

## 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.

بودمان اول: آماده‌سازی مواد اولیه شیشه

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

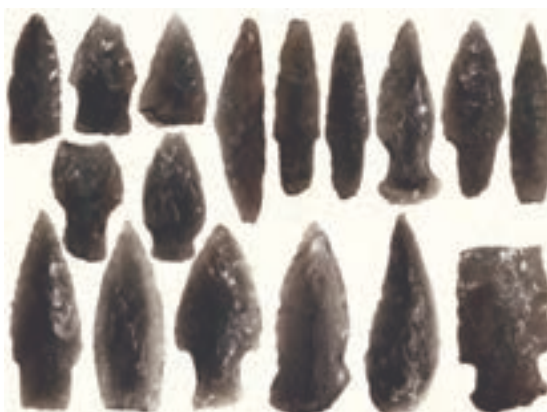


ب) مواد اولیه

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 آبسیدین<sup>۱</sup> اشاره کرد. همچنین نمونه‌هایی از شیشه‌های طبیعی در صحرای لیبی کشف شده‌اند. در شکل ۳ آبسیدین و نمونه‌هایی از شیشه‌های طبیعی موجود در صحرای لیبی نشان داده شده است.



ب

الف

شکل ۳- الف) شیشه‌های آبسیدین 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

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. گر انرژی 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 گر انرژی بالایی دارند و در هنگام سرد شدن نتوانند به ساختار منظم شبکه‌های بلوری تغییر آرایش دهند.

تحقیق کنید



چگونه سرد کردن آهسته باعث تبلور مذاب شیشه می‌شود؟

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 مرزخانه و عیوب ساختاری شفاف هستند. اما سنگ چخماق به دلیل داشتن مرزخانه شفاف نیست.



ج



ب

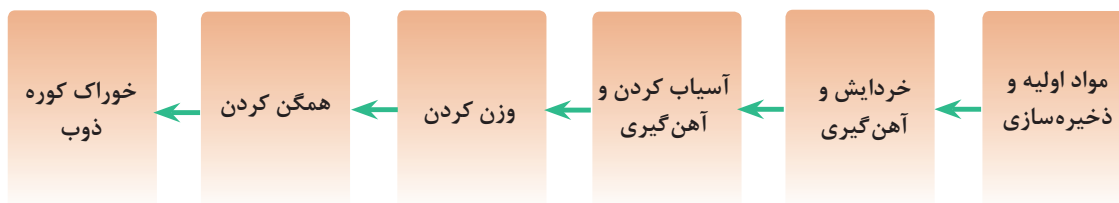


الف

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

## فرایند آماده‌سازی آمیز شیشه

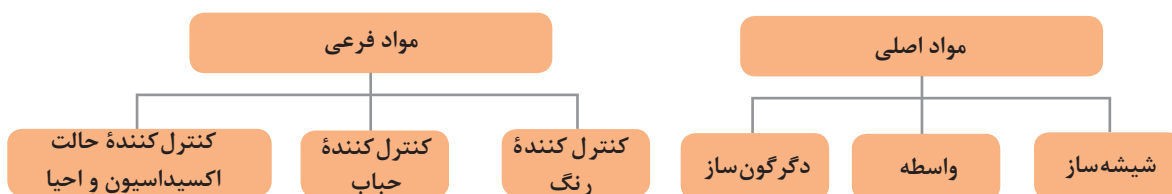
مراحل تهیه آمیز شیشه مطابق نمودار ۱ است.



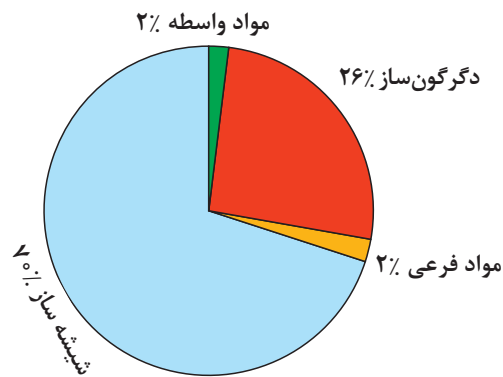
نمودار ۱- مراحل تهیه آمیز شیشه

## 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

نکته



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.

## مواد اصلی آمیز شیشه

مواد اصلی آمیز شیشه شامل مواد شیشه ساز، مواد واسطه و دگرگون 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

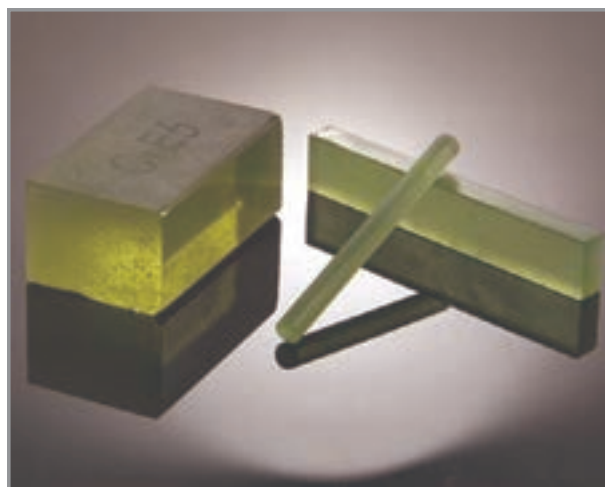


در آمیز تمام شیشه‌ها مانند شیشه‌های ساختمانی، خودرو و ظروف غذاخوری از سیلیس به میزان زیادی استفاده می‌شود. درصد مصرف این اکسید به نوع، کاربرد و خواص مورد انتظار از شیشه تولید شده بستگی دارد. در جدول ۱ محدوده درصد سیلیس در شیشه‌های مختلف آمده است.

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 به‌عنوان 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

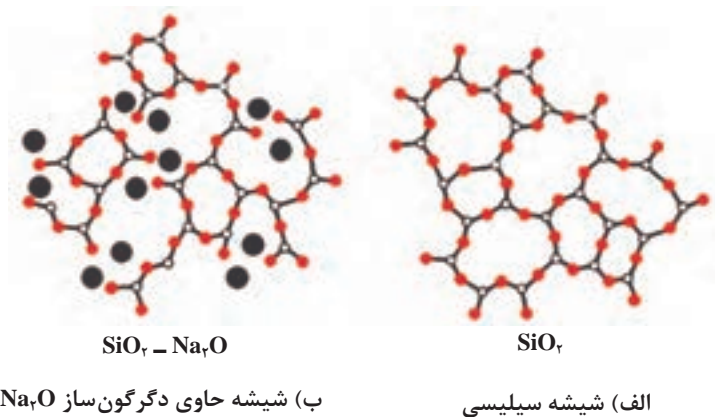
شکل ۱۱

## 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 شیشه‌ای نیستند، اما اگر همراه مواد شیشه‌ساز در آمیز شیشه استفاده شوند، در شرایطی می‌توانند باعث بهبود برخی از خواص شیشه مانند مقاومت در برابر ضربه، سایش، شوک حرارتی و خوردگی شیمیایی شوند.



شکل ۱۳- کنترل خواص شیشه با افزودن مواد واسطه

میزان استفاده از مواد اولیه واسطه در آمیز اغلب شیشه‌ها در حدود ۶-۱ درصد است. مهم‌ترین و اصلی‌ترین ماده واسطه آلومینیوم اکسید ( $Al_2O_3$ ) است. در آمیز شیشه می‌توان  $Al_2O_3$  مورد نیاز را از کائولن، فلدسپات یا آلومینیوم اکسید تأمین کرد.



شکل ۱۴- کائولن

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

افزودن سرب اکسید معمولاً به شکلی انجام می‌شود 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 دوام‌دهنده باعث بهبود درخشندگی شیشه می‌شود.

نکته





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

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

بوتۀ	۱	۲	۳
ماده اولیه	سیلیس	کائولن	فلدسپات

۲ بوتۀ‌ها 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، بوتۀ را با رعایت نکات ایمنی از کوره خارج کرده و آمیزها را با هم مقایسه کنید.

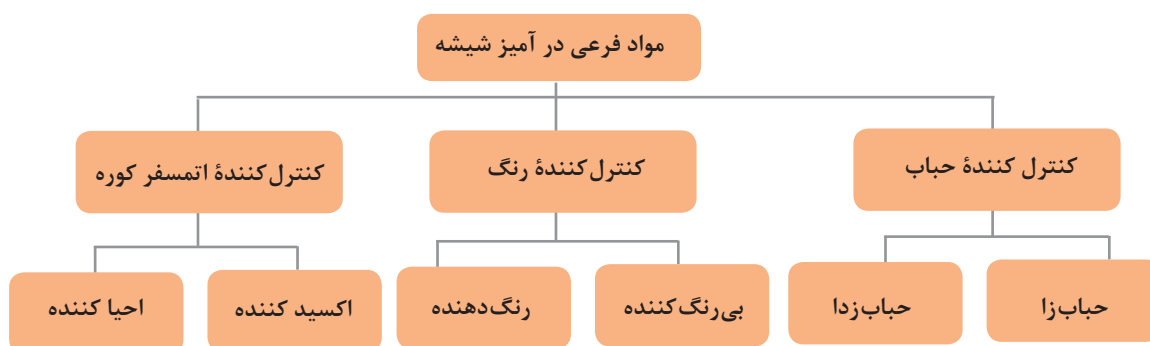


۱ هنگام باز کردن کوره از دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.

۲ هنگام برداشتن بوتۀ با انبر مراقب خطرات احتمالی باشید.

## مواد اولیه فرعی آمیز شیشه

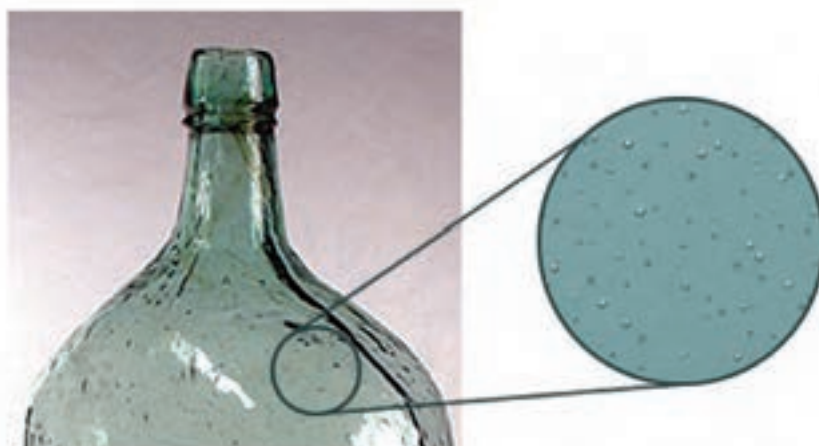
وجود عیوبی مانند حباب و ته رنگ سبز در شیشه از کیفیت ظاهری آن می‌کاهد و شیشه را معیوب می‌کند. بنابراین در کارخانه‌های شیشه‌سازی به آمیز شیشه موادی اضافه می‌شوند تا از بروز این عیوب پیشگیری شود. مقدار مصرف این مواد بسیار کم است بنابراین به آنها مواد فرعی یا جزئی گفته می‌شود. در نمودار ۴ انواع مواد فرعی 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 ( $\text{As}_2\text{O}_5$ )
- آنتیموان اکسید ( $\text{Sb}_2\text{O}_5$ )
- نمک طعام ( $\text{NaCl}$ ) به همراه فلئورین ( $\text{CaF}_2$ ) و سدیم نیترات ( $\text{NaNO}_3$ )
- سدیم نیترات ( $\text{NaNO}_3$ )
- سریم 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 فلئوئورین ( $\text{CaF}_2$ ) 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.

نکته



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



الف  
ب  
شکل ۱۶- الف) شیشه بی‌رنگ شده ب) شیشه بی‌رنگ نشده

- ۱ رنگ نامطلوب در محصولات شیشه‌ای چه تأثیری بر کاربرد آنها می‌تواند داشته باشد؟
- ۲ ترکیبات آهن و کروم به ترتیب باعث ایجاد چه رنگ‌هایی در شیشه می‌شوند؟

تحقیق کنید



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

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

رنگ‌بری شیشه با دو روش انجام می‌شود:

- ۱- شیمیایی: به آمیز شیشه ترکیباتی اضافه می‌کنند که باعث محو شدن رنگ نامطلوب می‌شود. به این مواد که باعث محو شدن رنگ می‌شوند بی‌رنگ‌کننده گفته می‌شود.
- ۲- فیزیکی: رنگ نامطلوب شیشه توسط رنگ‌های دیگر هم‌پوشانی شده و محو می‌شود. نورهای گوناگون از ترکیب سه نور اصلی سبز، آبی و قرمز پدید می‌آیند که ترکیب آنها نور سفید را به وجود می‌آورد.

بیشتر بدانید



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؟

پرسش



ب



الف

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



### 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 شیشه‌ی جلوگیری‌کننده از عبور اشعه‌ی خورشید نشان داده شده است که از جمله شیشه‌های احیایی هستند. شیشه‌ی 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) شیشه‌ی جلوگیری‌کننده 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 تأمین‌کننده‌های 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

بودمان اول: آماده‌سازی مواد اولیه شیشه

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.

نکته



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

فکر کنید



شکل ۲۴- سیلوی ذخیره مواد اولیه

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

نکته



در صنعت شیشه‌سازی، اغلب مواد اولیه اصلی مانند سیلیس، کلسیم کربنات، دولومیت، کائولن و فلدسپات به‌صورت کلوخه‌ای یا فله وارد کارخانه می‌شود. 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 اتافکی 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



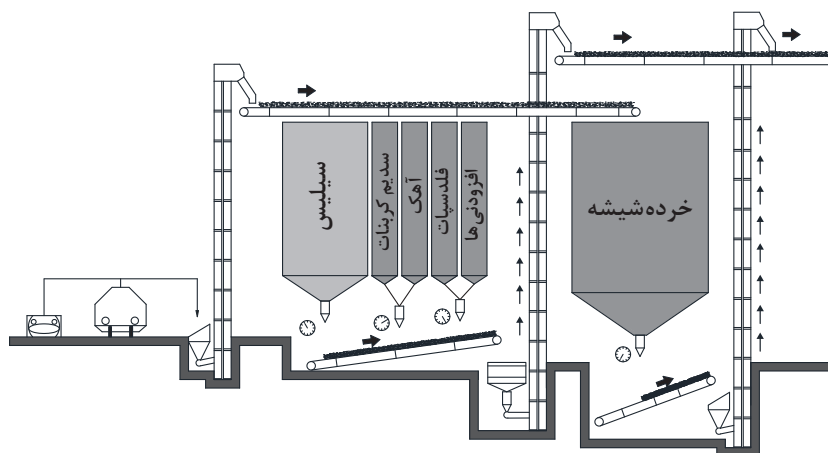
نکات ایمنی





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

همان طور که در شکل ۲۹ می بینید پس از آسیاب کردن مواد و رساندن آنها به دانه بندی لازم، مواد با نوار نقاله و بالابرها به سیلوهای سرپوشیده منتقل می شوند.



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

بودمان اول: آماده‌سازی مواد اولیه شیشه

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



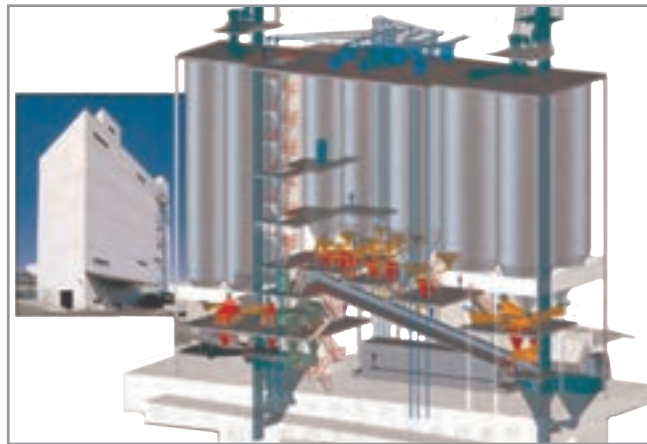
موادی مانند فلدسپات، کائولن و کلسیم کربنات (آهک) که مقادیر آنها نسبت به سیلیس کمتر است در سیلوهایی فلزی ذخیره می‌شوند. در هنگام انتقال مواد پودر شده از آسیاب به سیلو لازم است دوباره عملیات آهن‌گیری انجام شود.



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 (بیچ 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 و مخلوط کردن مواد اولیه

## همگن کردن آمیز

آمیز شیشه در مخلوط کن (بیچ پلانت) در مدت زمان ۳ تا ۵ دقیقه به خوبی همگن و یکنواخت می شود.



شکل ۳۳- مخلوط کن (بیچ پلانت)

به آمیز کاملاً خشک در بیچ 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

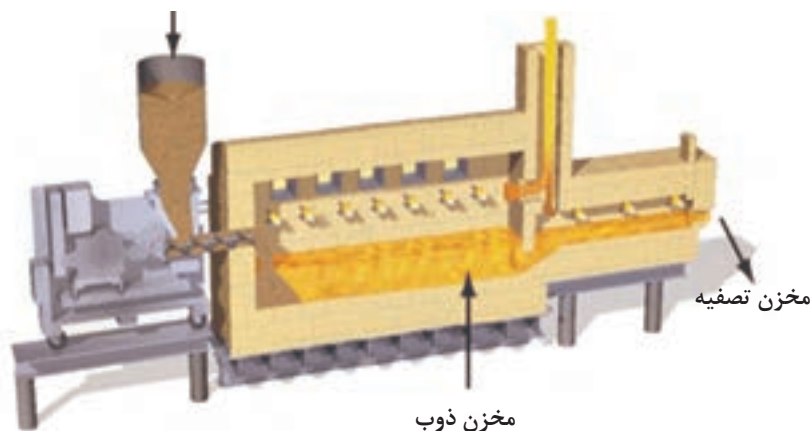
خرده شیشه به دو روش به آمیز اضافه می‌شود:  
الف) در مسیر انتقال آمیز از بچ پلانت به سیلو، خرده شیشه با درصد معین به آمیز روی نوار نقاله افزوده می‌شود.



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.

سیلوی خوراک دهنده



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



شکل ۳۷- مراحل نمونه‌برداری از آمیز

فعالیت  
کارگاهی



### کار عملی ۳: آماده‌سازی آمیز خرد شیشه

مواد و ابزار: تکه‌های شیشه، ترازوی آزمایشگاهی، الک‌های مش ۴۰ تا ۱۲۰، هاون چینی، سرتاس، بوتله دیرگداز، عینک ایمنی، ماسک، دستکش، آهن‌ربا

#### شرح فعالیت:

۱ تکه‌های شیشه را خرد کنید.

نکته: برای خرد کردن تکه‌های شیشه آنها را داخل پارچه ضخیمی پیچیده و با ضربه خرد کنید.

۲ خرد شیشه‌ها را درون هاون چینی ریخته و بسایید.

۳ آمیز بساییده شده را از الک مش ۴۰ تا ۱۲۰ عبور دهید.

۴ با چرخاندن آهن‌ربا در آمیز، آهن‌گیری کنید.

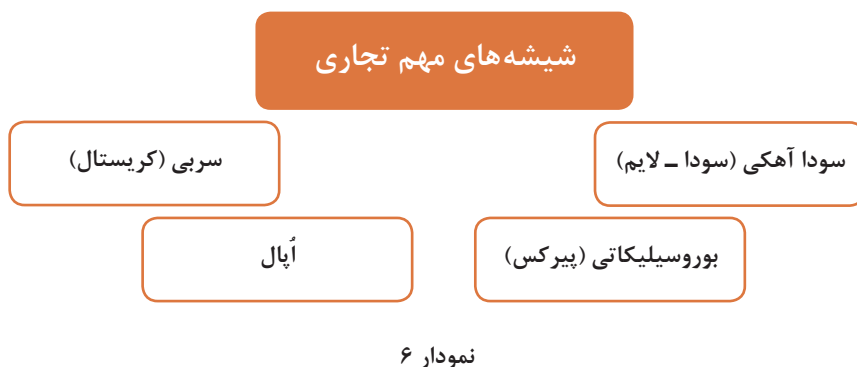
۵ آمیز آماده شده را درون بوتله بریزید.



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

## انواع شیشه

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



### ۱ شیشه سودا آهکی

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



ج



ب



الف

شکل ۳۸- برخی از کاربردهای شیشه سودا-آهکی (الف) شیشه‌های ساختمانی (ب) ظروف شیشه‌ای (ج) بطری عطر

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

۱ عبور نور و شفافیت

۲ مقاومت در برابر شوک حرارتی (تغییرات ناگهانی دما)

۳ مقاومت شیمیایی

شیشه‌های سودا آهکی از لحاظ خواص مطرح شده و کیفیت در مقایسه با سایر شیشه‌ها نسبتاً مطلوب هستند و نیاز 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 به دست می‌آیند اضافه می‌کنند.



شکل ۳۹- آمیز شیشه سودا آهکی 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 دیرگداز، 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 بوروسیلیکاتی

## ۲ شیشه‌های بوروسیلیکاتی

آمیز اصلی شیشه‌های بوروسیلیکاتی را سیلیس و بوراکس 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>۲</sub>	B <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	Na <sub>۲</sub> O	K <sub>۲</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 شیشه سربی

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



در جدول ۴ 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: آماده‌سازی آمیز شیشه سربی

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

شرح فعالیت:

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

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

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

نکات ایمنی



۱ هنگام برداشتن مواد حتماً از ماسک و دستکش استفاده کنید.

۲ هنگام ساییدن آمیز عینک ایمنی بزنید.

۳ دقت کنید که در طی مراحل آماده‌سازی آمیز، ایجاد گرد و غبار به حداقل برسد.



**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 آپال

شیشه آپال 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 آپال



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

### شرح کار:

- ۱- آماده‌سازی وسایل و تجهیزات تهیه آمیز شیشه
- ۲- آماده‌سازی مواد اولیه تهیه آمیز شیشه
- ۳- آماده‌سازی آمیز شیشه‌های سیلیکاتی
- ۴- آماده‌سازی آمیز شیشه‌های بوروسیلیکاتی
- ۵- آماده‌سازی آمیز شیشه‌های سربی

### 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.

### شاخص‌ها:

- ۱- آماده‌سازی ماشین‌آلات مواد اولیه شیشه
- ۲- تهیه آمیز شیشه‌های 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 مش‌های مختلف، انبر، بوته، ماسک، دستکش نسوز، کفش ایمنی، ماسک تنفسی، لباس کار، پیش بند مناسب (نسوز یا چرمی)، تجهیزات اطفای حریق

### معیار شایستگی:

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

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