

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰى مُحَمَّدٍ وَّآلِ مُحَمَّدٍ وَّعَجِّلْ فَرَجَهُمْ



## تولید شیشه

رشته سرامیک

گروه مواد و فراوری

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه دوازدهم دوره دوم متوسطه





وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



- نام کتاب: تولید شیشه - ۲۱۲۵۱۱  
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی  
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش  
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: ندی دیده‌ور، ناصر ضیاییان مفید، غلامرضا امامی میبدی، بیژن افتخاری، محمدحسن نجاری، مهرداد حبیبی (اعضای شورای برنامه‌ریزی)  
مدیریت آماده‌سازی هنری: ناصر ضیاییان مفید، الهام صمدیین، محمدامین حائری (اعضای گروه تألیف)  
شناسه افزوده آماده‌سازی: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی  
نشانی سازمان: جواد صفری (مدیر هنری) - سمیه قنبری و سورش سعادت‌مندی (صفحه‌آرا) - ابوالفضل بهرامی (عکاس) - محمود شوشتری، مریم دهقان‌زاده (رسام)  
ناشر: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)  
چاپخانه: تلفن: ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹  
سال انتشار و نوبت چاپ: وب‌گاه: www.irtxtbook.ir و www.chap.sch.ir  
چاپ پنجم ۱۴۰۱

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 به صورت 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.



اگر یک ملتی نخواهد آسیب ببیند باید این ملت اولاً با هم متحد باشد و ثانیاً در هر کاری که اشتغال دارد آن را خوب انجام بدهد. امروز کشور محتاج به کار است. باید کار کنیم تا خودکفا باشیم، بلکه ان شاء الله صادرات هم داشته باشیم. شما برادرها الآن عبادتتان این است که کار نکنید. این عبادت است. امام خمینی «قُدَسَ سِرُّهُ»

پودمان ۱: آماده سازی مواد اولیه شیشه ..... ۱

پودمان ۲: ساخت مذاب ..... ۳۷

پودمان ۳: شکل دهی شیشه ..... ۶۳

پودمان ۴: عملیات تکمیلی شیشه ..... ۱۰۷

پودمان ۵: تزئین شیشه ..... ۱۴۷

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- حرفه‌ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

- ۱- شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی ساخت مذاب شیشه
  - ۲- شایستگی‌های غیرفنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه
  - ۳- شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم‌افزارها
  - ۴- شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر
- بر این اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای 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 مرحله 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 مرحله 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](http://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 جدی 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 و حرفه‌ای و کاردانش**

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران 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 ساخت یافته 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 بسته 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 تهیه 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، لمینیت کردن شیشه و مات کردن شیشه توضیح داده شده است.
- پودمان پنجم:** این پودمان تزیین شیشه نام دارد که در آن نحوه اجرا و اصول روش‌های مختلف تزیین شیشه شامل تراش، فیوزینگ شیشه و حرارت مستقیم آمده است.







## پودمان ۱

# آماده سازی مواد اولیه شیشه



برای ساخت قطعات شیشه‌ای با خواص مطلوب، لازم است آمیز مناسب تهیه شده و بعد از آماده سازی و عملیات حرارت دهی ذوب شود. مذاب حاصل، باید به گونه‌ای باشد که قابلیت شکل دهی داشته باشد و بعد از شکل دادن بدنه 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 ۱۰۰-۶۰)، توزین مواد اولیه براساس فرمولاسیون، آماده‌سازی مواد اولیه 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؟

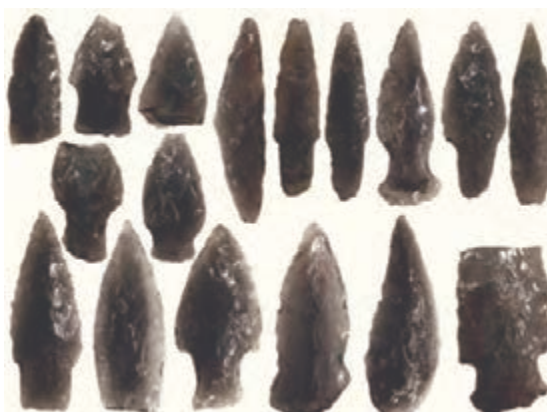


(ب) مواد اولیه

(الف) محصولات شیشه‌ای

شکل ۱

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



شکل ۲- سرنیزه‌های تاریخی ساخته شده از شیشه طبیعی

برخی از شیشه‌های طبیعی از سریع سرد شدن مواد مذاب حاصل از فوران آتشفشان‌ها به وجود می‌آیند که از آن جمله می‌توان به شیشه اُبسیدین<sup>۱</sup> 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.



ب

الف

شکل ۳- 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 ساخته 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 ۴- مهره‌های شیشه‌ای تاریخی

۱- Obsidian

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



ب



الف

شکل ۵- 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 ۶- برخی از کاربردهای شیشه





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

شکل ۷

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

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

تحقیق کنید



نکته



شیشه‌ها اینگونه شناخته شده‌اند که اجسامی ذاتاً شفاف هستند که نور را به خوبی از خود عبور می‌دهند و پشت آنها به وضوح قابل مشاهده است. اما چنانچه نیاز باشد می‌توان با روش‌هایی مانند تغییر ترکیب شیمیایی (شیشه‌های آپال) یا تغییر سطح شیشه (مشجر کردن شیشه) قابلیت عبوردهی نوری شیشه را کاهش داد یا کاملاً از بین برد. در شکل ۸ برخی از این شیشه‌ها نشان داده شده است.



ب



الف

شکل ۸- الف) شیشه مشجر ب) شیشه آپال





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.



ج



ب

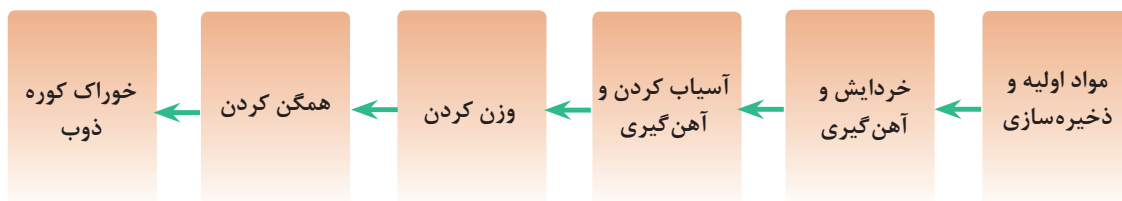


الف

شکل ۹- الف) تک‌بلور کوارتز ب) تک‌بلور آلومینا (یاقوت) ج) سنگ چخماق

## فرایند آماده‌سازی آمیز شیشه

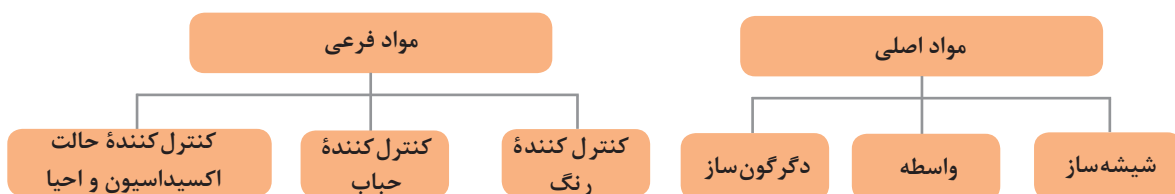
مراحل تهیه آمیز شیشه مطابق نمودار ۱ است.



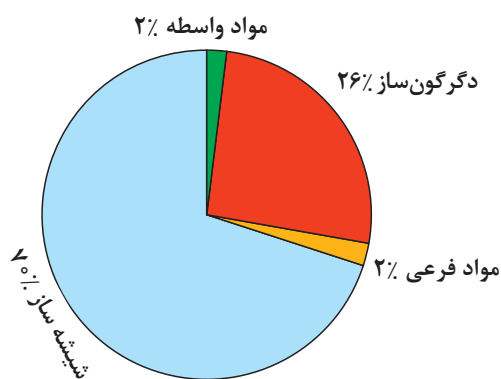
نمودار ۱- مراحل تهیه آمیز شیشه

## مواد اولیه شیشه

آیا می‌توان هر نوع ماده‌ای را در آمیز شیشه به کار برد؟  
مواد سازنده شیشه به دو دسته مواد اصلی و فرعی تقسیم‌بندی می‌شوند:



نمودار ۲



نمودار ۳- انواع مواد اولیه شیشه

وجود مواد اصلی سازنده شیشه در ساخت هر نوع شیشه الزامی است، اما حضور مواد فرعی در آمیز انواع شیشه ضرورت ندارد. به عنوان مثال مواد رنگی کننده فقط در برخی از آمیزهای شیشه استفاده می شوند.

نکته



## مواد اصلی آمیز شیشه

مواد اصلی آمیز شیشه شامل مواد شیشه ساز، مواد واسطه و دیگرگون ساز هستند.

### ۱ مواد شیشه ساز

شیشه سازها موادی هستند که حتی اگر به تنهایی ذوب و سریع سرد شوند متبلور نمی شوند و ساختار آمورف ایجاد می کنند. سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) ماده اصلی شیشه ساز در شیشه است که بیشترین جزء وزنی آمیز را به خود اختصاص می دهد.



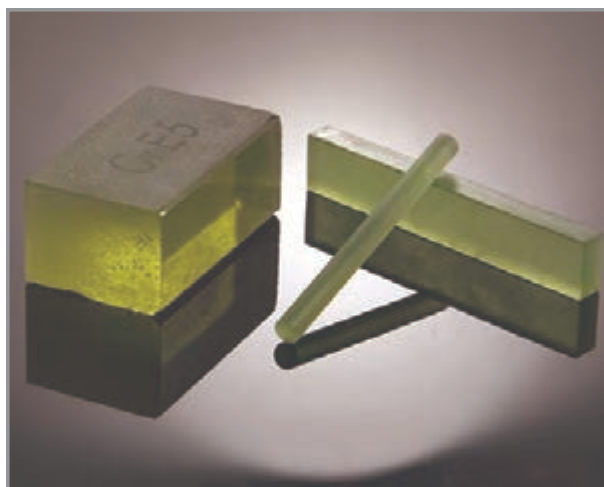
شکل ۱۰- سیلیس

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 شیشه تولید شده بستگی دارد. در جدول ۱ محدوده درصد سیلیس در شیشه‌های مختلف آمده است.

جدول ۱- درصد سیلیس در شیشه‌های مختلف

درصد سیلیس	نوع شیشه
۷۱-۷۳	شیشه ساختمانی
۶۹-۷۳	ظروف غذاخوری بلوری
۶۰-۷۰	ظروف شیشه‌ای کریستال
۷۱-۷۳	شیشه خودرو

به جز سیلیس، مواد دیگری نیز می‌توانند به عنوان ماده شیشه‌ساز مورد استفاده قرار گیرند، مانند بوراکسید و فسفر اکسید 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.



ب) شیشه فسفاتی با کاربرد در دستگاه لیزر



الف) فسفر اکسید

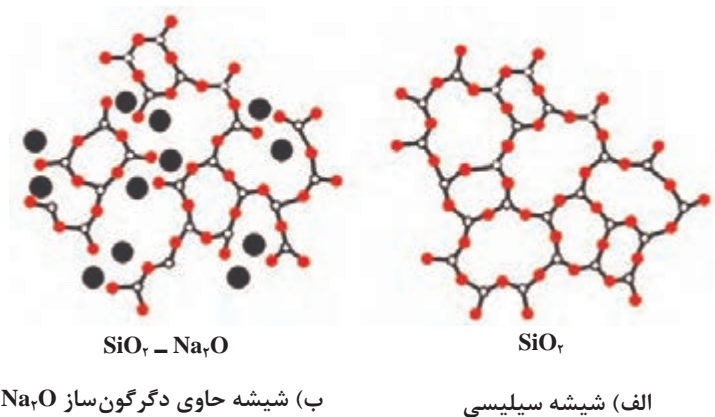
شکل ۱۱

## ۲ دگرگون سازها

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 دگرگون ساز استفاده شود که باعث کاهش دمای ذوب و کاهش گرانروی مذاب شوند.

اصلی ترین و مرسوم ترین دگرگون سازها اکسیدهای قلیایی مانند  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$  و اکسیدهای قلیایی خاکی مانند  $\text{BaO}$ ،  $\text{MgO}$  و  $\text{CaO}$  هستند.

در شکل ۱۲ نقش دگرگون سازها در ساختار شیشه نشان داده شده است. همان طور که در این تصویر می بینید در حضور  $\text{Na}_2\text{O}$  پیوند بین چهاروجهی های سیلیس شکسته می شود.



شکل ۱۲- نقش دگرگون سازها در ساختار شیشه

### کار عملی ۱: ساخت ماکت ساختار شیشه ای

**مواد و ابزار:** میله و ساچمه مغناطیسی (می توان از سایر اجسام کروی در دو اندازه مختلف و میله برای اتصال استفاده کرد).

#### شرح فعالیت:

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



فعالیت کلاسی



### ۳ مواد واسطه

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



شکل ۱۳- کنترل خواص شیشه با افزودن مواد واسطه

میزان استفاده از مواد اولیه واسطه در آمیز اغلب شیشه ها در حدود ۶-۱۰ درصد است. مهم ترین و اصلی ترین ماده واسطه آلومینیوم اکسید ( $Al_2O_3$ ) است. در آمیز شیشه می توان  $Al_2O_3$  مورد نیاز را از کائولن، فلدسپات یا آلومینیوم اکسید تأمین کرد.



شکل ۱۴- کائولن

در برخی از شیشه ها سرب اکسید نیز به عنوان ماده واسطه استفاده می شود.

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

نکته





## کار عملی ۲: تأثیر حرارت بر مواد اولیه اصلی

**مواد و ابزار:** کوره ۱۲۰۰ درجه سلسیوس، بوتله 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 بوتله به صورت جداگانه بریزید.

بوتله	۱	۲	۳
ماده اولیه	سیلیس	کائولن	فلدسپات

۲ بوتله‌ها را درون کوره قرار دهید.

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

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

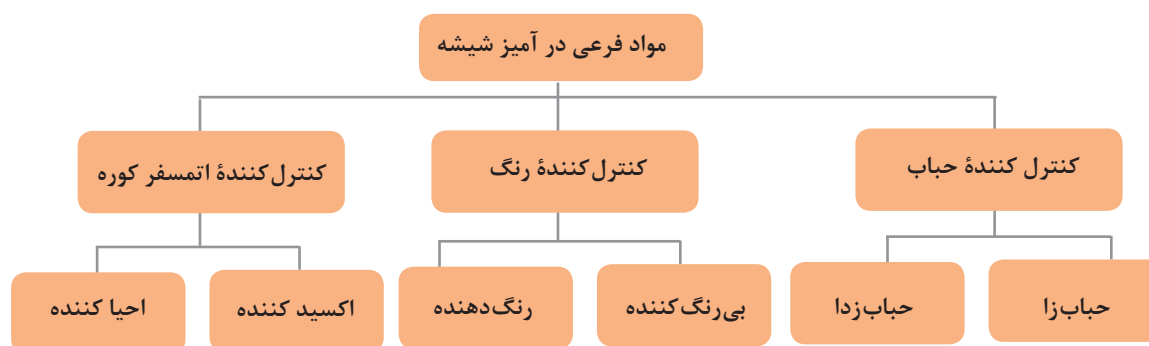


۱ هنگام باز کردن کوره از دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.

۲ هنگام برداشتن بوتله با انبر مراقب خطرات احتمالی باشید.

## مواد اولیه 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:

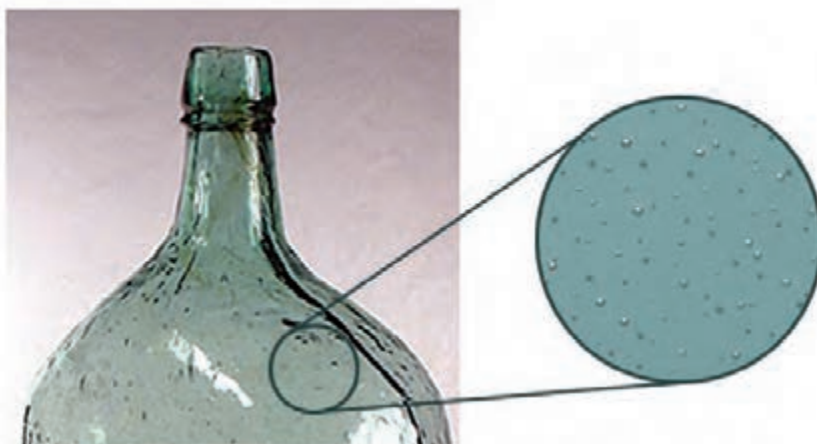


نمودار ۴- انواع مواد فرعی



### ۱ کنترل‌کننده 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 ۱۵- حباب در بدنه شیشه‌ای

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

حباب‌های ایجاد شده در شیشه از چه گازهایی تشکیل شده‌اند؟

تحقیق کنید



در برخی از کارخانه‌ها برای حباب زدائی و تصفیه 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 تولیدکننده گاز در مذاب، حباب‌زدا یا تصفیه‌کننده گفته می‌شود. مهم‌ترین مواد حباب زدا عبارت‌اند از:

- سدیم سولفات ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) به همراه درصد کمی کک
- آرسنیک اکسید ( $\text{As}_2\text{O}_3$ )
- آنتیموان اکسید ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ )
- نمک طعام ( $\text{NaCl}$ ) به همراه فلوئورین ( $\text{CaF}_2$ ) و سدیم نیترات ( $\text{NaNO}_3$ )
- سدیم نیترات ( $\text{NaNO}_3$ )
- سرب اکسید ( $\text{CeO}_2$ )

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

جدول ۲- انواع مواد حباب‌زدا

نوع شیشه	حباب‌زدا
سیلیکاتی	سدیم سولفات ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) به همراه درصد کمی کُک
بوروسیلیکاتی	نمک طعام ( $\text{NaCl}$ ) و فلوئورین ( $\text{CaF}_2$ ) به همراه سدیم نیترات ( $\text{NaNO}_3$ )
کریستال‌های سربی	آرسنیک اکسید ( $\text{As}_2\text{O}_5$ ) و آنتیموان اکسید ( $\text{Sb}_2\text{O}_5$ )

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 شیشه 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.

فعالیت  
کلاسی



## ۲ کنترل‌کننده رنگ

**الف) بی‌رنگ‌کننده‌ها:** مواد اولیه مصرفی برای تولید شیشه باید دارای کمترین میزان ناخالصی‌های رنگ‌زا باشند. مواد اولیه 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.

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

نکته





الف ب  
شکل ۱۶- الف) شیشه بی رنگ شده ب) شیشه بی رنگ نشده

تحقیق کنید



- ۱ رنگ نامطلوب در محصولات شیشه ای چه تأثیری بر کاربرد آنها می تواند داشته باشد؟
- ۲ ترکیبات آهن و کروم به ترتیب باعث ایجاد چه رنگ هایی در شیشه می شوند؟

برای بی رنگ کردن شیشه ها به آمیز مقدار اندکی از مواد زیر اضافه می شود:

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

بیشتر بدانید



رنگبری شیشه با دو روش انجام می شود:

- ۱- شیمیایی: به آمیز شیشه ترکیباتی اضافه می کنند که باعث محو شدن رنگ نامطلوب می شود. به این مواد که باعث محو شدن رنگ می شوند بی رنگ کننده گفته می شود.
- ۲- فیزیکی: رنگ نامطلوب شیشه توسط رنگ های دیگر هم پوشانی شده و محو می شود. نورهای گوناگون از ترکیب سه نور اصلی سبز، آبی و قرمز پدید می آیند که ترکیب آنها نور سفید را به وجود می آورد.



شکل ۱۷

اساس بی‌رنگ کردن 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. به همین 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 ۱۸- شیشه‌های رنگی

چرا ظروف شیشه‌ای زیر را رنگی تولید می‌کنند؟



ب



الف

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

پرسش



### ۳ کنترل‌کننده حالت اکسیداسیون و احیا

یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده برای رنگی کردن 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 به طوری که اتمسفر کاملاً احیایی می‌شود. به شیشه‌های تولید شده در این شرایط، شیشه‌های احیایی گفته می‌شود.



شکل ۲۰- شیشه‌های احیایی

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



ب

الف

شکل ۲۱- الف) شیشه جلویی‌کننده از عبور اشعه خورشید ب) ماسک جوشکاری



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



شکل ۲۲- خُرده شیشه

## ذخیره‌سازی

سیلوه‌های ذخیره‌سازی مواد اولیه شیشه، نخستین واحد هر شرکت سازنده شیشه است. در این بخش از کارخانه باید هر ماده اولیه از تأمین کننده‌های مختلف به صورت جداگانه انبار شود به گونه‌ای که از ورود ناخالصی‌ها و گرد و غبار محیطی به درون آنها محافظت شود.



شکل ۲۳- ذخیره‌سازی مواد اولیه شیشه



نکته



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

فکر کنید



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



شکل ۲۴- سیلوی ذخیره مواد اولیه

نکته



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

در صنعت شیشه‌سازی، اغلب مواد اولیه اصلی مانند سیلیس، کلسیم کربنات، 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 ۲۵- 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 ۲۶- خردایش و آهن‌گیری مواد اولیه

چرا مواد اولیه شیشه باید آهن‌گیری شود؟

پرسش



## آسیاب‌کردن و آهن‌گیری

آیا اندازه ذرات مواد اولیه تأثیری بر فرایند ذوب دارد؟



ب

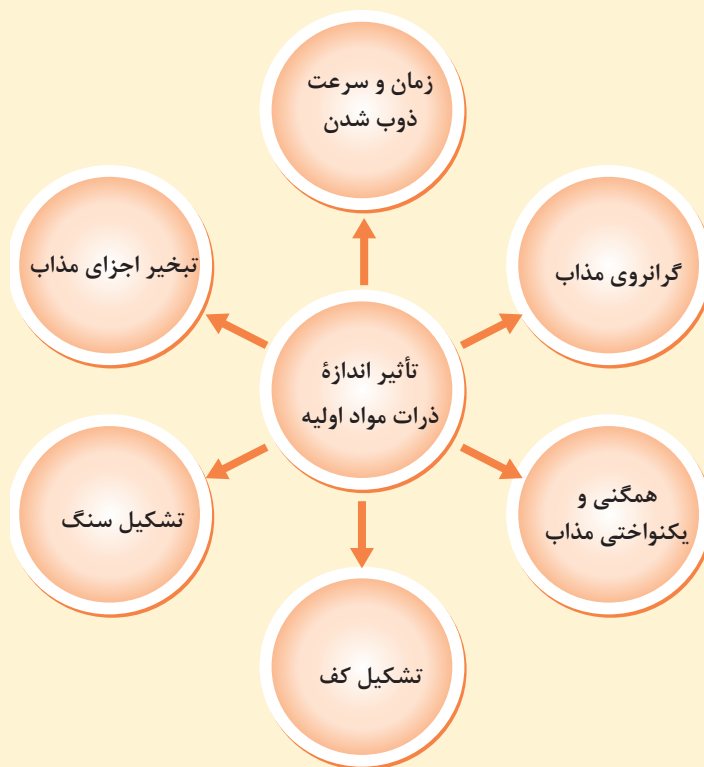


الف

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

مواد اولیه 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.

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



نمودار ۵

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

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.

گفت‌وگو کنید



نکته



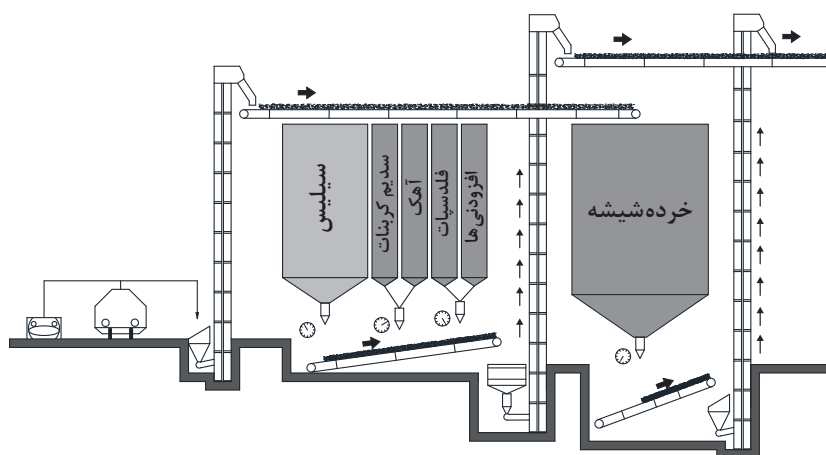
نکات ایمنی





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

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



شکل ۲۹- 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 به صورت برشی از انبارها برداشته می‌شود.



شکل ۳۰- سیلوی سقف دار و برداشت برشی مواد

چرا سیلیس به صورت برشی از انبارها برداشته می‌شود؟

پرسش



موادی مانند فلدسپات، کائولن و کلسیم کربنات (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.

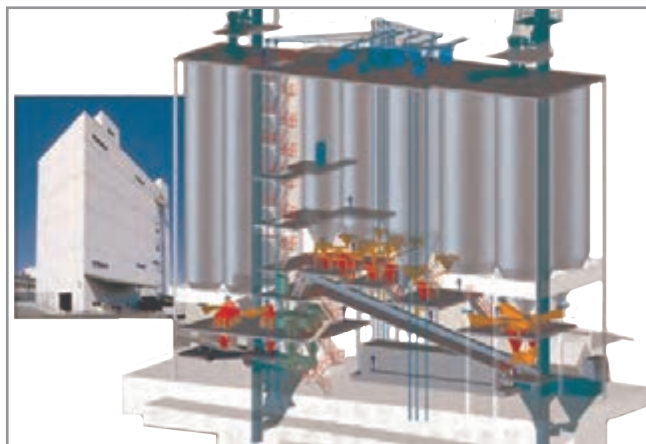


شکل ۳۱- فرایند آهن‌گیری هنگام انتقال مواد پودر شده



## وزن کردن مواد اولیه

هر یک از مواد اولیه آمیز شیشه (اصلی و فرعی) متناسب با درصد آنها در آمیز وزن شده و درون مخلوط کن (بچ پلانت) ریخته می شود. معمولاً ترتیب وزن کردن مواد اولیه به این روش است که ابتدا مواد اصلی مانند سیلیس و سپس مواد فرعی وزن می شود. در اکثر کارخانه های شیشه مراحل آماده سازی آمیز، به صورت دستگاهی طبق برنامه به صورت خودکار از اتاق های فرمان انجام می شود.



شکل ۳۲- وزن کردن و مخلوط کردن مواد اولیه

## همگن کردن آمیز



شکل ۳۳- مخلوط کن (بچ پلانت)

آمیز شیشه در مخلوط کن (بچ پلانت)<sup>۱</sup> در مدت زمان ۳ تا ۵ دقیقه به خوبی همگن و یکنواخت می شود.

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

نکته







دلایل افزودن آب به آمیز در بچ پلانت چیست؟



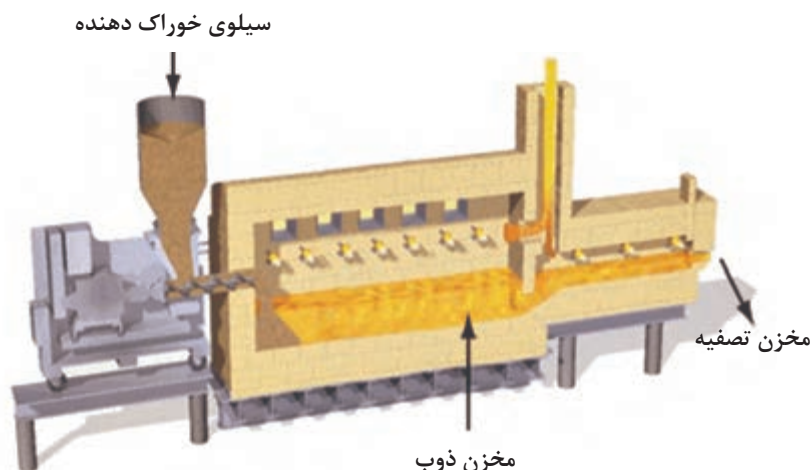
شکل ۳۴- افزودن آب به آمیز

خرده شیشه به دو روش به آمیز اضافه می‌شود:  
الف) در مسیر انتقال آمیز از بچ پلانت به سیلو، خرده شیشه با درصد معین به آمیز روی نوار نقاله افزوده می‌شود.



شکل ۳۵- 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 به صورت لایه لایه (یک لایه آمیز و یک لایه خرده شیشه) به سیلوی خوراک دهنده افزوده می‌شود.



شکل ۳۶- کوره و سیلوی خوراک دهنده

### روش نمونه برداری از آمیز

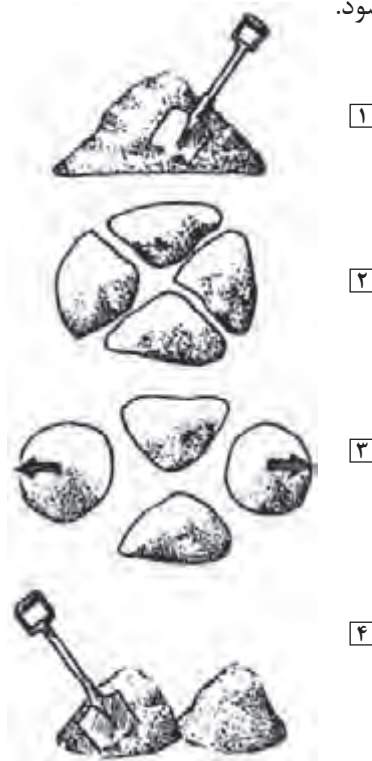
فرض کنید که از شما خواسته شده است که مقداری از آمیز شیشه را برای بررسی آزمون چگالی انتخاب کنید. از کدام قسمت سیلو، آمیز را انتخاب می‌کنید؟

به منظور کسب نتایج کامل تر بهتر است روش نمونه برداری تصادفی باشد که روش آن مطابق زیر است:

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

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

- ۳- دو قسمت از چهار قسمت حذف می شود و دو قسمت باقی مانده با هم مخلوط می شود.
- ۴- مراحل ۲ و ۳ برای مخلوط باقی مانده باید حداقل ۴ بار تکرار شود تا مقدار آمیز مناسب که نشان دهنده خواص کل آمیز باشد، حاصل شود.



شکل ۳۷- مراحل نمونه برداری از آمیز

### کار عملی ۳: آماده سازی آمیز خرد شیشه

**مواد و ابزار:** تکه های شیشه، ترازوی آزمایشگاهی، الک های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوتۀ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، آهنربا

#### شرح فعالیت:

- ۱ تکه های شیشه را خرد کنید.
- نکته:** برای خرد کردن تکه های شیشه آنها را داخل پارچه ضخیمی پیچیده و با ضربه خرد کنید.
- ۲ خرد شیشه ها را درون هاون چینی ریخته و بسایید.
- ۳ آمیز ساییده شده را از الک مش ۴۰ تا ۱۲۰ عبور دهید.
- ۴ با چرخاندن آهنربا در آمیز، آهن گیری کنید.
- ۵ آمیز آماده شده را درون بوتۀ بریزید.

فعالیت  
کارگاهی

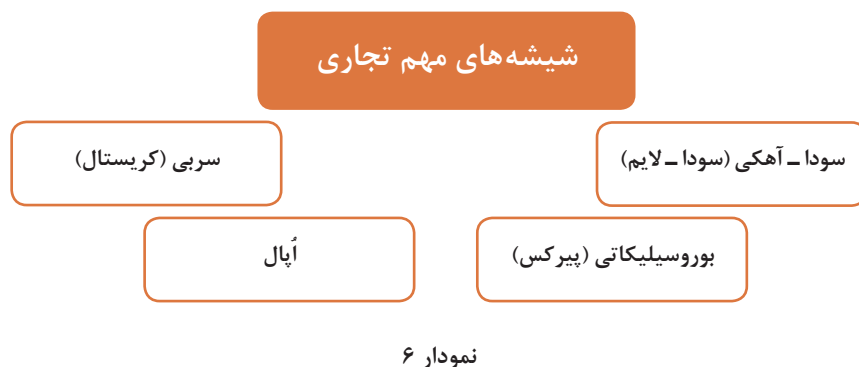




- ۱ هنگام برداشتن مواد از ماسک و دستکش استفاده کنید.
- ۲ هنگام ساییدن آمیز عینک ایمنی بزنید.
- ۳ دقت کنید که طی مراحل آماده سازی آمیز، ایجاد گرد و غبار به حداقل برسد.

## انواع شیشه

انتخاب مواد اولیه برای آماده سازی بستگی به نوع شیشه تولیدی دارد. پرمصرف ترین شیشه ها از لحاظ ترکیب شیمیایی در نمودار ۶ آورده شده است:



### ۱ شیشه سودا-آهکی

حدوداً ۹۰ درصد از محصولات شیشه ای که برای مصارف روزمره مانند شیشه های در و پنجره ساختمان، خودرو، انواع بطری، ظروف پذیرایی، آشپزخانه ای و تزئینی کاربرد دارند از نوع شیشه های سودا-آهکی هستند.



ج



ب



الف

شکل ۳۸- برخی از کاربردهای شیشه سودا-آهکی (الف) شیشه های ساختمانی (ب) ظروف شیشه ای (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 مصرف‌کنندگان 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 ۴۰-۱۵ درصد خرده شیشه که از ضایعات شیشه به‌دست می‌آیند اضافه می‌کنند.



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



از آنجایی که سدیم اکسید مورد نیاز برای تولید این شیشه‌ها از سودا ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) و کلسیم اکسید را از آهک ( $\text{CaCO}_3$ ) تأمین می‌کنند شیشه‌های سودا آهک (سودالایم) نیز نامیده می‌شوند.

جدول ۳- محدوده آنالیز شیمیایی شیشه‌های سودا-آهکی

اکسید	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$
درصد	۷۰-۷۳/۵	۰/۶-۲	۱۳-۱۵	۶-۱۱	۳/۵-۴/۵

در کارگاه‌های شیشه‌گری ترکیب آمیز سودا-آهکی که در کوره بارگیری می‌شود به سه روش تهیه می‌شود:

- ۱ مواد اولیه (عیار)
- ۲ مواد اولیه و خرده شیشه
- ۳ خرده شیشه



#### کار عملی ۴: آماده‌سازی آمیز شیشه سیلیکاتی

مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم کربنات، دولومیت، کلسیم کربنات، ترازوی آزمایشگاهی، الک مش ۴۰ الی ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوته دیرگاز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش و آهن‌ربا.

#### شرح فعالیت:

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

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

- 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.



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





- 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 ۴۰- 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 سودآهکی 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.



ب



الف



ج

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

محدوده آنالیز شیمیایی شیشه‌های بوروسیلیکاتی در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- ترکیب شیمیایی شیشه‌های پیرکس

اکسید	SiO <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
درصد	۷۹/۵-۸۰/۵	۱۲-۱۳	۲-۲/۸	۲-۲/۵	۰-۱/۱

فعالیت  
کارگاهی



#### کار عملی 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 اولیه آمیز را از هر خاک وزن کنید.

ترکیب	سیلیس	بوراکس آبدار	فلدسپات پتاسیک
درصد وزنی (%)	۵۰ - ۶۰	۴۰ - ۶۰	۶ - 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.

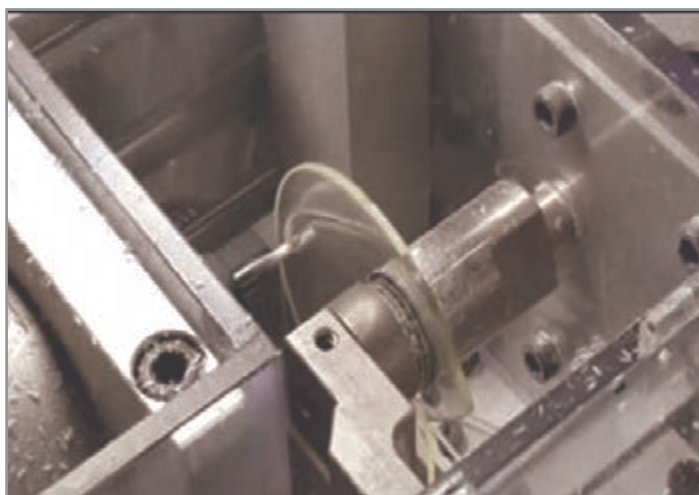
## ۲ شیشه‌سربی (کریستال)

در آمیز شیشه‌سربی درصد قابل ملاحظه‌ای سرب اکسید (۲۶-۱۸ درصد) استفاده می‌شود که این اکسید باعث ایجاد خواص نوری مطلوب در این شیشه می‌شود.



شکل ۴۲- شیشه‌سربی

شیشه‌جاذب امواج خطرناک و برخی ظروف شیشه‌ای تزئینی از جنس شیشه‌سربی هستند. شیشه‌سربی 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 ۴۳- تراش دادن شیشه‌سربی

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

کنجکاوی



در جدول ۵ مقدار آنالیز شیمیایی مواد سازنده شیشه سربی بیان شده است:

**جدول ۵- آنالیز شیمیایی شیشه سربی**

اکسید	SiO <sub>۲</sub>	PbO	K <sub>۲</sub> O	Na <sub>۲</sub> O	ZnO	B <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>
درصد	۶۰-۷۰	۱۸-۲۶	۱۰-۱۲	۲-۴	۰-۱/۵	۰-۲

فعالیت  
کارگاهی



**کار عملی ۶:** آماده سازی آمیز شیشه سربی

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

**شرح فعالیت:**

**۱** براساس محدوده مینرالی شیشه سربی مطابق جدول زیر از هر خاک وزن کنید.

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

**۲** طبق مراحل ۲ تا ۴ کار عملی ۴ آمیز شیشه را آماده سازی 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 آماده سازی آمیز، ایجاد گرد و غبار به حداقل برسد.



**کار عملی ۷:** مقایسه 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 عملی ۴ تا ۶ آماده کنید و چگالی کلی و ظاهری آنها را با هم مقایسه کنید.

#### ۴ شیشه اُپال

شیشه 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 ۴۴- شیشه اُپال



شیشه اُپال با افزودن ترکیباتی مانند  $\text{CaF}_2$  و  $\text{P}_2\text{O}_5$  به آمیز شیشه تولید می‌شوند.

**شرح کار:**

- ۱- آماده سازی وسایل و تجهیزات تهیه آمیز شیشه
- ۲- آماده سازی مواد اولیه تهیه آمیز شیشه
- ۳- آماده سازی آمیز شیشه های سیلیکاتی
- ۴- آماده سازی آمیز شیشه های بوروسیلیکاتی
- ۵- آماده سازی آمیز شیشه های سربی

**استاندارد عملکرد:**

خردایش و دانه بندی مواد اولیه (مش ۱۰۰-۶۰)، توزین مواد اولیه براساس فرمولاسیون، آماده سازی مواد اولیه شیشه های سربی، سیلیکاتی و بوروسیلیکاتی براساس آنالیز شیمیایی شیشه.

**شاخص ها:**

- ۱- آماده سازی ماشین آلات مواد اولیه شیشه
- ۲- تهیه آمیز شیشه های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و شیشه سربی

**شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:**

**مکان:** کارگاه استاندارد ذوب شیشه

**ابزار و تجهیزات:** مواد اولیه آمیز شیشه، ترازو، هاون، الک با مش های 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	آماده سازی وسایل و تجهیزات تهیه آمیز شیشه	۱	
۲	آماده سازی مواد اولیه تهیه آمیز شیشه	۲	
۳	آماده سازی آمیز شیشه های سیلیکاتی	۱	
۴	آماده سازی آمیز شیشه های بوروسیلیکاتی	۱	
۵	آماده سازی آمیز شیشه های سربی	۱	
شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب		۲	
میانگین نمرات			*

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





## پودمان ۲

### ساخت مذاب



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

## واحد یادگیری ۲

### شایستگی ساخت مذاب و یادگیری مهارت آن

هدف از این شایستگی کسب دانش و مهارت ساخت انواع مذاب شیشه با آمیزه‌های 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، محاسبه 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.



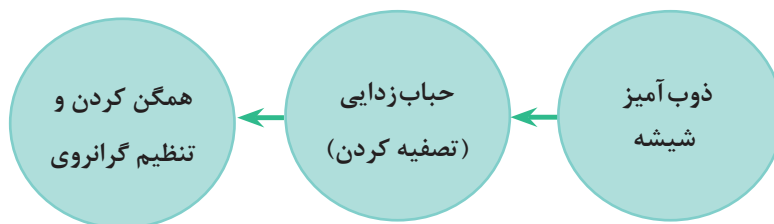
محصول شیشه‌ای

مذاب شیشه

مواد اولیه شیشه

شکل ۱

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



نمودار ۱

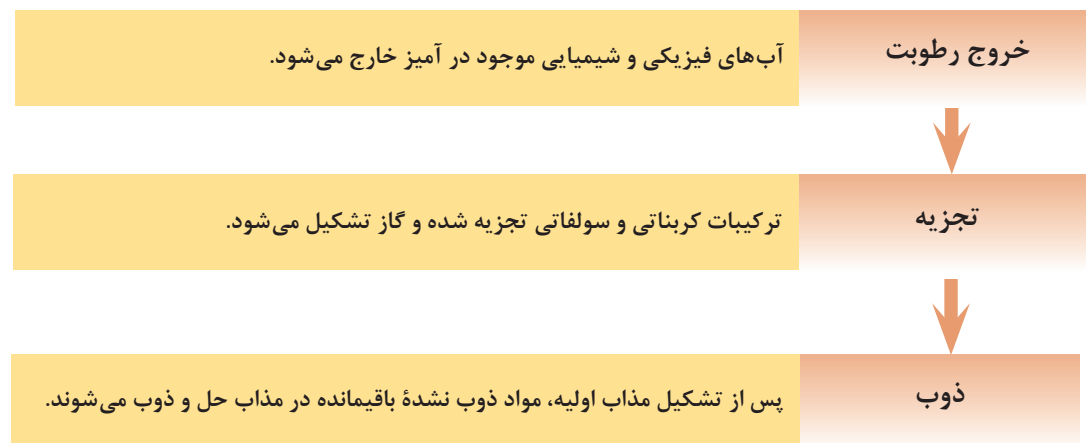
## ذوب آمیز شیشه

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



شکل ۲- تغذیه 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 ۲- واکنش‌های انجام شده در آمیز شیشه هنگام ذوب

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

فعالیت  
کلاسی



### مراحل ذوب شیشه با کوره گاز سوز- 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 به تدریج افزایش یابد. علت افزایش تدریجی حرارت کوره موارد زیر است:  
(الف) بوته تَرک بر ندارد.  
(ب) به آرامی آب‌های موجود در آمیز خارج شود.

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

نکته



- ۳ شیر هوا را کمی باز کنید و فن دمنده 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 کوره الکتریکی آزمایشگاهی

- ۱ بوتۀ را در نقطه‌ای از کوره قرار دهید تا از درجهٔ 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 به قدری 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 گرانیوی 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، سدیم کربنات، کلسیم کربنات، دولومیت، بوتۀ 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 بوتۀ دیرگداز بریزید.

جدول ۱

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

- ۲ بر روی دیرگدازهای کف کوره مقداری پودر آلومینا بریزید.
- ۳ بوتۀ 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، بوتۀ 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.



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

## حباب زدایی و تصفیه مذاب

مایعات به طور طبیعی دارای گاز هستند. گازها می توانند به صورت حباب های قابل مشاهده در مایعات مانند حباب هوای حبس شده در عسل باشند. همچنین گازها می توانند به صورت حل شده در مایع و غیرقابل مشاهده باشند مانند انحلال اکسیژن در آب که امکان حیات آبیان را مهیا می سازد ولی غیرقابل مشاهده است.



ماهی در آب



حباب هوا در داخل عسل

شکل ۳

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





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



شکل ۴

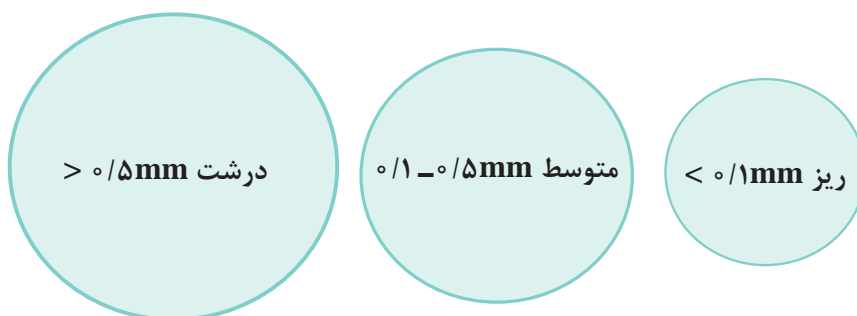
پس از تشکیل مذاب، اساسی‌ترین مرحله حباب‌زدایی است. گرانیوی مذاب شیشه در بهترین حالت فرایند ذوب، در حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ پواز است. بنابراین مقداری از گازها نمی‌توانند از مذاب خارج شوند و باعث تولید حباب در اندازه‌های مختلف در شیشه تولیدی می‌شوند.



مذاب شیشه از آب سفت‌تر است و گرانیوی 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 حل کردن گازها در مذاب و خارج کردن آنها از داخل مذاب، می‌توان استفاده کرد.

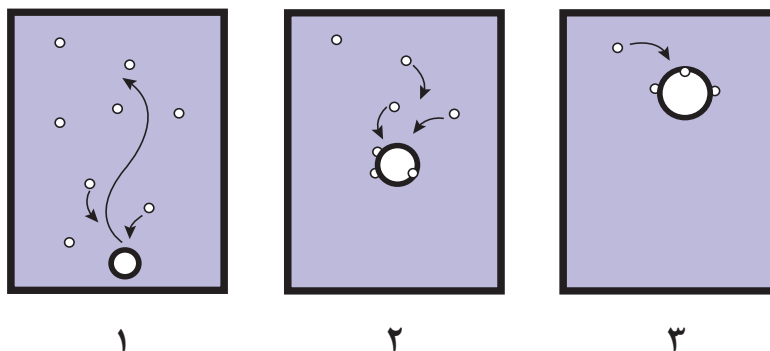
**۱ حل کردن گازها و حباب‌ها درون مذاب:** مشابه حالت میعان با سرد کردن بعضی از گازها می‌توان آنها را در مایع حل کرد. از این روش برای حل کردن گاز کربن دی‌اکسید در نوشابه نیز استفاده می‌شود. به همین ترتیب می‌توان از این ویژگی برای از بین بردن حباب‌ها در مذاب شیشه استفاده کرد. انحلال حباب‌های ریز در مذاب 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 کارایی شیشه تولیدی دارد.

**۲ خارج کردن حباب‌ها از درون مذاب:** حباب‌های متوسط و بزرگ را می‌توان با افزایش اندازه 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 ۵- خروج حباب با افزودن مواد حباب‌زا

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.

نکته





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 گرانیوز 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 کدام یک از این مذاب‌ها یکنواخت خواهد بود؟



شیشه ناهمگن



شیشه همگن

شکل ۶

در شیشه 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 گرانیوز و جریان مناسب داشته باشد.



**کار عملی ۲:** تهیه مذاب شیشه بور و سیلیکاتی

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

**شرح فعالیت:**

**۱** بر اساس جدول زیر آمیز شیشه بوروسیلیکاتی را آماده‌سازی کنید و داخل بوتۀ دیرگداز بریزید.

جدول ۲

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

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



- ۱ کوره گاز سوز باید در مکانی قرار گیرد که تهویه 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 کوره الکتریکی، حتماً برق کوره را قطع کنید.
- ۴ هنگام برداشتن بوته حاوی مذاب شیشه، فاصله 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 <sup>۱</sup>		✓	✓	
مخزنی روزکار <sup>۲</sup>	✓		✓	
ریکوپراتوری <sup>۳</sup>	✓			✓
ریجنراتوری <sup>۴</sup>	✓			✓
کوره الکتریکی <sup>۵</sup>	✓	✓	✓	
کوره با سوخت اکسیژن <sup>۶</sup>	✓		✓	

۱- Pot Furnace

۲- Day Tank

۳- Recuperative

۴- Regenerative

۵- Electric Furnace

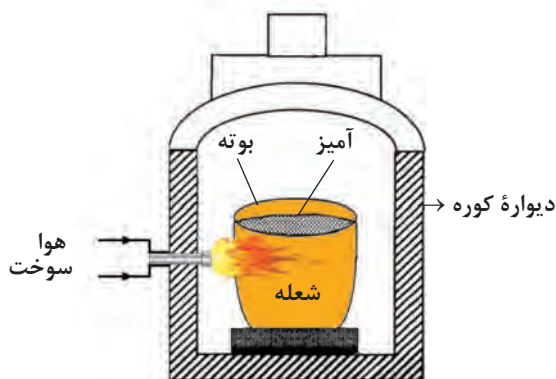
۶- Oxygen - Fuel

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

### کوره‌های بوت‌ای

کوره بوت‌ای شامل بوت‌های است که داخل کوره قرار گرفته و عمل بارگیری و برداشت مذاب از داخل بوت 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 تزئین شیشه‌های تولیدی به کار می‌روند.

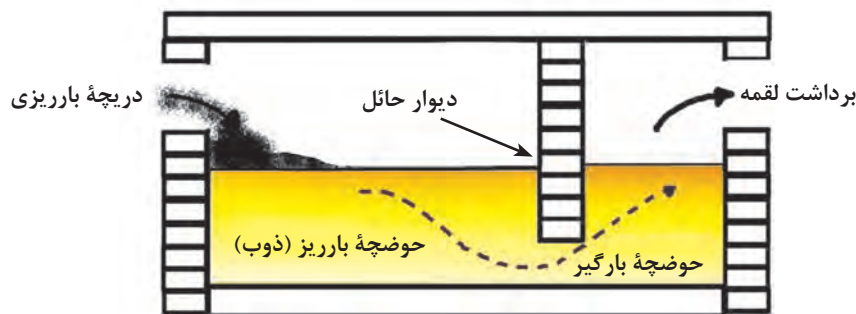


شکل ۷- کوره بوت‌ای

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

### کوره‌های مخزنی روزکار

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



شکل ۸- کوره مخزنی روزکار

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

**۲ دیوار حائل:** دیواری است که ما بین حوضچه ذوب و حوضچه 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:

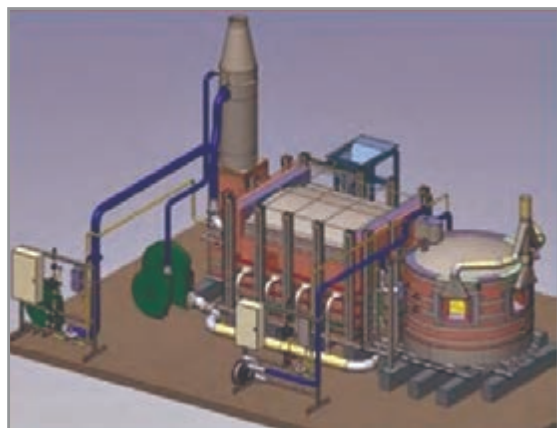
- از ورود مواد ذوب نشده، سنگ‌ها و کف شناور بر سطح مذاب به درون حوضچه بارگیر جلوگیری می‌کند.
- امکان تنظیم دماهای متفاوت را برای حوضچه‌ها فراهم می‌کند.

**۳ حوضچه بارگیر:** در حوضچه 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 حوضچه بارگیر، دریچه‌هایی برای برداشتن لقمه مذاب یا بار تعبیه شده است.



شکل ۹- برداشت بار از حوضچه بارگیر

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



شکل ۱۰- 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.



شکل ۱۱ - کوره‌های مخزنی روزکار

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.

نکته



### کار عملی ۳: تهیه مذاب شیشه سربی

مواد و ابزار : سیلیس، سدیم کربنات، سرب اکسید (سرنج)، پتاسیم کربنات، روی اکسید، بوته دیرگداز، کوره ذوب گازی یا کوره الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی، ماسک.

فعالیت  
کارگاهی



### شرح فعالیت:

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

جدول ۴

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

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



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



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

### کوره بانی کوره‌های بوتۀ‌ای و مخزنی روزکار

کوره‌بان وظیفه راه‌اندازی و کنترل کوره را بر عهده دارد و باید بر نحوۀ 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 پیش گرم شود.
- ۲ بارگیری اولیه باید با خرده شیشه انجام شود و طبق برنامه حرارتی مناسب، دمای کوره افزایش داده شود.



برنامه حرارتی برای افزایش دما، توسط سازندۀ 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 حوضچۀ 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



**کار عملی ۴:** تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا  
مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم کربنات، کلسیم کربنات، دولومیت، مواد حباب زدا (آرسنیک اکسید یا آنتی موان اکسید یا سدیم سولفات یا سدیم نیترات)، بوتۀ دیر گداز، کوره ذوب گازی یا کوره 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	۴۵ - ۵۵	۳۵ - ۴۵	۱۲ - ۱۸	۴ - ۸	۲ - ۴	۲ - ۴

۲ به مقدار ۵/۰ الی ۱ درصد از آمیز، به آن ماده حباب زدا اضافه کنید.

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

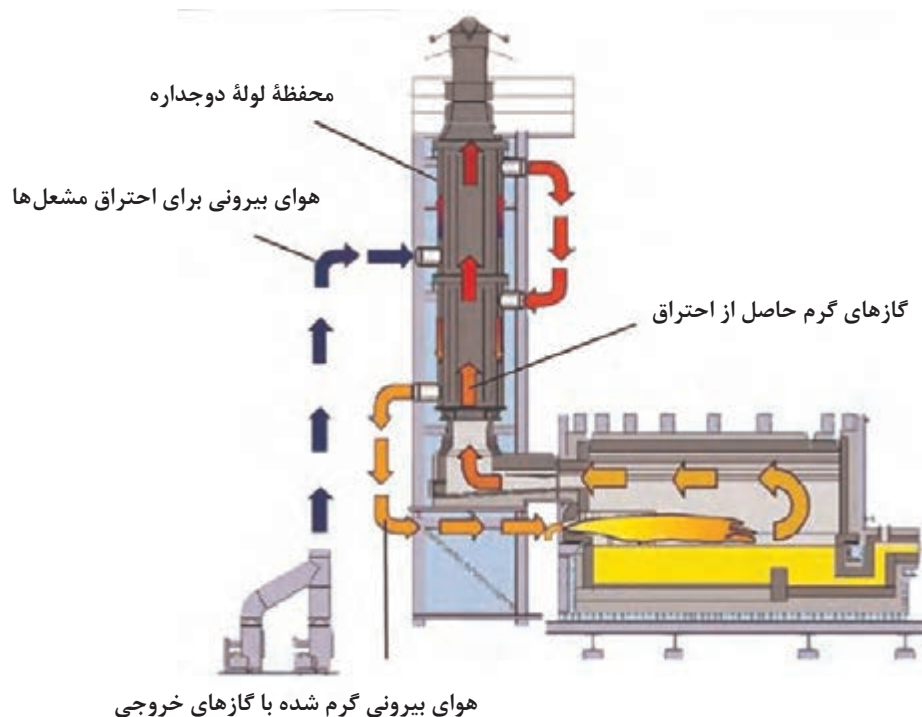


- ۱ کوره گاز سوز در مکانی باشد که تهویه مناسب هوا به خوبی انجام شود.
- ۲ هنگام کار با کوره حتماً از ماسک، دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.
- ۳ برای برداشتن بوتۀ حاوی مذاب شیشه از درون کوره الکتریکی حتماً برق کوره را قطع کنید.
- ۴ هنگام برداشتن بوتۀ حاوی مذاب شیشه، فاصله مناسب از کوره را رعایت کنید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

### کوره‌های پیوسته با سامانه بازیافت حرارتی

شعله 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 پیش گرم می‌کند که به آن سامانه 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.

شناخته شده‌ترین سامانه‌های بازیافت حرارتی سامانه‌های ریکوپراتوری و ریجنراتوری هستند. سامانه ریکوپراتور از یک لوله دوجداره ساخته شده است که هوای داغ کوره در یک جداره و هوای مورد نیاز مشعل‌ها در جداره دیگر جریان دارند. جریان گازها در خلاف جهت یکدیگر بوده و حرارت از گازهای داغ خروجی به هوای سرد ورودی مشعل انتقال می‌یابد.



شکل ۱۳- کوره ریکوپراتوری

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

فکر کنید

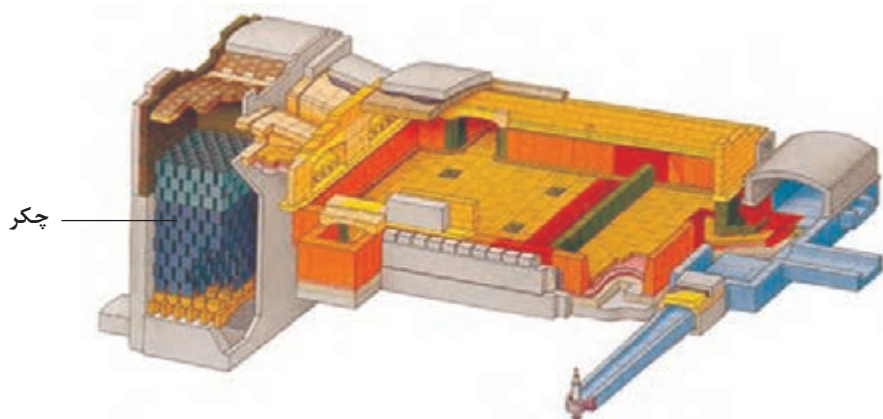


در سامانه ريجنراتور برای گرم کردن هوای مورد نیاز مشعل‌ها از دو مجموعه چکر<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. چکرها اتاقک‌هایی هستند که از آجرهای دیرگداز چیده شده به صورت شطرنجی، صلیبی یا دودکشی ساخته شده‌اند. یکی از چکرها وظیفه خروج هوای داغ کوره و چکر دیگر، وظیفه تأمین هوای مشعل‌ها را بر عهده دارد. وظیفه چکرها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

## انواع کوره‌های ريجنراتوری

### پشت‌گذر

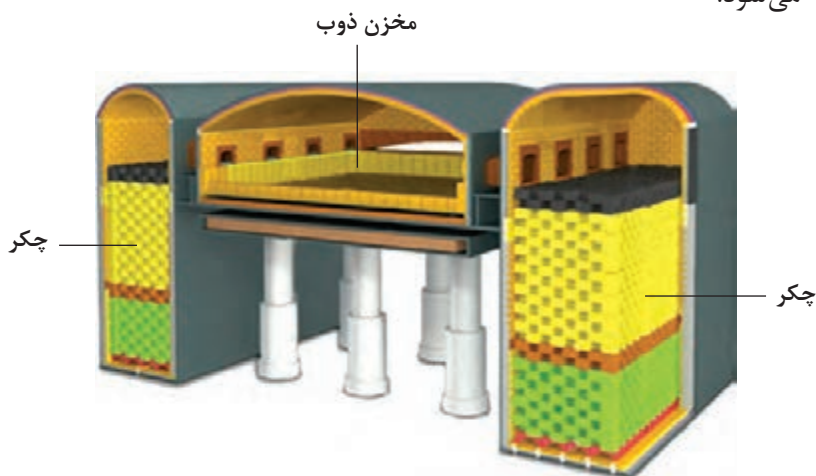
در این کوره‌ها، چکرها در ابتدای کوره و به اندازه عرض کوره در کنار هم ساخته می‌شوند.



شکل ۱۴ - کوره پیوسته مجهز به سامانه بازیافت حرارتی ریجنراتور با چکرای پشت گذر

### پهلو گذر

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



شکل ۱۵ - کوره پیوسته مجهز به سامانه بازیافت حرارتی ریجنراتور با چکرای پهلو گذر

### جدول ۶

ریکوپراتور	ریجنراتور	نوع سامانه
۸۵۰ - ۴۰۰ درجه سلسیوس	۱۳۰۰ - ۸۵۰ درجه سلسیوس	دمای هوای مورد استفاده برای مشعل
۳۰ - ۶۰ تن	۶۰ - ۸۵۰ تن	ظرفیت تولید مذاب در ۲۴ ساعت

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

پرسش





**کار عملی ۵:** تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا و بی رنگ کننده  
مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم کربنات، دولومیت، کلسیم کربنات، مواد حباب زدا و بی رنگ کننده  
شیمیایی (مانند: آرسنیک اکسید، آنتیموان اکسید، سدیم سولفات، سدیم نیترات)، بی رنگ کننده های فیزیکی  
(کبالت اکسید، کبالت کربنات، کبالت سیلیکات، سلنیم اکسید، سلنیم کربنات)، بوتۀ دیرگداز، کوره ذوب گازی  
یا الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی، ماسک

### شرح فعالیت:

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

جدول ۷

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

۲ به آمیز به میزان ۵/۰ الی ۱ درصد ماده حباب زدا و ۱/۰ الی ۵/۰ درصد ماده بی رنگ کننده شیمیایی و  
۱/۰ الی ۳/۰ درصد ماده بی رنگ کننده فیزیکی اضافه کنید.  
۳ مطابق با کار عملی ۱ مذاب شیشه را تهیه کنید.



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

### اجزای مختلف کوره های پیوسته مجهز به سامانه باز یافت حرارتی

ظرفیت و ابعاد کوره پیوسته مجهز به ریکوپراتور و ریجنراتور حداقل بیش از ۱۰ برابر کوره روز کار است. این کوره شامل قسمت های زیر است:

کانال تنظیم  
گرانروی مذاب

مخزن تصفیه

دبوار حائل و گلوگاه

مخزن ذوب

حوضچه بارریز



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

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

پرسش



شکل ۱۷- دریچه بارریز کوره‌های شیشه تخت



شکل ۱۶- دریچه بارریز کوره‌های شیشه ظروف و بطری

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

**۲ مخزن ذوب:** مخزن ذوب<sup>۱</sup> 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.



ب) داخل کوره ریجنراتوری پهلوی گذر



الف) مخزن ذوب کوره ریجنراتوری پشت گذر

شکل ۱۸



**۳ دیوار حائل و گلوگاه:** گلوگاه<sup>۱</sup> 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.

شکل ۱۹- دیوار حائل و گلوگاه در انتهای مخزن ذوب

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

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

بیشتر بدانید



**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:

- ۱- راکد ماندن مذاب درون مخزن برای مدت زمان مشخص
- ۲- کاهش دمای مذاب به میزان ۲۰۰ درجه سلسیوس

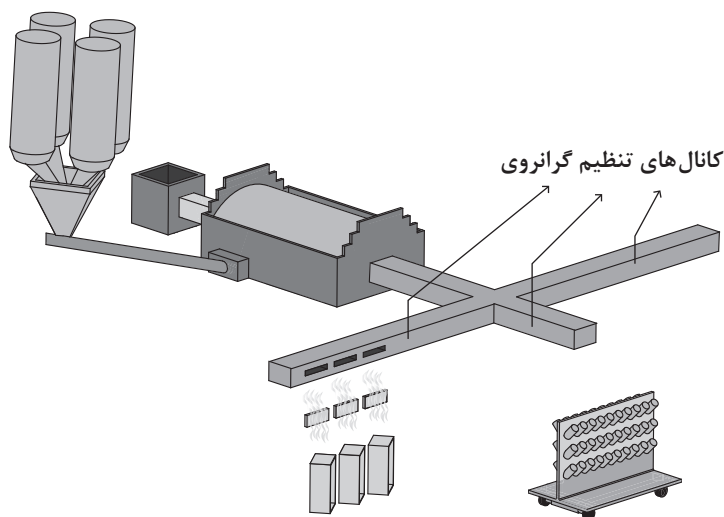
در برخی از کارخانجات شیشه در مخزن تصفیه از همزن مکانیکی برای همگن کردن مذاب و تا حدودی تصفیه کردن آن استفاده می‌کنند.

نکته



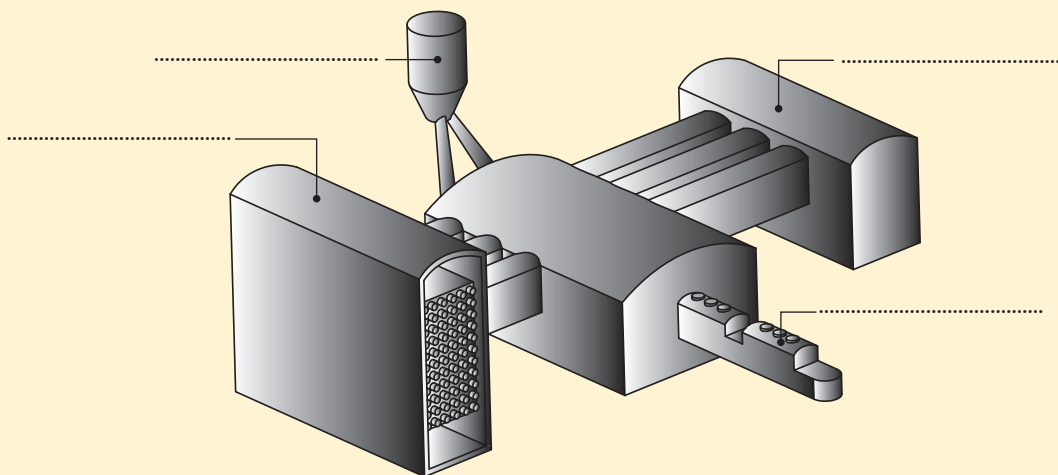
شکل ۲۰- همزن مکانیکی

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 ۲۱- کوره با کانال تنظیم گرانروی (فورهارث)

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:

**جدول ۸ - 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 چک‌های پهلوی 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 $\text{SiO}_2$ و $\text{Al}_2\text{O}_3$ 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 شیشه 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.

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

نکته



در هنگام 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 تغذیه آمیز به صورت مقطعی و بر اساس میزان ظرفیت خروج مذاب از کوره باشد تا فرصت ذوب اولیه به مواد داده شود و به هم نچسبند.

نکته





شکل ۲۳- ریختن آمیز به درون کوره

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

نکته



- 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؟

کنجکاو

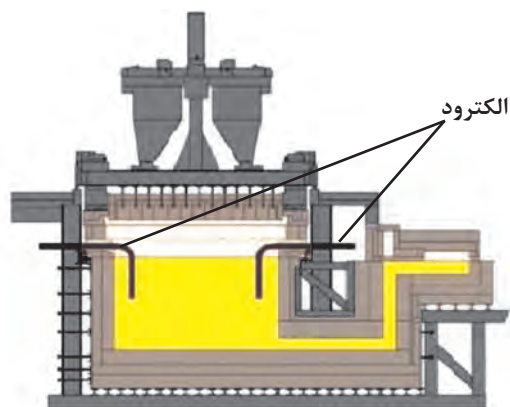


در برخی از کوره‌ها، از اکسیژن به جای هوا برای سوختن مشعل‌ها استفاده می‌شود. در این حالت نیز دمای شعله افزایش یافته و ظرفیت تولید بیشتر می‌شود. این کوره‌ها به کوره سوخت اکسیژن<sup>۱</sup> معروف هستند.

بیشتر بدانید



**کوره 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.



شکل ۲۴- کوره الکتریکی

فعالیت  
کارگاهی



**کار عملی ۶:** تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا، بی رنگ کننده و رنگی کننده مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم کربنات، دولومیت، کلسیم کربنات، مواد حباب زدا و بی رنگ کننده شیمیایی (آرسنیک اکسید یا آنتیموان اکسید یا سدیم سولفات یا سدیم نیترات) و بی رنگ کننده فیزیکی (کبالت اکسید یا کبالت کربنات یا کبالت سیلیکات و سلنیم اکسید یا سلنیم کربنات)، انواع اکسیدهای رنگی یا رنگدانه‌ها، بوتۀ دیرگداز، کوره ذوب گازی یا کوره الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی و ماسک

### شرح فعالیت:

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

جدول ۹

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

۲ به آمیز به میزان ۵/۰ الی ۱ درصد ماده حباب زدا و ۱/۰ الی ۵/۰ درصد ماده بی رنگ کننده شیمیایی، ۱/۰ الی ۳/۰ درصد ماده بی رنگ کننده فیزیکی و ۱ الی ۵ درصد ماده اکسید رنگی یا رنگدانه اضافه کنید.

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





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



**کار عملی ۷:** تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا و احیایی‌کننده  
**مواد و ابزار:** سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم کربنات، دولومیت، کلسیم کربنات، مواد حباب‌زدا (مانند: آرسنیک اکسید، آنتیموان اکسید، سدیم سولفات، سدیم نیترات)، انواع مواد حاوی کربن (ضایعات لاستیک و پلاستیک یا روغن سوخته یا زغال چوب)، بوتۀ دیرگداز، کوره ذوب گازی یا الکتریکی، دستکش نسوز، انبر، عینک ایمنی و ماسک

#### شرح فعالیت:

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

جدول ۱۰

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

- ۲ به آمیز به میزان ۵/۵ الی ۱۰/۵ درصد ماده حباب‌زدا و ۵ الی ۱۰ درصد ماده احیایی‌کننده اضافه کنید.
- ۳ مطابق با کار عملی ۱ مذاب شیشه را تهیه کنید.



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

شرح کار:

- ۱- تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و سربی
- ۲- تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا
- ۳- تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد بی رنگ کننده
- ۴- تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد رنگ کننده
- ۵- تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد احیا کننده

استاندارد عملکرد:

ساخت مذاب شیشه با توجه به فرمولاسیون، محاسبه مقدار مواد حباب زدا، رنگی کننده و بی رنگ کننده، همگن سازی مذاب.

شاخص‌ها:

تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و سربی  
تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا بی رنگ کننده، مواد رنگ کننده و یا احیا کننده

شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

مکان: کارگاه استاندارد ذوب شیشه

ابزار و تجهیزات: مواد اولیه آمیز شیشه، کوره گازی یا الکتریکی ذوب شیشه، بوتۀ ذوب شیشه، انبر، بوتۀ، دستکش نسوز، ماسک، عینک ضد اشعه و لوازم حفاظت فردی، لباس کار

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنجار
۱	تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی	۲	
۲	تهیه مذاب شیشه‌های بوروسیلیکاتی	۱	
۳	تهیه مذاب شیشه‌های سربی	۱	
۴	تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا	۱	
۵	تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد بی رنگ کننده، رنگ کننده و احیا کننده	۱	
شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب			
میانگین نمرات			*

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



## پودمان ۳

### شکل دهی شیشه



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

## واحد یادگیری ۳

### شایستگی شکل دهی شیشه و کسب مهارت آن

هدف از این شایستگی فراگیری دانش و مهارت شکل دهی مذاب شیشه به روش دستی و دستگاهی است که براساس آن مراحل شکل دهی انواع روش ها به همراه نکات فنی و عملی توضیح داده شده است. کسب مهارت شکل دهی بدنه های مختلف شیشه ای در این واحد مورد توجه قرار دارد.

#### استاندارد عملکرد

شکل دهی بدنه شیشه های تزئینی، آزمایشگاهی، مهره های شیشه ای، ساخت الیاف شیشه ای، برش لوله برای روش شیشه گری با شعله، ساخت گوی شیشه ای به روش دستی.

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



روش دستگاهی



روش دستی

شکل ۱

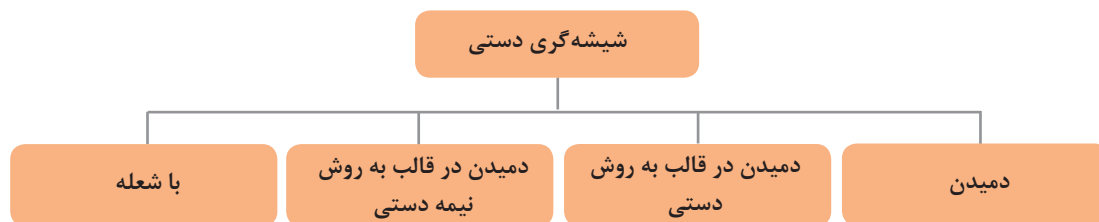
## شیشه‌گری دستی

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 ۲- 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 ۱- انواع ابزارهای شیشه‌گری دستی

نام ابزار	تعریف و کاربرد ابزار	تصویر
لوله 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 تخته چوبی یا گرافیتی ساخته شده و در مواردی مانند شکل دادن و کنترل پایه ظروف مورد استفاده قرار می‌گیرد.	



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

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 به کار می‌رود آمده است.

جدول ۲- وسایل ایمنی مورد نیاز در شیشه‌گری

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

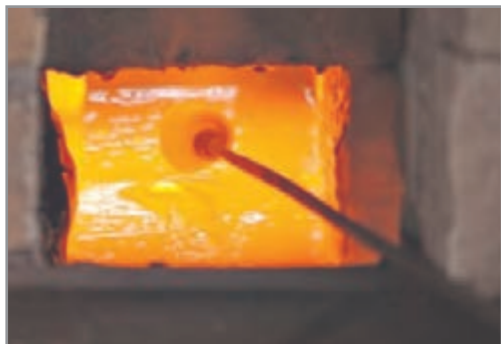
### شیشه‌گری به روش دمیدن

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، به دست می‌آید.



شکل ۳- ایجاد گوی اول بر روی میله دم



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

شکل ۴- افزایش قطر گوی اول با برداشتن مذاب بیشتر

**۳ دمیدن در میله:** پس از افزایش قطر گوی، با دمیدن درون میله دم حبابی در گوی مذاب ایجاد می شود.



شکل ۵- ایجاد حباب در لقمه مذاب با دمیدن

**۴ سرد کردن گوی و قرار دادن آن درون قاشق:** با ایجاد حرکات متناوب و دورانی سعی می شود که گوی حاصل از مرحله قبل کمی سرد شود تا بتواند شکل اولیه خود را حفظ کند و برای مرحله بعد آماده شود. در این مرحله گرانیروی مذاب شیشه زیاد و قطر آن کم است. به همین دلیل گوی شیشه ای برای رسیدن به یکنواختی بیشتر، داخل قاشق قرار می گیرد.



قرار گیری گوی مذاب درون قاشق



سرد کردن گوی با ایجاد حرکات متناوب و دورانی



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



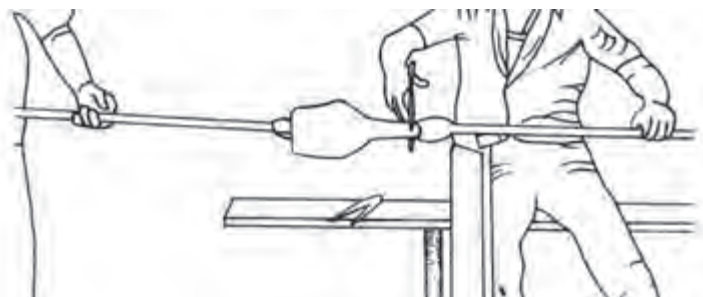
**۵ شکل دهی گوی شیشه‌ای:** پس از حرارت دهی مجدد، با توجه به ابعاد و شکل قطعه مورد نظر درون میله دم دمیده می‌شود تا گوی کره‌ای شکل به وجود آید. سپس مذاب به کمک انبر یا چرخاندن بر روی تخته کار شکل داده می‌شود.

شکل ۷- شکل دهی گوی با کمک ابزار



آیا جنس تخته‌ای که در مرحله شکل دهی استفاده می‌شود، اهمیت دارد؟

**۶ جدا کردن قطعه از میله دم:** برای جدا کردن قطعه از میله دم از میله دم دیگری که حاوی مقدار کمی شیشه مذاب است و به آن واگیره گفته می‌شود، استفاده می‌شود. پس از اینکه لقمه مذاب به شکل موردنظر را به دست 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



شیشه شکل دهی 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 به تدریج خنک شوند.



شکل ۹- قرارگیری شیشه در گرمخانه

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

تحقیق کنید



**کار عملی ۱:** شکل دهی 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، میله دم، قاشق، انبر، حوضچه آب، سنگ کار

فعالیت  
کارگاهی



**شرح فعالیت:**

خرده شیشه را آماده‌سازی و ذوب کنید و سپس مطابق مراحل شکل دهی به روش دمیدن، گوی شیشه‌ای را شکل دهی 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 فاصله مشخصی از کوره باشد تا حرارت منجر به سوختگی او نشود.



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

جدول ۳

توضیحات	تصویر
	
	
	

### 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 ۱۰- 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.



ب) مسئول کنترل قالب و باز و بسته کردن آن

الف) شیشه‌گر در حال دمیدن در قالب

شکل ۱۱- شکل‌دهی گوی شیشه‌ای با روش دمیدن در قالب

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

نکته







**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، بوته دیرگاز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، میله دم، قاشق، انبر، حوضچه 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.



- 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.



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

جدول ۴

تفاوت	شباهت
.....	.....
.....	.....

## دمیدن در قالب به روش نیمه دستی

در این روش از قالب های پرس بادی استفاده می شود که برای تولید محصولاتی مانند بطری و گلدان به کار می رود.



شکل ۱۳- قالب پرس بادی

مراحل شکل دهی با دمیدن در قالب به روش نیمه دستی به شرح زیر است:

۱ مقدار مناسبی مذاب با میله دم از کوره برداشته می شود و آن را بسیار سریع از میله دم جدا کرده و در قالب پرس قرار می دهند.

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

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

## شیشه گری با شعله

بسیاری از محصولات تزئینی شیشه ای و شیشه های آزمایشگاهی مانند استوانه مدرج به وسیله مشعل شکل دهی می شوند.



شکل ۱۴- شیشه گری با شعله

در شکل‌دهی دستی با شعله، لوله‌های شیشه‌ای توپر و توخالی به صورت 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

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

نکته

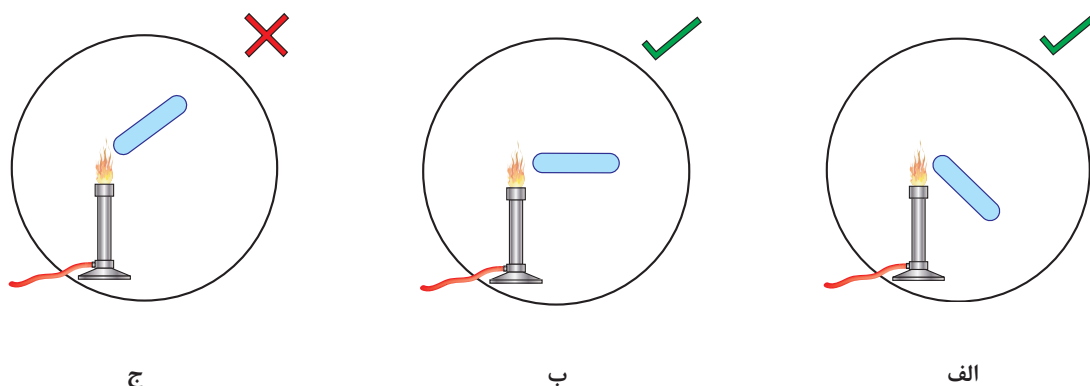


در شکل ۱۶ برخی از محصولات شکل‌دهی شده با شعله نشان داده شده است. با این روش می‌توان آثار هنری زیبایی را تولید کرد.



شکل ۱۶- برخی از محصولات شیشه‌گری با شعله

شیوه صحیح و ناصحیح قرارگیری لوله شیشه‌ای در مقابل شعله در شکل ۱۷ نشان داده شده است:



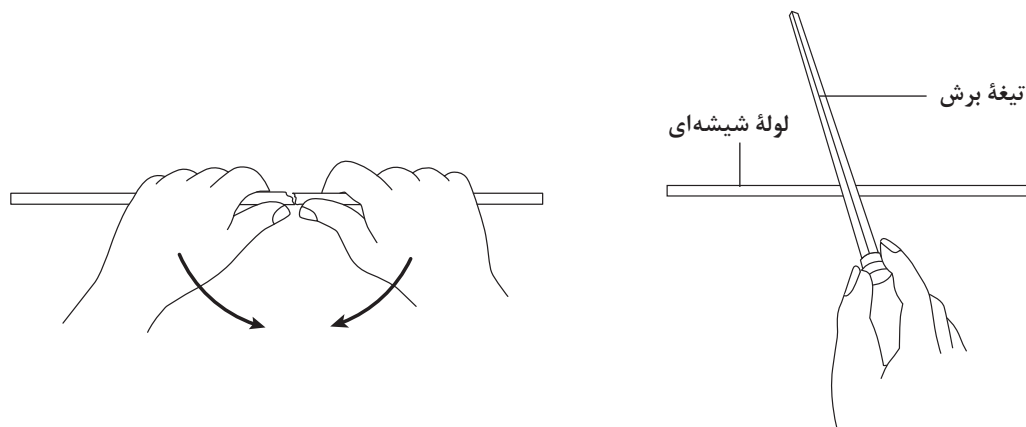
شکل ۱۷- نحوه قرارگیری لوله شیشه‌ای در روش شیشه‌گری با شعله

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

فکر کنید



شیوه برش لوله شیشه‌ای برای شیشه‌گری با شعله



۱- روی دیواره لوله شیشه‌ای به کمک تیغه خط یا شیار  
ایجاد کنید.  
۲- انگشتان دو دست خود را در دو طرف شیار که در مرحله  
قبل ایجاد کرده بودید قرار دهید. انگشتان خود را بچرخانید تا  
برش ایجاد شود.

شکل ۱۸- برش لوله شیشه‌ای

در جدول ۵ مراحل شکل دهی یک نمونه شیشه آزمایشگاهی به روش شیشه گری با شعله نشان داده شده است.  
**جدول ۵- مراحل شکل دهی شیشه آزمایشگاهی**

شماره	شرح فعالیت	تصویر
۱	انتخاب لوله شیشه اولیه و برش آن در ابعاد مورد نظر	
۲	حرارت دهی اولیه با شعله	
۳	شکل دهی و دمیدن همزمان به لوله گرم شده	
۴	حرارت دهی مجدد	
۵	شکل دهی و دمیدن مجدد و ایجاد انحنا (این مرحله چندین بار تکرار می شود)	
۶	بریدن دو انتهای لوله پس از شکل دهی	
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: لوله 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 روشن کردن آن صورت خود را دور از مشعل قرار دهید.
- ۳ لوله 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.



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

جدول ۶

روش شکل‌دهی	محصول
	
	
	



### 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)، نشان‌دهنده 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. دوره غزنویان و سلجوقیان را می‌توان دوره 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 ۱۹- 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؟



ج



ب



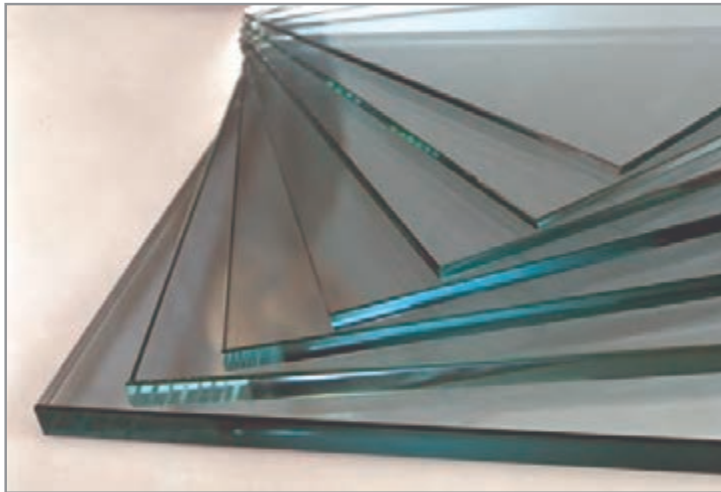
الف

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 به صورت خودکار انجام می‌شود. طراحی دستگاه‌های خط تولید به گونه‌ای است که محصول مورد نظر، در زمان کوتاهی شکل گیرد. مهم‌ترین تولیدات شیشه به روش دستگاهی شیشهٔ تخت و ظروف شیشه‌ای هستند.

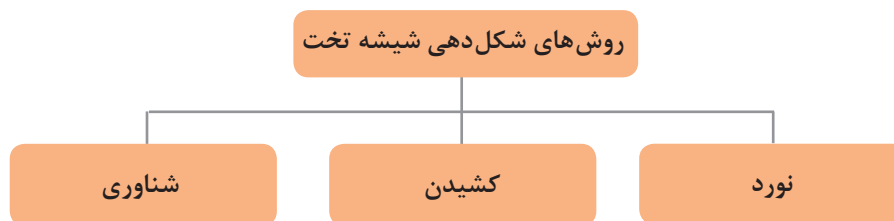
## شیشه تخت

شیشه تخت کاربردهای متنوعی مانند شیشه 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.



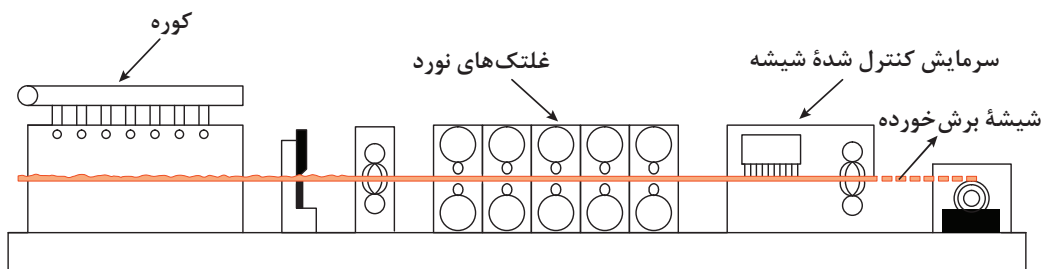
شکل ۲۱

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



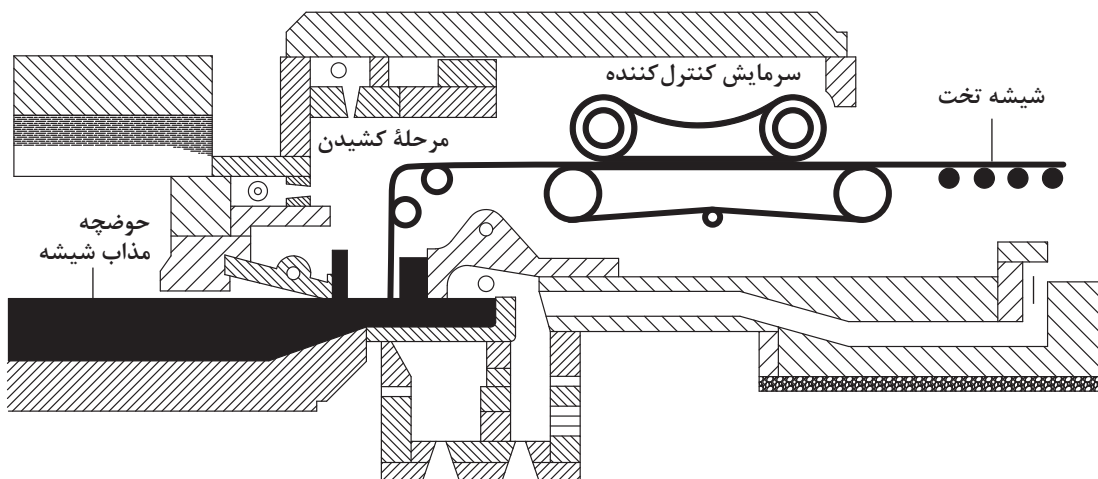
نمودار ۲

**روش نورد:** در روش نورد شیشه 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 شیشه تخت به روش نورد نشان داده شده است.



شکل ۲۲- شکل‌دهی شیشه تخت به روش نورد

روش کشیدن (کَلِپَرن<sup>۱</sup>): در شکل ۲۳ مراحل تولید شیشه تخت به صورت 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. نحوه قرارگیری غلتک‌ها به گونه‌ای 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.

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.

نکته



فکر کنید



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

تحقیق کنید



نوع دیگر از روش کشیدن به نام فورگلت<sup>۱</sup> است. درباره این روش و کاربرد آن تحقیق کنید.

**روش شناوری<sup>۲</sup> (فلوت):** روش شناوری (فلوت) پیشرفته‌ترین روش در تولید شیشه 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 به صورت 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؟

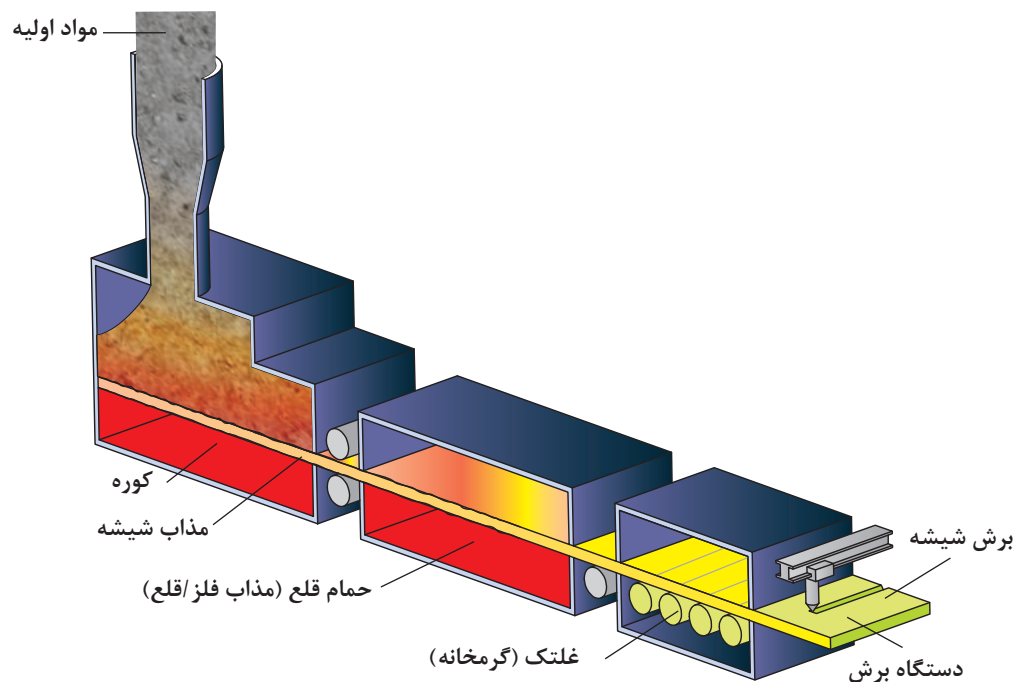


شکل ۲۴- شناوری لایه روغن بر روی آب

۱- Four Cault

۲- Float

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



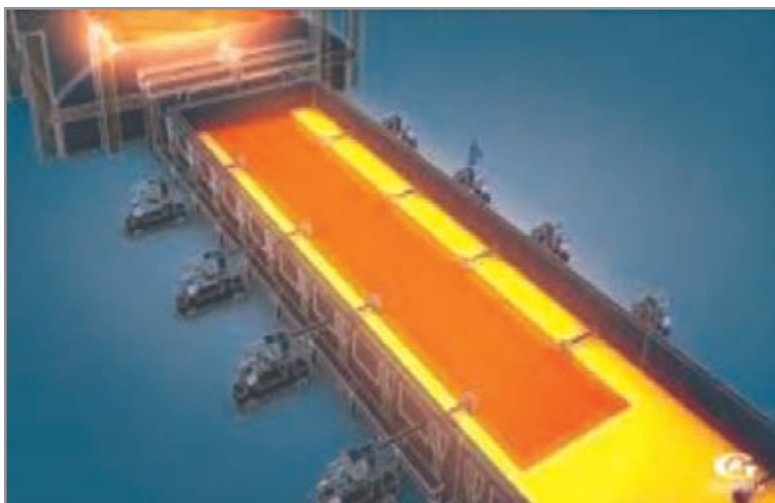
شکل ۲۵- تولید شیشه به روش فلوت

۱ مذاب شیشه به طور پیوسته متناسب با عرض و ضخامت شیشه تولیدی بر روی مذاب فلز قلع در مکانی سرپوشیده به نام حمام قلع ریخته می شود. شناوری لایه مذاب شیشه بر روی قلع مشابه شناوری لایه روغن بر روی آب است.



شکل ۲۶- مذاب شیشه در حمام قلع

۲ مذاب شیشه بر روی مذاب قلع پهن شده و کم کم 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 کارخانه شیشه به ویژه کوره و حمام قلع به وسیله دوربین و حسگرهایی در اتاق فرمان کنترل می‌شود.



شکل ۲۸- اتاق فرمان (کارخانه شیشه اردکان)

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 به صورت نواری شکل گسترده می‌شود.

نکته







در حمام فلوت به جز قلع به کارگیری چه نوع فلز دیگری امکان پذیر است؟

۳ در حمام قلع، مذاب شیشه به شکل تخت با سطوحی کاملاً صاف درمی آید و در حین حرکت به سمت جلو به آرامی و کنترل شده سرد می شود. بنابراین شیشه، در هنگام خروج از حمام قلع شکل خود را کاملاً حفظ می کند.



شکل ۲۹

۴ شیشه تخت تولید شده برای تنش زدایی به گرمخانه منتقل می شود. طول گرمخانه گاهی به ۱۵۰ متر می رسد. شیشه در گرمخانه با کنترل دما و زمان کاملاً تنش زدایی می شود. شیشه در هنگام عبور از این قسمت کم کم سخت و به حالت صلب تبدیل می شود. پس از خروج شیشه از گرمخانه به ابعاد معینی برش داده می شود.



شکل ۳۱- شیشه تخت پس از برش



شکل ۳۰- گرمخانه تنش زدایی شیشه



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



شکل ۳۲- کنترل و بازرسی شیشه

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

فکر کنید



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

نکته



راه حل:

باید اتمسفر حمام قلع کنترل شود. اتمسفری که در حمام قلع به کار 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 ۵/۰ 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 شیشه 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 به صورت اتوماتیک است.

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

نمایش فیلم



فعالیت  
کارگاهی



#### کار عملی ۴: شکل دهی 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 اولیه آمیز را مطابق جدول ۷ وزن کنید.

#### جدول ۷- محدوده مینرالی شیشه سیلیکاتی

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

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-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 قرار دهید.

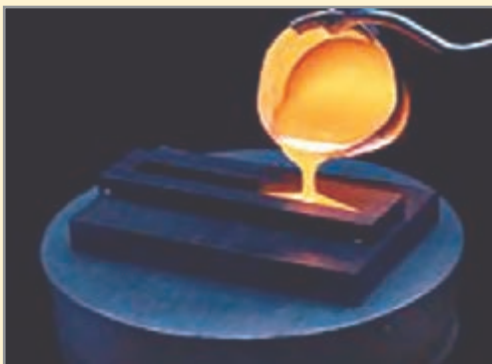
۸ با رعایت نکات ذکر شده در مورد روش کار کوره آزمایشگاهی، مذاب شیشه را تهیه کنید.

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

**نکته:** قرار دادن قالب فلزی در دماهای بالاتر از ۲۰۰-۱۵۰ درجه 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.



ب) شکل دهی مذاب شیشه درون قالب



الف) برداشتن بوته از کوره

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.



**کار عملی ۵:** شکل‌دهی شیشه بوروسیلیکاتی  
مواد و ابزار: سیلیس، فلدسپات پتاسیک، بوراکس، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوتۀ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، قالب فلزی استیل، انبر مواد اولیه‌ی آمیز را مطابق جدول ۸ وزن کنید. سپس طبق کار عملی ۴ مذاب شیشه را در قالب فلزی شکل‌دهی کنید.

جدول ۸- محدوده مینرالی شیشه بوروسیلیکاتی

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



- در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه از لباس و دستکش نسوز استفاده کنید.
- از دست زدن مستقیم به ظروفی که درون آنها مذاب شیشه است پرهیزید.
- 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.

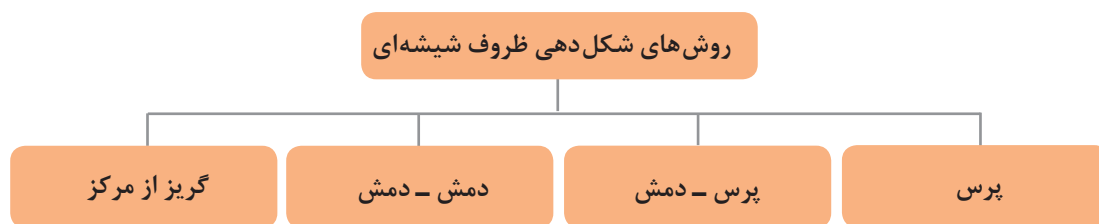
## ظروف شیشه‌ای

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 ۳۴- ظروف شیشه‌ای

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

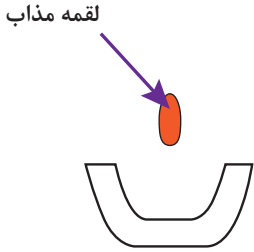
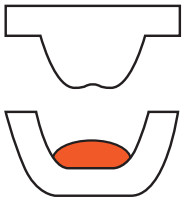



نمودار ۳

### تولید ظروف شیشه‌ای به روش پرس

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

جدول ۹

	<p><b>۱</b> تعدادی قالب پرس در نظر گرفته می‌شود و درون هر قالب لقمه مذاب قرار می‌گیرد.</p>
	<p><b>۲</b> سپس سنبه پرس بر روی لقمه درون قالب قرار می‌گیرد.</p>
 <p style="text-align: center;">بدنه نهایی</p>	<p><b>۳</b> 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.</p>



همان طور که در شکل ۳۵ می بینید شیشه ها پس از شکل دهی برای انتقال به گرمخانه بر روی نوارهایی قرار می گیرند و در هنگام انتقال با اعمال شعله به لبه های شیشه، لبه های تیز و غیریکنواخت از بین می روند که به آن پولیش حرارتی می شود.

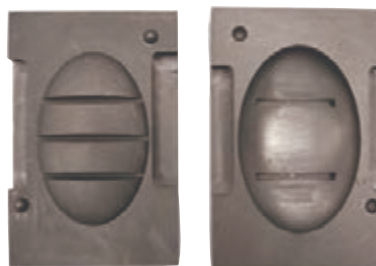


شکل ۳۵- پولیش حرارتی

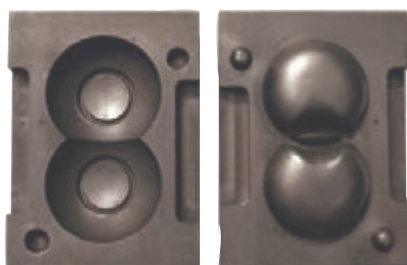
در شکل ۳۶ چند نمونه قالب پرس شیشه نشان داده شده است. قالب پرس شیشه دو تکه یا چند تکه است و برخی از قالب های چند حفره ای نیز قابلیت پرس همزمان چند نمونه را دارد. جنس قالب های به کار رفته در پرس شیشه، فلزی و معمولاً از جنس چدن است.



(ب) قالب سه تکه



(الف) قالب دو تکه



(د) قالب چندحفره ای



(ج) قالب چند تکه ای طرح دار

شکل ۳۶

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



شکل ۳۷- 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، بوتۀ دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش نسوز، صفحه نسوز آلومینایی، انبر

#### شرح فعالیت:

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

#### جدول ۱۰- آمیز شیشه سربی

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

۲- یک قالب فلزی انتخاب کنید.

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

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

۵- شیشه شکل‌دهی شده را از قالب خارج کنید.





- 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.

### تولید ظروف شیشه‌ای به روش پرس - دمش<sup>۱</sup>

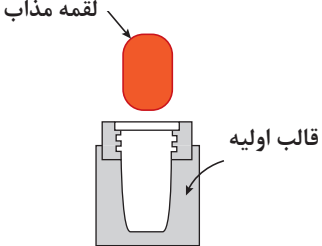
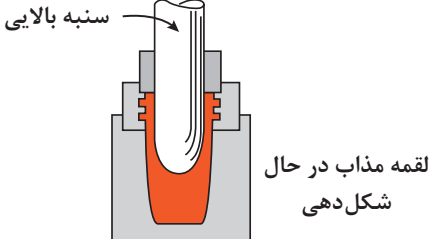
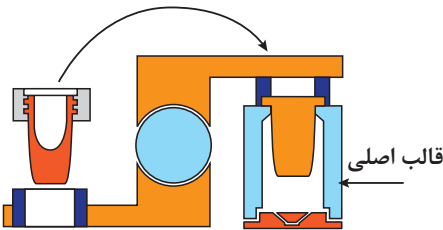
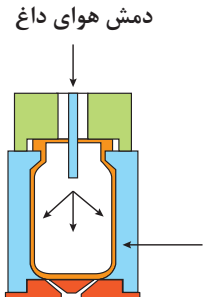
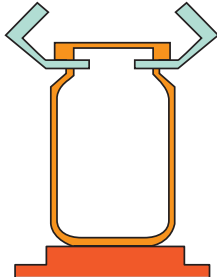
این روش برای تولید محصولات توخالی که دهانه آنها از سایر قسمت‌ها اندکی باریک‌تر است، کاربرد دارد. مرسوم‌ترین محصول تولیدی با این روش شیشه‌های مربا (جار) هستند.



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

در این روش ابتدا لقمه 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 - دمش نشان داده شده است.

جدول ۱۱- مراحل شکل‌دهی با روش پرس - دمش

 <p>لقمه مذاب</p> <p>قالب اولیه</p>	<p>۱ لقمه وارد قالب اولیه می‌شود.</p>
 <p>سنبه بالایی</p> <p>لقمه مذاب در حال شکل‌دهی</p>	<p>۲ یک سنبه از بالا به قالب وارد می‌شود و شکل اولیه لقمه مذاب ایجاد می‌شود.</p>
 <p>انتقال قطعه پیش‌شکل یافته به قالب اصلی</p> <p>قالب اصلی</p>	<p>۳ شیشه پیش‌شکل یافته به وسیله یک اهرم درون قالب اصلی قرار می‌گیرد.</p>
 <p>دمش هوای داغ</p>	<p>۴ درون قالب اصلی هوای داغ دمیده می‌شود.</p>
	<p>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 شعله مستقیم (پولیش حرارتی) از بین می‌روند.</p>

### تولید ظروف شیشه‌ای به روش دمش - دمش<sup>۱</sup>

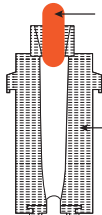
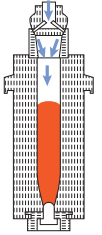
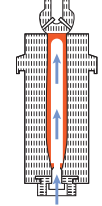
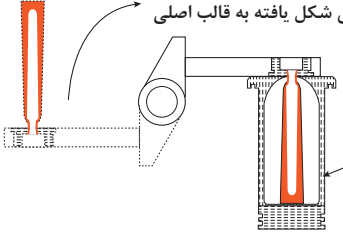
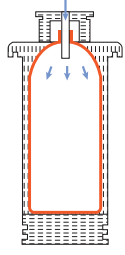
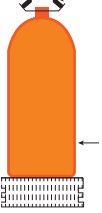
این روش برای تولید انواع بطری‌ها و ظروف شیشه‌ای که قطر دهانه آنها نسبت به بدنه کمتر است به کار می‌رود؛ رایج‌ترین محصولات که به روش دمش - دمش تولید می‌شوند بطری‌های شیشه‌ای هستند.



شکل ۳۹- بطری‌های شیشه‌ای

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

جدول ۱۲- مراحل شکل‌دهی با روش دمش - دمش

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

فکر کنید



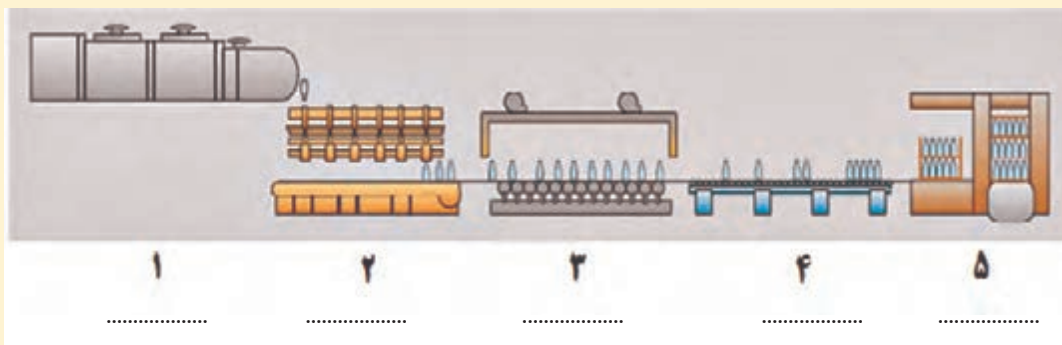
تصویر زیر چه مراحل از شکل دهی بطری های شیشه ای را نشان می دهد؟



شکل ۴۰

شکل ۴۱ نمای ساده یک کارخانه تولید کننده بطری شیشه ای را نشان می دهد. مشخص کنید در هر مرحله چه فعالیتی انجام می شود؟

فعالیت  
کلاسی



شکل ۴۱

کاربردی ترین روش شکل دهی شیشه، روش پرس است. برخی از مزایای این روش نسبت به روش های پرس - دمش و دمش - عبارت اند از:

- ۱ امکان شکل دهی محصولات مختلف با طراحی قالب مناسب آن وجود دارد.
- ۲ به علت عدم ورود هوا به لقمه مذاب تنش های موجود در قطعه کمتر است.
- ۳ ظرفیت و سرعت تولید این روش بیشتر است.

نکته





## کار عملی ۷: ساخت مهره‌های شیشه‌ای (شیشه رنگی)

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

### شرح فعالیت:

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

جدول ۱۳

ترکیب	سیلیس	سدیم کربنات	دولومیت	کلسیم کربنات	کائولن	فلدسپات پتاسیک	اکسید رنگی
درصد وزنی	۴۵-۵۵	۳۵-۴۵	۱۲-۱۸	۴-۸	۲-۴	۲-۴	۰/۵

۲. با استفاده از صفحه نسوز (آلومینایی) تعدادی قالب دایره‌ای شکل برای ساخت مهره 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 میله نازک فلزی درون هر لقمه مذاب سوراخی ایجاد کنید.



شکل ۴۲- مهره‌های شیشه‌ای



- در هنگام شکل دهی 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.



شکل ۴۳- الیاف شیشه

### 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.

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



پارچه‌های ضد آتش



توربین‌های بادی



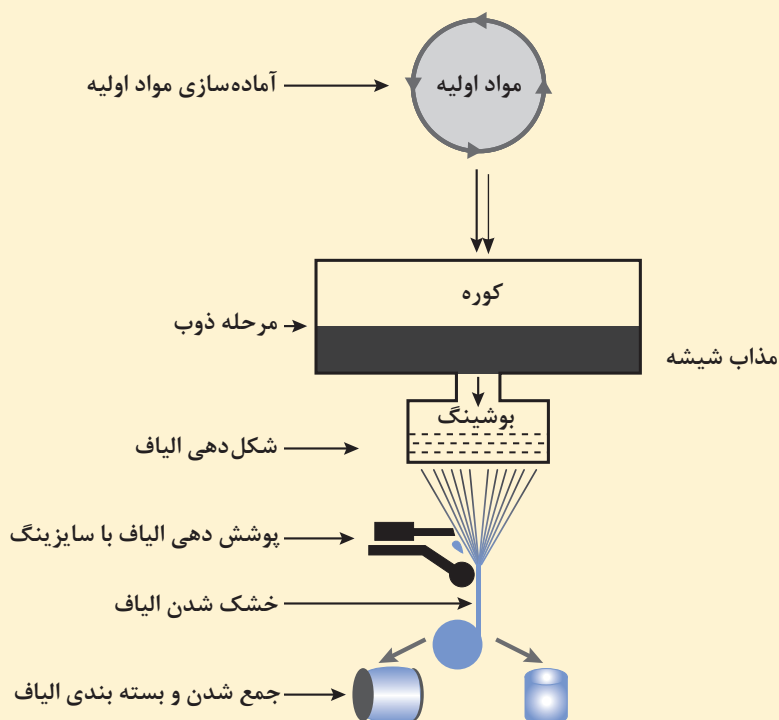
فیبرهای نوری

شکل ۴۴- کاربردهای الیاف شیشه‌ای





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



شکل ۴۵

**۱ آماده‌سازی مواد اولیه:** مواد اولیه 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 کوره ذوب منتقل شده و در



شکل ۴۶

دمای بالا ذوب می‌شوند. مذاب تولید شده در واحد ذوب، برای کشش و تهیه الیاف به راه‌گاه‌های مذاب منتقل می‌شود.

**۳ مرحله 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.

**۴ پوشش دهی الیاف با سایزینگ:** الیاف تولید شده پس از شکل دهی وارد محلول سایزینگ<sup>۱</sup> می شوند و پوششی از این محلول بر روی الیاف ایجاد می شود. این پوشش باعث می شود که الیاف در تماس با یکدیگر دچار ساییدگی و خوردگی نشود.

**۵ جمع کردن الیاف و بسته بندی:** الیاف شیشه پس از عبور از مرحله سایزینگ خشک می شوند. سپس بر روی دوک هایی جمع می شوند و به محصولاتی مانند پارچه تبدیل می شوند تا قابل عرضه به بازار باشند.



(ب) پارچه تولید شده از الیاف شیشه



(الف) الیاف شیشه ای پس از جمع شدن

شکل ۴۷

### کار عملی ۸: شکل دهی الیاف شیشه ای

**مواد و ابزار:** سیلیس، کائولن، فلدسپات پتاسیک، سدیم کربنات، دولومیت، کلسیم کربنات، ترازوی آزمایشگاهی، الک های مش ۴۰ الی ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوته دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، قالب فلزی استیل، دستکش، انبر

### شرح فعالیت:

**۱** مواد اولیه 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 - ۵۵	۳۵ - ۴۵	۱۲ - ۱۸	۴ - ۸	۲ - ۴	۲ - ۴

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

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

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





- 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 نیفتد.

### تولید ظروف شیشه‌ای به روش گریز از مرکز

این روش بیشتر برای تولید ظروف شیشه‌ای آپال کاربرد دارد. در روش گریز از مرکز، لقمه‌ای از مذاب شیشه‌ای درون قالب قرار می‌گیرد. سپس در حالی که قالب حول محور خود می‌چرخد، لقمه 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 آپال در کارخانه نشان داده شده است.

جدول ۱۵- مراحل شکل‌دهی شیشه آپال با روش گریز از مرکز

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

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



## ارزشیابی نهایی

## شرح کار:

- ۱- استفاده از انواع ابزار شیشه گری دستی
- ۲- برداشتن بار با استفاده از میله دم و شکل دهی لقمه مذاب
- ۳- شیشه گری با شعله
- ۴- شکل دهی مذاب شیشه در قالب

## استاندارد عملکرد:

شکل دهی بدنه شیشه های تزئینی، آزمایشگاهی، مهره های شیشه ای، ساخت الیاف شیشه ای، برش لوله برای روش شیشه گری با شعله، ساخت گوی شیشه ای به روش دستی.

## شاخص ها:

کار با ابزار شیشه گری دستی  
 برداشتن بار و شکل دهی قطعات ساده به روش دمیدن  
 شیشه گری با شعله برای تولید شیشه های تزئینی و شیشه های آزمایشگاهی  
 شکل دهی مذاب شیشه با استفاده از قالب جهت تولید بدنه های شیشه ای و مهره های شیشه ای

## 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 ساب شیشه، قالب شکل دهی مذاب، ابزار شکل دهی مذاب شیشه، ابزار پرداخت لقمه مذاب، ابزار برداشت لقمه مذاب، قیچی برش لقمه مذاب

## معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳	نمره هنرجو
۱	استفاده از انواع ابزار شیشه گری دستی	۱	
۲	برداشتن بار با استفاده از میله دم و شکل دهی لقمه مذاب	۱	
۳	شیشه گری با شعله	۱	
۴	شکل دهی مذاب شیشه در قالب	۲	
شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب		۲	
میانگین نمرات			*

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





## پودمان ۴

# عملیات تکمیلی شیشه



با توجه به کاربرد شیشه در زمینه‌های مختلف مانند شیشه اتومبیل، شیشه ضدگلوله و شیشه 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، برش دادن 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 تنش زدایی (آنیلینگ)

در پودمان قبل با روش های شکل دهی شیشه آشنا شدید. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می کنید، شیشه ها هنگام شکل دهی دارای درجه حرارت بالایی هستند.



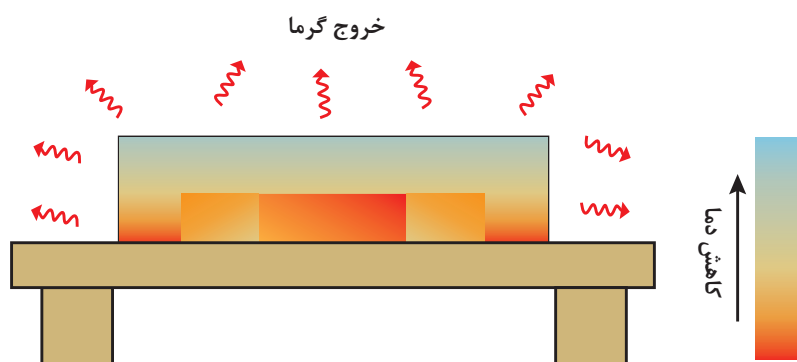
ب) شکل دهی به روش دستگاهی



الف) شکل دهی به روش دستی

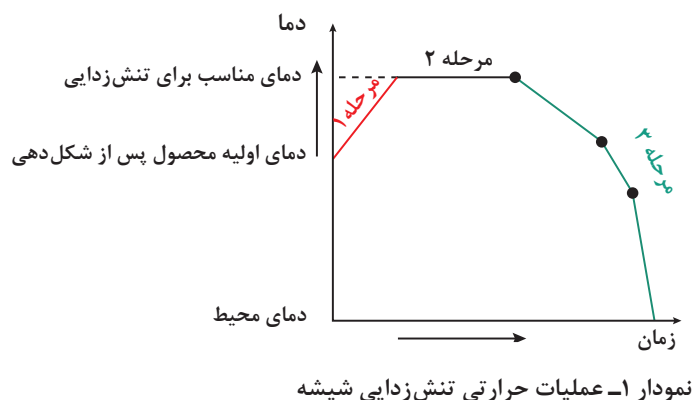
شکل ۱

با توجه به شکل ۲ در هنگام شکل دهی شیشه، سطح آن سریع سرد می شود اما مرکز آن هنوز گرم است؛ این اختلاف دما بین سطح و مرکز شیشه سبب ایجاد تنش در شیشه می شود بنابراین شیشه تولید شده استحکام مناسب نداشته و با ضربه اندکی می شکند.



شکل ۲- اختلاف دما بین سطح و مرکز شیشه

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 تعیین‌کننده آن است.



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 ۲- مراحل تنش‌زدایی شیشه

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

نکته



فکر کنید



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



در هر کارگاه شیشه‌گری برای خروج تنش‌های شیشه، گرمخانه‌ای با درجه حرارت ۴۵۰ تا ۵۵۰ درجه 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.

شکل ۳- گرمخانه کارگاه شیشه‌گری

در صنعت عملیات حرارتی تنش‌زدایی در گرمخانه انجام می‌شود که به آن «لهر»<sup>۱</sup> نیز گفته می‌شود و معمولاً در دمایی در حدود ۵۵۰ تا ۶۰۰ درجه سلسیوس انجام می‌شود. تنش‌زدایی شیشه در این گرمخانه‌ها نسبت به گرمخانه‌های کارگاه‌های شیشه‌گری سریع‌تر و کنترل دمایی دقیق‌تر است. در آزمایشگاه‌ها تنش‌زدایی شیشه در کوره الکتریکی انجام می‌شود. تصویر این کوره‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است.



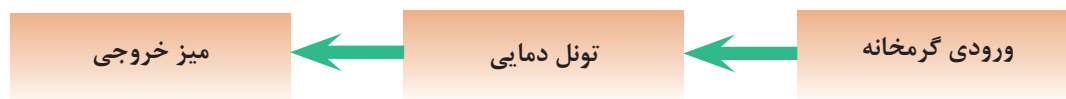
ب) کوره الکتریکی



الف) گرمخانه صنعتی

شکل ۴

گرمخانه‌های صنعتی شیشه شامل قسمت‌های زیر است :



نمودار ۳- قسمت‌های مختلف گرمخانه صنعتی

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 ۵- محصول شیشه‌ای با بدنه انحنادار

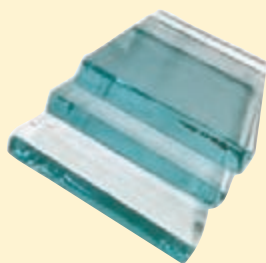
۲ شیشه‌هایی که در بدنه آنها اختلاف ضخامت وجود دارد. به عنوان مثال در شکل ۶ شیشه در قسمت بالایی ضخامت کمتری نسبت به قسمت پایین‌تر آن دارد.



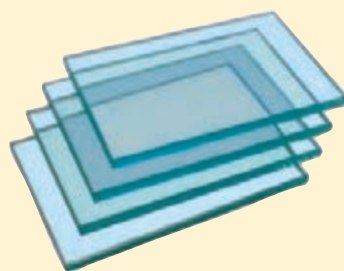
شکل ۶

۳ شیشه‌هایی که ضریب انبساط حرارتی بالایی دارند مانند شیشه‌هایی که درصد وزنی  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  بالایی دارند.

دو قطعه شیشه‌ای از جنس یکسان با ضخامت مختلف در نظر بگیرید:



(ب) شیشه تخت با ضخامت زیاد



(الف) شیشه تخت با ضخامت کم

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  
کلاسی



**کار عملی ۱: تنش‌زدایی شیشه سیلیکاتی**

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

**۱** مواد اولیه آمیز را مطابق جدول ۱ وزن کنید.

**جدول ۱- آمیز شیشه سیلیکاتی**

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

**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 بوتۀ 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** بوتۀ دیرگداز حاوی آمیز شیشه سیلیکاتی را درون کوره قرار دهید.

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

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

**نکته:** قرار دادن قالب فلزی در دماهای بالاتر از ۲۰۰-۱۵۰ درجه 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 درجه سلسیوس

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

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

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

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

**نکته:** در هنگام ریخته‌گری مذاب شیشه، باید دمای کوره آنیل به ۵۵۰ درجه سلسیوس رسیده باشد.

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



- 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.



### 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 ۲- آمیز شیشه بوروسیلیکاتی

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

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



### کار عملی ۳: تنش‌زدایی شیشهٔ سربی

مواد و ابزار: سیلیس، سرنج، سدیم کربنات، پتاسیم کربنات، روی اکسید، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوته 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 ۳- آمیز شیشه‌های سربی

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

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

#### 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، بوته دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، قالب فلزی استیل، دستکش نسوز، انبر، قیچی، میله نازک فلزی و صفحه نسوز آلومینایی

#### شرح فعالیت

مواد اولیه 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	۴۵ - ۵۵	۳۵ - ۴۵	۱۲ - ۱۸	۴ - ۸	۲ - ۴	۲ - ۴	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 ۸- 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.



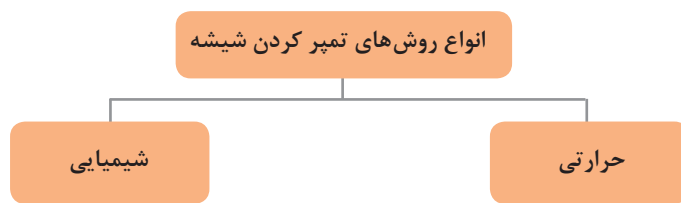
شکل ۹- شکسته شدن شیشه تنش‌زدایی شده در اثر ضربه

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



شکل ۱۰- نمونه‌هایی از شیشه‌های مقاوم در برابر ضربه

برای نشکن‌سازی شیشه‌ها از عملیات حرارتی به نام تمپرینگ<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. شیشه‌ی تمپر 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. تمپر کردن شیشه‌ها به دو روش حرارتی و شیمیایی انجام می‌شود.

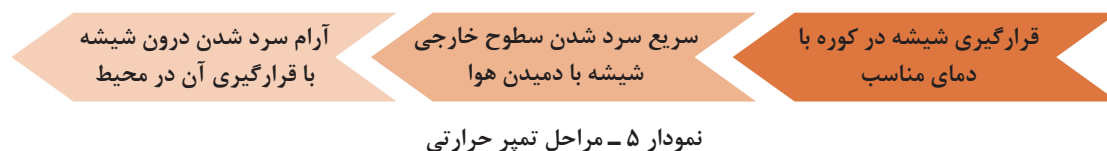


نمودار ۴

۱- Tempering process

## تمپر حرارتی

با انجام تمپر حرارتی 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:



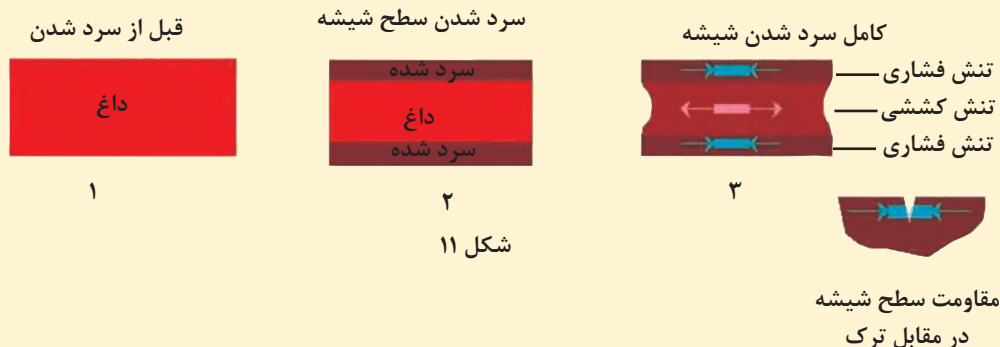
در صورتی که شیشه نیاز به تمیزکردن، برش یا عملیاتی مانند سوراخ‌کاری و سنگ‌سابی داشته باشد باید قبل از تمپر کردن انجام شود.

نکته



همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌کنید، در تمپر حرارتی پس از شکل‌دهی شیشه، سطح آن سریع سرد می‌شود و انقباض می‌یابد اما همچنان مرکز شیشه گرم 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.

بیشتر بدانید





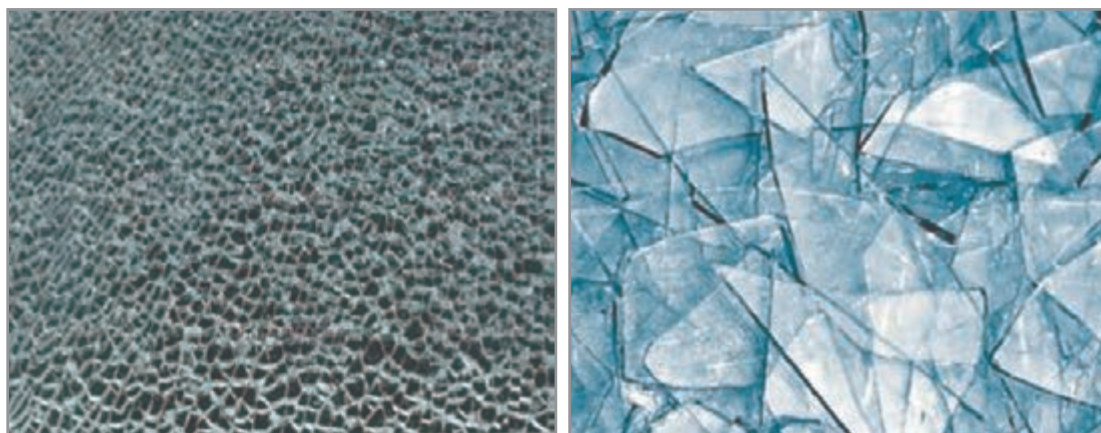
عملیات سریع سرد کردن سطوح شیشه توسط جریان هوا صورت می‌پذیرد. مقدار جریان هوای دمیده شده به عوامل مختلف مانند دمای شیشه و ضخامت آن بستگی دارد.

کوره‌های صنعتی تمپر حرارتی معمولاً از نوع رولری هستند.



شکل ۱۲- کوره رولری برای عملیات تمپر حرارتی

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 به صورت پولکی شکل می‌شکند. در اثر این شکست معمولاً صدایی شبیه به انفجار ایجاد می‌شود زیرا تنش‌های ذخیره شده در شیشه یکباره آزاد می‌شوند.

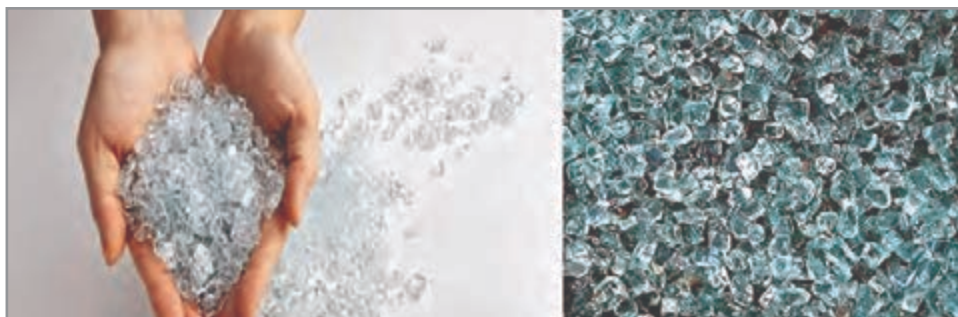


الف

ب

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

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



شکل ۱۴- شیشه تمپر شده پس از شکستن

شیشه‌هایی که سرعت سرمایش بیشتری دارند، درجه تمپر کردن بالاتری دارند. استحکام این شیشه‌ها نسبت به شیشه اولیه تا چندین برابر می‌تواند افزایش یابد.

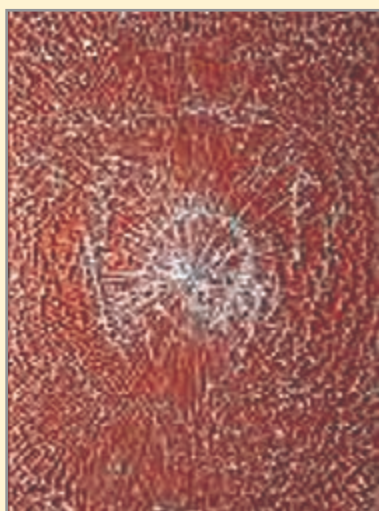
نکته



فکر کنید



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



ب



الف

شکل ۱۵



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



شکل ۱۶- کارخانه بلورسازی



**کار عملی ۵:** بررسی شکست شیشه‌های تمپر حرارتی  
مواد و ابزار: شیشه تمپر شده، چکش فلزی

**شرح فعالیت:**

- ۱ یک قطعه شیشه تمپر شده تهیه کنید.
- ۲ با چکش فلزی بر لبه‌های شیشه 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.



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



**کار عملی ۶:** تعیین استحکام شیشه تمپر شده و شیشه تمپر نشده  
مواد و ابزار: دو قطعه شیشه تنش‌زدایی شده با ابعاد یکسان، کوره، مقدار پودر آلومینا، کوره، دستگاه استحکام‌سنج، انبر و دستکش نسوز

**شرح فعالیت:**

- ۱ یکی از شیشه‌ها را در کوره با دمای ۵۵۰ درجه 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 شیشه تمپر شده و شیشه تمپر نشده را درون دستگاه استحکام سنج قرار دهید و استحکام آنها را اندازه گیری 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 می شود.

نکات ایمنی



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

بیشتر بدانیم



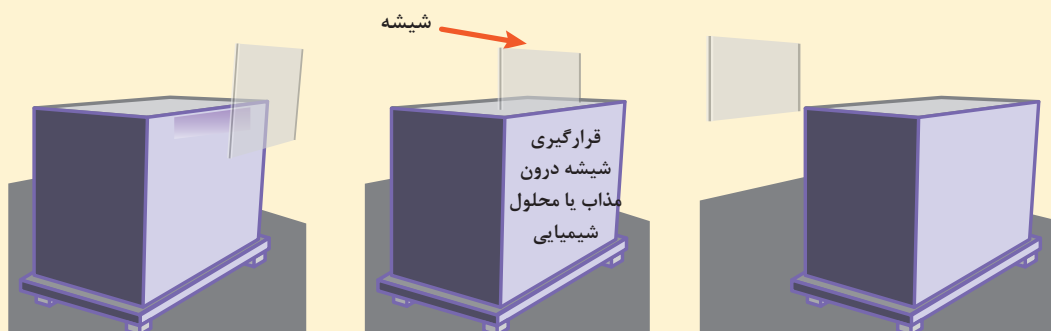
### تمپر شیمیایی

در روش تمپر شیمیایی، شیشه درون مذابی از نمک موردنظر یا محلول شیمیایی قرار می گیرد. در اثر جابه جایی یون ها بین محلول شیمیایی با سطح شیشه، تنش فشاری بیشتری نسبت به روش تمپر حرارتی ذخیره می شود. استحکام بالای شیشه هایی که به این روش تمپر شده اند باعث کاربرد آنها به عنوان شیشه هواپیما شده است.



شکل ۱۷

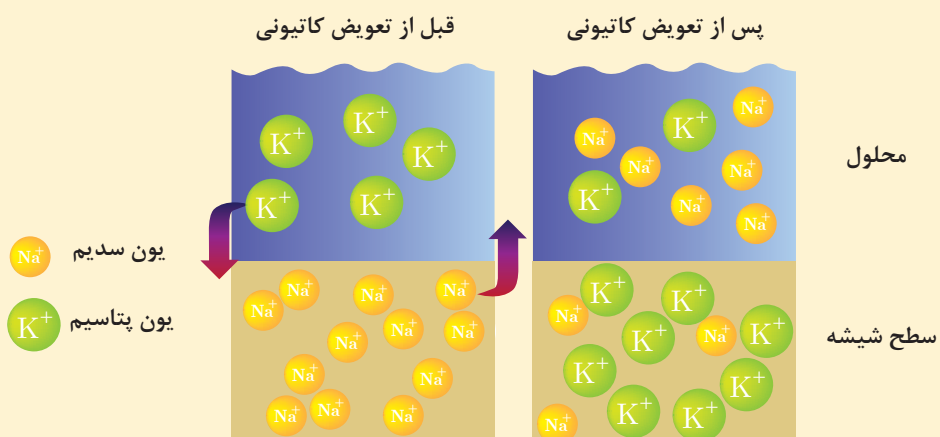
در شکل ۱۸ مراحل تمپر شیمیایی شیشه نشان داده شده است.



الف) خارج کردن شیشه تمپر شده از درون محلول پس از گذشت چندین روز  
ب) غوطه‌وری شیشه درون محلول شیمیایی  
ج) آماده‌سازی شیشه و محلول شیمیایی

شکل ۱۸- 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 ۱۹- تعویض کاتیونی شیشه درون محلول شیمیایی پتاسیم نیترات



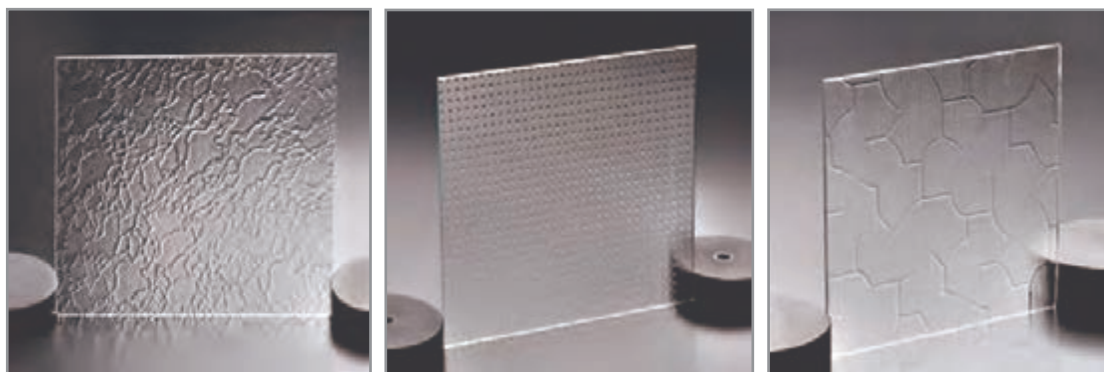
## شیشه مشجر



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

شکل ۲۰- فرایند ساخت شیشه تخت

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



شکل ۲۱- شیشه‌های مشجر

شیشه‌های مشجر برای تزئین 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 نقش است و غلتک بالایی نقش دار 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 شیشه مسطح و تنش‌زدایی شده، غلتک نقش‌دار، کوره، انبر، دستکش نسوز

#### شرح فعالیت:

- ۱ شیشه را درون کوره قرار دهید.
- ۲ شیشه تا دمای ۶۵۰ درجه 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 شیشه نقش‌دار را در کوره قرار دهید تا عملیات حرارتی تنش‌زدایی انجام شود.

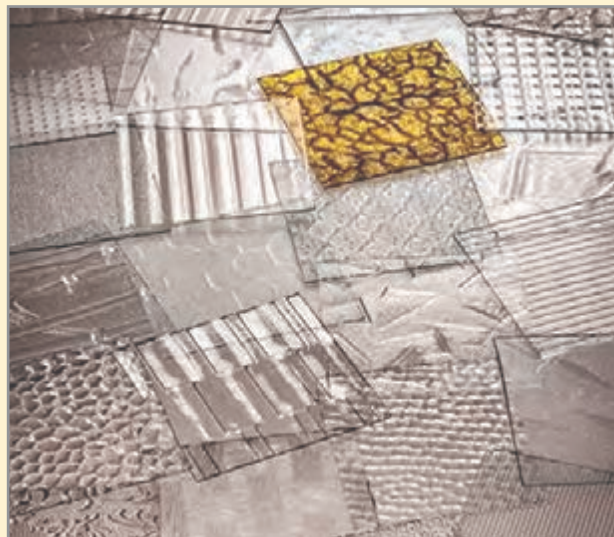
نکات ایمنی



- از دستکش نسوز، روپوش و عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام باز کردن در کوره و برداشتن نمونه در فاصله مناسبی از کوره قرار بگیرید.
- 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.



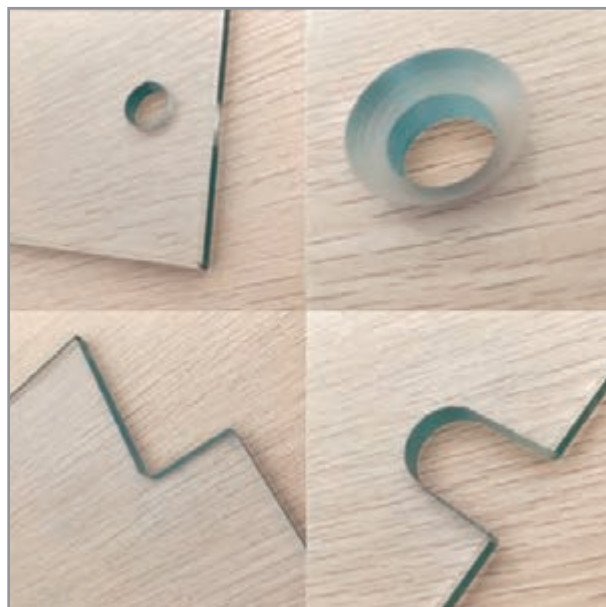
درباره انواع طرح‌های شیشه‌های مشجر و نام آنها گزارشی تهیه کنید و در کلاس ارائه دهید.



شکل ۲۲- انواع شیشه‌های مشجر

## برش شیشه

یکی دیگر از عملیات‌هایی که برای به کارگیری 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 ۲۳- برش شیشه در شکل‌های گوناگون

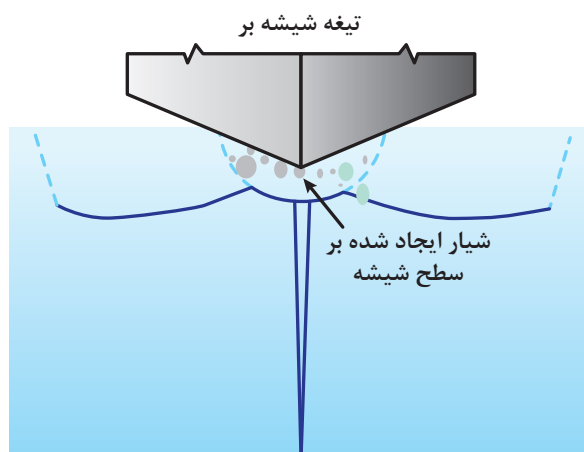
ابزار و دستگاه‌های مختلفی برای برش شیشه به کار می‌رود که پرکاربردترین آنها در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- ابزار و دستگاه‌های شیشه‌بری

تصویر	ابزار و دستگاه‌های برش شیشه
	شیشه‌بر
	دستگاه برش حرارتی
	واترجت <sup>۱</sup>

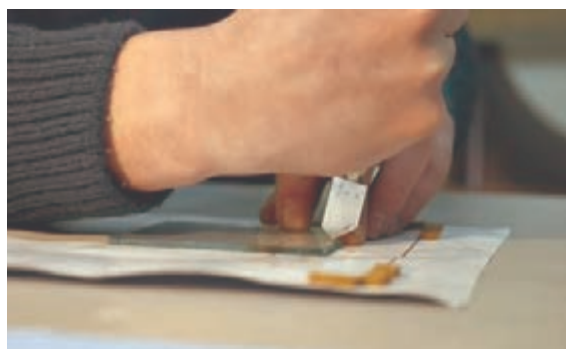
#### شیشه‌بر

برای برش شیشه به ویژه شیشه‌های تخت از شیشه‌بر استفاده می‌شود. شیشه‌بر 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 شیشه تنش‌زدایی شده برش‌های موردنظر را ایجاد کرد.



شکل ۲۴

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



ب) شیشه بر با سر ثابت



الف) شیشه بر با سر گردان

شکل ۲۵

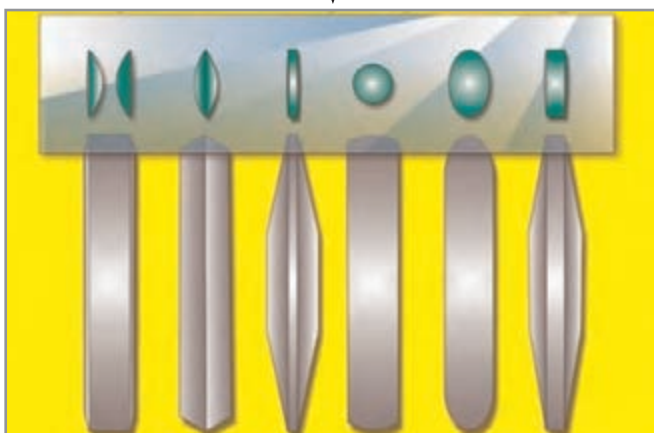
شیشه‌های تمپر شده را نمی‌توان با شیشه‌بر برش داد. زیرا به محض ورود عامل برش به درون شیشه تنش‌هایی که در اثر عملیات حرارتی در سطح شیشه ذخیره شده به صورت ناگهانی آزاد می‌شود و شیشه می‌شکند.

نکته



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 ۲۶- 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. به منظور 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 صفحه سایشی هستند که با تنظیم دور چرخش و جنس صفحه می‌توان تیزی لبه‌های شیشه را از بین برد.



شکل ۲۷- حذف لبه‌های تیز بدنه شیشه‌ای با دستگاه سایش و پرداخت



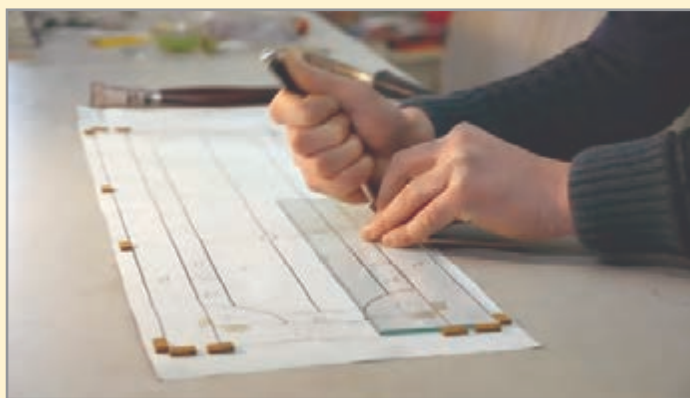


### کار عملی ۸: برش شیشه با شیشه‌بر

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 به دلیل احتمال چسبیدن تکه‌های شیشه بر روی آن اجتناب کنید.
- ۲ سطح میزکار و شیشه‌ای را که برای برش در نظر گرفتید، تمیز کنید. هرگونه دوده یا آلودگی می‌تواند برش را خراب کند.
- ۳ با استفاده از خط‌کش و ماژیک ابعاد  $10 \times 10$  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 به صورت 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 شوخی کردن بپرهیزید.
- پس از برش شیشه، لبه‌های برش خورده را لمس نکنید.



شکل ۲۹- استفاده از دستکش در شیشه‌بری





**کار عملی ۹:** ساب زنی شیشه برش خورده  
مواد و ابزار: دو قطعه شیشه برش خورده، دستگاه ساب زنی، دستکش پلاستیکی

### شرح فعالیت:

- ۱ از شیشه های برش خورده کار عملی ۸ استفاده کنید.
- ۲ دستگاه ساب زنی را با راهنمایی هنرآموز روشن کنید.
- ۳ لبه های شیشه بریده شده را بر روی دستگاه ساب زنی قرار دهید و لبه های تیز آن را صاف کنید.



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

### دستگاه برش حرارتی

این دستگاه تیغه برشی دارد که با سرعت کم می چرخد و بر روی شیشه شیار ایجاد می کند. همزمان دستگاه حرارت کمی بر شیشه وارد می کند تا برش بهتر انجام شود. در بیشتر کارگاه های شیشه گری از این دستگاه برای برش ضایعات و اضافه های شیشه تولید شده استفاده می کنند.



شکل ۳- دستگاه برش حرارتی

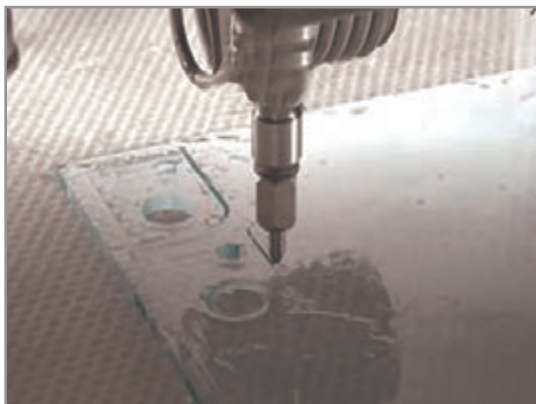
### برش شیشه با آب (واتر جت)

دستگاه برش شیشه با آب (واتر جت) 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 ۳۱- برش شیشه با واتر جت

دستگاه‌های واتر جت 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 واتر جت می‌توان بر روی شیشه تخت برش یا سوراخ کاری با اندازه مورد نظر ایجاد کرد (شکل ۳۲).



شکل ۳۲- برش و سوراخ کاری با دستگاه واتر جت



روش واترجت برای برش چه مواد دیگری کاربرد دارد؟

کنترل دستگاه برش واترجت با دستگاه کنترل عددی کامپیوتر سی‌ان‌سی (CNC<sup>۱</sup>) انجام می‌گیرد. دستگاه سی‌ان‌سی (CNC) امکان برش دقیق شیشه در ابعاد و ضخامت‌های مختلف را به صورت کاملاً خودکار فراهم می‌کند. شیشه‌های تخت پس از شکل‌دهی به دلیل پیوسته بودن با دستگاه‌های برش اتوماتیک سی‌ان‌سی (CNC) برش داده می‌شوند.



شکل ۳۳- برش شیشه تخت

## شیشه طلقی (لمینیت)<sup>۲</sup>

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



شکل ۳۴- شکسته شدن شیشه اتومبیل

۱- Computer Numerical Control (CNC)

۲- 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.

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

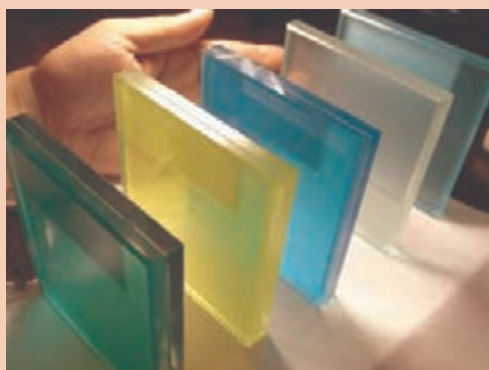


شکل ۳۵- دستگاه اتوکلاو

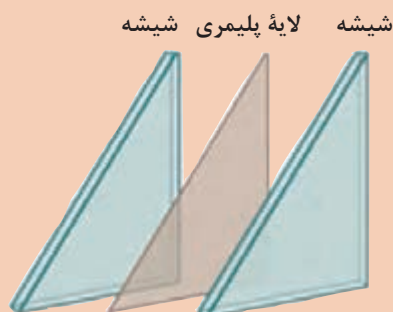
نکته



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



(ب) شیشه‌های طلقی در رنگ‌های مختلف



(الف) لایه‌های مختلف شیشه طلقی

شکل ۳۶

نکته





چه شباهتی بین تصاویر زیر و شیشه‌ طلقی وجود دارد؟



کیک چند لایه



ساندویچ

شکل ۳۷

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



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

کاربردهای شیشه‌ طلقی (لمینیت) شامل موارد زیر است:

- شیشه‌ جلوی خودرو، قطار و هواپیما

- کف شیشه‌ای

- شیشه‌ عایق صوتی

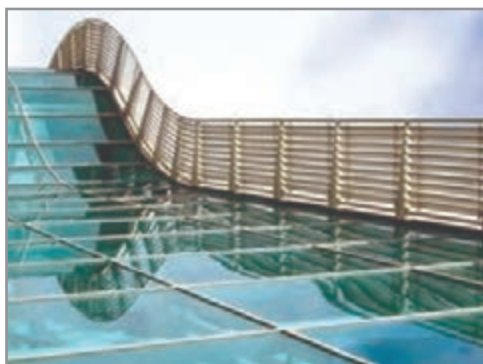
- شیشه‌ ضد گلوله

- شیشه‌ ضد سرقت

- شیشه‌ ایمن در برابر زلزله

- شیشه‌ مغازه‌ها و بانک‌ها





شکل ۳۸- کاربردهای مختلف شیشه طلقی

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



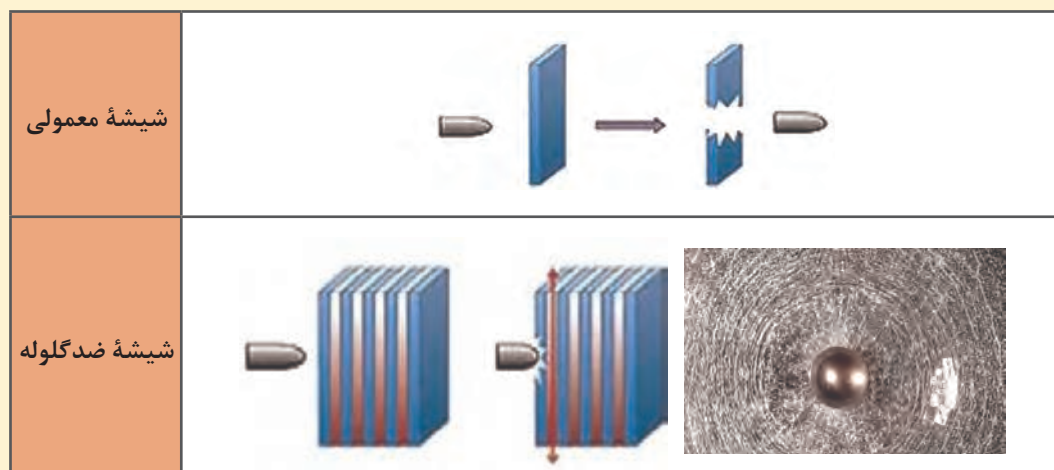
شکل ۳۹- شیشه طلقی (لمینیت) پس از شکسته شدن

فعالیت  
کلاسی





**شیشه ضدگلوله:** شیشه ضد گلوله با لمینیت کردن تعداد زیادی لایه شیشه‌ای (تمپر شده) بر روی یکدیگر ساخته می‌شود. لایه 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 شیشه ضدگلوله برخورد می‌کند، با عبور از لایه‌های شیشه طلقی انرژی جنبشی خود را از دست می‌دهد، بنابراین گلوله داخل شیشه گیر می‌کند.



شکل ۴۰

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



شکل ۴۱- انواع شیشه‌های ضدگلوله با توجه به نوع گلوله





### کار عملی ۱۰: ساخت شیشه طلقی (لمینیت)

مواد و ابزار: شیشه تنش‌زدایی شده، چسب سیلیکون، شیشه‌بر، خشک‌کن، پرس دستی و انبر

#### شرح فعالیت:

- ۱ به وسیله شیشه‌بر دو قطعه شیشه با ابعاد  $10 \times 10$  سانتی‌متر برش دهید.
- ۲ شیشه‌های برش خورده را درون خشک‌کن با دمای  $150^\circ$  درجه 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.



- از دستکش نسوز، روپوش و عینک ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام باز کردن در کوره و برداشتن نمونه در فاصله مناسبی از کوره قرار بگیرید.
- 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.

## شیشه دو جداره

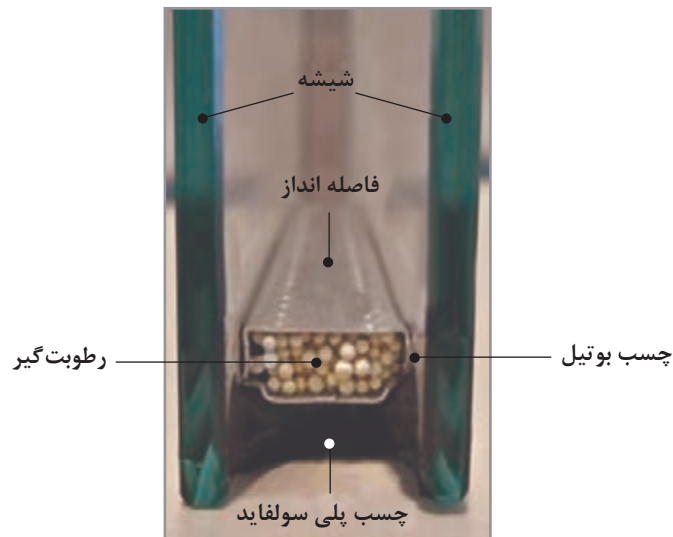
با توجه به روند افزایش مصرف انرژی، صرفه جویی انرژی مورد توجه قرار دارد و راهکارهای بسیاری برای این منظور ارائه شده است.

یکی از راهکارهای پیشنهادی برای جلوگیری از اتلاف انرژی در ساختمان‌ها استفاده از شیشه دو جداره است. با استفاده از شیشه 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.



شکل ۴۲- عایق حرارتی و صوتی شیشه دو جداره

در شکل ۴۳ اجزای شیشه دوجداره نشان داده شده است.



شکل ۴۳

مهم‌ترین اجزای شیشه‌های دو جداره فاصله انداز (اسپیسر<sup>۱</sup>) و گاز شارژ شده درون شیشه است. فاصله انداز نوار آلومینیومی توخالی است که بین دو ورقه شیشه قرار می‌گیرد. درون فاصله انداز با ماده رطوبت گیر پُر می‌شود تا رطوبت فضای بین ورقه‌های شیشه را جذب کند.



شکل ۴۴- کارگر در حال آماده سازی فاصله انداز

۱- Spacer

فرایند ساخت شیشه‌های دو جداره در جدول ۶ آمده است:

جدول ۶





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



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

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

جدول ۷

نوع شیشه	کاربرد
	
	
	
	

## 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<sup>۱</sup> (فرابنفش) است.

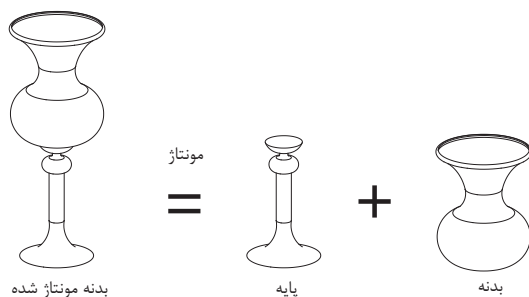
## مونتاژ شیشه با روش پولیش حرارتی

چه قسمت‌هایی از بدنه 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 شعله مستقیم به محل مونتاژ به هم متصل می‌شوند.



شکل ۴۷- مراحل مونتاژ به روش پولیش حرارتی



در روش شکل‌دهی دستی شیشه‌گر مقداری بار از کوره برمی‌دارد و با مهارت و تجربه خود به کمک ابزاری مانند انبر و قیچی روی بدنه 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 به کار 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

	<p>۱ سطح مورد نظر باید کاملاً تمیز و خشک باشد.</p>
	<p>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.</p>
	<p>۳ سپس قطعه چسبیده شده در زیر لامپ UV به مدت ۳ تا ۵ دقیقه قرار داده می‌شود.</p>



شیشه و چسب‌های اضافه قبل از خشک شدن به وسیله 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.



### کار عملی ۱۱: مونتاژ شیشه با چسب UV

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

#### شرح فعالیت

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



- 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 تزئین شیشه کاربرد دارد. در شکل ۴۹ چند نمونه شیشه مات شده نشان داده شده است.



شکل ۴۹

برای مات کردن 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

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



**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 عینک ایمنی مخصوص کار با مواد شیمیایی استفاده کنید.

شکل ۵۰- عینک ایمنی طلای ضد اسید و مواد شیمیایی



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



شکل ۵۱

شرح کار:

- ۱- انجام عملیات حرارتی تنش‌زدایی شیشه
- ۲- انجام عملیات حرارتی تمپرینگ بر روی شیشه
- ۳- مشجرسازی شیشه
- ۴- برش و ساب‌زنی شیشه
- ۵- 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 قطعه شیشه‌ای براساس اندازه معین و استفاده صحیح از دستگاه ساب‌زنی  
مونتاژ قطعات شیشه‌ای براساس بدنه 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:		۲	
دقت عمل و صحت، مسئولیت‌پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب			
میانگین نمرات			*

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



## پودمان ۵

### تزئین شیشه



همراه با تکامل و پیشرفت کیفیت و عملکرد ابزارهای ساخت دست بشر، روش‌های تزئین و زیباترکردن محصولات نیز به تدریج توسعه یافت. امروزه روش‌های تزئین جزء مهم‌ترین مراحل است که در فرایند ساخت بدنه‌های مختلف در نظر 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

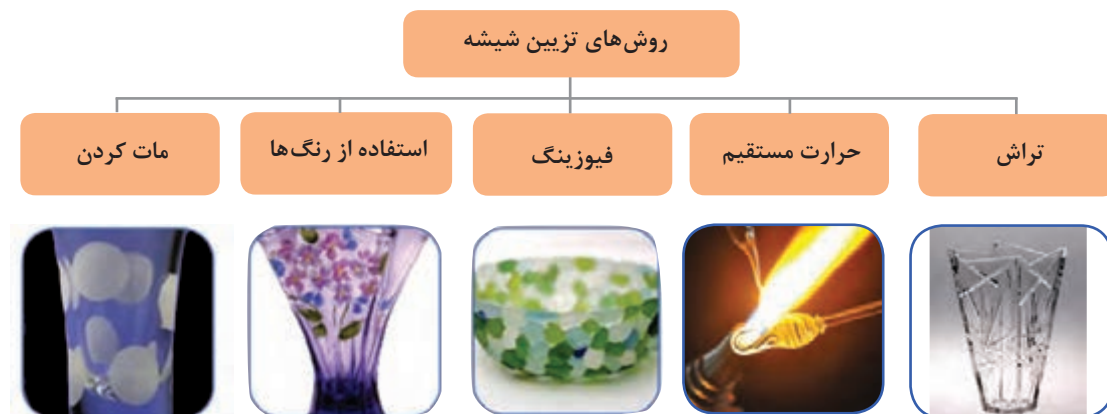
تزئین یک روش تکمیلی در تولید محصولات شیشه‌ای است که با هدف افزایش جلوه و زیبایی آن به کار می‌رود.

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

فکر کنید



برای تزئین 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، به صورت 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 تراش خورده 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.



ج) ظرف شیشه‌ای هنری و دکوری

ب) ظرف شیشه‌ای کاربردی

الف) شیشه تخت

شکل ۳



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



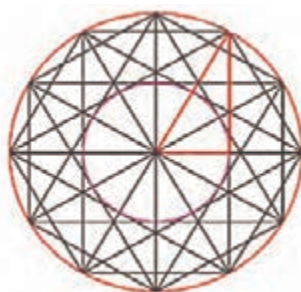
شکل ۴

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

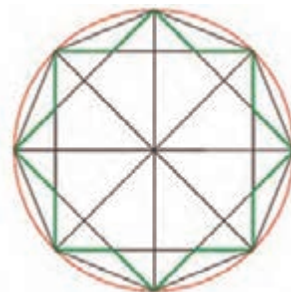
کنجکاو



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



ب) شمس دوازده پر



الف) شمس هشت پر

شکل ۵- نقوش شمس هشت پر و دوازده پر

ارزش افزوده 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.



بهترین نوع تراش شیشه، بر روی شیشه‌های دو پوست اجرا می‌شود. در شکل‌دهی شیشه‌های دو پوست، لقمه اولیه با یک رنگ که در اکثر مواقع شیشه بی‌رنگ یا سفید است، آغاز می‌شود و سپس با لقمه 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 ۶- ظرف شیشه‌ای دو پوست تراش داده شده

### دستگاه تراش شیشه

برای تزئین محصولات شیشه‌ای به روش تراش از دستگاه تراش استفاده می‌شود. دیسک‌های برش از اجزا مهم این دستگاه هستند که وظیفه 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 به کار می‌رود. در مراحل کار تراش باید به صورت 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.



ب



الف

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

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

نکات ایمنی



تحقیق کنید



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

امروزه از دستگاهی به نام «فرز 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 تهیه فرز باید نوع متناسب با طرح و قابل استفاده روی شیشه را انتخاب کرد.



ب) تجهیزات فرز مینیاتوری و فرز فرم‌ها



الف) دستگاه فرز مینیاتوری

شکل ۸- فرز مینیاتوری و تجهیزات آن

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

### کار عملی ۱: تراش شیشه با استفاده از فرز مینیاتوری

**مواد و ابزار:** فرز مینیاتوری، شیشه ساده در ابعاد مشخص، فرز فرم، طرح آماده بر روی کاغذ پیشنهاد: نام و نام خانوادگی هنرجو به صورت خوشنویسی شده یا تایپ و پرینت شده در اندازه متناسب با شیشه می‌تواند به عنوان 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 سرگرد را روی دستگاه فرز مینیاتوری نصب کنید.
  - ۴ خطوط کناره طرح را با احتیاط و دقت توسط فرز فرم گرد 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.
- 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.
- در هنگام تراش طرح روی شیشه دقت کنید و خطوط کشیده شده را دوباره نتراشید زیرا خطوط حکاکی شده قابل پاک کردن نیستند.

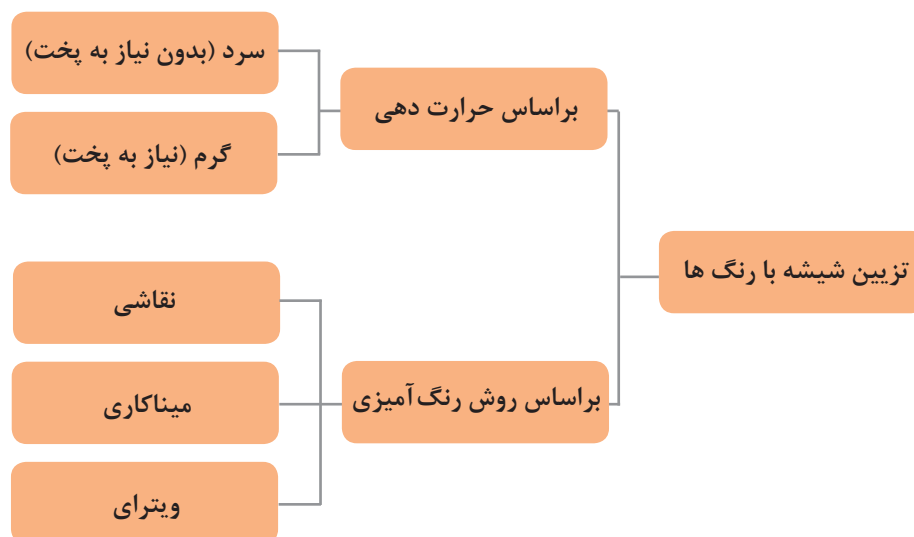




- در هنگام تراش شیشه از عینک ایمنی و دستکش استفاده کنید زیرا امکان پرتاب شدن خرده شیشه به سمت چشم وجود دارد.
- ممکن است لبه‌های شیشه مورد استفاده بُرنده باشد. در این صورت با چسب نواری لبه‌های شیشه را دورگیری کنید.
- قد صندلی خود را چنان تنظیم کنید که هنگام کار، روی شیشه و دستگاه فرز تسلط داشته باشید.
- 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.

## تزئین شیشه با رنگ‌ها

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



نمودار ۲- تزئین شیشه با رنگ‌ها

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

### تزئین شیشه با استفاده از رنگ‌های سرد

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

### تزئین شیشه به روش ویترای

ویترای نوعی رنگ سرد و شفاف است که بر دو نوع «پایه آبی» و «پایه 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 به طوری که رد قلم برجای نماند. سپس با قلم‌موهای مخصوص رنگ‌آمیزی در داخل مرزهای مشخص شده انجام می‌شود.



شکل ۹

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؟

فکر کنید



اجرای تزئین شیشه به روش ویترای شامل مراحل زیر است:  
وسایل مورد نیاز: شیشه تخت یا بطری یا هر نوع ظرف شیشه‌ای، یک بسته رنگ ویترای، دورگیر، قلم‌مو، یک طرح ساده



شکل ۱۰

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



۳

۲

۱

- ۲ پس از دورگیری بخش‌های مختلف طرح را به وسیله رنگ‌های ویترا رنگ‌آمیزی کنید.



۶

۵

۴

یک طرح مناسب برای ویترا طراحی است که خطوط محیطی آن مشخص باشد.

نکته



فعالیت  
کارگاهی



**کار عملی ۲:** طراحی نام هنرستان روی شیشه و تزئین آن به روش ویترا  
**مواد و ابزار:** شیشه در ابعاد مشخص؛ طرح خوشنویسی شده یا تایپ و پرینت شده نام هنرستان در اندازه متناسب با شیشه انتخاب شده، رنگ ویترا، 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 به وسیله 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.





هنگام کار با شیشه مراقب لبه‌های تیز و برنده 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 محدوده درجه حرارت لازم برای پخت شامل دو نوع هستند:

(الف) پایین پخت

(ب) بالا پخت

رنگ‌های پایین پخت و بالا پخت 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 پایین پخت با بالا پخت در نوع حلال‌ها و درجه پخت آنها است:

رنگ‌های پایین پخت در دمای حدوداً ۲۵۰-۳۰۰ درجه سلسیوس پخت می‌شوند اما رنگ‌های بالا پخت در محدوده دمای ۵۵۰-۵۰۰ درجه سلسیوس پخت می‌شوند.

رنگ‌های پایین پخت به دلیل پایداری کم در برابر نور، رطوبت و شست‌وشو به صورت محدود در انجام کارهای هنری مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نکته



مزیت مهم رنگ‌های پایین پخت چیست؟

فکر کنید



در استفاده از رنگ‌های گرم باید با انجام آزمایش‌های مختلف بهترین دمای پخت را به دست 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.

نکته



می‌توان برای تزئین 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 تزئین استفاده شده است.

شکل ۱۱- ظرف شیشه‌ای رنگ شده و تراش خورده





در هنگام استفاده از رنگ، استفاده از ماسک تنفسی و روشن بودن سیستم تهویه 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



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

**کار عملی ۳:** نقاشی روی شیشه

**مواد و ابزار:** رنگ روغن یا آکرلیک، قلم مو، شیشه تخت بی‌رنگ در ابعاد مشخص، یک طرح ساده مانند

منظره متناسب با اندازه شیشه، چسب کاغذی، دستمال و شیشه پاک‌کن

**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 شیشه 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 آکرلیک 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 حوصله کافی در ترکیب رنگ‌ها و سایه‌پردازی‌ها باعث بهتر شدن نتیجه کار می‌شود.  
۵ پس از خشک شدن کامل رنگ، چسب کاغذی را با احتیاط از شیشه جدا کنید.

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

نکته



### 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 ۶۰۰-۵۰۰ درجه سلسیوس پخت و ثابت می‌شوند.



شکل ۱۳- 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 ۱۴- پمپ رنگ میناکاری



#### 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 به وسیله 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 تهیه رنگ‌ها درجه پخت آنها را از فروشنده سؤال کنید. بهتر است پیش از انجام میناکاری روی نمونه اصلی، نحوه کار با پمپ‌های رنگ را روی یک تکه شیشه امتحان کنید تا نحوه رنگ آمیزی به وسیله پمپ را بیاموزید.

#### حرارت مستقیم (لمپ وُرکینگ)<sup>۱</sup>

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

تزئین شیشه با روش حرارت مستقیم یا لمپ 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<sup>۲</sup> با بازدهی حرارتی بالا است.



شکل ۱۵- مشعل گازی

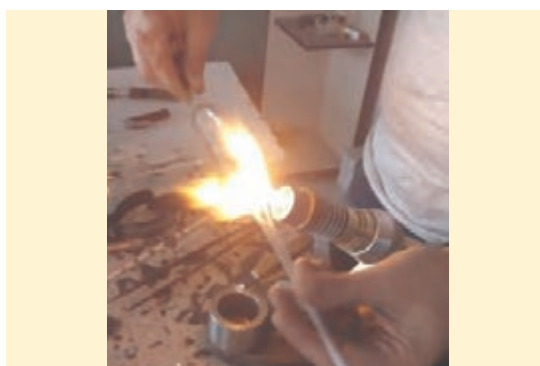
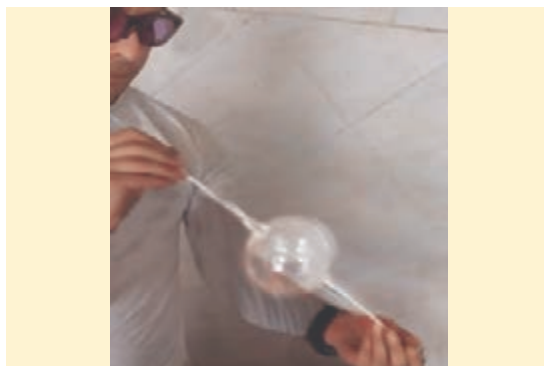
۱- Lamp working

۲- Torch

مراحل کار تزئین شیشه به روش حرارت مستقیم (لمپ ورکینگ)  
مراحل ساخت بدنه شیشه‌ای شکل ۱۶ با استفاده از لوله شیشه‌ای توخالی به صورت مرحله به مرحله آورده شده است:

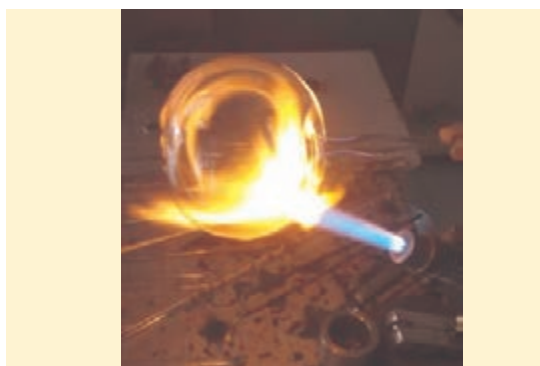
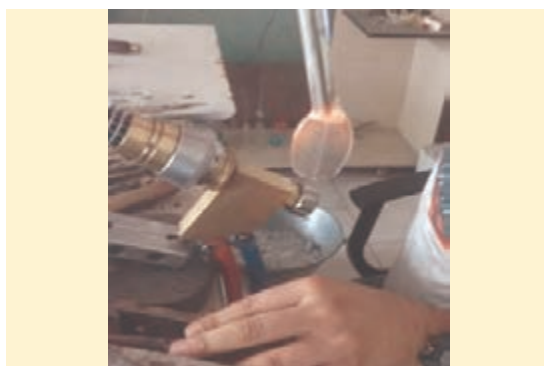
۱ حرارت دادن شیشه برای نرم شدن آن

۲ ساخت حباب با دمیدن داخل لوله



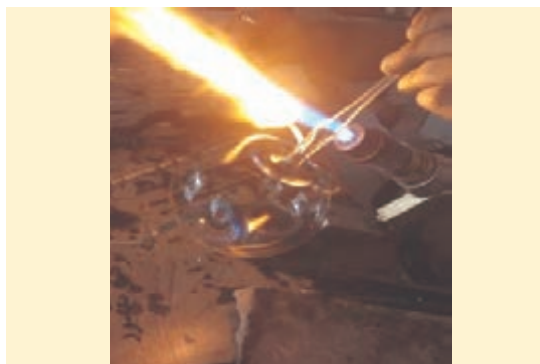
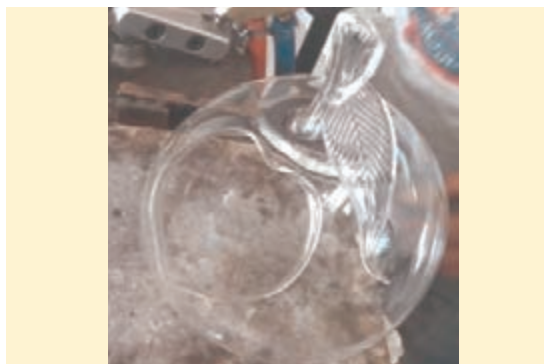
۳ ایجاد حفره روی حباب

۴ ساختن و شکل دهی برگ با استفاده از قالب



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

۶ تکمیل فرایند تزئین و تولید محصول نهایی



شکل ۱۶



شکل ۱۷

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

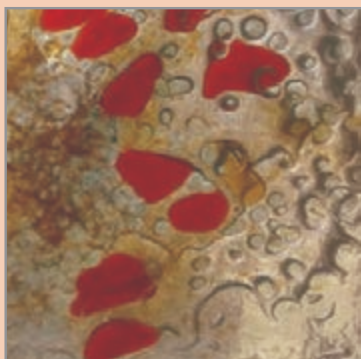


شکل ۱۸

- 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.

### فیوز شیشه

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



شکل ۱۹- شیشه فیوز شده

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 به دست آورد.

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

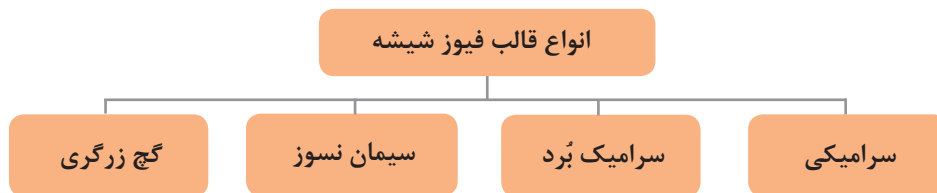
جدول ۱- ابزار و تجهیزات فیوز شیشه

تصویر	وسیله
	کوره الکتریکی: رایج ترین کوره ها برای فیوز شیشه، کوره های الکتریکی جعبه ای است که درب آن از بالا باز و بسته می شود.
	ابزار شیشه بری
	انبر شیشه بری
	سنگ ساب (سنگ نفت)
	قالب

### قالب فیوز شیشه

جنس قالب در فیوزینگ شیشه بسیار مهم است زیرا برخلاف شیشه 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 انقباض 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



شکل ۲۰- قالب سرامیکی

**قالب سرامیکی:** مناسب‌ترین ماده برای تهیه 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.

**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 ۲۱- 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.





هر نوع شیشه شکسته مانند تکه‌های خرد شده شیشه سکوریت یا شیشه بازیافتی مانند بطری و محصولات شیشه‌ای دیگر مانند تیل و منجوق می‌توانند به‌عنوان ماده 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 درجه سلسیوس در مدت زمان تقریبی ۱۸۰ دقیقه
- ۲ ماندن در دمای ۵۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۰ دقیقه
- ۳ افزایش دما از ۵۲۰ درجه سلسیوس تا محدوده ۷۷۰ تا ۸۵۰ درجه سلسیوس در مدت زمان ۱۸۰ دقیقه
- ۴ ماندن در بیشینه دمای حرارت‌دهی به مدت زمان ۱۰ تا ۱۵ دقیقه
- ۵ کاهش دما از دمای بیشینه تا دمای اولیه در مدت زمان حدود ۴۲۰ دقیقه



شکل ۲۲

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



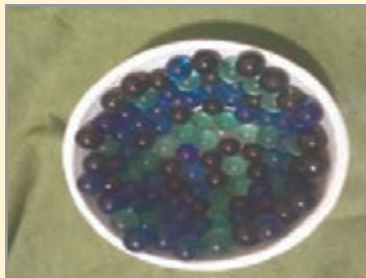
**کار عملی ۵:** فیوز شیشه با استفاده از تکه‌های خرد شده شیشه  
**مواد و ابزار:** تکه‌های خرد شده شیشه یا تیل‌های شیشه‌ای، ظرف سرامیکی یا سفالی بدون لعاب مانند کاسه به‌عنوان قالب، پودر تالک، قلم‌مو، کوره  
**شرح فعالیت:**



- 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 تیل‌های 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 برنامه حرارتی ارائه شده نمونه را حرارت دهید.



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

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

نکات ایمنی



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

**شرح فعالیت:**

- ۱ گل سفال را به شکل مکعب مستطیل به ابعاد  $20 \times 30 \times 30$  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 به وسیله قلم‌مو بپوشانید.
- ۴ منجوق‌ها را در داخل قسمت فرو رفته قالب بریزید و در دمای  $810^\circ$  درجه سلسیوس حرارت دهید.
- ۵ پس از سرد شدن قطعه را از قالب سفالی خارج کنید.

فعالیت  
کارگاهی





بدون حضور هنرآموز از کوره استفاده نکنید.

### روش های فیوزینگ شیشه

فیوزینگ شیشه روش های متعددی دارد که در زیر به چند مورد اشاره می شود.

۱ اسلامپینگ<sup>۱</sup> و دراپینگ

۲ فول فیوز

۳ ساندویچ گلاس

۱ اسلامپینگ: 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

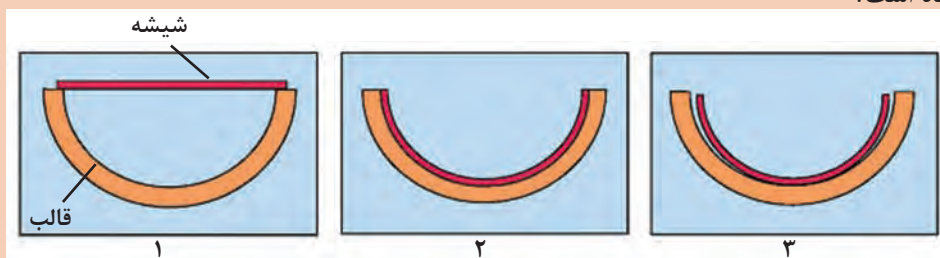
در این روش یک تکه شیشه مسطح بر روی قالبی که به عنوان نمونه در وسط آن حفره ای ایجاد شده باشد، قرار داده می شود. پس از قرارگیری قالب و شیشه در کوره، با افزایش دما شیشه نرم می شود و کم کم براساس نیروی جاذبه زمین بخش هایی از شیشه در قسمت حفره پایین می رود و شکلی فرو رفته به خود می گیرد.



شکل ۲۴

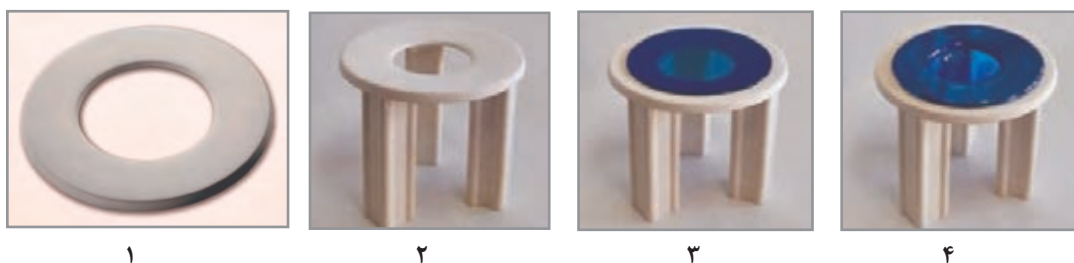


شکل زیر مراحل اسلیمپینگ را نشان می‌دهد. با توجه به تصاویر این شکل چرا شیشه بیشتر از قالب جمع شده است؟



شکل ۲۵

در شکل زیر نمونه‌ای از اسلیمپینگ 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، صفحه شیشه‌ای بر قسمت خارجی قالب خم می‌شود که با عنوان دراپینگ<sup>۱</sup> شناخته می‌شود. معمولاً در دراپینگ جنس قالب مورد استفاده فولاد است.



شکل ۲۷- قالب فلزی مورد استفاده در دراپینگ

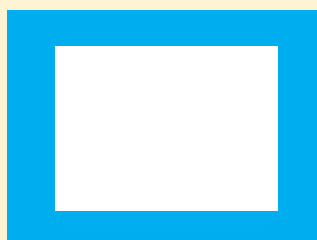


**کار عملی ۷:** اسلایمپینگ با استفاده از نوارهای شیشه

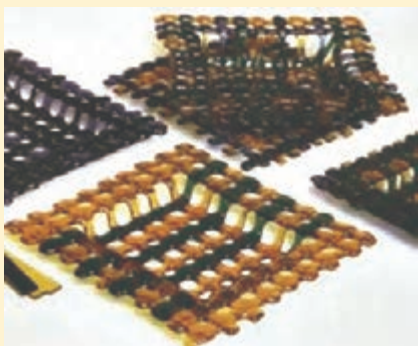
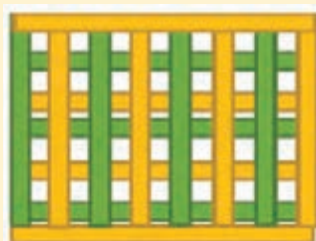
**مواد و ابزار :** سرامیک بُرد با ابعاد مشخص (به عنوان نمونه ۲۵×۲۵ سانتی متر)، شیشه ساده در ابعاد ۶×۱۰×۲۵ سانتی متر به تعداد ۲۰ عدد و در دو رنگ متفاوت، سنگ نفت، مداد، خط کش، ابزار برش

**شرح فعالیت:**

**۱** داخل سرامیک بُرد را مانند شکل زیر خالی کنید. می توانید داخل سرامیک بُرد را به صورت دایره یا هشت ضلعی یا هر شکل دیگری خالی کنید.



**۲** لبه ها و گوشه های تیز نوارهای شیشه ای را به وسیله سنگ نفت بسایید به طوری که هیچ لبه یا گوشه تیزی باقی نماند. شیشه ها را به وسیله شیشه پاک کن و یک دستمال تمیز پاک کنید. نوارهای شیشه ای 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 درجه سلسیوس و طبق برنامه حرارتی ذکر شده حرارت دهید. در طی عملیات حرارتی علاوه بر اینکه شیشه ها به هم می چسبند شکل قالب سرامیک برد را نیز به خود می گیرند.

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



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



شکل ۲۸- محصول فول فیوز

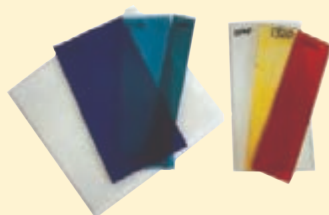
**۲ فول فیوز:** در روش فول فیوز، حرارت دادن و اتصال قطعات شیشه‌ای در بالاترین حد از دمای ممکن اتفاق می‌افتد، به‌طوری که قطعات فیوز شده کاملاً به هم جوش می‌خورند و ماهیت مجزای خود را از دست داده و محصولی جدید حاصل از جوش خوردن شیشه‌ها به دست می‌آید.

**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.



### کار عملی ۸: ساخت کاشی شیشه‌ای با روش فول فیوز

**مواد و ابزار:** شیشه تخت سفید یا بی‌رنگ در ابعاد مشخص (به عنوان نمونه در ابعاد  $60 \times 200 \times 200$  میلی‌متر)، شیشه‌های رنگی به صورت نواری با عرض‌های متفاوت و طول برابر با ابعاد شیشه سفید، سنگ نفت، شیشه پاک‌کن، بُرد سرامیکی

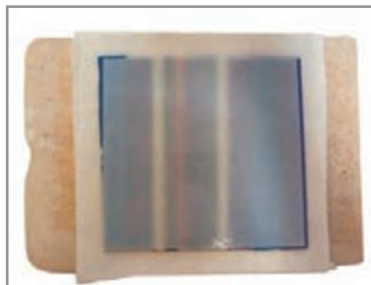


**۱** قطعات شیشه رنگی را به وسیله سنگ نفت بسایید تا لبه‌تیز آنها از بین برود. پس از آن به وسیله شیشه پاک‌کن آنها را کاملاً تمیز کنید.



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

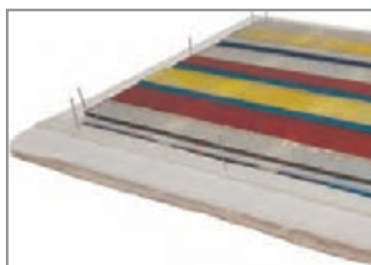




۳ شیشه سفید را بر روی نوارهای رنگی چیده شده قرار دهید.



۴ نوارهای باقیمانده را روی صفحه 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 برنامه حرارتی، نمونه را در کوره حرارت دهید.



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





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. در صورتی 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 تزئین 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:

۱- استفاده از اسید

۲- سندبلاست

۱- استفاده از اسید

مات کردن شیشه با استفاده از ویژگی خوردگی فلئوریدریک اسید بر روی شیشه انجام می شود. این اسید تنها اسیدی است که بر شیشه تأثیر گذاشته و باعث خوردگی آن می شود.



شکل ۳۱- شیشه های مات شده با اسید



شکل ۳۲

فلئوریدریک اسید بسیار سمی است و در تماس با پوست باعث ایجاد مشکلات پوستی و جسمی می شود. به همین دلیل عموماً از «هیدروژن آمونیوم بی فلئوراید» که ارزان تر و کم خطرتر است استفاده می شود.

نکته



**سندبلاست:** سندبلاست روشی برای مات کردن انواع سطوح شیشه ای است که با پاشیدن ذرات ساینده مانند سیلیسیم اکسید به سطح شیشه، با فشار و سرعت زیاد انجام می شود. علاوه بر مات کردن کل سطح شیشه، می توان با پوشاندن برخی از قسمت های شیشه طرح های متنوعی در سطح آن ایجاد کرد.



شکل ۳۳- شیشه های سندبلاست شده

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

تحقیق کنید



**شرح کار:**

- ۱- آماده سازی ابزار و تجهیزات تزیین شیشه
- ۲- آماده سازی مواد تزیین شیشه
- ۳- تزیین شیشه
- ۴- پخت
- ۵- کنترل نهایی

**استاندارد عملکرد:**

تزیین شیشه به روش های تراش، حرارت مستقیم، فیوزینگ و با استفاده از رنگ ها و مات کردن.

**شاخص ها:**

تمیز و آماده کار بودن ابزار تزیین  
تنظیم و آماده کار بودن دستگاه ها  
آماده سازی مواد اولیه مورد نیاز  
تزیین شیشه

**شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:**

مکان: کارگاه مجهز به استانداردهای ایمنی

ابزار و تجهیزات: کوره الکتریکی، بوتله 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 هنجار جو
۱	آماده سازی ابزار و تجهیزات تزیین شیشه	۱	
۲	آماده سازی مواد تزیین شیشه	۱	
۳	تزیین شیشه	۲	
۴	پخت	۱	
۵	کنترل نهایی	۱	
شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: دقت عمل و صحت، مسئولیت پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب		۲	
میانگین نمرات			*

\* حداقل میانگین نمرات هنجار جو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.

- ۱ برنامه درسی درس تولید شیشه رشته سرامیک (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی. دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش.
- ۲ شیشه‌گری دستی در ایران - حسین یآوری - انتشارات سوره مهر
- ۳ Introduction to Glass Science and technology / Jane E.Shelly
- ۴ 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 شیشه ایرانی، شینجی فوکائی، ترجمه آرمان شیشه‌گر، انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۱.
- ۱۰ صنعت شیشه، فرانسیس جوزف، ترانس مالونی، ترجمه محمد رضانی، 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 درباره 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 دبیرخانه 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 ارائه 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 - کد ۲۱۲۵۱۱

ردیف	نام و نام خانوادگی	استان محل خدمت	ردیف	نام و نام خانوادگی	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 نظراتی اصلاحی خود را درباره مطالب این کتاب از طریق نامه به نشانی تهران - صندوق پستی ۴۸۷۴ / ۱۵۸۷۵ - گروه درسی مربوط و یا پیام‌نگار [tvoccd@roshd.ir](mailto:tvoccd@roshd.ir) ارسال نمایند.

وب‌گاه: [tvoccd.oerp.ir](http://tvoccd.oerp.ir)

دفترتألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش