام حمام قلع ریخته می‌شود. شناوری لایهٔ مذاب شیشه بر روی قلع مشابه شناوری لایه روغن برروی آب است.

شکل ۲۶ــ مذاب شیشه در حمام قلع

۲ مذاب شیشه بر روی مذاب قلع پهن شده و کم‌کم به کمک چرخنده‌هایی که در دو طرف حمام قلع وجود دارد به شکل تخت درآمده و به سمت جلو منتقل می‌شود.



شکل ۲۷

تمامی قسمت‌های کارخانهٔ شیشه به ویژه کوره و حمام قلع به وسیلهٔ دوربین و حسگرهایی در اتاق فرمان کنترل می‌شود.

شکل ۲۸ــ اتاق فرمان (کارخانهٔ شیشهٔ اردکان)

نکته

در روش شناوری از این اصل استفاده می‌شود که مذاب شیشه که از نوع سرامیکی است در مذاب قلع که از جنس فلز است هیچ گاه حل نمی‌شود. از سوی دیگر مذاب با چگالی کمتر بر روی مایع با چگالی بیشتر به‌صورت نواری شکل گسترده می‌شود.

تحقیق کنید

در حمام فلوت به جز قلع به‌کارگیری چه نوع فلز دیگری امکان‌پذیر است؟

۳ در حمام قلع، مذاب شیشه به شکل تخت با سطوحی کاملاً صاف درمی‌آید و در حین حرکت به سمت جلو به آرامی و کنترل شده سرد می‌شود. بنابراین شیشه، در هنگام خروج از حمام قلع شکل خود را کاملاً حفظ می‌کند.

شکل ۲۹

۴ شیشهٔ تخت تولید شده برای تنش‌زدایی به گرمخانه منتقل می‌شود. طول گرمخانه گاهی به ۱۵۰متر می‌رسد. شیشه در گرمخانه با کنترل دما و زمان کاملاً تنش‌زدایی می‌شود. شیشه در هنگام عبور از این قسمت کم‌کم سخت و به‌حالت صلب تبدیل می‌شود. پس از خروج شیشه از گرمخانه به ابعاد معینی برش داده می‌شود.

شکل ۳۰ـ گرمخانه تنش‌زدایی شیشه

شکل ۳۱ـ شیشهٔ تخت پس از برش

۵ سپس شیشه از لحاظ کیفیت مورد بررسی قرار می‌گیرد تا معایب آن شناسایی شود.

شکل ۳۲ـ کنترل و بازرسی شیشه

فکر کنید

چرا در بین روش‌های تولید شیشهٔ تخت، روش نورد کاربرد کمتری دارد؟

نکته

اَتمسفر حمام قلع اهمیت زیادی در تولید شیشه تخت دارد. در حضور اکسیژن و گوگرد در حمام قلع و ترکیب آنها با قلع ترکیباتی مانند SnO و SnS ایجاد می‌شود که پس از تبخیر و قرارگیری روی مذاب شیشه، باعث ایجاد کدری سطح شیشه یا لکه‌های چسبنده روی سطح شیشه می‌شود.

راه حل:

باید اتمسفر حمام قلع کنترل شود. اتمسفری که در حمام قلع به‌کار می‌رود احیایی است و حاوی ۳ درصد گاز هیدروژن و ۹۷ درصد گاز نیتروژن است تا از اکسید شدن قلع جلوگیری شود.

شیشه تخت تولید شده به روش شناوری در مقایسه با روش نورد و کشیدن مزایایی دارد که عبارت‌اند از:

۱ در فرایند شناوری می‌توان شیشه تخت با کیفیت بالا در محدوده ضخامتی ۰/۵ تا ۲۵ میلی‌متر با عرض بیش از ۵ متر تولید کرد.

۲ فرایند تولید شیشه به روش شناوری ظرفیت تولید بالاتری نسبت به سایر روش‌ها دارد.

۳ سطح شیشهٔ تولید شده به روش شناوری صاف و صیقلی‌تر از سایر روش‌ها است.

۴ ضخامت شیشه تولیدی با روش شناوری در تمامی قسمت‌ها یکنواخت است و سطح آن بدون تاب است.

۵ فرایند شناوری ایمن‌تر از دیگر فرایندهای تولید شیشه است زیرا اکثر مراحل این فرایند به‌صورت اتوماتیک است.

نمایش فیلم

فیلم مربوط به فرایند ساخت شیشهٔ تخت را ببینید و در مورد فرایند ساخت این نوع شیشه گزارشی به کلاس ارائه کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: شکل‌دهی شیشه‌های سیلیکاتی

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم کربنات، دولومیت، کلسیم کربنات، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوته دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، قالب فلزی استیل، دستکش، انبر، آهنربا.

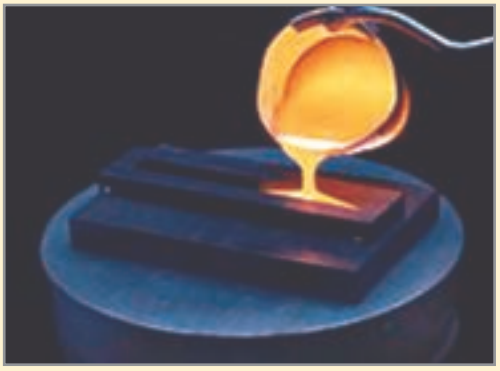
۱ مواد اولیهٔ آمیز را مطابق جدول ۷ وزن کنید.

جدول ۷ـ محدودهٔ مینرالی شیشهٔ سیلیکاتی

ترکیب	سیلیس	سدیم کربنات	دولومیت	کلسیم کربنات	کائولن	فلدسپات
درصد وزنی	۴۵ ـ۵۵	۳۵ـ۴۵	۱۲ـ۱۸	۴ـ۸	۲ـ۴	۲ـ۴

۲ خاک‌ها را درون‌هاون چینی ریخته و بسایید.
۳ آمیز ساییده شده را از الک عبور دهید.
۴ با چرخاندن آهن‌ربا در آمیز، آهن‌گیری کنید.
۵ آمیز آماده شده را در درون بوته بریزید.
نکته: به آمیز آماده شده می‌توانید ۲۰ تا ۴۰ درصد خرده شیشه موجود در کارگاه که از جنس سودا ـ آهکی است اضافه کنید.
۶ ابتدا بر روی دیرگدازهای کف کوره مقداری پودر آلومینا بریزید.
۷ بوته دیرگداز حاوی آمیز شیشه سیلیکاتی را درون کوره قراردهید.
۸ با رعایت نکات ذکر شده در مورد روش کار کورهٔ آزمایشگاهی، مذاب شیشه را تهیه کنید.
۹ قالب فلزی را داخل خشک کن با دمای ۵۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید تا پیش‌گرم شود.
نکته: قرار دادن قالب فلزی در دماهای بالاتر از ۲۰۰ـ۱۵۰ درجهٔ سلسیوس باعث اکسید شدن و خراب شدن قالب می‌شود.
۱۰ مطابق شکل ۳۳ مذاب را درون قالب ریخته‌گری کنید.
۱۱ با انبر سطح مذاب داخل قالب را پرداخت کنید و نقش‌هایی بر روی سطح آن ایجاد کنید.

الف) برداشتن بوته از کوره



ب) شکل‌دهی مذاب شیشه درون قالب

شکل ۳۳

نکات ایمنی

- در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه از لباس و دستکش نسوز استفاده کنید.
- از دست زدن مستقیم به ظروفی که درون آنها مذاب شیشه است بپرهیزید.
- تشعشعات داخل کوره و مذاب شیشه خطرناک است، بنابراین حتماً از عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه نباید محیط اطراف فرد شلوغ باشد.
- در هنگام برداشتن مذاب شیشه باید در فاصله مشخصی از کوره قرار بگیرید تا حرارت منجر به سوختگی نشود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: شکل‌دهی شیشه بوروسیلیکاتی

مواد و ابزار: سیلیس، فلدسپات پتاسیک، بوراکس، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوته دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، قالب فلزی استیل، انبر

مواد اولیهٔ آمیز را مطابق جدول ۸ وزن کنید. سپس طبق کار عملی ۴ مذاب شیشه را در قالب فلزی شکل‌دهی کنید.

جدول ۸ــ محدوده مینرالی شیشهٔ بوروسیلیکاتی

ترکیب	سیلیس	بوراکس آبدار	فلدسپات پتاسیک
درصد وزنی	۶۰ـ۵۰	۶۰ـ۴۰	۱۰ـ۶

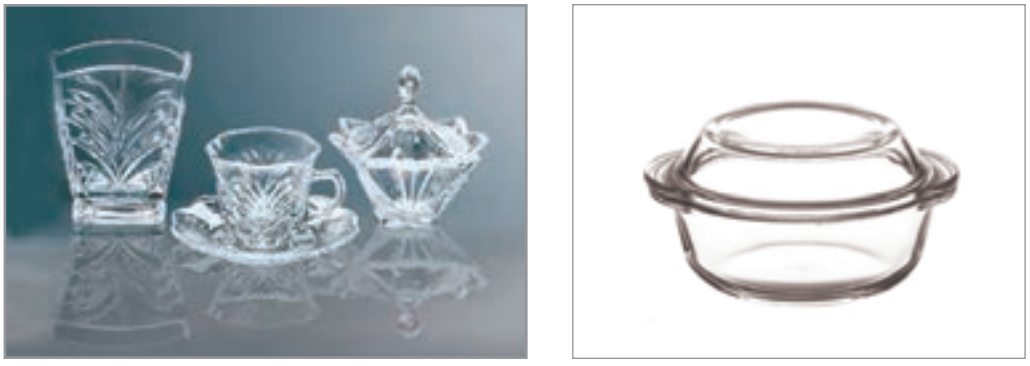
نکات ایمنی

- در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه از لباس و دستکش نسوز استفاده کنید.
- از دست زدن مستقیم به ظروفی که درون آنها مذاب شیشه است بپرهیزید.
- تشعشعات داخل کوره و مذاب شیشه خطرناک است، بنابراین حتماً از عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه نباید محیط اطراف فرد شلوغ باشد.
- در هنگام برداشتن مذاب شیشه باید در فاصله مشخصی از کوره قرار بگیرید تا حرارت منجر به سوختگی نشود.

ظروف شیشه‌ای

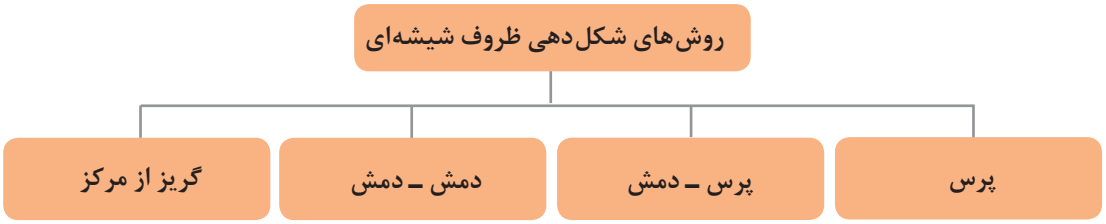
در شکل ۳۴ ظروف شیشه‌ای تولید شده با روش دستگاهی نشان داده شده است. برخی از ظروف شیشه‌ای با روش دستی نیز قابل تولید و شکل‌دهی هستند.

به نظر شما تولید ظروف شیشه‌ای به روش دستگاهی در مقایسه با روش دستی چه مزیت‌هایی می‌تواند داشته باشد؟



شکل ۳۴ــ ظروف شیشه‌ای

در نمودار ۳ انواع روش‌های شکل‌دهی ظروف شیشه‌ای نشان داده شده است:

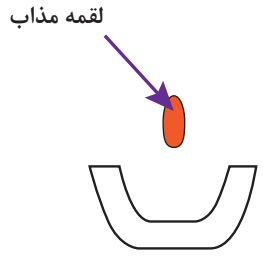
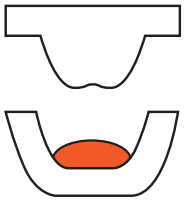


نمودار ۳

تولید ظروف شیشه‌ای به روش پرس

مراحل شکل‌دهی شیشه به روش پرس در جدول ۹ بیان شده است:

جدول ۹

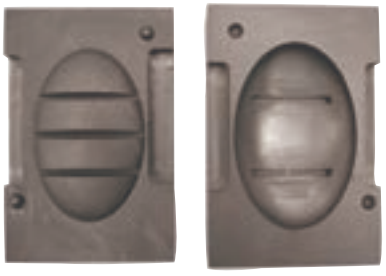
۱ تعدادی قالب پرس درنظر گرفته می‌شود و درون هر قالب لقمهٔ مذاب قرار می‌گیرد.	
۲ سپس سنبه پرس بر روی لقمه درون قالب قرار می‌گیرد.	
۳ با اعمال نیرو، مذاب شکل قالب را به خود می‌گیرد. در این مرحله قالب با جریان آب سرد خنک می‌شود تا بدنه شیشه‌ای مستحکم به دست آید.	بدنه نهایی

نکته

همان‌طور که در شکل ۳۵ می‌بینید شیشه‌ها پس از شکل‌دهی برای انتقال به گرمخانه بر روی نوارهایی قرار می‌گیرند و در هنگام انتقال با اعمال شعله به لبه‌های شیشه، لبه‌های تیز و غیریکنواخت از بین می‌روند که به آن پولیش حرارتی گفته می‌شود.

شکل ۳۵ـ پولیش حرارتی

در شکل ۳۶ چند نمونه قالب پرس شیشه نشان داده شده است. قالب پرس شیشه دو تکه یا چند تکه است و برخی از قالب‌های چند حفره‌ای نیز قابلیت پرس همزمان چند نمونه را دارد. جنس قالب‌های به‌کار رفته در پرس شیشه، فلزی و معمولاً از جنس چدن است.



الف) قالب دو تکه

ب) قالب سه تکه

ج) قالب چند تکه‌ای طرح دار

د) قالب چندحفره‌ای

شکل ۳۶

برخی از محصولات تولید شده به روش پرس در شکل ۳۷ نشان داده شده است. شیشه‌های با کاربرد نوری مانند شیشهٔ عینک نیز با روش پرس شکل داده می‌شوند.

شکل ۳۷ــ محصولات شیشه‌ای تولید شده به روش پرس

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۶ : شکل‌دهی شیشه سربی

مواد و ابزار: سیلیس، سرنج، سدیم کربنات، پتاسیم کربنات، روی اکسید، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوتهٔ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش نسوز، صفحهٔ نسوز آلومینایی، انبر

شرح فعالیت:

۱ مواد اولیهٔ آمیز را از هر خاک مطابق جدول ۱۰ وزن کنید.

جدول ۱۰ــ آمیز شیشهٔ سربی

ترکیب	سیلیس	سرنج	پتاسیم کربنات	سدیم کربنات	روی اکسید
درصد وزنی	۶۰ـ ۵۵	۳۵ـ ۲۵	۱۸ـ ۱۵	۵ـ ۳	۲ـ ۱

۲ یک قالب فلزی انتخاب کنید.

۳ سپس طبق کار عملی ۴ مذاب شیشه را در قالب فلزی شکل‌دهی کنید.

۴ با یک سنبهٔ فلزی بر روی قالب فشار آورید تا مذاب با روش پرس دستی کاملاً به شکل قالب درآید.

۵ شیشهٔ شکل‌دهی شده را از قالب خارج کنید.

نکات ایمنی

- در هنگام شکل‌دهی مذاب شیشه از لباس و دستکش نسوز استفاده کنید.
- از دست زدن مستقیم به ظروفی که درون آن‌ها مذاب شیشه است بپرهیزید.
- تشعشعات داخل کوره و مذاب شیشه خطرناک است بنابراین حتماً از عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه نباید محیط اطراف فرد شلوغ باشد.
- در هنگام برداشتن مذاب شیشه باید در فاصلهٔ مشخصی از کوره قرار بگیرید تا حرارت منجر به سوختگی نشود.

تولید ظروف شیشه‌ای به روش پرس ـ دمش[1]

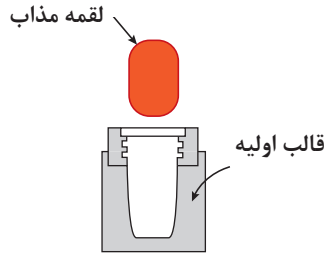
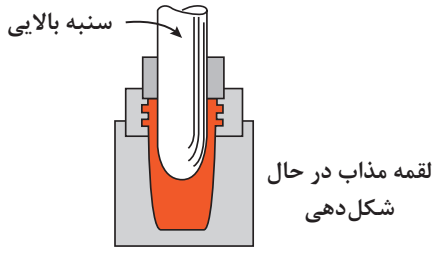
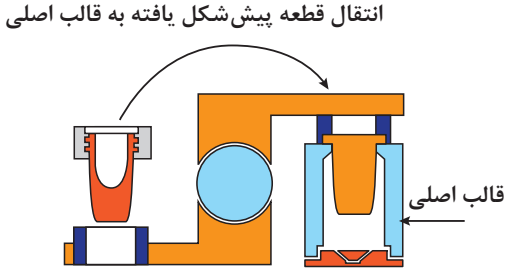
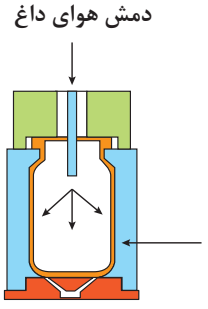
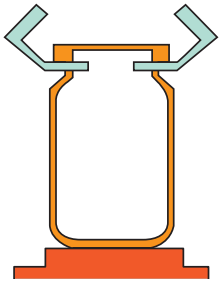
این روش برای تولید محصولات توخالی که دهانهٔ آنها از سایر قسمت‌ها اندکی باریک‌تر است، کاربرد دارد. مرسوم‌ترین محصول تولیدی با این روش شیشه‌های مربا (جار) هستند.

شکل ۳۸ـ ظروف شیشه‌ای تولید شده به روش پرس ـ دمش

در این روش ابتدا لقمهٔ مذاب با دستگاه پرس شکل‌دهی اولیه می‌شود و سپس در قالب اصلی با دمش هوای داغ شکل نهایی ایجاد می‌شود. در جدول ۱۱ مراحل شکل‌دهی با روش پرس ـ دمش نشان داده شده است.

۱ـ Press-Blow

جدول ۱۱ــ مراحل شکل‌دهی با روش پرس ــ دمش

۱ لقمه وارد قالب اولیه می‌شود.	
۲ یک سنبه از بالا به قالب وارد می‌شود و شکل اولیهٔ لقمهٔ مذاب ایجاد می‌شود.	
۳ شیشهٔ پیش‌شکل یافته به‌وسیلهٔ یک اهرم درون قالب اصلی قرار می‌گیرد.	
۴ درون قالب اصلی هوای داغ دمیده می‌شود.	
۵ قالب باز شده و قطعه شکل‌دهی شده از قالب خارج می‌شود. **نکته:** برندگی و تیزی لبه‌های شیشه در حین انتقال به گرمخانه با اعمال شعلهٔ مستقیم (پولیش حرارتی) ازبین می‌روند.	

تولید ظروف شیشه‌ای به روش دمش ـ دمش[1]

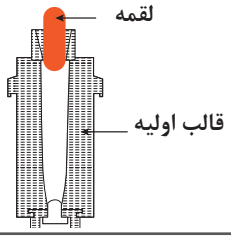
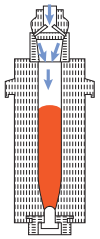
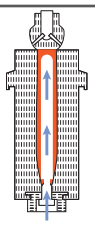
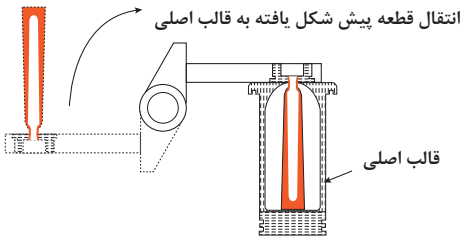
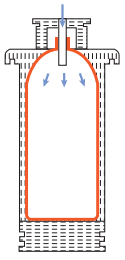
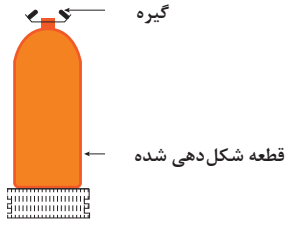
این روش برای تولید انواع بطری‌ها و ظروف شیشه‌ای که قطر دهانهٔ آنها نسبت به بدنه کمتر است به‌کار می‌رود؛ رایج‌ترین محصولات که به روش دمش ـ دمش تولید می‌شوند بطری‌های شیشه‌ای هستند.

شکل ۳۹ـ بطری‌های شیشه‌ای

۱ـ Blow - blow

در روش شکل‌دهی دمش ـ دمش دو قالب اولیه و اصلی در نظر گرفته می‌شود که شکل‌دهی شیشه مطابق جدول ۱۲ در آنها انجام می‌شود:

جدول ۱۲ـ مراحل شکل‌دهی با روش دمش ـ دمش

۱ لقمهٔ مذاب وارد قالب اولیه می‌شود.	
۲ دمیدن هوای داغ به درون قالب و پیش شکل یافتن لقمه	
۳ شیشهٔ پیش‌شکل‌یافته از قالب اولیه خارج می‌شود.	
۴ شیشهٔ پیش شکل یافته پس از خارج شدن از قالب اولیه وارد قالب اصلی می‌شود.	
۵ درون قالب اصلی هوای داغ دمیده می‌شود و قطعه درون قالب اصلی شکل‌دهی می‌شود. **نکته**: قبل از دمش هوا، قالب حرارت‌دهی می‌شود تا قطعه به سطح قالب نچسبد.	
۶ قالب باز می‌شود و قطعه شکل‌داده شده در مسیر انتقال به گرمخانه پولیش حرارتی می‌شود.	

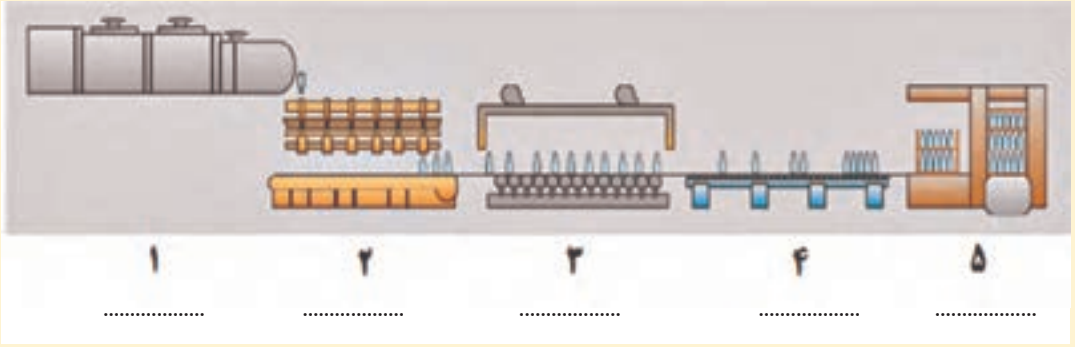
فکر کنید

تصویر زیر چه مراحلی از شکل‌دهی بطری‌های شیشه‌ای را نشان می‌دهد؟

شکل ۴۰

فعالیت کلاسی

شکل ۴۱ نمای سادهٔ یک کارخانهٔ تولیدکنندهٔ بطری شیشه‌ای را نشان می‌دهد. مشخص کنید در هر مرحله چه فعالیتی انجام می‌شود؟



شکل ۴۱

نکته

کاربردی‌ترین روش شکل‌دهی شیشه، روش پرس است. برخی از مزایای این روش نسبت به روش‌های پرس ـ دمش و دمش ـ دمش عبارت‌اند از:

۱ امکان شکل‌دهی محصولات مختلف با طراحی قالب مناسب آن وجود دارد.

۲ به علت عدم ورود هوا به لقمهٔ مذاب تنش‌های موجود در قطعه کمتر است.

۳ ظرفیت و سرعت تولید این روش بیشتر است.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۷ : ساخت مهره‌های شیشه‌ای (شیشه رنگی)

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات پتاسیک، سدیم‌کربنات، دولومیت، کلسیم‌کربنات، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ الی ۱۲۰، اکسیدهای رنگی (مس اکسید، کروم اکسید و آهن اکسید)، هاون چینی، سرتاس، بوتهٔ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، انبر، قیچی، میله نازک فلزی، صفحه نسوز (آلومینایی)

شرح فعالیت:

۱ مواد اولیهٔ آمیز شیشه را مطابق جدول ۱۳ وزن کنید.

جدول ۱۳

ترکیب	سیلیس	سدیم‌کربنات	دولومیت	کلسیم‌کربنات	کائولن	فلدسپات پتاسیک	اکسید رنگی
درصد وزنی	۴۵ ـ ۵۵	۳۵ـ۴۵	۱۲ـ۱۸	۴ـ۸	۲ـ۴	۲ـ۴	۰/۵

۲ با استفاده از صفحهٔ نسوز (آلومینایی) تعدادی قالب دایره‌ای شکل برای ساخت مهرهٔ شیشه‌ای آماده کنید.

۳ آمیز شیشه را ذوب کنید.

۴ مذاب را به صورت قطره‌ای شکل درون قالب بریزید.

۵ از هم گروهی خود بخواهید به کمک قیچی مخصوص شیشه‌گری قسمت‌هایی از مذاب که به بوته وصل است را جدا کند.

۶ قبل از سرد شدن مهره‌ها به کمک یک میلهٔ نازک فلزی درون هر لقمهٔ مذاب سوراخی ایجاد کنید.

شکل ۴۲ـ مهره‌های شیشه‌ای

نکات ایمنی

- در هنگام شکل‌دهی مذاب شیشه از لباس و دستکش نسوز استفاده کنید.
- از دست زدن مستقیم به ظروفی که درون آنها مذاب شیشه است بپرهیزید.
- تشعشعات داخل کوره و مذاب شیشه خطرناک است بنابراین حتماً از عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه نباید محیط اطراف فرد شلوغ باشد.
- در هنگام برداشتن مذاب شیشه باید در فاصله مشخصی از کوره قرار بگیرید تا حرارت منجر به سوختگی نشود.

الیاف شیشه‌ای

الیاف شیشه‌ای یکی از مهم‌ترین الیاف مورد استفاده در ساخت سازه‌های مختلف کامپوزیتی است که ویژگی‌های مکانیکی مناسب و قیمت پایین آن باعث شده است تا در مقایسه با الیاف گوناگون مانند کربن کاربردهای فراوانی داشته باشد.

شکل ۴۳ـ الیاف شیشه

برخی از کاربردهای الیاف شیشه‌ای در شکل ۴۴ نشان داده شده است.

پارچه‌های ضد آتش

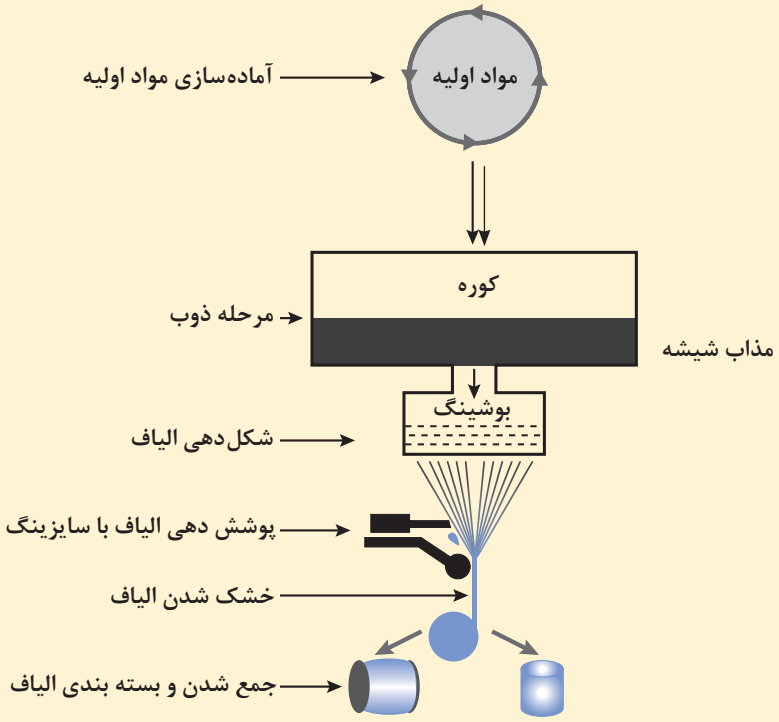
توربین‌های بادی

فیبرهای نوری

شکل ۴۴ـ کاربردهای الیاف شیشه‌ای

بیشتر بدانید

در شکل ۴۵ مراحل تولید الیاف شیشه‌ای نشان داده شده است:



شکل ۴۵

۱ **آماده‌سازی مواد اولیه:** مواد اولیهٔ لازم برای تولید الیاف شیشه عبارت‌اند از سیلیس، سنگ آهک، کائولن، کلمانیت و برخی اجزای ترکیبی دیگر به مقدار کم (نظیر منیزیت، دولومیت، فلدسپات، فلوئورین و سدیم سولفات).

۲ **تهیه مذاب شیشه:** مواد اولیه پس از وزن کردن و مخلوط شدن به کورهٔ ذوب منتقل شده و در دمای بالا ذوب می‌شوند. مذاب تولید شده در واحد ذوب، برای کشش و تهیهٔ الیاف به راه‌گاه‌های مذاب منتقل می‌شود.

۳ **مرحلهٔ کشیدن الیاف:** پس از عبور از روزنه‌های ریز الیاف پیوسته و نازک تولید می‌شود. پس از خروج الیاف شیشه از روزنه‌ها بر روی آنها آب پاشیده می‌شود.

شکل ۴۶

۴ **پوشش‌دهی الیاف با سایزینگ:** الیاف تولید شده پس از شکل‌دهی وارد محلول سایزینگ[1] می‌شوند و پوششی از این محلول بر روی الیاف ایجاد می‌شود. این پوشش باعث می‌شود که الیاف در تماس با یکدیگر دچار ساییدگی و خوردگی نشود.

۵ **جمع‌کردن الیاف و بسته‌بندی:** الیاف شیشه پس از عبور از مرحله سایزینگ خشک می‌شوند. سپس بر روی دوک‌هایی جمع می‌شوند و به محصولاتی مانند پارچه تبدیل می‌شوند تا قابل عرضه به بازار باشند.

الف) الیاف شیشه‌ای پس از جمع شدن

ب) پارچه تولید شده از الیاف شیشه

شکل ۴۷

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۸ : شکل‌دهی الیاف شیشه‌ای

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات‌پتاسیک، سدیم‌کربنات، دولومیت، کلسیم‌کربنات، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ الی ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوته دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، قالب فلزی استیل، دستکش، انبر

شرح فعالیت:

۱ مواد اولیهٔ آمیز را مطابق جدول ۱۴ وزن کنید. سپس طبق کار عملی ۴ مذاب شیشه تهیه کنید.

جدول ۱۴

ترکیب	سیلیس	سدیم کربنات	دولومیت	کلسیم کربنات	کائولن	فلدسپات پتاسیک
درصد وزنی	۴۵ ـ ۵۵	۳۵ ـ۴۵	۱۲ـ۱۸	۴ـ ۸	۲ـ۴	۲ـ۴

۲ بوتهٔ حاوی مذاب شیشه را از کوره خارج کنید و بر روی میز قرار دهید.

۳ از هم گروهی خود بخواهید با انبر بوتهٔ مذاب شیشه را نگه دارد.

۴ با انبر دیگری بخشی از مذاب شیشه داخل بوته را گرفته و با دور شدن از بوته آن را تا جای ممکن بکشید تا الیاف بلند شیشه‌ای ایجاد شود.

۱ـ Sizing

نکات ایمنی

- در هنگام برداشتن مذاب شیشه از لباس و دستکش نسوز استفاده کنید.
- از دست زدن مستقیم به ظروف و وسایلی که درون آنها مذاب شیشه است بپرهیزید.
- تشعشعات داخل کوره و مذاب شیشه خطرناک است بنابراین حتماً از عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه نباید محیط اطراف فرد شلوغ باشد.
- در هنگام برداشتن مذاب شیشه باید در فاصله مشخصی از کوره قرار بگیرید تا حرارت منجر به سوختگی نشود.
- مراقب باشید در هنگام کشیدن مذاب شیشه بوته به زمین نیافتد.

تولید ظروف شیشه‌ای به روش گریز از مرکز

این روش بیشتر برای تولید ظروف شیشه‌ای اُپال کاربرد دارد. در روش گریز از مرکز، لقمه‌ای از مذاب شیشه‌ای درون قالب قرار می‌گیرد. سپس در حالی که قالب حول محور خود می‌چرخد، لقمهٔ مذاب داخل قالب پخش شود و به شکل قالب در می‌آید. علت استفاده از نیروی گریز از مرکز به جای روش پرس آن است که با این روش می‌توان ظروف نازک‌تر و سبک‌تر را تولید کرد.
در جدول ۱۵ مراحل شکل‌دهی ظروف اُپال در کارخانه نشان داده شده است.

جدول ۱۵ــ مراحل شکل‌دهی شیشه اُپال با روش گریز از مرکز

۱ لقمه‌ای از مذاب شیشه‌ای درون قالب قرار می‌گیرد.	
۲ قالب حول محور خود می‌چرخد، لقمهٔ مذاب داخل قالب پخش می‌شود و به شکل قالب در می‌آید.	
۳ بشقاب‌ها پس از شکل‌دهی از قالب خارج می‌شوند.	

تحقیق کنید

دربارهٔ روش ساخت و عملکرد شیشهٔ هوشمند و شیشه‌های خود تمیز شونده تحقیق کنید و گزارشی به کلاس ارائه کنید.

ارزشیابی نهایی

شرح کار:
۱ـ استفاده از انواع ابزار شیشه‌گری دستی
۲ـ برداشتن بار با استفاده از میله دم و شکل‌دهی لقمه مذاب
۳ـ شیشه‌گری با شعله
۴ـ شکل‌دهی مذاب شیشه در قالب

استاندارد عملکرد:
شکل‌دهی بدنه شیشه‌های تزیینی، آزمایشگاهی، مهره‌های شیشه‌ای، ساخت الیاف شیشه‌ای، برش لوله برای روش شیشه‌گری با شعله، ساخت‌گوی شیشه‌ای به روش دستی.

شاخص‌ها:
کار با ابزار شیشه‌گری دستی
برداشتن بار و شکل‌دهی قطعات ساده به روش دمیدن
شیشه‌گری با شعله برای تولید شیشه‌های تزیینی و شیشه‌های آزمایشگاهی
شکل‌دهی مذاب شیشه با استفاده از قالب جهت تولید بدنه‌های شیشه‌ای و مهره‌های شیشه‌ای

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان : کارگاه استاندارد عملیات حرارتی و تکمیلی مجهز به تجهیزات ایمنی و سیستم تهویه
ابزار و تجهیزات : کورهٔ الکتریکی، ابزار برش و ساب شیشه، قالب شکل‌دهی مذاب، ابزار شکل‌دهی مذاب شیشه، ابزار پرداخت لقمهٔ مذاب، ابزار برداشت لقمهٔ مذاب، قیچی برش لقمهٔ مذاب

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	استفاده از انواع ابزار شیشه‌گری دستی	۱	
۲	برداشتن بار با استفاده از میله دم و شکل‌دهی لقمه مذاب	۱	
۳	شیشه‌گری با شعله	۱	
۴	شکل‌دهی مذاب شیشه در قالب	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به‌کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۴

عملیات تکمیلی شیشه

با توجه به کاربرد شیشه در زمینه‌های مختلف مانند شیشهٔ اتومبیل، شیشهٔ ضدگلوله و شیشهٔ هواپیما لازم است که برخی از ویژگی‌های مکانیکی، نوری و شیمیایی شیشه با توجه به نوع کاربرد بهبود یابد. پس از شکل‌دهی شیشه با انجام عملیات تکمیلی می‌توان تغییراتی در خواص، ابعاد و شکل ظاهری شیشه ایجاد کرد.

واحد یادگیری ۴

شایستگی عملیات تکمیلی شیشه و کسب مهارت آن

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت انجام عملیات تکمیلی شیشه است. در این واحد هنرجو انواع روش‌های عملیات حرارتی شیشه، برش‌دادن شیشه، طلقی کردن و مات کردن شیشه را فرامی‌گیرد و مهارت اجرای آن‌ها را کسب می‌کند.

استاندارد عملکرد

آنیل، تمپرینگ و لمینیت شیشه و بررسی شیشه‌هایی که تحت عملیات حرارتی قرار گرفته‌اند با استفاده از دستگاه استحکام‌سنج مکانیکی و نوع خورد شدن آنها.

عملیات حرارتی تنش‌زدایی (آنیلینگ[1])

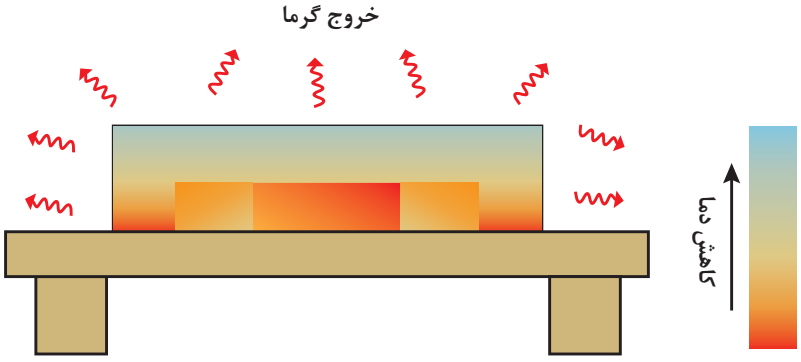
در پودمان قبل با روش‌های شکل‌دهی شیشه آشنا شدید. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید، شیشه‌ها هنگام شکل‌دهی دارای درجه حرارت بالایی هستند.

الف) شکل‌دهی به روش دستی

ب) شکل‌دهی به روش دستگاهی

شکل ۱

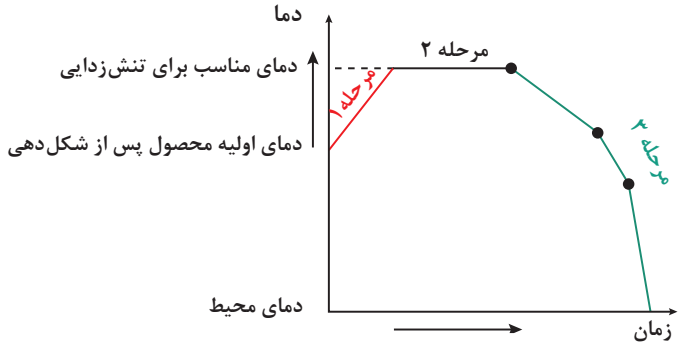
با توجه به شکل ۲ در هنگام شکل‌دهی شیشه، سطح آن سریع سرد می‌شود اما مرکز آن هنوز گرم است؛ این اختلاف دما بین سطح و مرکز شیشه سبب ایجاد تنش در شیشه می‌شود بنابراین شیشهٔ تولید شده استحکام مناسب نداشته و با ضربهٔ اندکی می‌شکند.



شکل ۲ـ اختلاف دما بین سطح و مرکز شیشه

۱ـ Annealing

تنش‌های موجود در شیشه را می‌توان با انجام عملیات حرارتی مناسب از بین برد. برای رهایی تنش‌های درونی شیشه از عملیات حرارتی به نام تنش‌زدایی (آنیلینگ) استفاده می‌شود.
در نمودار ۱ مراحل عملیات حرارتی تنش‌زدایی شیشه نشان داده شده است که دما و زمان دو عامل تعیین‌کنندهٔ آن است.



نمودار ۱ــ عملیات حرارتی تنش‌زدایی شیشه

همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌کنید عملیات حرارتی تنش‌زدایی شامل سه مرحله است که دما و مدت زمان ماندگاری در هر یک از این مراحل با توجه به نوع شیشه تغییر می‌کند.

۱ رساندن دمای شیشه به دمای آنیل

۲ ماندگاری شیشه در دمای آنیل به مدت زمان معین (به آن زمان استراحت نیز گفته می‌شود)

۳ فرایند سرد کردن (به ترتیب با سرعت آهسته، متوسط و سریع سرد کردن انجام می‌شود)

نمودار ۲ــ مراحل تنش‌زدایی شیشه

نکته

با عملیات حرارتی تنش‌زدایی، تنش‌های موجود در شیشه به صفر نمی‌رسد و همواره مقداری تنش در شیشه باقی می‌ماند.

فکر کنید

اگر مدت زمان عملیات حرارتی تنش‌زدایی یک قطعه شیشه‌ای به میزان کافی نباشد چه تأثیری بر استحکام و سایر خواص آن دارد؟

شکل ۳ـ گرمخانه کارگاه شیشه‌گری

در هر کارگاه شیشه‌گری برای خروج تنش‌های شیشه، گرمخانه‌ای با درجه حرارت ۴۵۰ تا ۵۵۰ درجهٔ سلسیوس وجود دارد که شیشه‌های ساخته شده درون آن قرار داده می‌شوند. گرمخانه پس از گذشت چند ساعت خاموش می‌شود تا شیشه به آرامی هم‌زمان با سرد شدن هوای داخل گرمخانه سرد شود و به خوبی عملیات تنش‌زدایی انجام شود. مدت زمان این عملیات معمولاً بین ۲۴ تا ۴۸ ساعت است.

در صنعت عملیات حرارتی تنش‌زدایی در گرمخانه انجام می‌شود که به آن «لِهر[1]» نیز گفته می‌شود و معمولاً در دمایی در حدود ۵۵۰ تا ۶۰۰ درجهٔ سلسیوس انجام می‌شود. تنش‌زدایی شیشه در این گرمخانه‌ها نسبت به گرمخانه‌های کارگاه‌های شیشه‌گری سریع‌تر و کنترل دمایی دقیق‌تر است. در آزمایشگاه‌ها تنش‌زدایی شیشه در کورهٔ الکتریکی انجام می‌شود. تصویر این کوره‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است.

الف) گرمخانه صنعتی

ب) کوره الکتریکی

شکل ۴

گرمخانه‌های صنعتی شیشه شامل قسمت‌های زیر است :

نمودار ۳ـ قسمت‌های مختلف گرمخانه صنعتی

۱ـ Lehr

شیشه‌هایی که در زیر آورده شده است نیاز به کنترل و دقت بیشتری برای تنش‌زدایی دارند زیرا تمرکز تنش در این شیشه‌ها بیشتر است.

۱ شیشه‌هایی که تخت نباشند.

شکل ۵ــ محصول شیشه‌ای با بدنهٔ انحنادار

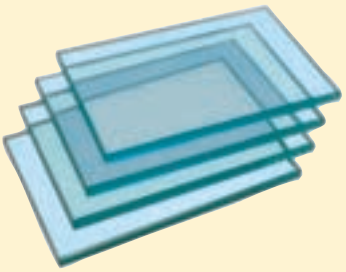
۲ شیشه‌هایی که در بدنهٔ آنها اختلاف ضخامت وجود دارد. به عنوان مثال در شکل ۶ شیشه در قسمت بالایی ضخامت کمتری نسبت به قسمت پایین‌تر آن دارد.

شکل ۶

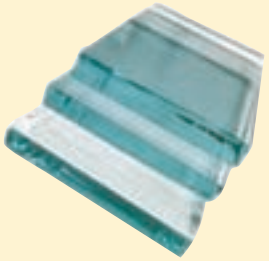
۳ شیشه‌هایی که ضریب انبساط حرارتی بالایی دارند مانند شیشه‌هایی که درصد وزنی Na_2O و K_2O بالایی دارند.

فعالیت کلاسی

دو قطعهٔ شیشه‌ای از جنس یکسان با ضخامت مختلف درنظر بگیرید:



الف) شیشهٔ تخت با ضخامت کم



ب) شیشهٔ تخت با ضخامت زیاد

شکل ۷

الف) پس از شکل‌دهی احتمال وجود تنش در کدام قطعه بیشتر است؟ چرا؟
ب) مدت زمان لازم برای تنش‌زدایی این شیشه‌ها را با هم مقایسه کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱: تنش‌زدایی شیشه سیلیکاتی

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم‌کربنات، دولومیت، کلسیم‌کربنات، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ الی ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، آهنربا، بوتهٔ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، قالب فلزی استیل، دستکش نسوز، انبر

۱ مواد اولیهٔ آمیز را مطابق جدول ۱ وزن کنید.

جدول ۱ــ آمیز شیشهٔ سیلیکاتی

ترکیب	سیلیس	سدیم‌کربنات	دولومیت	کلسیم‌کربنات	کائولن	فلدسپات
درصد وزنی	۴۵ ـ ۵۵	۳۵ـ۴۵	۱۲ـ۱۸	۴ـ۸	۲ـ۴	۲ـ۴

۲ خاک‌ها را درون‌هاون چینی ریخته و بسایید.

۳ آمیز ساییده شده را از الک عبور دهید.

۴ با چرخاندن آهن‌ربا در آمیز، آهن‌گیری کنید.

۵ آمیز آماده شده را درون بوته بریزید.

نکته: می‌توانید به آمیز آماده شده ۲۰ تا ۴۰ درصد خرده شیشه موجود در کارگاه از جنس سودالایم، اضافه کنید.

۶ ابتدا بر روی دیرگدازهای کف کوره مقداری پودر آلومینا بریزید.

۷ بوتهٔ دیرگداز حاوی آمیز شیشهٔ سیلیکاتی را درون کوره قراردهید.

۸ با رعایت نکات ذکر شده در مورد روش کار با کورهٔ آزمایشگاهی، مذاب شیشه را تهیه کنید.

۹ قالب فلزی را داخل خشک‌کن با دمای ۵۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید تا پیشگرم شود.

نکته: قرار دادن قالب فلزی در دماهای بالاتر از ۲۰۰ـ۱۵۰ درجهٔ سلسیوس باعث اکسید شدن و خراب شدن قالب می‌شود.

۱۰ مذاب را در قالب ریخته‌گری کنید.

۱۱ کوره مورد نظر برای آنیلینگ را روشن کنید و برنامه عملیات حرارتی زیر را به آن وارد کنید:

مرحله اول: رسیدن به دمای ۵۵۰ درجهٔ سلسیوس

مرحله دوم: قرارگیری در دمای ۵۵۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۹۰ دقیقه

مرحله سوم: رسیدن دمای کوره از ۵۵۰ به ۴۰۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه

مرحله چهارم: رسیدن دمای کوره از ۴۰۰ به ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه

مرحله پنجم: رسیدن دمای کوره از ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس به دمای اتاق به مدت ۱۵ دقیقه

نکته: در هنگام ریخته گری مذاب شیشه، باید دمای کورهٔ آنیل به ۵۵۰ درجهٔ سلسیوس رسیده باشد.

۱۲ شیشهٔ شکل داده شده را از قالب خارج کنید و به سرعت درون کوره قرار دهید.

نکات ایمنی

- در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه از لباس و دستکش نسوز استفاده کنید.
- از دست زدن مستقیم به ظروفی که درون آنها مذاب شیشه است بپرهیزید.
- تشعشعات داخل کوره و مذاب شیشه خطرناک است بنابراین از عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه باید محیط اطراف فرد شلوغ نباشد.
- در هنگام برداشتن مذاب شیشه باید در فاصله مشخصی از کوره قرار بگیرید تا حرارت باعث سوختگی نشود.
- با احتیاط شیشه را به کورهٔ آنیل منتقل کنید.
- در هنگام خارج کردن شیشه از کوره اطمینان حاصل کنید که کوره خاموش است.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۲: تنش‌زدایی شیشهٔ بوروسیلیکاتی

مواد و ابزار: سیلیس، بوراکس آبدار، فلدسپات پتاسیک، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوته دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش نسوز، قالب فلزی استیل، انبر و آهنربا

شرح فعالیت:

مواد اولیهٔ آمیز را مطابق جدول ۲ وزن و آماده‌سازی کنید. سپس مطابق با کار عملی ۱ شیشه را شکل داده و فرایند تنش‌زدایی را انجام دهید.

جدول ۲ـ آمیز شیشه بوروسیلیکاتی

ترکیب	سیلیس	بوراکس آبدار	فلدسپات پتاسیک
درصد وزنی	۶۰ ـ ۵۰	۶۰ ـ ۴۰	۱۰ـ ۶

نکته: در هنگام انجام فعالیت کارگاهی نکات ایمنی را با دقت رعایت کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: تنش‌زدایی شیشهٔ سربی

مواد و ابزار: سیلیس، سرنج، سدیم کربنات، پتاسیم کربنات، روی‌اکسید، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوتهٔ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش نسوز، صفحهٔ نسوز آلومینایی، انبر و آهنربا

شرح فعالیت:

مواد اولیهٔ آمیز را مطابق جدول ۳ وزن کرده و آماده‌سازی کنید. سپس مطابق با کار عملی ۱ شیشه را شکل داده و فرایند تنش‌زدایی را انجام دهید.

جدول ۳ـ آمیز شیشه‌های سربی

ترکیب	سیلیس	سرنج	پتاسیم کربنات	سدیم کربنات	روی اکسید
درصد وزنی	۶۰ ـ ۵۵	۳۵ـ ۲۵	۱۸ـ ۱۵	۵ ـ ۳	۲ـ۱

نکته: در هنگام انجام فعالیت کارگاهی نکات ایمنی را با دقت رعایت کنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: تنش‌زدایی مهره‌های رنگی

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم کربنات، دولومیت، کلسیم کربنات، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، اکسیدهای رنگی (مس اکسید، کروم اکسید و آهن اکسید)، هاون چینی، سرتاس، بوتهٔ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، قالب فلزی استیل، دستکش نسوز، انبر، قیچی، میله نازک فلزی و صفحه نسوز آلومینایی

شرح فعالیت

مواد اولیهٔ آمیز را مطابق جدول ۴ وزن کنید. آمیز را ذوب کنید و سپس مهره‌های شیشه‌ای را مطابق با کار عملی ۷ پودمان سوم در قالب شکل داده و سپس تنش‌زدایی کنید.

جدول ۴

ترکیب	سیلیس	سدیم کربنات	دولومیت	کلسیم کربنات	کائولن	فلدسپات	اکسید رنگی
درصد وزنی	۵۵ ـ ۴۵	۴۵ـ ۳۵	۱۸ـ۱۲	۸ ـ ۴	۴ـ۲	۴ـ۲	۰/۵

نکته: در هنگام انجام فعالیت کارگاهی نکات ایمنی را با دقت رعایت کنید.

عملیات نشکن‌سازی (تمپرینگ)

آیا مشاهده کرده‌اید که با ریختن مایع داغ درون لیوان شیشه‌ای سرد در آن ترک ایجاد شود؟

شکل ۸ـ شکستن شیشه سرد با ریختن مایع داغ

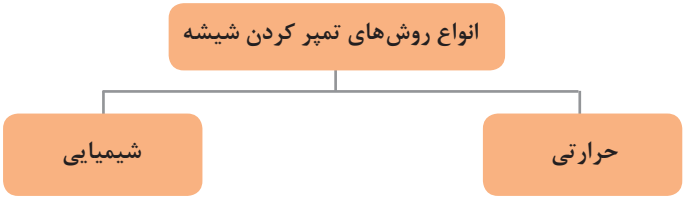
ویژگی ذاتی شیشه تردی و شکنندگی آن است. بنابراین در اثر وارد آمدن ضربه یا تغییرات ناگهانی دما در شیشه ترک ایجاد می‌شود و پس از شکستن به قطعات تیز و برنده‌ای تبدیل می‌شود.

شکل ۹ـ شکسته شدن شیشه تنش‌زدایی شده در اثر ضربه

امروزه بسیاری از صفحات شیشه‌ای مانند شیشهٔ گوشی‌های همراه و ساعت‌های مچی در برابر شکستن مقاوم هستند. چگونه استحکام این شیشه‌ها در برابر شکستن افزایش می‌یابد؟

شکل ۱۰ـ نمونه‌هایی از شیشه‌های مقاوم در برابر ضربه

برای نشکن‌سازی شیشه‌ها از عملیات حرارتی به نام تمپرینگ[۱] استفاده می‌شود. شیشه‌تمپر شده در مواردی مانند شیشه‌های جانبی و عقب اتومبیل، قطار، کشتی و برخی از ظروف شیشه‌ای کاربرد دارند. به طور کلی هنگامی که در کاربرد شیشه، نیاز به استحکام بالا باشد شیشه‌های تمپر شده مورد استفاده قرار می‌گیرند.
تمپرکردن شیشه‌ها به دو روش حرارتی و شیمیایی انجام می‌شود.

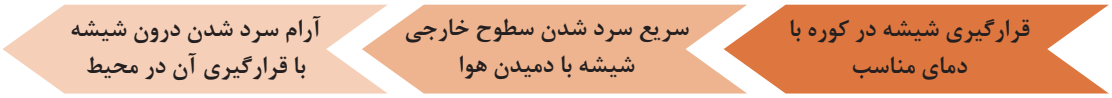


نمودار ۴

۱ـ Tempering process

تمپر حرارتی

با انجام تمپرحرارتی در سطح شیشه تنش‌های فشاری ماندگاری ایجاد می‌شود که با جلوگیری از رشد ترک‌های سطحی باعث افزایش استحکام شیشه می‌شود. عملیات حرارتی تمپرینگ مطابق نمودار ۵ انجام می‌شود:



نمودار ۵ ـ مراحل تمپر حرارتی

نکته

در صورتی که شیشه نیاز به تمیزکردن، برش یا عملیاتی مانند سوراخ‌کاری و سنگ‌سابی داشته باشد باید قبل از تمپرکردن انجام شود.

بیشتر بدانید

همان‌طور که در شکل ۱۱مشاهده می‌کنید، در تمپر حرارتی پس از شکل‌دهی شیشه، سطح آن سریع سرد می‌شود و انقباض می‌یابد اما همچنان مرکز شیشه‌گرم است. با قرارگیری شیشه در دمای محیط، مرکز شیشه نیز دچار انقباض می‌شود. از آنجایی که در هنگام انقباض قسمت مرکزی، سطح شیشه که انقباض کرده و به حالت صلب رسیده است اجازه انقباض به مرکز را نمی‌دهد و مرکز به سطح شیشه تنش فشاری اعمال می‌کند.

شکل ۱۱

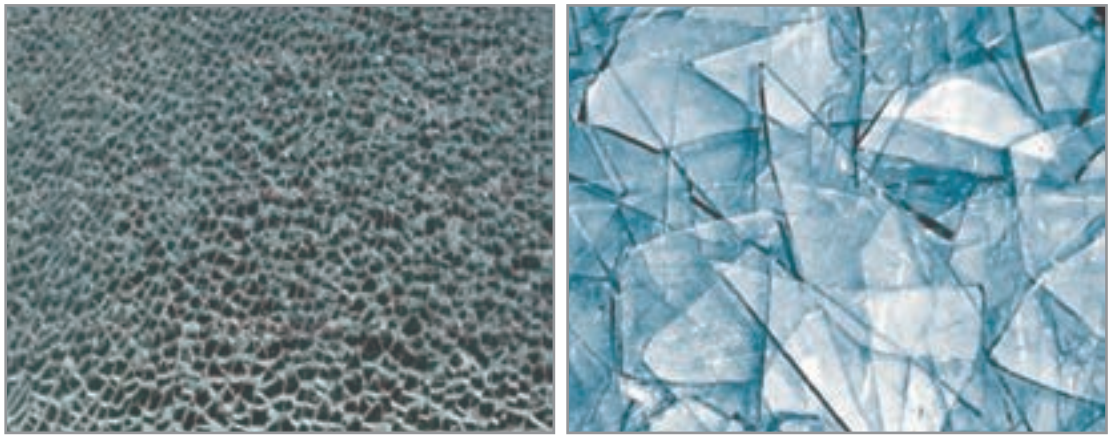
عملیات سریع سردکردن سطوح شیشه توسط جریان هوا صورت می‌پذیرد. مقدار جریان هوای دمیده شده به عوامل مختلف مانند دمای شیشه و ضخامت آن بستگی دارد.

نکته

کوره‌های صنعتی تمپر حرارتی معمولاً از نوع رولری هستند.

شکل ۱۲ــ کوره رولری برای عملیات تمپرحرارتی

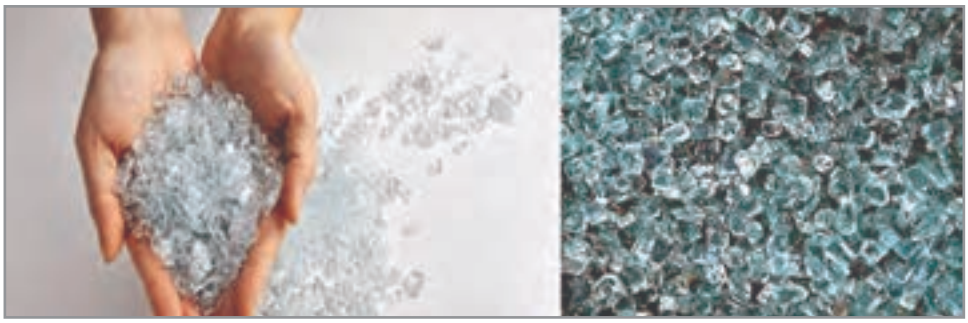
در شکل ۱۳ الگوی شکست شیشه بدون عملیات تمپر و شیشه تمپر شده نشان داده شده است. هنگامی که تنش وارد شده بر شیشه بیشتر از تنش فشاری موجود در سطح آن باشد شیشه تمپر شده به‌صورت پولکی شکل می‌شکند. در اثر این شکست معمولاً صدایی شبیه به انفجار ایجاد می‌شود زیرا تنش‌های ذخیره شده در شیشه یکباره آزاد می‌شوند.



الف **ب**

شکل ۱۳ــ الگوی شکست شیشه الف) بدون تمپر، ب) تمپر شده

به شیشه‌های تمپر شده شیشه‌های ایمنی یا سِکوریت نیز گفته می‌شود، زیرا این شیشه‌ها با ضربه‌های قوی‌تر می‌شکنند و پس از شکستن به تکه‌های بسیار ریز پولکی شکل بدون لبهٔ تیز تبدیل می‌شوند بنابراین پس از شکستن شیشه، آسیب‌ها و جراحت‌های ناشی از آن به شدت کاهش می‌یابد.



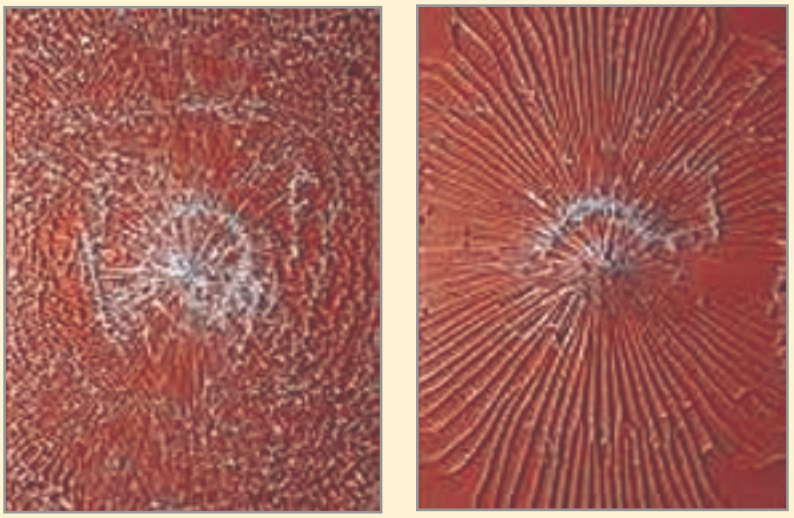
شکل ۱۴ــ شیشهٔ تمپر شده پس از شکستن

نکته

شیشه‌هایی که سرعت سرمایش بیشتری دارند، درجهٔ تمپرکردن بالاتری دارند. استحکام این شیشه‌ها نسبت به شیشهٔ اولیه تا چندین برابر می‌تواند افزایش یابد.

فکر کنید

با توجه به الگوی شکست در شیشه‌های شکل ۱۵ مشخص کنید کدام یک درجهٔ تمپر بالاتری دارد؟ چرا؟



ب　　الف

شکل ۱۵

نکته

در صنعت به ظروف شیشه‌ای تمپر شده اصطلاحاً بلور گفته می‌شود و خط تولید این شیشه‌ها معروف به خط بلورسازی است.

شکل ۱۶ــ کارخانه بلورسازی

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: بررسی شکست شیشه‌های تمپر حرارتی

مواد و ابزار: شیشهٔ تمپر شده، چکش فلزی

شرح فعالیت:

۱ یک قطعه شیشهٔ تمپر شده تهیه کنید.

۲ با چکش فلزی بر لبه‌های شیشهٔ تمپر شده ضربه‌هایی با شدت متوسط وارد کنید تا بشکند. (بهتر است که شیشه با گیره در سطحی مناسب متصل شود و سپس ضربه از لبه‌ها وارد شود.)

۳ شکل خُرده شیشه‌های شکسته شده را بررسی کنید.

نکات ایمنی

این فعالیت را با نظارت هنرآموز خود انجام دهید. از عینک ایمنی استفاده کنید و در هنگام شکستن شیشه در فاصلهٔ مناسبی قرار بگیرید تا تکه‌های شیشه به سمت شما پرتاب نشود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۶: تعیین استحکام شیشهٔ تمپر شده و شیشهٔ تمپر نشده

مواد و ابزار: دو قطعه شیشهٔ تنش‌زدایی شده با ابعاد یکسان، کوره، مقداری پودر آلومینا، کوره، دستگاه استحکام‌سنج، انبر و دستکش نسوز

شرح فعالیت:

۱ یکی از شیشه‌ها را در کوره با دمای ۵۵۰ درجهٔ سلسیوس به مدت یک ساعت قرار دهید.

۲ سپس در کوره را باز کنید. شیشه را با انبر بردارید و درون پودر آلومینا قرار دهید تا به مدت ۵ دقیقه درون کوره باشد.
۳ شیشه را از پودر آلومینا خارج کنید و در هوای آزاد قرار دهید تا کاملاً سرد شود.
۴ شیشهٔ تمپرشده و شیشهٔ تمپرنشده را درون دستگاه استحکام‌سنج قرار دهید و استحکام آنها را اندازه‌گیری کرده و سپس نتایج را با هم مقایسه کنید.

نکته: استفاده از جریان هوا روش مناسبی برای سرمایش سریع سطوح شیشه است ولی اگر به صورت یکنواخت و صحیح انجام نشود موجب شکسته شدن آن می‌شود.

نکات ایمنی

- از دستکش نسوز، روپوش و عینک ایمنی استفاده کنید.
- هنگام باز کردن در کوره و برداشتن نمونه فاصلهٔ مناسب را رعایت کنید.
- هنگام قرارگیری شیشه درون پودر آلومینا باید فضای اطراف فرد آزاد باشد.

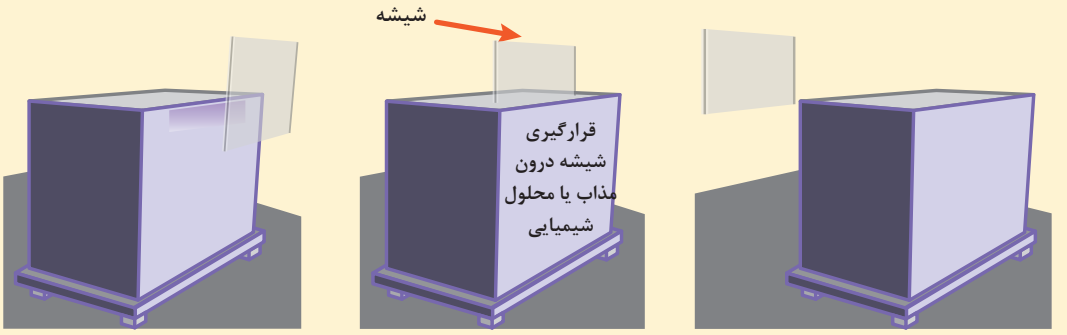
بیشتر بدانیم

تمپر شیمیایی

در روش تمپر شیمیایی، شیشه درون مذابی از نمک موردنظر یا محلول شیمیایی قرار می‌گیرد. در اثر جابه‌جایی یون‌ها بین محلول شیمیایی با سطح شیشه، تنش فشاری بیشتری نسبت به روش تمپر حرارتی ذخیره می‌شود. استحکام بالای شیشه‌هایی که به این روش تمپر شده‌اند باعث کاربرد آنها به عنوان شیشهٔ هواپیما شده است.

شکل ۱۷

در شکل ۱۸ مراحل تمپر شیمیایی شیشه نشان داده شده است.



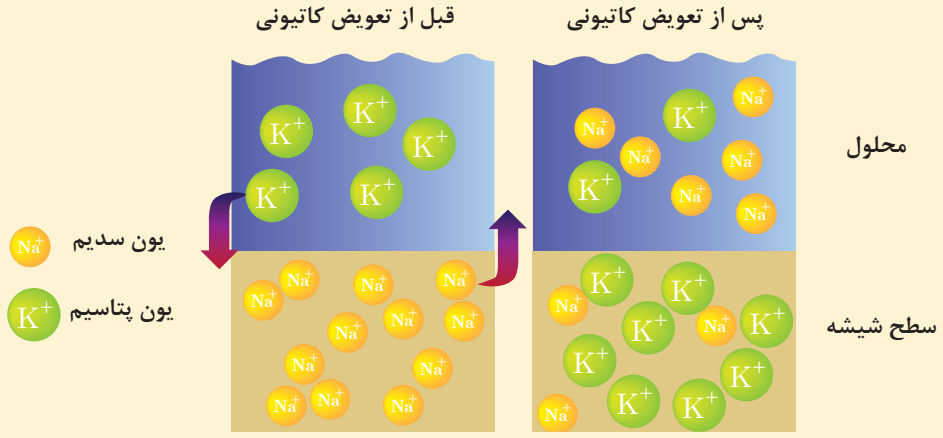
الف) خارج کردن شیشهٔ تمپر شده از درون محلول پس از گذشت چندین روز

ب) غوطه‌وری شیشه درون محلول شیمیایی

ج) آماده‌سازی شیشه و محلول شیمیایی

شکل ۱۸ــ مراحل تمپر شیمیایی

یکی از روش‌های تمپر شیمیایی قرارگیری شیشه درون محلول شیمیایی پتاسیم نیترات است. در این حالت در سطح شیشه تعویض کاتیونی انجام می‌شود که باعث ذخیره شدن تنش فشاری در سطح شیشه می‌شود و از رشد ترک و شکست شیشه جلوگیری کند. در شکل ۱۹ در سطح شیشه یون سدیم با یون پتاسیم جایگزین شده و در اثر آن در سطح شیشه تنش فشاری ماندگاری ایجاد می‌شود.



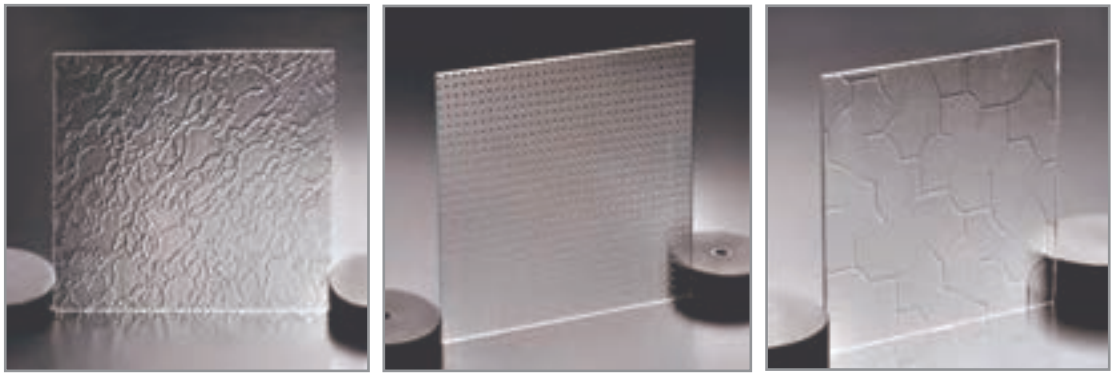
شکل ۱۹ــ تعویض کاتیونی شیشه درون محلول شیمیایی پتاسیم نیترات

شیشهٔ مشجر

در پودمان قبل فرایند تولید شیشهٔ تخت را آموختید. در روش تولید این شیشه، مذاب بین غلتک‌هایی قرار می‌گیرد. فرض کنید که غلتک‌های به‌کار رفته طرح‌دار باشند، در این صورت سطح شیشهٔ نهایی به چه شکل خواهد بود؟

شکل ۲۰ـ فرایند ساخت شیشهٔ تخت

یکی دیگر از عملیات تکمیلی در صنعت شیشه، مشجرسازی است. شیشهٔ مشجر شیشه‌ای است که با ایجاد طرح‌های برجسته بر روی یک سطح یا هر دو سطح شیشه به‌دست می‌آید. در شکل ۲۱ چند نمونه شیشهٔ مشجر نشان داده شده است.



شکل ۲۱ـ شیشه‌های مشجر

شیشه‌های مشجر برای تزیین و تقسیم‌بندی فضاهای داخلی ساختمان، فضای گلخانه و نمای داخلی و خارجی ساختمان کاربرد دارد.

دلایل اصلی کاربرد این شیشه‌ها شامل موارد زیر است:

۱ کاهش نور عبوری از شیشه

۲ محدود کردن دید به دلایلی مانند حفظ حریم شخصی

۳ تزئینات ساختمان

انواع روش‌های تولید شیشه‌های مشجر

۱ **نورد مذاب شیشه بین دو غلتک:** در این روش معمولاً غلتک زیرین بدون نقش‌است و غلتک بالایی نقش‌دار است.

۲ **روش اسید شویی:** در این روش طرح و نقش موردنظر از طریق حل شدن قسمت‌هایی از سطح شیشه با ترکیباتی از هیدروفلوئوریک اسید (HF) ایجاد می‌شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۷: مشجر کردن شیشه

مواد و ابزار: یک قطعه شیشهٔ مسطح و تنش‌زدایی شده، غلتک نقش‌دار، کوره، انبر، دستکش نسوز

شرح فعالیت:

۱ شیشه را درون کوره قرار دهید.

۲ شیشه تا دمای ۶۵۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲ ساعت قرار گیرد (شیشه کاملاً سرخ شود).

۳ در کوره را باز کرده و شیشه را با انبر و با رعایت نکات ایمنی بر روی میز فلزی کاملاً تمیز قرار دهید.

۴ غلتک نقش‌دار را بر روی سطح شیشه قرار دهید و با غلتاندن آن شیشه را نقش‌دار کنید.

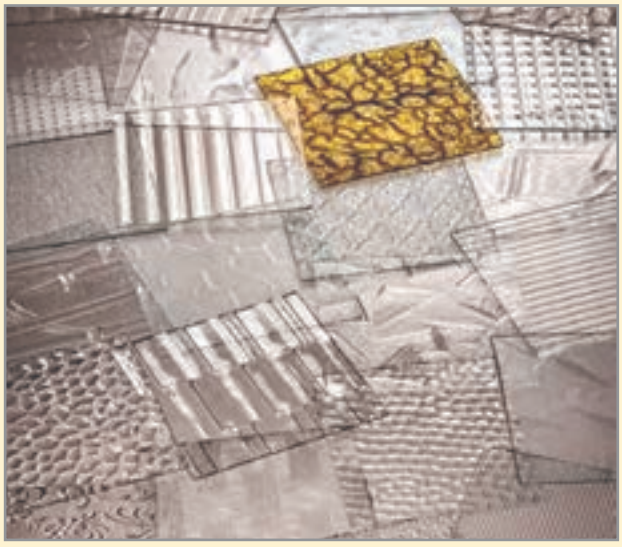
۵ شیشهٔ نقش‌دار را در کوره قرار دهید تا عملیات حرارتی تنش‌زدایی انجام شود.

نکات ایمنی

- از دستکش نسوز، روپوش و عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام باز کردن در کوره و برداشتن نمونه در فاصله مناسبی از کوره قرار گیرید.
- قبل از برداشتن شیشه از درون کوره از سالم بودن انبر اطمینان حاصل کنید.
- در هنگام برداشتن شیشه از درون کوره نباید فضای اطراف فرد شلوغ باشد.

تحقیق کنید

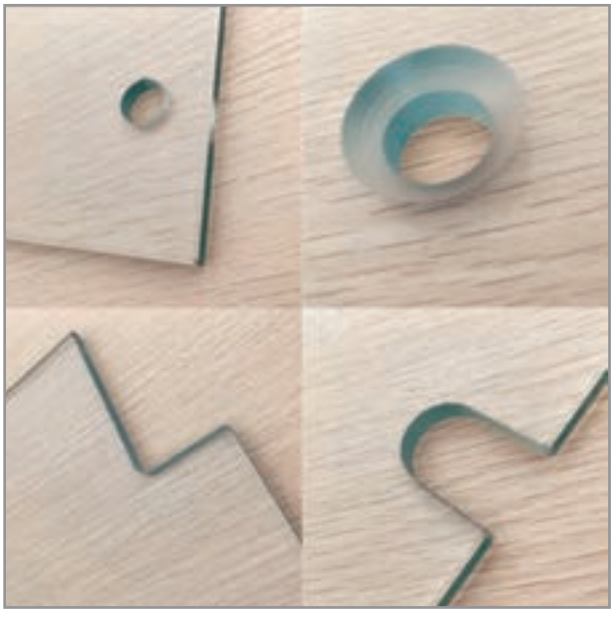
درباره انواع طرح‌های شیشه‌های مشجر و نام آنها گزارشی تهیه کنید و در کلاس ارائه دهید.



شکل ۲۲ـ انواع شیشه‌های مشجر

برش شیشه

یکی دیگر از عملیات‌هایی که برای به‌کارگیری شیشه معمولاً نیاز است، برش شیشه است. شکل ۲۳ شیشه‌های برش خورده با شکل‌های گوناگون را نشان می‌دهد. چگونه می‌توان شیشه را بدون شکستن آن برش داد؟



شکل ۲۳ـ برش شیشه در شکل‌های گوناگون

ابزار و دستگاه‌های مختلفی برای برش شیشه به‌کار می‌رود که پرکاربردترین آنها در جدول ۵ نشان داده شده است.

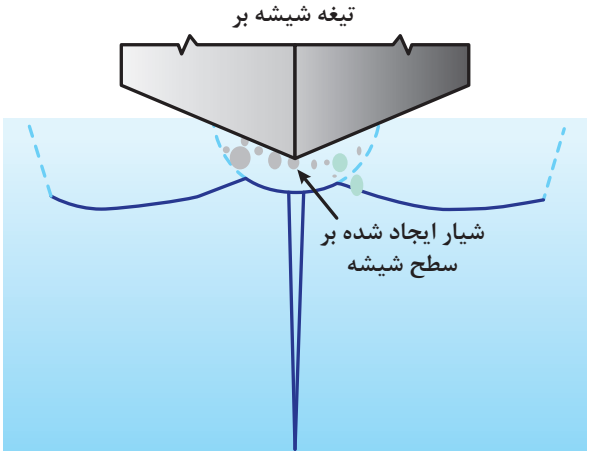
جدول ۵ــ ابزار و دستگاه‌های شیشه‌بُری

ابزار و دستگاه‌های برش شیشه	تصویر
شیشه‌بُر	
دستگاه برش حرارتی	
واترجت[1]	

شیشه‌بُر

برای برش شیشه به ویژه شیشه‌های تخت از شیشه‌بُر استفاده می‌شود. شیشه‌بُر ابزاری است که شیاری کم عمق در سطح شیشه ایجاد می‌کند. همان طور که در شکل ۲۴ مشاهده می‌کنید ایجاد شیار باعث می‌شود تا شیشه از آن قسمت شروع به شکستن کند. با این روش می‌توان در شیشهٔ تنش‌زدایی شده برش‌های موردنظر را ایجاد کرد.

۱ـ Water jet



شکل ۲۴

شیشه‌برها تقریباً به اندازهٔ یک خودکار هستند که تیغهٔ‌برشی آن معمولاً از جنس الماس، فولاد سخت یا تنگستن کارباید با یک مقطع عرضی V شکل است. همان‌طور که در شکل ۲۵ مشاهده می‌کنید تیغهٔ برشی شیشه‌بر می‌تواند به‌صورت ثابت یا چرخ‌گردان باشد.

الف) شیشه بر با سر گردان

ب) شیشه بر با سر ثابت

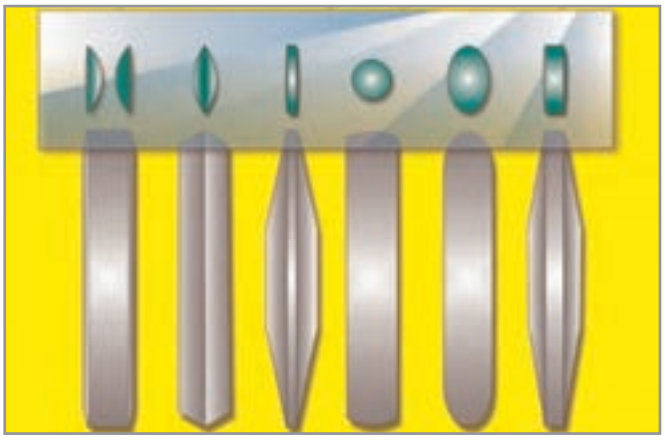
شکل ۲۵

نکته

شیشه‌های تمپر شده را نمی‌توان با شیشه‌بُر برش داد. زیرا به محض ورود عامل برش به درون شیشه تنش‌هایی که در اثر عملیات حرارتی در سطح شیشه ذخیره شده به‌صورت ناگهانی آزاد می‌شود و شیشه می‌شکند.

شکل تیغه برشی با توجه به طرح مورد نظر انتخاب می‌شود. در شکل ۲۶ برخی از تیغه‌های برشی و شکل حاصل از آن پس از برش شیشه نشان داده شده است.

انواع شکل‌های ایجاد شده در اثر تیغه برشی



شکل ۲۶ـ انواع تیغه‌های برشی و شکل حاصل از آن بر روی شیشه

نکته

هنگام برش شیشه در ابعاد بزرگ مقدار کمی نمک یا نفت سفید مورد استفاده قرار می‌گیرد که با خنک کردن سر ابزار باعث برش بهتر شیشه می‌شود. برخی از شیشه‌برها دارای ذخیره‌ای از روغن هستند که سطح و چرخ برشی را چرب می‌کند و از گرم شدن بیش از حد آن جلوگیری می‌کند.

پس از برش شیشه، لبه‌های آن تیز و بُرنده می‌شود. به‌منظور برطرف کردن این لبه‌ها از دستگاه‌های سایش و پرداخت شیشه استفاده می‌شود که به آن ساب زنی گفته می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲۷ مشاهده می‌شود، این دستگاه‌ها دارای صفحهٔ سایشی هستند که با تنظیم دور چرخش و جنس صفحه می‌توان تیزی لبه‌های شیشه را از بین برد.

شکل ۲۷ـ حذف لبه‌های تیز بدنهٔ شیشه‌ای با دستگاه سایش و پرداخت

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۸: برش شیشه با شیشه‌بر

مواد و ابزار: دو قطعه شیشه تنش‌زدایی شده، خط کش، ماژیک، شیشه بر

شرح فعالیت

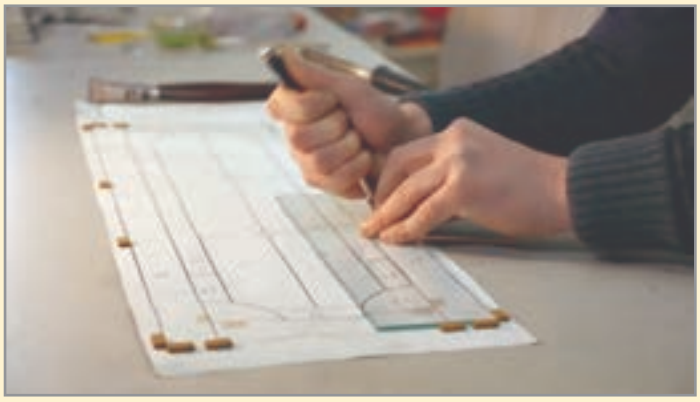
۱ شیشه را بر روی سطحی صاف که باعث خراش آن نشود قرار دهید.

نکته: از کار کردن روی موکت یا سطوح پُرزدار به‌دلیل احتمال چسبیدن تکه‌های شیشه بر روی آن اجتناب کنید.

۲ سطح میزکار و شیشه‌ای را که برای برش درنظر گرفتید، تمیز کنید. هرگونه دوده یا آلودگی می‌تواند برش را خراب کند.

۳ با استفاده از خط‌کش و ماژیک ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر را بر روی شیشه مشخص کنید.

نکته: می‌توان نقشه موردنظر را زیر شیشه قرار داد تا راهنمای برش باشد.



شکل ۲۸

۴ ابزار برشی را به‌صورت کمی مورب بر روی شیشه قرار دهید و شیشه را برش دهید.

نکات ایمنی

- در هنگام برش شیشه امکان پخش شدن خرده‌های شیشه و آسیب رسیدن به چشم و دست وجود دارد، بنابراین بهتر است از دستکش و عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام کار با ابزارهای تیز مراقب باشید و از شوخی‌کردن بپرهیزید.
- پس از برش شیشه، لبه‌های برش خورده را لمس نکنید.

شکل ۲۹ـ استفاده از دستکش در شیشه‌بری

فعالیت کارگاهی

کار عملی۹: ساب‌زنی شیشهٔ برش‌خورده

مواد و ابزار: دو قطعه شیشهٔ برش‌خورده، دستگاه ساب زنی، دستکش پلاستیکی

شرح فعالیت:

۱ از شیشه‌های برش خورده کار عملی ۸ استفاده کنید.

۲ دستگاه ساب زنی را با راهنمایی هنرآموز روشن کنید.

۳ لبه‌های شیشه بریده شده را بر روی دستگاه ساب‌زنی قرار دهید و لبه‌های تیز آن را صاف کنید.

نکات ایمنی

- از دستکش پلاستیکی و عینک ایمنی استفاده کنید.
- قبل از روشن کردن دستگاه روش صحیح روشن‌کردن و کار با دستگاه را بیاموزید.
- مراقب باشید که در اثر حرکت صفحه ساب‌زنی، شیشه به اطراف یا به‌سمت صورتتان پرتاب نشود.
- در هنگام ساب‌زنی مراقب باشید که دست یا آستین لباس با صفحه سایش برخورد نکند.

دستگاه برش حرارتی

این دستگاه تیغه برشی دارد که با سرعت کم می‌چرخد و بر روی شیشه شیار ایجاد می‌کند. همزمان دستگاه حرارت کمی بر شیشه وارد می‌کند تا برش بهتر انجام شود. در بیشتر کارگاه‌های شیشه‌گری از این دستگاه برای برش ضایعات و اضافه‌های شیشه تولید شده استفاده می‌کنند.

شکل ۳۰ـ دستگاه برش حرارتی

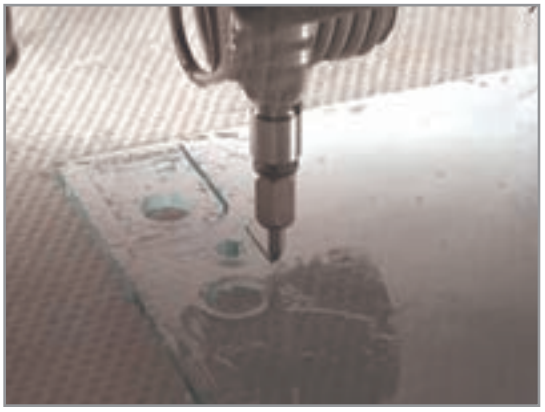
برش شیشه با آب (واترجت)

دستگاه برش شیشه با آب (واترجت) یک جریان نازک آب معمولی یا مخلوطی از آب و مواد ساینده است که با سرعت و فشار بسیار بالا از یک روزنه کوچک خارج شده و بر سطح مورد نظر نیروی زیادی وارد می‌کند که این نیرو قابلیت برش شیشه را دارد.

شکل ۳۱ـ برش شیشه با واترجت

دستگاه‌های واترجت مصرف آب کمی دارند که این مقدار آب مصرفی نیز قابل بازیافت است. همچنین در این روش دقت برش بالا است و میزان ضایعات بسیار کم است.

با دستگاه واترجت می‌توان بر روی شیشهٔ تخت برش یا سوراخ‌کاری با اندازه مورد نظر ایجاد کرد (شکل ۳۲).



شکل ۳۲ـ برش و سوراخ کاری با دستگاه واترجت

کنجکاوی

روش واترجت برای برش چه مواد دیگری کاربرد دارد؟

نکته

کنترل دستگاه برش واترجت با دستگاه کنترل عددی کامپیوتر سی‌ان‌سی (CNC[1]) انجام می‌گیرد. دستگاه سی‌ان‌سی (CNC) امکان برش دقیق شیشه در ابعاد و ضخامت‌های مختلف را به‌صورت کاملاً خودکار فراهم می‌کند. شیشه‌های تخت پس از شکل‌دهی به دلیل پیوسته بودن با دستگاه‌های برش اتوماتیک سی‌ان‌سی (CNC) برش داده می‌شوند.

شکل ۳۳ـ برش شیشه تخت

شیشه طلقی (لمینیت[2])

چرا هنگامی که شیشه جلوی اتومبیل می‌شکند نمی‌ریزد و در جای خود باقی می‌ماند؟

شکل ۳۴ـ شکسته شدن شیشهٔ اتومبیل

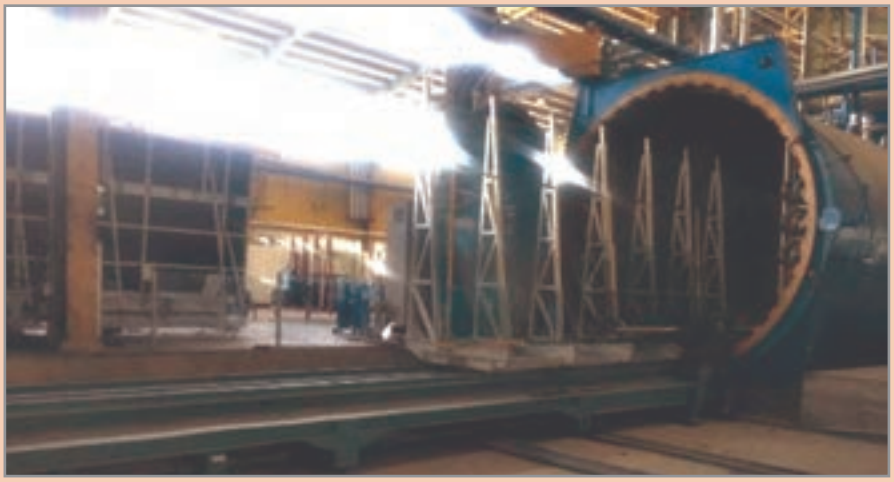
۱ـ Computer Numerical Control (CNC)

۲ـ Laminate

شیشهٔ طلقی (لمینیت) از جمله شیشه‌های ایمنی است که از روی هم قرار گرفتن دو یا چند لایه شیشه تمپر شده تخت تشکیل شده است و بین لایه‌های شیشه‌ای لایه‌ای پلیمری قرار دارد. اتصال لایه‌های شیشه‌ای و لایه پلیمری درون اتوکلاو انجام می‌شود.

نکته

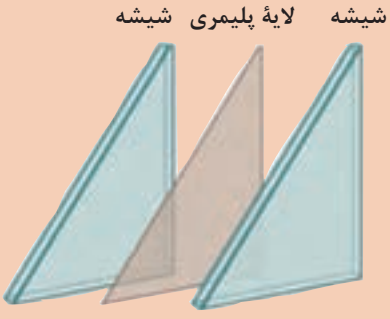
قرارگیری شیشه در اتوکلاو باعث خروج کامل هوا و افزایش چسبندگی لایه‌های شیشه‌ای و لایهٔ پلیمری می‌شود.



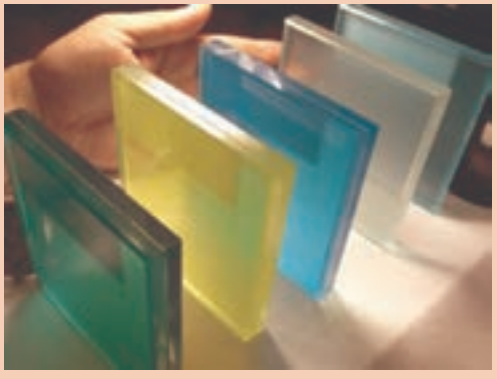
شکل ۳۵ـ دستگاه اتوکلاو

نکته

مرسوم‌ترین لایهٔ پلیمری که برای تولید شیشه‌های طلقی مورد استفاده قرار می‌گیرد، پلی وینیل بوتیرال (PVB) است.



الف) لایه‌های مختلف شیشه طلقی



ب) شیشه‌های طلقی در رنگ‌های مختلف

شکل ۳۶

فکر کنید

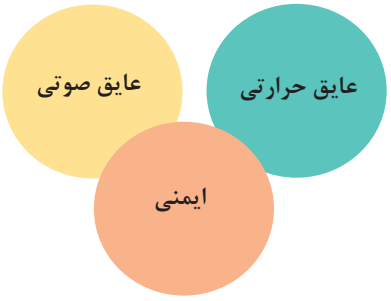
چه شباهتی بین تصاویر زیر و شیشهٔ طلقی وجود دارد؟

ساندویچ

کیک چند لایه

شکل ۳۷

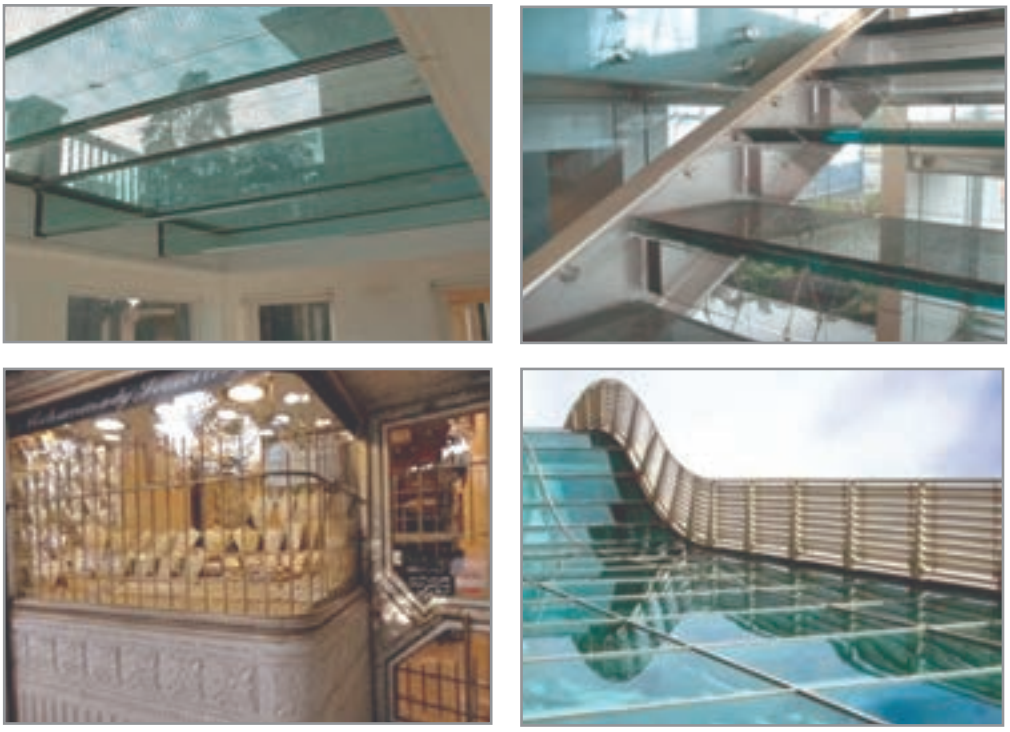
شیشهٔ طلقی (لمینیت)، سه ویژگی را همزمان ایجاد می‌کند:



لایهٔ پلیمری در شیشهٔ طلقی (لمینیت) پیوستگی شیشه را در هنگام شکست حفظ می‌کند و همچنین در برابر امواج صوتی نقش عایق را دارد و باعث کاهش ورود اشعهٔ فرابنفش خورشید می‌شود.

کاربردهای شیشهٔ طلقی (لمینیت) شامل موارد زیر است:

- شیشهٔ جلوی خودرو، قطار و هواپیما
- کف شیشه‌ای
- شیشهٔ عایق صوتی
- شیشهٔ ضد گلوله
- شیشهٔ ضد سرقت
- شیشهٔ ایمن در برابر زلزله
- شیشهٔ مغازه‌ها و بانک‌ها



شکل ۳۸ـ کاربردهای مختلف شیشهٔ طلقی

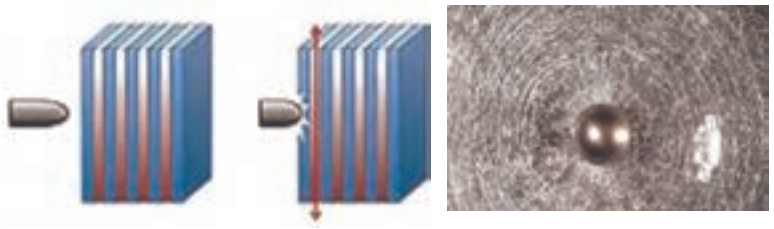
فعالیت کلاسی

شکل ۳۹ شکسته شدن شیشهٔ طلقی را نشان می‌دهد. شکستن این شیشه مشابه با شکستن چه نوع شیشه‌ای است؟ چرا؟

شکل ۳۹ـ شیشهٔ طلقی (لمینیت) پس از شکسته شدن

بیشتر بدانید

شیشهٔ ضدگلوله: شیشهٔ ضد گلوله با لمینیت کردن تعداد زیادی لایه شیشه‌ای (تمپر شده) بر روی یکدیگر ساخته می‌شود. لایهٔ پلیمری میانی برای چسباندن شیشه‌ها بر روی هم به کار می‌رود که استحکام شیشه را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.
هنگامی که گلوله به شیشهٔ ضدگلوله برخورد می‌کند، با عبور از لایه‌های شیشهٔ طلقی انرژی جنبشی خود را از دست می‌دهد، بنابراین گلوله داخل شیشه‌گیر می‌کند.

شیشهٔ معمولی	
شیشهٔ ضدگلوله	

شکل ۴۰

استحکام شیشه‌های ضد گلوله به نوع گلوله و تعداد شلیک وابسته است. همان‌طور که در شکل ۴۱ می‌بینید تعداد لایه‌های شیشه و لایهٔ پلیمری در شیشهٔ ضدگلوله با توجه به نوع گلوله تغییر می‌کند.

شکل ۴۱ــ انواع شیشه‌های ضدگلوله با توجه به نوع گلوله

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۱۰ : ساخت شیشهٔ طلقی (لمینیت)

مواد و ابزار: شیشهٔ تنش‌زدایی شده، چسب سیلیکون، شیشه‌بُر، خشک‌کن، پرس‌دستی و انبر

شرح فعالیت:

۱ به وسیله شیشه‌بُر دو قطعه شیشه با ابعاد ۱۰ × ۱۰ سانتی‌متر برش دهید.

۲ شیشه‌های برش خورده را درون خشک کن با دمای ۱۵۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۳۰ دقیقه قرار دهید تا گرم شوند.

۳ با انبر شیشه‌ها را از خشک‌کن بیرون آورده و سطح یکی از شیشه‌ها را به چسب سیلیکون آغشته کنید. (می‌توانید به جای چسب سیلیکون، بین دو شیشه نایلون قرار دهید.)

۴ شیشه دوم را بر روی شیشه‌ای که به چسب سیلیکون آغشته شده قرار دهید.

۵ مجموعه به‌دست آمده از مرحله قبل را با پرس دستی تحت نیرو قرار داده و در هوای آزاد قرار دهید تا سرد شود.

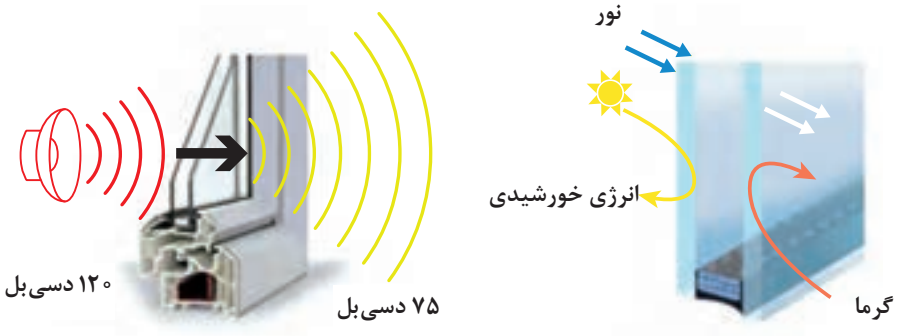
نکات ایمنی

- از دستکش‌نسوز، روپوش و عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام باز کردن در کوره و برداشتن نمونه در فاصله مناسبی از کوره قرار گیرید.
- قبل از برداشتن شیشه از درون کوره از سالم بودن انبر اطمینان حاصل کنید.
- در هنگام برداشتن شیشه از درون کوره نباید فضای اطراف شلوغ باشد.

شیشهٔ دو جداره

با توجه به روند افزایش مصرف انرژی، صرفه جویی انرژی مورد توجه قرار دارد و راهکارهای بسیاری برای این منظور ارائه شده است.

یکی از راهکارهای پیشنهادی برای جلوگیری از اتلاف انرژی در ساختمان‌ها استفاده از شیشهٔ دو جداره است. با استفاده از شیشهٔ دو جداره می‌توان از تبادل سرما یا گرما به داخل ساختمان جلوگیری کرد و هوای داخل را بهتر حفظ کرد. از سوی دیگر این شیشه باعث کاهش انتقال صدا به ساختمان می‌شوند.

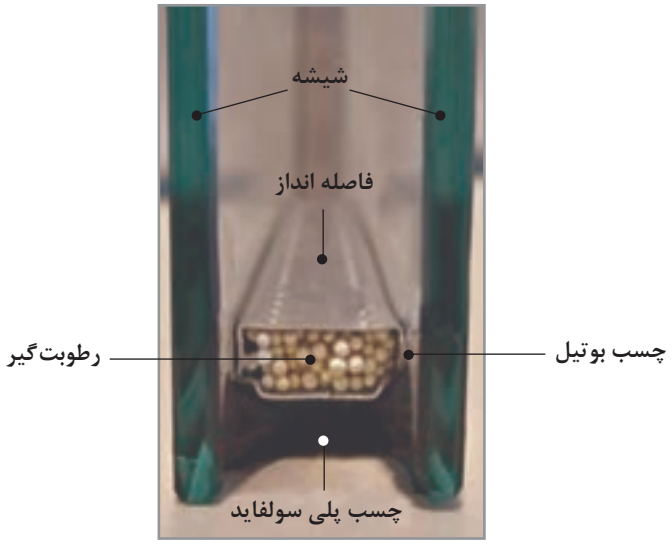


الف) جلوگیری از اتلاف انرژی

ب) کاهش صدا

شکل ۴۲ـ عایق حرارتی و صوتی شیشهٔ دو جداره

در شکل ۴۳ اجزای شیشهٔ دوجداره نشان داده شده است.



شکل ۴۳

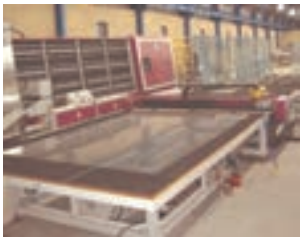
مهم‌ترین اجزای شیشه‌های دو جداره فاصله انداز (اِسپِیسر[۱]) و گاز شارژ شده درون شیشه است. فاصله‌انداز نوار آلومینیومی توخالی است که بین دو ورقه شیشه قرار می‌گیرد. درون فاصله‌انداز با ماده رطوبت‌گیر پُر می‌شود تا رطوبت فضای بین ورقه‌های شیشه را جذب کند.

شکل ۴۴ـ کارگر در حال آماده سازی فاصله انداز

۱ـ Spacer

فرایند ساخت شیشه‌های دو جداره درجدول ۶ آمده است:

جدول ۶

۱ شیشهٔ تخت به میز برش انتقال می‌یابد و سپس بُرش داده می‌شود.	
۲ براساس اندازهٔ شیشه نقاط خم فاصله‌انداز مشخص می‌شود و دستگاه خم‌کن آن را خم می‌کند و به شکل قالب درمی‌آورد.	
۳ پس از شکل‌دهی قالب، پین داخل آن قرار داده می‌شود تا از این محل، تزریق گاز آرگون انجام شود.	
۴ داخل فاصله‌انداز با ماده رطوبت‌گیر پُر می‌شود تا بخار آب بین ورقه‌های شیشه باعث کدری شیشه دو جداره نشود. سپس مجموعهٔ شیشه‌ها و فاصله‌انداز وارد دستگاه پرس می‌شوند تا به یکدیگر کاملاً اتصال یابند.	
۵ گاز آرگون به داخل شیشهٔ دو جداره تزریق می‌شود.	
۶ در مرحلهٔ آخر دور تا دور فاصله‌انداز با چسب درزگیری می‌شود.	

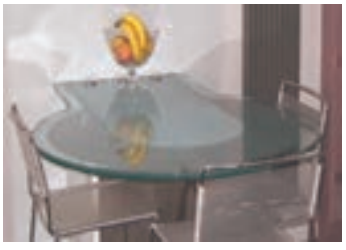
تحقیق کنید

به غیر از گاز آرگون امکان تزریق چه گازهایی به درون شیشه دو جداره وجود دارد؟

فعالیت کلاسی

با توجه به انواع شیشه که تاکنون با ویژگی آنها آشنا شده‌اید (تنش‌زدایی شده، تمپر شده، دو جداره و طلقی) مشخص کنید که در هر یک از کاربردهای جدول ۷ چه نوع شیشه‌ای بهتر است استفاده شود؟

جدول ۷

کاربرد	نوع شیشه
	

مونتاژ شیشه

به تصاویر زیر نگاه کنید. چگونه صفحات شیشه‌ای به هم متصل شده‌اند؟

شکل ۴۵

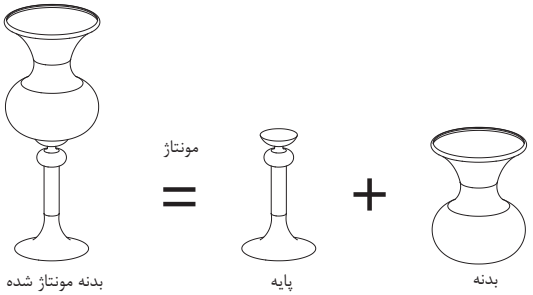
پرکاربردترین روش‌های مونتاژ و اتصال قطعات شیشه‌ای به یکدیگر روش‌های پولیش حرارتی و چسب UV[۱] (فرابنفش) است.

مونتاژ شیشه با روش پولیش حرارتی

چه قسمت‌هایی از بدنهٔ زیر نیاز به مونتاژ دارند؟

شکل ۴۶

برای مونتاژ ظروف شیشه‌ای معمولاً از روش پولیش حرارتی استفاده می‌شود. در این روش هریک از قسمت‌هایی که قرار است به هم مونتاژ شوند، جداگانه شکل‌دهی می‌شوند. سپس اجزایی که می‌خواهند مونتاژ شوند بر روی هم قرار گرفته و با اعمال شعلهٔ مستقیم به محل مونتاژ به‌هم متصل می‌شوند.



شکل ۴۷ـ مراحل مونتاژ به روش پولیش حرارتی

۱ـ Ultra Violet

نکته

در روش شکل‌دهی دستی شیشه‌گر مقداری بار از کوره برمی‌دارد و با مهارت و تجربهٔ خود به کمک ابزاری مانند انبر و قیچی روی بدنهٔ شکل‌دهی شده دسته یا پایه ایجاد می‌کند.

شکل ۴۸

مونتاژ شیشه با چسب UV

چسب UV (فرابنفش) برای چسباندن شیشه به شیشه، فلز و سایر مواد به‌کار می‌رود. چسب UV برای خشک شدن باید در معرض اشعه UV قرار گیرد، بنابراین باید سطح مورد نظر مانند شیشه، شفاف باشد تا اشعه UV بتواند از آن عبور کرده و به چسب بتابد.

مراحل چسباندن شیشه با چسب UV مطابق جدول ۸ است:

جدول ۸

۱ سطح مورد نظر باید کاملاً تمیز و خشک باشد.	
۲ محل چسبیدن شیشه‌ها مشخص می‌شود. محل اتصال شیشه‌ها به مقدار کمی چسب UV آغشته شود و به آرامی فشار داده می‌شود تا چسب کاملاً پخش شود.	
۳ سپس قطعهٔ چسبیده شده در زیر لامپ UV به مدت ۳ تا ۵ دقیقه قرار داده می‌شود.	

نکته

شیشه و چسب‌های اضافه قبل از خشک شدن به وسیلهٔ یک تیغ موکت‌بری (کاتر) و مایع شیشه شور تمیز می‌شود. چسب UV پس از خشک شدن به راحتی قابل جدا شدن نبوده و باید آن را تا حدود دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس گرم کرد تا کمی نرم شود.

فعالیت کارگاهی

کار عملی۱۱ : مونتاژ شیشه با چسب UV

مواد و ابزار: دو قطعه شیشه برش‌خورده و ساب‌زنی شده (شیشه تهیه شده در کار عملی ۹)، چسب UV

شرح فعالیت

طبق مراحل مونتاژ شیشه با چسب UV دو قطعه شیشهٔ برش و ساب خورده را به هم اتصال دهید.

نکات ایمنی

- در هنگام قرارگیری شیشه زیر لامپ UV از عینک ایمنی استفاده کنید.
- چسب نباید با پوستتان تماس پیدا کند بنابراین از دستکش استفاده کنید.

مات کردن شیشه

شیشه ظاهری شفاف دارد و در برابر اغلب مواد شیمیایی مقاومت مناسبی دارد. مات کردن شیشه با روش شیمیایی به منظور کاهش عبور نور یا تزیین شیشه کاربرد دارد.
در شکل ۴۹ چند نمونه شیشهٔ مات شده نشان داده شده است.

شکل ۴۹

برای مات‌کردن شیشه از اسیدی که بتواند قسمتی از سطح شیشه را در خود حل کند استفاده می‌شود. هیدروفلوئوریک اسید (HF) باعث خوردگی و حل شدن شیشه می‌شود و می‌تواند صافی و شفافیت سطح شیشه را از بین ببرد، اما به دلیل خطرناک بودن و گران بودن این اسید، برای مات کردن شیشه بیشتر از آمونیوم هیدروژن بی فلوراید رقیق شده استفاده می‌شود.

تماس‌های پوستی و تنفسی با HF باعث عوارضی مانند درد استخوان، تخریب و ایجاد زخم در شش‌ها، سوختگی‌های شدید، التهاب، تاول زدن پوست، نارسایی‌های شدید کلیوی، پایین آمدن کلسیم و منیزیم و بی‌نظمی حرکات عضله قلب و آسیب‌های چشمی می‌شود. تماس طولانی مدت با غلظت‌های پایین این اسید منجر به سوختگی مجاری بینی و تکرار تماس با غلظت‌های بالاتر از مقدار توصیه شده در طول چند سال، به علت ته‌نشینی فلوراید در استخوان‌ها موجب فلج شدن بدن می‌شود.

مراحل مات کردن شیشه با اسید مطابق جدول ۹ است:

جدول ۹

۱ در ابتدا تمامی قسمت‌های بدنه درون اسید غوطه‌ور شده و پس از مدتی از محلول خارج می‌شود.	
۲ سپس سطح شیشه با فشار زیاد آب شست‌وشو داده می‌شود.	
۳ بدنهٔ نهایی پس از قرارگیری در هوای آزاد خشک می‌شود.	

نکات ایمنی

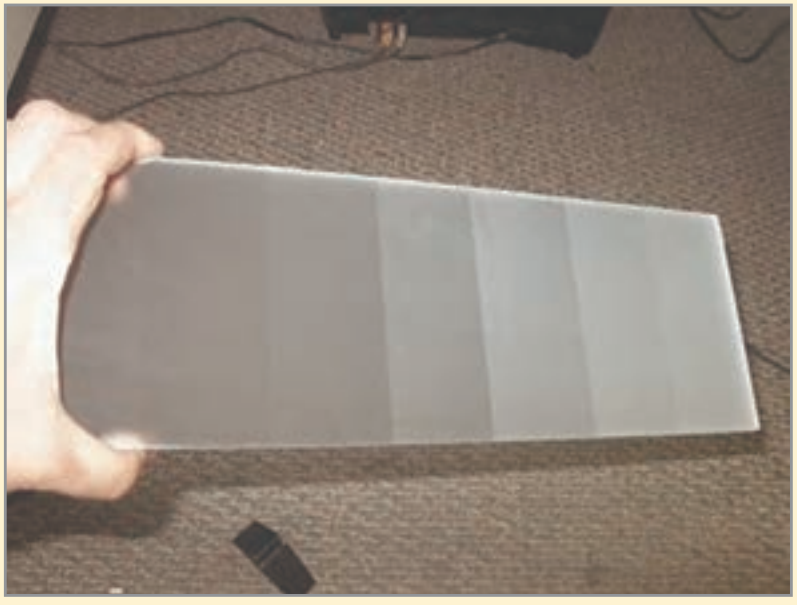
نکات ایمنی هنگام کار با هیدروفلوئوریک اسید (HF)

هنگام کار با HF از پوشش حفاظتی مناسب (دستکش، محافظ چشم و صورت و عینک) از جنس PVC استفاده کنید.
در هنگام کار با این اسید از عینک‌ایمنی مخصوص کار با مواد شیمیایی استفاده کنید.

شکل ۵۰ ـ عینک ایمنی طلقی ضد اسید و مواد شیمیایی

گفت‌وگو کنید

شیشهٔ نشان داده شده در شکل ۵۱ با روش اسیدی مات شده است. علت تفاوت میزان مات شدگی در قسمت‌های مختلف شیشه چیست؟



شکل ۵۱

ارزشیابی نهایی

شرح کار:
۱ـ انجام عملیات حرارتی تنش‌زدایی شیشه
۲ـ انجام عملیات حرارتی تمپرینگ بر روی شیشه
۳ـ مشجرسازی شیشه
۴ـ برش و ساب‌زنی شیشه
۵ـ انجام عملیات مونتاژ قطعات شیشه

استاندارد عملکرد:
آنیل، تمپرینگ و لمینیت شیشه و بررسی شیشه‌هایی که تحت عملیات حرارتی قرار گرفته‌اند با استفاده از دستگاه استحکام‌سنج مکانیکی و نوع خرد شدن آنها.

شاخص‌ها:
انجام عملیات حرارتی تنش‌زدایی، تمپرینگ و مشجرسازی شیشه براساس ویژگی‌های مورد نظر
برش قطعهٔ شیشه‌ای براساس اندازهٔ معین و استفاده صحیح از دستگاه ساب‌زنی
مونتاژ قطعات شیشه‌ای براساس بدنهٔ شیشه‌ای مورد نظر

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه استاندارد عملیات حرارتی و تکمیلی مجهز به تجهیزات ایمنی و سیستم تهویه
ابزار و تجهیزات: کوره الکتریکی، ابزار برش و ساب‌زنی شیشه، لوازم حفاظت شخصی

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	انجام عملیات حرارتی تنش‌زدایی شیشه‌ها	۲	
۲	انجام عملیات حرارتی تمپرینگ بر روی شیشه و آنیل کردن	۱	
۳	انجام عملیات مشجرسازی شیشه	۱	
۴	انجام عملیات برش و ساب‌زنی شیشه	۱	
۵	انجام عملیات مونتاژ قطعات شیشه	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان ۵

تزیین شیشه

همراه با تکامل و پیشرفت کیفیت و عملکرد ابزارهای ساخت دست بشر، روش‌های تزیین و زیباترکردن محصولات نیز به‌تدریج توسعه یافت. امروزه روش‌های تزیین جزء مهم‌ترین مراحلی است که در فرایند ساخت بدنه‌های مختلف درنظر گرفته می‌شود تا محصول جلوه و زیبایی بیشتری داشته باشد.

واحد یادگیری ۵

شایستگی تزیین شیشه و کسب مهارت آن

هدف از این شایستگی کسب دانش و مهارت تزیین شیشه است تا بتوان محصول شیشه‌ای با جلوه‌ای زیباتر و ارزش افزوده بیشتر به مصرف‌کننده ارائه کرد.

استاندارد عملکرد

تزیین شیشه به روش‌های تراش، حرارت مستقیم، فیوزینگ و با استفاده از رنگ‌ها و مات کردن.

تصاویر نشان داده شده در شکل ۱ را با هم مقایسه کنید. چه تفاوت‌هایی بین این تصاویر مشاهده می‌کنید؟

شکل ۱

تزیین یک روش تکمیلی در تولید محصولات شیشه‌ای است که با هدف افزایش جلوه و زیبایی آن به‌کار می‌رود.

فکر کنید

عبارت «ارزش افزوده» به چه معنا است؟
آیا می‌توان با تزیین محصولات شیشه‌ای ارزش افزودهٔ آنها را افزایش داد؟

برای تزیین مصنوعات شیشه‌ای روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد که تعدادی از این روش‌ها در نمودار ۱ آورده شده است:

نمودار ۱

تراش شیشه

بر روی سطح برخی از محصولات شیشه‌ای طرح‌های زیبا و متنوعی، به‌صورت فرو رفته وجود دارد. این طرح‌ها به روش تراش که یکی از روش‌های تزیین بدنه‌های شیشه‌ای است ایجاد می‌شود.
شکل ۲ تصاویری از محصولات شیشه‌ای ساده و تراش‌خورده را نشان می‌دهد.

الف) محصولات شیشه‌ای ساده

ب) محصولات شیشه‌ای تراش خورده

شکل ۲

تراش شیشه با خراشیدن سطح شیشه و ایجاد نقش و طرح‌های مختلف انجام می‌شود که یکی از پرکاربردترین روش‌های تزیین شیشه است.
در شکل ۳ تراش محصولات مختلف شیشه‌ای مانند شیشه‌های تخت و ظروف که می‌توانند کاربردی یا هنری باشند، نشان داده شده است.

الف) شیشهٔ تخت

ب) ظرف شیشه‌ای کاربردی

ج) ظرف شیشه‌ای هنری و دکوری

شکل ۳

کارگاه‌های تراش معمولاً محصولات شیشه‌ای ساده و بدون طرح را تهیه می‌کنند و پس از تراش آن، که معمولاً به‌صورت تکرار یک طرح ساده و در تعداد زیاد است، محصول نهایی را به بازار عرضه می‌کنند.

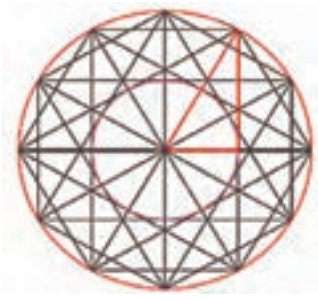
شکل ۴

کنجکاوی

به چه دلیل برای تزیین اغلب بدنه‌های شیشه‌ای به روش تراش از تکرار یک طرح بر روی آن استفاده می‌شود؟

تراش شیشه‌های دکوری بر روی شیشه‌های رنگی و دست‌ساز و معمولاً به‌صورت تکی یا در تعداد کم اجرا می‌شود. در تراش این شیشه‌ها اغلب از نقوشی مانند شمسه‌های هشت پر و دوازده پر استفاده می‌شود.

الف) شمسه هشت‌پر



ب) شمسه دوازده‌پر

شکل ۵ــ نقوش شمسه هشت‌پر و دوازده‌پر

ارزش افزودهٔ بدنه‌هایی که به روش تراش تزیین شده‌اند بیشتر از روش‌های دیگر تزیین شیشه است و به همان نسبت کار و زمان بیشتری برای انجام این روش نیاز است.

نکته

بهترین نوع تراش شیشه، بر روی شیشه‌های دو پوست اجرا می‌شود. در شکل‌دهی شیشه‌های دو پوست، لقمهٔ اولیه با یک رنگ که در اکثر مواقع شیشهٔ بی‌رنگ یا سفید است، آغاز می‌شود و سپس با لقمهٔ دوم با رنگی دیگر مانند قرمز، سبز یا آبی شکل‌دهی تکمیل می‌شود. تراش بر روی این شیشه‌ها به این شکل است که با شکافتن و تراش دادن قسمت رنگی شیشه و نمایان شدن بار زیرین (قسمت‌های بی‌رنگ شیشه)، نمایی زیبا ایجاد می‌شود.

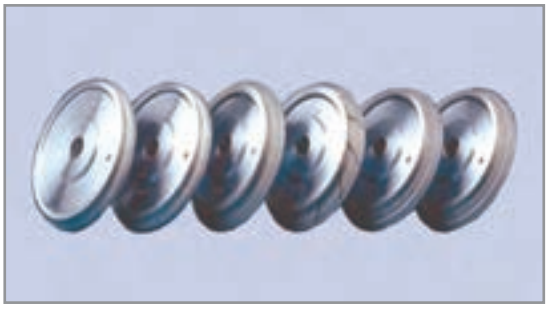
شکل ۶ـ ظرف شیشه‌ای دو پوست تراش داده شده

دستگاه تراش شیشه

برای تزیین محصولات شیشه‌ای به روش تراش از دستگاه تراش استفاده می‌شود. دیسک‌های برش از اجزا مهم این دستگاه هستند که وظیفهٔ تراش بدنه را انجام می‌دهند.

چند نوع دیسک برش در شکل ۷ نشان داده شده است. دیسک‌های برش در اندازه‌ها و ضخامت‌های مختلفی وجود دارد که هر کدام برای ایجاد خطوط مختلف از لحاظ عمق و اندازه به‌کار می‌رود. در مراحل کار تراش باید به‌صورت دائم یک نازل کوچک آب روی دیسک برش وجود داشته باشد تا دیسک‌ها را خنک کند.

دستگاه تراش شیشه شامل موتوری است که توسط یک تسمه، دیسک برشی را حول یک محور می‌چرخاند.



الف

ب

شکل ۷ ـ الف) دیسک‌های برش ب) تراش دادن ظرف شیشه‌ای

نکات ایمنی

هنگام کار با دستگاه تراش شیشه لازم است از عینک ایمنی، دستکش و صندلی‌های متناسب با قد تراشکار استفاده شود.

تحقیق کنید

دیسک‌های تراش شیشه از چه نوع موادی ساخته می‌شوند؟ چرا؟

امروزه از دستگاهی به نام «فِرز مینیاتوری» نیز برای تراش شیشه استفاده می‌شود. فرز دستگاهی است که دور چرخشی بالایی دارد و در ابعاد و توان‌های مختلف تولید می‌شود. در شکل ۸ یک نمونه از دستگاه فرز مینیاتوری نشان داده شده است.
ابزارهای برنده و ساینده سر این دستگاه‌ها فرز فرم نامیده می‌شود که در شکل‌های مختلف برای کاربردهای متنوع عرضه می‌شوند. در هنگام تهیهٔ فرز باید نوع متناسب با طرح و قابل استفاده روی شیشه را انتخاب کرد.

الف) دستگاه فرز مینیاتوری

ب) تجهیزات فرز مینیاتوری و فرز فرم‌ها

شکل ۸ــ فرز مینیاتوری و تجهیزات آن

دستگاه فرز مینیاتوری تمام قابلیت‌های دستگاه‌های تراش را ندارد اما برای انجام تزیینات هنری و خاص، وسیله‌ای مناسب است. نحوهٔ کنترل و کار با دستگاه فرز مینیاتوری نیازمند تمرین است.

فعالیت کارگاهی

کار عملی۱ : تراش شیشه با استفاده از فرز مینیاتوری
مواد و ابزار: فرز مینیاتوری، شیشهٔ ساده در ابعاد مشخص، فرز فرم، طرح آماده بر روی کاغذ
پیشنهاد: نام و نام خانوادگی هنرجو به‌صورت خوشنویسی شده یا تایپ و پرینت شده در اندازه متناسب با شیشه می‌تواند به‌عنوان طرح انتخاب شود.
شرح فعالیت:

۱ دو طرف سطح شیشه را قبل از انجام تراش تمیز کنید.
۲ طرح را روی میز کار قرار داده و شیشه را بر روی آن قرار دهید.
۳ فرز فرم با سَرِ گِرد را روی دستگاه فرز مینیاتوری نصب کنید.
۴ خطوط کنارهٔ طرح را با احتیاط و دقت توسط فرز فُرم گِرد تراش دهید.
۵ داخل طرح را می‌توانید با طرح یا بافت مورد نظر تراش دهید.

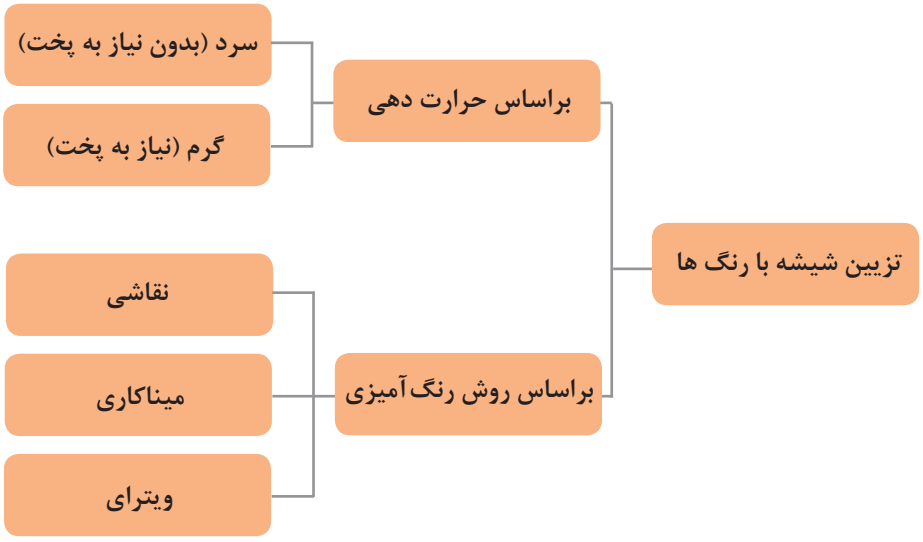
نکات: هنگام تراش شیشه با دستگاه فرز مینیاتوری باید به صورت عمودی نگاه کرد اما حرکت دستگاه روی شیشه نباید به صورت کاملاً عمودی باشد.
ـ محیط کار هنگام تراش باید از نور کافی برخوردار باشد و بهتر است روی سطح در حال تراش نور منعکس نشود و سایه روی کار ایجاد نشود.
ـ در هنگام تراش طرح روی شیشه دقت کنید و خطوط کشیده شده را دوباره نتراشید زیرا خطوط حکاکی شده قابل پاک کردن نیستند.

نکات ایمنی

- در هنگام تراش شیشه از عینک ایمنی و دستکش استفاده کنید زیرا امکان پرتاب شدن خرده شیشه به سمت چشم وجود دارد.
- ممکن است لبه‌های شیشهٔ مورد استفاده بُرنده باشد. در این صورت با چسب نواری لبه‌های شیشه را دورگیری کنید.
- قد صندلی خود را چنان تنظیم کنید که هنگام کار، روی شیشه و دستگاه فرز تسلط داشته باشید.
- هنگام کار با دستگاه فرز مراقب آسیب‌های احتمالی باشید.
- پس از هر مرحله تراش، گرد شیشه را از سطح کار با دستمال پاک کنید.
- پس از تکمیل کار خرده شیشه‌ها را از روی میز یا کف زمین جمع‌آوری کنید. هنگام انجام این کار حتماً از دستکش استفاده کنید.

تزیین شیشه با رنگ‌ها

روش دیگر تزیین شیشه استفاده از رنگ است.
انواع روش‌های تزیین با استفاده از رنگ در نمودار ۲ نشان داده شده است:



نمودار ۲ـ تزیین شیشه با رنگ‌ها

دو نکتهٔ بسیار مهم که در کیفیت شیشهٔ تزیین شده با استفاده از رنگ‌ها بسیار مؤثر است عبارت‌اند از:
ـ دقت و ظرافت در رنگ‌آمیزی
ـ تمیز بودن سطح شیشه و وسایل مورد استفاده
رنگ‌های مورد استفاده برای تزیین شیشه براساس استفاده از حرارت به دو نوع رنگ‌های سرد و رنگ‌های گرم تقسیم‌بندی می‌شوند.

تزیین شیشه با استفاده از رنگ‌های سرد

رنگ‌هایی را که برای ثابت شدن روی شیشه نیازی به حرارت ندارند رنگ‌های سرد می‌گویند. از جمله روش‌های تزیین با رنگ سرد، استفاده از ویترای است.

تزیین شیشه به روش ویترای

ویترای نوعی رنگ سرد و شفاف است که بر دو نوع «پایهٔ آبی» و «پایهٔ روغنی» وجود دارد. در این روش ابتدا بر اساس طرح مورد نظر که روی سطح شیشه رسم شده است، با چسب مخصوص مرز رنگ‌های مختلف دورگیری می‌شود. این دورگیری برای به هم نخوردن انجام می‌شود به‌طوری که رد قلم برجای نماند. سپس با قلم‌موهای مخصوص رنگ‌آمیزی در داخل مرزهای مشخص شده انجام می‌شود.

شکل ۹

فکر کنید

ویترای روشی آسان و ارزان است اما به مرور زمان در مقابل تابش آفتاب و در مجاورت باد و باران به حالت پوسته‌ای درآمده و جلای خود را از دست می‌دهد. چرا پایداری ویترای در برابر عوامل و شرایط محیطی کم است؟

اجرای تزیین شیشه به روش ویترای شامل مراحل زیر است:

وسایل مورد نیاز: شیشهٔ تخت یا بطری یا هر نوع ظرف شیشه‌ای، یک بسته رنگ ویترای، دورگیر، قلم‌مو، یک طرح ساده

شکل ۱۰

۱ ظرف شیشه‌ای یا شیشهٔ تخت تهیه شده را کاملاً تمیز کنید.
۲ سپس طرح موردنظر را به‌وسیله دورگیر روی شیشه منتقل کنید.

۱

۲

۳

۲ پس از دورگیری بخش‌های مختلف طرح را به‌وسیله رنگ‌های ویترای رنگ‌آمیزی کنید.

۴

۵

۶

نکته

یک طرح مناسب برای ویترای طرحی است که خطوط محیطی آن مشخص باشد.

فعالیت کارگاهی

کار عملی۲ : طراحی نام هنرستان روی شیشه و تزیین آن به روش ویترای
مواد و ابزار: شیشه در ابعاد مشخص؛ طرح خوشنویسی شده یا تایپ و پرینت شده نام هنرستان در اندازهٔ متناسب با شیشه انتخاب شده، رنگ ویترای، قلم مو، دورگیر، چسب کاغذی
شرح فعالیت:
۱ ابتدا لبه‌های شیشه را با چسب کاغذی بپوشانید.
۲ شیشه را کاملاً تمیز کنید.
۳ طرح را زیر شیشه قرار دهید. خطوط محیطی طرح را به‌وسیله دورگیر، دورگیری کنید.
۴ داخل طرح را رنگ‌آمیزی کنید. فضای اطراف نوشته‌ها را نیز با یک رنگ دیگر رنگ‌آمیزی کنید.
نکته: هرگونه آلودگی و چربی از پخش شدن یکنواخت رنگ جلوگیری می‌کند.

نکات ایمنی

هنگام کار با شیشه مراقب لبه‌های تیز و برندهٔ آن باشید.

رنگ‌های گرم

برخی از رنگ‌ها برای تثبیت و مقاوم شدن روی شیشه نیاز به اعمال حرارت دارند. این رنگ‌ها، رنگ‌های گرم نامیده می‌شوند. رنگ‌های گرم پس از رنگ‌آمیزی در داخل کوره یک مرحله پخت می‌شوند. پخت کردن باعث تثبیت رنگ روی شیشه و دوام و جلای بیشتر آن می‌شود.

رنگ‌های گرم براساس محدودهٔ درجه حرارت لازم برای پخت شامل دو نوع هستند:

الف) پایین پخت

ب) بالا پخت

رنگ‌های پایین‌پخت و بالاپخت دوجزئی هستند، به این معنا که علاوه بر رنگ، نیاز به حلال نیز دارند که در زمان استفاده رنگ و حلال باید با هم ترکیب شوند. حلال این رنگ‌ها از نوع روغن‌های مخصوصی است. پس از مخلوط کردن دو جزء (رنگ و حلال)، محلول حاصل شده را بلافاصله با تینر رقیق کرده و با پیستوله یا قلم موی نرم روی شیشه موردنظر اعمال می‌کنند.

تفاوت رنگ‌های پایین‌پخت با بالاپخت در نوع حلال‌ها و درجهٔ پخت آنها است:

رنگ‌های پایین‌پخت در دمای حدودا ۲۵۰ـ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس پخت می‌شوند اما رنگ‌های بالاپخت در محدودهٔ دمای ۵۵۰ ـ ۵۰۰ درجهٔ سلسیوس پخت می‌شوند.

نکته

رنگ‌های پایین‌پخت به‌دلیل پایداری کم در برابر نور، رطوبت و شست‌وشو به‌صورت محدود در انجام کارهای هنری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

فکر کنید

مزیت مهم رنگ‌های پایین‌پخت چیست؟

نکته

در استفاده از رنگ‌های گرم باید با انجام آزمایش‌های مختلف بهترین دمای پخت را به‌دست آورد. دمای پخت مناسب برای این رنگ‌ها، دمایی است که در آن رنگ‌ها به درخشان‌ترین حالت خود برسند و از طرفی دما در حدی نباشد که باعث تغییر شکل ظروف شیشه‌ای شود.

می‌توان برای تزیین بدنه، از ترکیب یک یا چند روش برای زیباتر کردن محصول استفاده کرد. برای مثال در شکل ۱۱ دو روش رنگ و تراش با هم برای تزیین استفاده شده است.

شکل ۱۱ـ ظرف شیشه‌ای رنگ شده و تراش خورده

نکات ایمنی

در هنگام استفاده از رنگ، استفاده از ماسک تنفسی و روشن بودن سیستم تهویهٔ کارگاه ضروری است.

نقاشی

نقاشی روی شیشه‌های تخت در روش‌های تزیین شیشه به دو بخش تقسیم می‌شود:
الف) نقاشی روی شیشه
ب) نقاشی پشت شیشه

پرسش

به نظر شما چگونه می‌توان متوجه شد که نقاشی روی شیشه یا پشت آن انجام شده است؟

روش نقاشی روی شیشه شامل سه مرحله است:
۱ انتقال طرح موردنظر بر روی شیشه
۲ رنگ‌گذاری
۳ قلم‌گیری نهایی
جنس رنگ در این روش بیشتر از نوع رنگ روغن است.

شکل ۱۲

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۳: نقاشی روی شیشه
مواد و ابزار : رنگ روغن یا آکریلیک، قلم مو، شیشهٔ تخت بی‌رنگ در ابعاد مشخص، یک طرح ساده مانند منظرهٔ متناسب با اندازه شیشه، چسب کاغذی، دستمال و شیشه‌پاک‌کن
شرح فعالیت:
۱ ابتدا با چسب کاغذی لبه‌های شیشه را بپوشانید. با این کار ضمن رعایت ایمنی در مراحل کار، پس از اتمام کار کادر برای نقاشی به وجود می‌آید.
۲ شیشهٔ مورد نظر را کاملاً تمیز کنید.
۳ سپس طرح را در زیر شیشه قرار دهید و شروع به رنگ‌آمیزی در روی شیشه کنید.
نکته: اگر از رنگ روغن استفاده می‌کنید حلال آن تربانتین است و اگر از آکریلیک استفاده می‌کنید از آب به عنوان حلال استفاده کنید.
۴ پس از تکمیل رنگ‌آمیزی می‌توانید طرح را از زیر شیشه درآورید و پس از خشک شدن رنگ‌های

اولیه، سایه روشن‌ها را انجام دهید. دقت، صرف وقت و حوصلهٔ کافی در ترکیب رنگ‌ها و سایه‌پردازی‌ها باعث بهتر شدن نتیجهٔ کار می‌شود.

۵ پس از خشک شدن کامل رنگ، چسب کاغذی را با احتیاط از شیشه جدا کنید.

نکته

وجود هرگونه لکه و چربی باعث می‌شود که رنگ به اصطلاح از آن قسمت فرار کند.

میناکاری شیشه

میناکاری شیشه، نوعی نقاشی روی شیشه است که بر روی ظروف شیشه‌ای مانند لیوان و پارچ انجام می‌شود. رنگ‌های مینایی نوعی لعاب خاص است که مخصوص شیشه است و ترکیبی کاملاً متفاوت با سایر لعاب‌ها دارد. این رنگ‌ها در دمایی حدود ۶۰۰ ـ ۵۰۰ درجهٔ سلسیوس پخت و ثابت می‌شوند.

شکل ۱۳ــ نمونه‌های میناکاری روی شیشه

اعمال رنگ‌های مینایی به وسیله پمپ میناکاری انجام می‌شود. رنگ داخل پمپ‌ها ریخته می‌شود و با نازل ظریف آن، براساس طرح روی شیشه قرار می‌گیرد.

شکل ۱۴ــ پمپ رنگ میناکاری

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۴: میناکاری روی شیشه

مواد و ابزار: رنگ میناکاری، پمپ میناکاری به تعداد رنگ‌های مورد استفاده، ظرف شیشه‌ای، یک طرح از نقوش سنتی ایرانی، ماژیک تخته سفید و کوره

شرح فعالیت:

ابتدا ظرف شیشه‌ای مورد نظر را تمیز کنید. رنگ‌های مینایی را داخل پمپ‌های رنگ بریزید. طرح را به‌وسیلهٔ ماژیک تخته سفید روی شیشه منتقل کنید و شروع به رنگ‌گذاری کنید.

پس از اتمام رنگ‌گذاری، ظرف شیشه‌ای را داخل کوره قرار دهید. پس از انجام پخت با رعایت نکات ایمنی، نمونه را از کوره خارج کنید.

نکته: با توجه به متفاوت بودن دمای پخت رنگ‌های مینایی، در هنگام تهیهٔ رنگ‌ها درجهٔ پخت آنها را از فروشنده سؤال کنید.

بهتر است پیش از انجام میناکاری روی نمونهٔ اصلی، نحوه کار با پمپ‌های رنگ را روی یک تکه شیشه امتحان کنید تا نحوهٔ رنگ آمیزی به وسیلهٔ پمپ را بیاموزید.

حرارت مستقیم (لَمپ وُرکینگ)[۱]

روش دیگری که برای تزیین شیشه کاربرد دارد، روش حرارت مستقیم است که این روش مشابه شیشه‌گری با شعله است.

تزیین شیشه با روش حرارت مستقیم یا لَمپ وُرکینگ در مقایسه با روش‌های دیگر قدمت چندانی ندارد. این روش شامل حرارت دادن میله‌ها و لوله‌های شیشه‌ای و شکل دادن به آنها است. جنس شیشه‌های استفاده شده در این روش اغلب از جنس بوروسیلیکاتی است. مهم‌ترین ابزار مورد استفاده در این روش یک مشعل گازی[۲] با بازدهی حرارتی بالا است.

شکل ۱۵ـ مشعل گازی

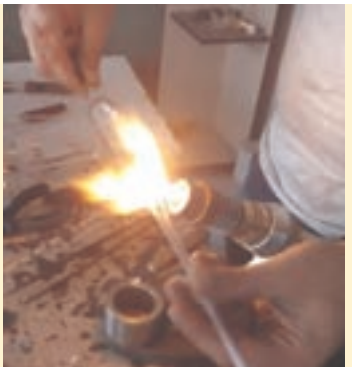
۱ـ Lamp working

۲ـ Torch

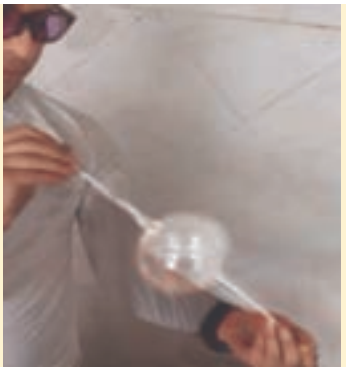
مراحل کار تزیین شیشه به روش حرارت مستقیم (لمپ ورکینگ)

مراحل ساخت بدنهٔ شیشه‌ای شکل ۱۶ با استفاده از لوله شیشه‌ای توخالی به صورت مرحله به مرحله آورده شده است:

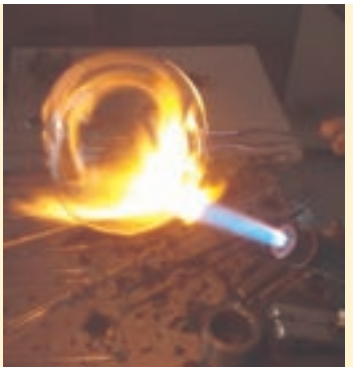
۱ حرارت دادن شیشه برای نرم شدن آن



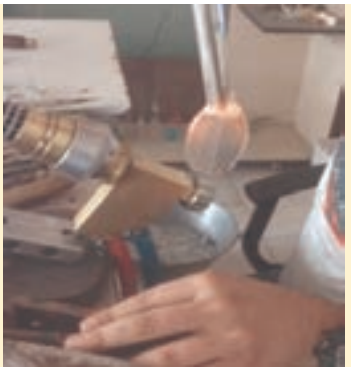
۲ ساخت حباب با دمیدن داخل لوله



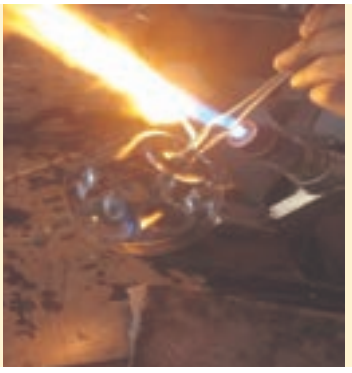
۳ ایجاد حفره روی حباب



۴ ساختن و شکل‌دهی برگ با استفاده از قالب



۵ وصل کردن برگ به حباب با حرارت دادن به محل اتصال



۶ تکمیل فرایند تزیین و تولید محصول نهایی

شکل ۱۶

تحقیق کنید

چرا اغلب در تزیین شیشه با روش حرارت مستقیم از شیشه‌های بوروسیلیکاتی استفاده می‌شود؟

شکل ۱۷

نکات ایمنی

- در کارگاه حرارت مستقیم شیشه، استفاده از عینک‌های مخصوص ضروری است.
- استفاده از دستکش نسوز، لباس کار و مجهز بودن کارگاه به سیستم تهویه دارای اهمیت است.

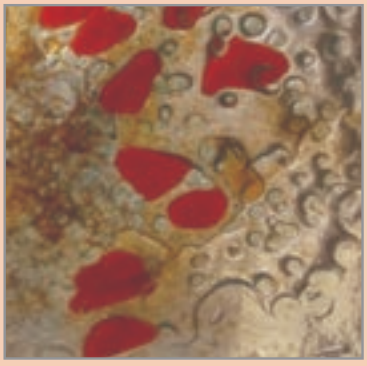
شکل ۱۸

فیوز شیشه

روش فیوز شیشه، شکل‌دهی شیشه در دمای آستانهٔ ذوب است.
دمای آستانهٔ ذوب دمایی است که در آن دما، شیشه کم کم شروع به ذوب شدن می‌کند.
نرم شدن تدریجی شیشه در اثر حرارت، این امکان را به‌وجود می‌آورد که قطعات شیشه‌ای به همدیگر بچسبند و همچنین شیشه شکل قالب را به خود بگیرد.

نکته

دمای ذوب قطعات شیشه‌ای مختلف با هم متفاوت است و به ترکیب آمیز وابسته است. بنابراین لازم است که با آزمایش‌های مختلف دمای مطلوب برای فیوز شیشه‌های مختلف را به‌دست آورد.



شکل ۱۹ــ شیشهٔ فیوز شده

ابزار و تجهیزات لازم برای فیوز شیشه در جدول ۱ آمده است:

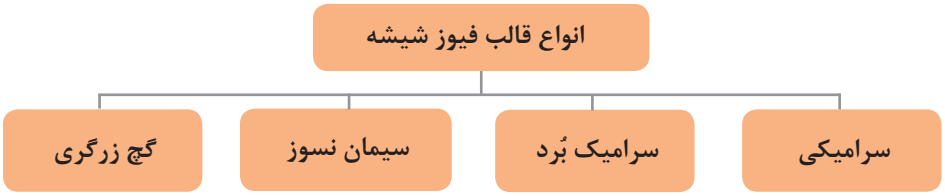
جدول ۱ــ ابزار و تجهیزات فیوز شیشه

وسیله	تصویر
کورهٔ الکتریکی: رایج‌ترین کوره‌ها برای فیوز شیشه، کوره‌های الکتریکی جعبه‌ای است که درب آن از بالا باز و بسته می‌شود.	
ابزار شیشه‌بری	
انبر شیشه‌بری	
سنگ‌ساب (سنگ نفت)	
قالب	

قالب فیوز شیشه

جنس قالب در فیوزینگ شیشه بسیار مهم است زیرا برخلاف شیشهٔ دمی که مدت زمان تماس شیشه و قالب بسیار کم است. در فیوز شیشه، قالب و قطعه در تمام مراحل پخت با هم در تماس هستند بنابراین اگر سرعت سرد و گرم شدن قالب و شیشه با هم تفاوت زیادی داشته باشد، با فشاری که قالب به هنگام انبساط و انقباض

حاصل از تغییر دما به شیشه وارد می‌کند، باعث شکسته شدن شیشه می‌شود.
انواع قالب‌های فیوز شیشه در نمودار ۳ آورده شده است.

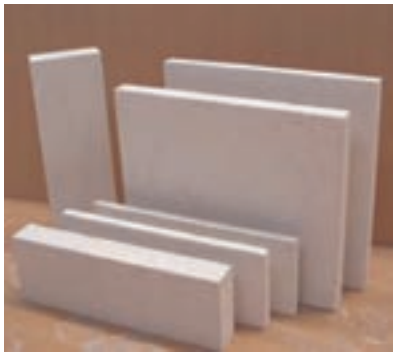


نمودار ۳

قالب سرامیکی: مناسب‌ترین ماده برای تهیهٔ قالب در فیوز شیشه، از نوع سرامیکی است. ترکیب‌آمیزهای شیشه و سرامیک بسیار نزدیک به یکدیگر است، بنابراین برای جلوگیری از چسبیدن شیشه به قالب، روی سطح قالب به ماده نسوز آغشته می‌شود. رایج‌ترین ماده پودر تالک است که به شکل پودر یا بصورت محلول در آب استفاده می‌شود.

شکل ۲۰ـ قالب سرامیکی

سرامیک بُرد: سرامیک بُردها، صفحات نسوز هستند. قابلیت برش آسان، این ماده را به یکی از قالب‌های پرکاربرد در فیوز شیشه تبدیل کرده است.



شکل ۲۱ـ سرامیک بُرد

سیمان نسوز: سیمان نسوز برای ساخت قالب در ابعاد صنعتی و برای تولید قطعاتی که دارای ظرافت کمتری باشند استفاده می‌شود. این نوع سیمان‌ها با دانه‌بندی‌های مختلف در بازار موجود است.
گچ زرگری: نوعی گچ نسوز است که در صنایع جواهرسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این گچ برای ساختن قالب قطعات کوچک و زیورآلات استفاده می‌شود. بعد از قالب‌گیری معمولاً قالب در کوره حرارت داده شده و سپس مورد استفاده قرار می‌گیرد.

نکته

هر نوع شیشهٔ شکسته مانند تکه‌های خرد شده شیشه سکوریت یا شیشه بازیافتی مانند بطری و محصولات شیشه‌ای دیگر مانند تیله و منجوق می‌توانند به‌عنوان مادهٔ اولیه برای فیوز شیشه مورد استفاده قرار گیرند.

حرارت دهی

در فرایند فیوز شیشه، روش حرارت‌دهی به شیشه در کوره بسیار مهم است. مراحل حرارت‌دهی در فیوز براساس نوع شیشه‌های مصرفی متفاوت است. ولی معمولاً حرارت‌دهی در روش فیوز شیشه دارای ۵ مرحله است:

۱ حرارت‌دهی از دمای اولیه تا حدود ۵۲۰ درجهٔ سلسیوس درمدت زمان تقریبی ۱۸۰ دقیقه
۲ ماندن در دمای ۵۲۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه
۳ افزایش دما از ۵۲۰ درجهٔ سلسیوس تا محدوده ۷۷۰ تا ۸۵۰ درجهٔ سلسیوس در مدت زمان ۱۸۰ دقیقه
۴ ماندن در بیشینه دمای حرارت‌دهی به مدت زمان ۱۰تا ۱۵ دقیقه
۵ کاهش دما از دمای بیشینه تا دمای اولیه در مدت زمان حدود ۴۲۰ دقیقه

نکته

مرحله سوم این برنامه حرارتی براساس نوع شیشه‌ها متفاوت است. بنابراین لازم است با انجام آزمایش‌های متعدد برنامهٔ دمایی مطلوب برای فیوز شیشه‌های مختلف را به‌دست آورد.

شکل ۲۲

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۵: فیوز شیشه با استفاده از تکه‌های خرد شده شیشه

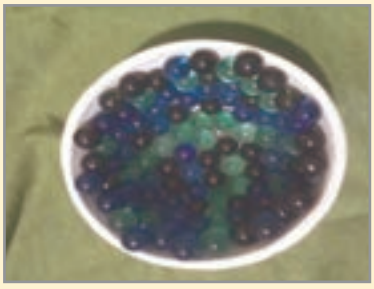
مواد و ابزار: تکه‌های خرد شده شیشه یا تیله‌های شیشه‌ای، ظرف سرامیکی یا سفالی بدون لعاب مانند کاسه به‌عنوان قالب، پودر تالک، قلم‌مو، کوره

شرح فعالیت:

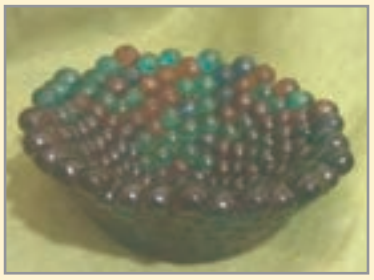
۱ ابتدا پودر تالک را در آب حل کنید و با قلم مو به سطح داخلی قالب بزنید. دقت کنید که تمام قسمت‌های در تماس با شیشه را پوشش دهید. چند دقیقه‌ای صبر کنید تا خشک شود.

۲ سپس خرده‌های شیشه یا تیله‌های شیشه‌ای را در قالب و کنار همدیگر به صورتی که قسمت‌های صاف آنها با هم در تماس باشند به صورت یک لایه قرار دهید، تا پس از اعمال حرارت اتصال‌های محکم بین آنها برقرار شود.

۳ قالبی که با قطعات شیشه‌ای پر شده است را با احتیاط داخل کوره قرار دهید. با راهنمایی هنرآموز خود طبق برنامهٔ حرارتی ارائه شده نمونه را حرارت دهید.



۴ پس از سرد شدن قطعه را از قالب سرامیکی خارج کنید.



نکات ایمنی

۱ در هنگام کار کردن با شیشهٔ خُرد شده احتیاط کنید و حتماً از دستکش استفاده کنید.
۲ بدون حضور هنرآموز از کوره استفاده نکنید.

فعالیت کارگاهی

کار عملی ۶: ساخت سنگ مصنوعی با روش فیوز شیشه
مواد و ابزار: منجوق شیشه‌ای، قالب سرامیکی، پودر تالک
شرح فعالیت:

۱ گِل سفال را به شکل مکعب مستطیل به ابعاد ۳۰×۳۰×۲۰ میلی‌متر درآورید.
۲ سپس یک شکل ساده مانند نیمکره را بصورت فرو رفته روی یکی از وجوه مکعب ایجاد کنید و قالب را پس از خشک شدن برای پخت در کوره قرار دهید.
۳ سطح قالب پخت شده را به وسیله محلول پودر تالک در آب و به‌وسیله قلم‌مو بپوشانید.
۴ منجوق‌ها را در داخل قسمت فرو رفته قالب بریزید و در دمای ۸۱۰ درجهٔ سلسیوس حرارت دهید.
۵ پس از سرد شدن قطعه را از قالب سفالی خارج کنید.

نکته ایمنی

بدون حضور هنرآموز از کوره استفاده نکنید.

روش‌های فیوزینگ شیشه

فیوزینگ شیشه روش‌های متعددی دارد که در زیر به چند مورد اشاره می‌شود.

۱ اِسلامپینگ[۱] و دراپینگ

۲ فول فیوز

۳ ساندویچ گلاس

۱ **اِسلامپینگ :** در روش اسلامپینگ در اثر حرارت، شیشه به طرف قالب توخالی خم شود. در شکل زیر مراحل خم شدن شیشه در قالب نشان داده شده است.

۱ ۲ ۳

شکل ۲۳

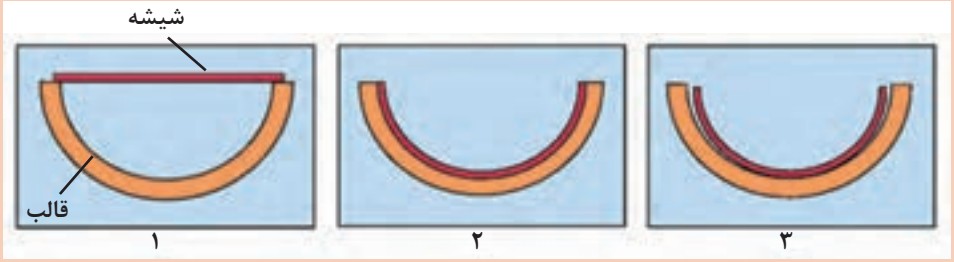
در این روش یک تکه شیشهٔ مسطح بر روی قالبی که به‌عنوان نمونه در وسط آن حفره‌ای ایجاد شده باشد، قرار داده می‌شود. پس از قرارگیری قالب و شیشه در کوره، با افزایش دما شیشه نرم می‌شود و کم کم براساس نیروی جاذبهٔ زمین بخش‌هایی از شیشه در قسمت حفره پایین می‌رود و شکلی فرو رفته به‌خود می‌گیرد.

شکل ۲۴

۱ـ Slumping

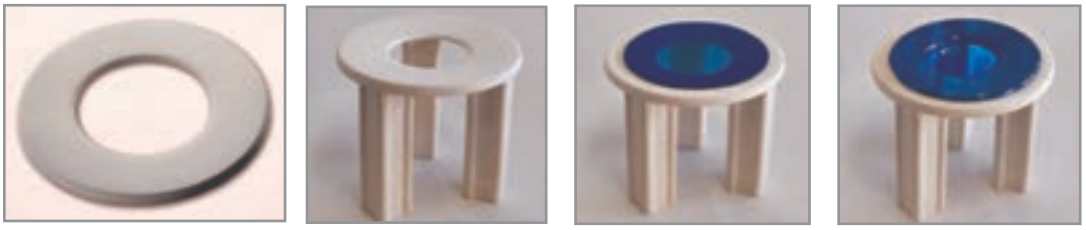
فکر کنید

شکل زیر مراحل اسلامپینگ را نشان می‌دهد. با توجه به تصاویر این شکل چرا شیشه بیشتر از قالب جمع شده است؟



شکل ۲۵

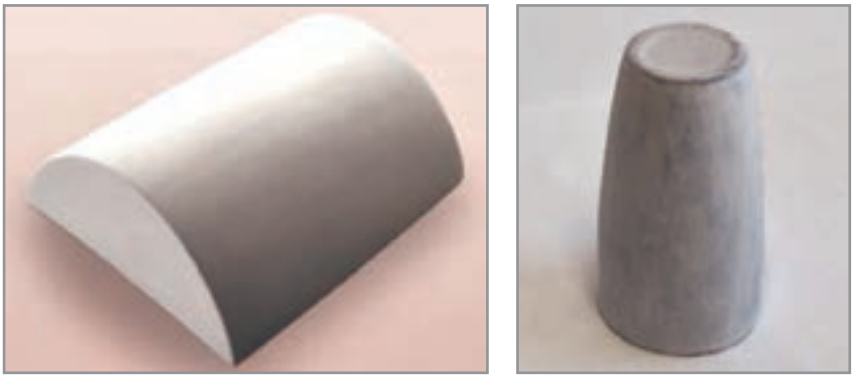
در شکل زیر نمونه‌ای از اسلامپینگ نشان داده شده است. در این روش از قالب توخالی سرامیکی استفاده شده است که بر روی پایه‌های دیرگداز قرار داده شده است.



شکل ۲۶

گاهی برای شکل‌دهی و ساخت بدنه‌های شیشه‌ای، صفحهٔ شیشه‌ای بر قسمت خارجی قالب خم می‌شود که با عنوان دراپینگ[۱] شناخته می‌شود.

معمولاً در دراپینگ جنس قالب مورد استفاده فولاد است.



شکل ۲۷ـ قالب فلزی مورد استفاده در دراپینگ

۱ـ Draping

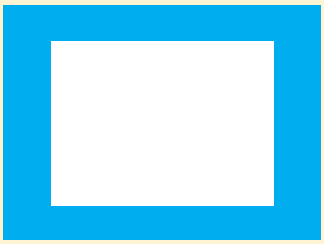
فعالیت کارگاهی

کار عملی ۷: اسلامپینگ با استفاده از نوارهای شیشه

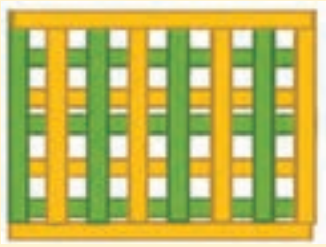
مواد و ابزار : سرامیک بُرد با ابعاد مشخص (به‌عنوان نمونه ۲۵×۲۵ سانتی‌متر)، شیشه ساده در ابعاد ۲۵×۱۰×۶ سانتی‌متر به تعداد ۲۰ عدد و در دو رنگ متفاوت، سنگ نفت، مداد، خط‌کش، ابزار برش

شرح فعالیت:

۱ داخل سرامیک بُرد را مانند شکل زیر خالی کنید. می‌توانید داخل سرامیک بُرد را به‌صورت دایره یا هشت ضلعی یا هر شکل دیگری خالی کنید.

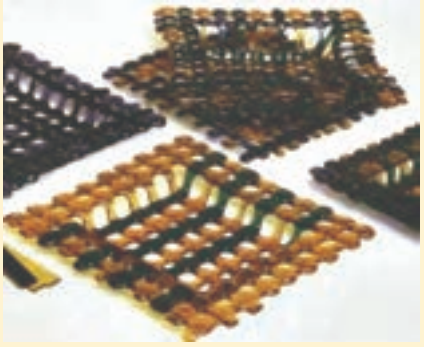


۲ لبه‌ها و گوشه‌های تیز نوارهای شیشه‌ای را به‌وسیله سنگ نفت بسایید به‌طوری‌که هیچ لبه یا گوشه تیزی باقی نماند. شیشه‌ها را به‌وسیله شیشه پاک‌کن و یک دستمال تمیز پاک کنید. نوارهای شیشه‌ای را مانند تصویر زیر روی قالب سرامیک برد ساخته شده بچینید.



۳ با نظارت هنرآموز و با رعایت نکات ایمنی نمونه را در دمایی حدوداً ۸۰۰ درجهٔ سلسیوس و طبق برنامه حرارتی ذکر شده حرارت دهید. در طی عملیات حرارتی علاوه بر اینکه شیشه‌ها به‌هم می‌چسبند شکل قالب سرامیک برد را نیز به خود می‌گیرند.

۴ پس از سرد شدن نمونه را با احتیاط از کوره خارج کنید.



نکات ایمنی

۱ به هنگام سائیدن لبه‌های نوارهای شیشه‌ای از دستکش و عینک ایمنی استفاده کنید.
۲ بدون حضور هنرآموز خود از کوره استفاده نکنید.

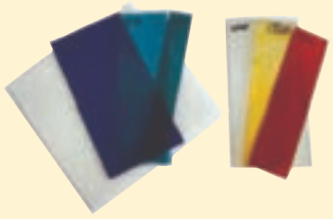
۲ **فول فیوز:** در روش فول فیوز، حرارت دادن و اتصال قطعات شیشه‌ای در بالاترین حد از دمای ممکنِ اتفاق می‌افتد، به‌طوری که قطعات فیوز شده کاملاً به‌هم جوش می‌خورند و ماهیت مجزای خود را از دست داده و محصولی جدید حاصل از جوش خوردن شیشه‌ها به‌دست می‌آید.

شکل ۲۸ــ محصول فول فیوز

۳ **ساندویچ گلاس:** قرار دادن تزیینات موردنظر در میان دو لایه شیشه ساندویچ گلاس نام دارد. در این روش تزیینات شیشه را که حتی می‌تواند تکه‌هایی از فلزاتی چون مس و برنج باشد را در میان دو لایه شیشه قرار داده و حرارت اعمال می‌شود. حرارت باعث ذوب شدن شیشه‌ها می‌شود و دو لایه شیشه و تزیینات بین آنها به همدیگر می‌چسبند.

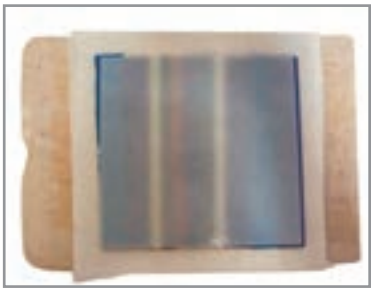
فعالیت کارگاهی

کار عملی۸: ساخت کاشی شیشه‌ای با روش فول فیوز
مواد و ابزار: شیشه تخت سفید یا بی‌رنگ در ابعاد مشخص (به‌عنوان نمونه در ابعاد ۲۰۰×۲۰۰×۶۰ میلی‌متر)، شیشه‌های رنگی به‌صورت نواری با عرض‌های متفاوت و طول برابر با ابعاد شیشه سفید، سنگ نفت، شیشه پاک‌کن، بُرد سرامیکی



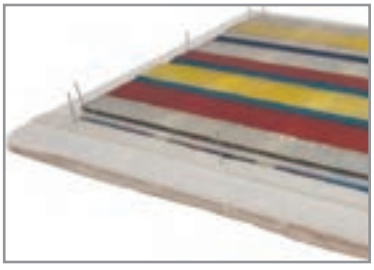
۱ قطعات شیشه رنگی را به وسیله سنگ نفت بسایید تا لبهٔ تیز آنها از بین برود. پس از آن به‌وسیله شیشه پاک‌کن آنها را کاملاً تمیز کنید.

۲ تعدادی از نوارهای رنگی را بر روی قالب سرامیک برد با سلیقهٔ خود بچینید.



۳ شیشهٔ سفید را بر روی نوارهای رنگی چیده شده قرار دهید.

۴ نوارهای باقیمانده را روی صفحهٔ سفید شیشه به صورت عمود بر صفحات لایه اول قرار دهید.



۵ می‌توانید از سنجاق و فیبرهای کاغذی برای جلوگیری از پخش شدن و حفظ شکل شیشه در کوره استفاده کنید.

۶ با کمک هنرآموز خود مجموعه را به کوره منتقل کنید و طبق برنامهٔ حرارتی، نمونه را در کوره حرارت دهید.

۷ پس از سرد شدن با احتیاط نمونه را از کوره خارج کنید.

نکات ایمنی

۱ دقت کنید که حتماً ضریب انبساط حرارتی شیشه‌های مورد استفاده برابر یا بسیار به هم نزدیک باشند.
۲ در هنگام کار با شیشه و ساییدن آنها مراقب باشید و حتماً از دستکش استفاده کنید.
۳ در هنگام قرار دادن و خارج کردن نمونه از کوره نکات ایمنی را رعایت کنید و از دستکش نسوز استفاده کنید.
۴ بدون حضور هنرآموز از کوره استفاده نکنید.
۵ در هنگام خارج کردن نمونه از کوره دقت کافی داشته باشید. زیرا محصول پس از حرارت ممکن است دچار شکستگی شود. درصورتی که اتصال‌ها ضعیف و شکننده بود آزمایش را دوباره و در دمای بالاتر تکرار کنید.

در شکل زیر نمونه‌های تهیه شده به روش فیوز شیشه نشان داده شده است.

شکل ۲۹

شکل ۳۰

مات کردن شیشه

یکی از روش‌های تزیین شیشه از بین بردن تمام یا بخشی از سطح صاف و صیقلی شیشه و مات کردن آن است. به نظر شما چگونه می‌توان سطح صاف شیشه را مات کرد؟

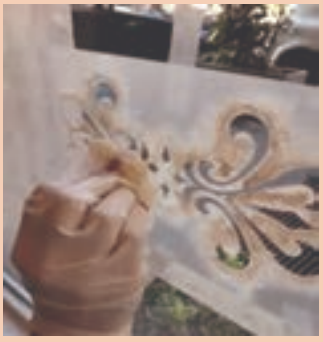
مات کردن شیشه با دو روش زیر قابل انجام است:
۱ـ استفاده از اسید
۲ـ سندبلاست

۱ـ استفاده از اسید

مات کردن شیشه با استفاده از ویژگی خورندگی فلوئوریدریک‌اسید بر روی شیشه انجام می‌شود. این اسید تنها اسیدی است که بر شیشه تأثیر گذاشته و باعث خوردگی آن می‌شود.

شکل ۳۱ـ شیشه‌های مات شده با اسید

نکته



فلوئوریدریک‌اسید بسیار سمی است و در تماس با پوست باعث ایجاد مشکلات پوستی و جسمی می‌شود. به همین دلیل عموماً از «هیدروژن آمونیوم‌بی‌فلوئوراید» که ارزان‌تر و کم‌خطرتر است استفاده می‌شود.

شکل ۳۲

سَندبلاست: سندبلاست روشی برای مات کردن انواع سطوح شیشه‌ای است که با پاشیدن ذرات ساینده مانند سیلیسیم اکسید به سطح شیشه، با فشار و سرعت زیاد انجام می‌شود. علاوه بر مات کردن کل سطح شیشه، می‌توان با پوشاندن برخی از قسمت‌های شیشه طرح‌های متنوعی در سطح آن ایجاد کرد.

شکل ۳۳ـ شیشه‌های سندبلاست شده

تحقیق کنید

سند بلاست در چه صنایعی و برای تولید چه محصولاتی کاربرد دارد؟

ارزشیابی نهایی

شرح کار:
۱ـ آماده‌سازی ابزار و تجهیزات تزیین شیشه
۲ـ آماده‌سازی مواد تزیین شیشه
۳ـ تزیین شیشه
۴ـ پخت
۵ـ کنترل نهایی

استاندارد عملکرد:
تزیین شیشه به روش‌های تراش، حرارت مستقیم، فیوزینگ و با استفاده از رنگ‌ها و مات کردن.
شاخص‌ها:
تمیز و آماده کار بودن ابزار تزیین
تنظیم و آماده کار بودن دستگاه‌ها
آماده‌سازی مواد اولیهٔ مورد نیاز
تزیین شیشه

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:
مکان: کارگاه مجهز به استانداردهای ایمنی
ابزار و تجهیزات: کورهٔ الکتریکی، بوته ذوب شیشه، دستگاه فرز انگشتی، دستگاه ساب و پولیش، مشعل تزیین شیشه و تجهیزات (کپسول گاز، هوا و شیلنگ)، چرخ گردان، انواع ابزار تراش شیشه، بُرد سرامیکی، قالب سرامیکی

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	آماده‌سازی ابزار و تجهیزات تزیین شیشه	۱	
۲	آماده‌سازی مواد تزیین شیشه	۱	
۳	تزیین شیشه	۲	
۴	پخت	۱	
۵	کنترل نهایی	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب	۲	
	میانگین نمرات		*

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

منابع و مراجع

۱ برنامه درسی درس تولید شیشه رشته سرامیک (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۲ شیشه‌گری دستی در ایران ـ حسین یاوری ـ انتشارات سوره مهر

3 Introduction to Glass Lcience and technology / Jane E.Shelly

4 Ceramic Materials / Science and Engineering Carter C.Barry, Norton M.Grant

۵ فناوری تولید الیاف شیشه، دکتر محمد رنجبران، انتشارات دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

۶ شیشه «ساختار، خواص، کاربرد» واهاک مارقوسیان، دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۸۴

۷ شالوده صنعت شیشه جلد ۳ و ۲ و ۱، گروه مترجمین، شیشه قزوین، ۱۳۷۲

۸ تولید و کنترل رنگ در شیشه، سی . ار . بامفورد. «سعید باغشاهی، علی‌رضا میرحبیبی، فتح‌الله مضطرزاده» پژوهشکده صنایع رنگ ایران. ۱۳۸۰.

۹ شیشهٔ ایرانی، شینجی فوکائی، ترجمه آرمان شیشه‌گر، انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۱.

۱۰ صنعت شیشه، فرانسیس جوزف، ترانس مالونی، ترجمه محمد رمضانی، نشر گوتنبرگ، ۱۳۷۹.

۱۱ روش‌های پیشرفته شکل دادن شیشه‌های رنگی، حمید کیامیری، سعید باغشاهی، علی‌رضا میرحبیبی، ناشر نقش بیان، ۱۳۸۶

۱۲ شیشه‌گری دستی در ایران، زهرا تجویری، ناشر سازمان صنایع دستی ایران، ۱۳۵۶

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی جهت ایفای نقش خطیر خود در اجرای سند تحول بنیادین در آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران، مشارکت معلمان را به‌عنوان یک سیاست اجرایی مهم دنبال می‌کند. برای تحقق این امر در اقدامی نوآورانه سامانه تعاملی بر خط اعتبارسنجی کتاب‌های درسی راه‌اندازی شد تا با دریافت نظرات معلمان دربارهٔ کتاب‌های درسی نونگاشت، کتاب‌های درسی را در اولین سال چاپ، با کمترین اشکال به دانش‌آموزان و معلمان ارجمند تقدیم نماید. در انجام مطلوب این فرایند، همکاران گروه تحلیل محتوای آموزشی و پرورشی استان‌ها، گروه‌های آموزشی و دبیرخانهٔ راهبری دروس و مدیریت محترم پروژه آقای محسن باهو نقش سازنده‌ای را بر عهده داشتند. ضمن ارج نهادن به تلاش تمامی این همکاران، اسامی دبیران و هنرآموزانی که تلاش مضاعفی را در این زمینه داشته و با ارائهٔ نظرات خود سازمان را در بهبود محتوای این کتاب یاری کرده‌اند به شرح زیر اعلام می‌شود.

اسامی هنرآموزان شرکت‌کننده در اعتبارسنجی کتاب تولید شیشه، رشته سرامیک ـ کد ۲۱۲۵۱۱

ردیف	نام و نام‌خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام‌خانوادگی	استان محل خدمت
۱	علی‌رضا کریم‌بیگی	یزد	۴	مرجان عزیزی	یزد
۲	شراره شادان‌فر	یزد	۵	جعفر فاضل‌پور	یزد
۳	پریسا اسدالله‌پور	یزد	۶		

هنرآموزان محترم، هنرجویان عزیز و اولیای آنان می‌توانند نظرهای اصلاحی خود را دربارهٔ مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران- صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵- گروه درسی مربوط و یا پیام نگار tvoccd@roshd.ir ارسال نمایند.

وب‌گاه: tvoccd.oerp.ir

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش