

## پودمان ۲

### ساخت مذاب



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

## واحد یادگیری ۲

### شایستگی ساخت مذاب و 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.



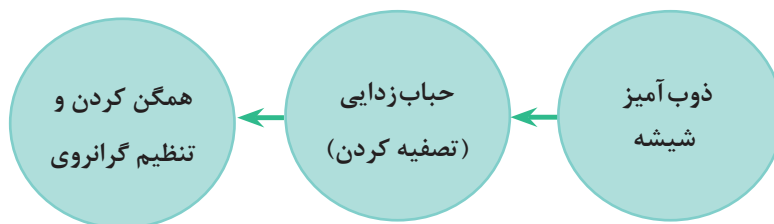
محصول شیشه‌ای

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

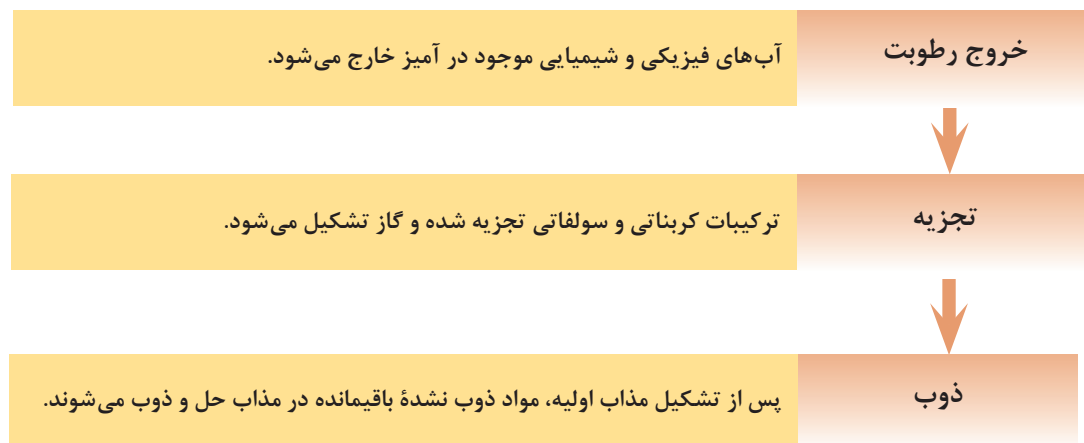
## ذوب آمیز شیشه

ابتدا آمیز آماده شده در قسمت بیچ 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.



### 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 تَرَک 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.



- 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 گرانیوی مذاب و انحلال حباب‌های ریز در آن می‌شود و قابلیت شکل‌پذیری مذاب بیشتر می‌شود.

## مراحل ذوب شیشه با کوره الکتریکی آزمایشگاهی

- ۱ بوتله را در نقطه‌ای از کوره قرار دهید تا از درجه کوره قابل مشاهده باشد.
- ۲ برنامه 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 گرانی 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، بوتله دیرگداز، کوره 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 بوتله 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 بوتله دیرگداز حاوی آمیز شیشه سیلیکاتی را درون کوره قرار دهید.
- ۴ با رعایت نکات ذکر شده در مورد روش کار کوره آزمایشگاهی، مذاب شیشه را تهیه کنید.
- نکته:** برای ذوب کردن این آمیز، درجه حرارت کوره باید حدوداً ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سلسیوس باشد.
- ۵ دمای کوره را به ۸۰۰ درجه سلسیوس کاهش دهید.
- ۶ با کمک و نظارت هنرآموز، بوتله 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 می‌توانند به صورت حباب‌های قابل مشاهده در مایعات مانند حباب هوای حبس شده در عسل باشند. همچنین گازها می‌توانند به صورت حل شده در مایع و غیرقابل مشاهده باشند مانند انحلال اکسیژن در آب که امکان حیات آبیان را مهیا می‌سازد 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 می‌شود 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

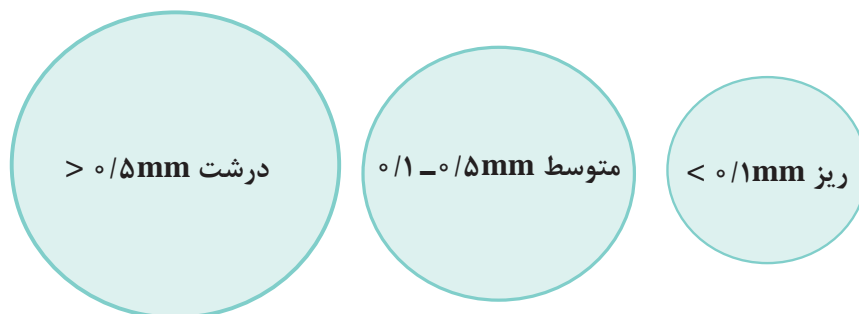
پس از تشکیل مذاب، اساسی‌ترین مرحله حباب‌زدایی است. گرانیوی مذاب شیشه در بهترین حالت فرایند ذوب، در حدود ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ پواز است. بنابراین مقداری از گازها نمی‌توانند از مذاب خارج شوند و باعث تولید حباب در اندازه‌های مختلف در شیشه تولیدی می‌شوند.

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.

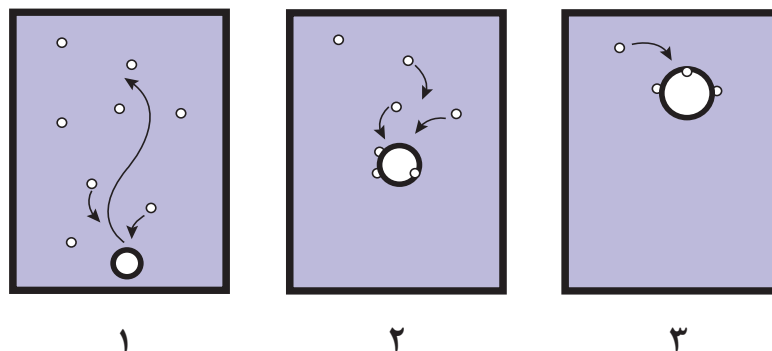
**۱ حل کردن گازها و حباب‌ها درون مذاب:** مشابه حالت میعان با سرد کردن بعضی از گازها می‌توان آنها را در مایع حل کرد. از این روش برای حل کردن گاز کربن دی‌اکسید در نوشابه نیز استفاده می‌شود. به همین ترتیب می‌توان از این ویژگی برای از بین بردن حباب‌ها در مذاب شیشه استفاده کرد. انحلال حباب‌های ریز در مذاب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

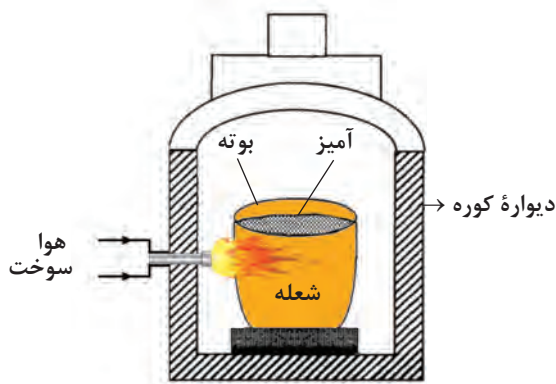
۶- Oxygen - Fuel

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 بوت‌های

کوره بوت‌های شامل بوت‌های است که داخل کوره قرار گرفته و عمل بارگیری و برداشت مذاب از داخل بوت‌ها 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.

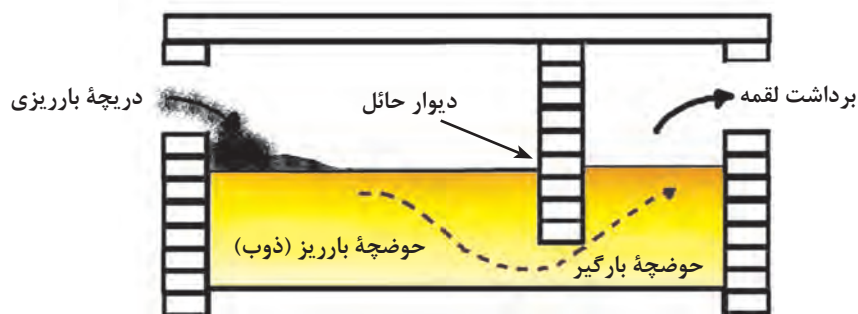


شکل ۷- کوره بوت‌های

حجم کوره‌های بوت‌های 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 گرانبوی 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 گرانیوی 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:

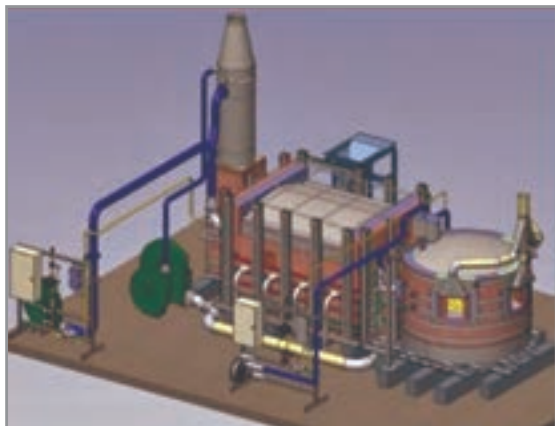
- از ورود مواد ذوب نشده، سنگ‌ها و کف شناور بر سطح مذاب به درون حوضچه بارگیر جلوگیری می‌کند.
- امکان تنظیم دماهای متفاوت را برای حوضچه‌ها فراهم می‌کند.

**۳ حوضچه بارگیر:** در حوضچه بارگیر (لقمه برداری)، به مذاب فرصت داده می‌شود تا حباب‌ها از داخل آن خارج شوند. سپس با کاهش دما، گرانیوی 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



فعالیت  
کارگاهی



### 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.

#### 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 نحوه برداشتن بوتۀ دقت کافی داشته باشید.

### کوره بانی کوره‌های بوتۀ‌ای و مخزنی روزکار

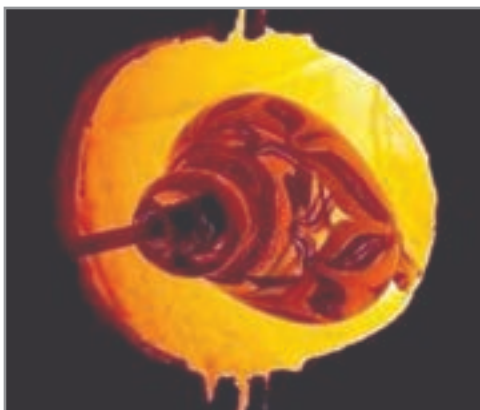
کوره بان وظیفه راه‌اندازی و کنترل کوره را بر عهده دارد و باید بر نحوه بارگیری و شرایط عملیاتی کوره نظارت کامل داشته باشد. برخی از نکات فنی که کوره بان باید مدنظر قرار دهد عبارت است از:

- 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 سازنده 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 گرانی و شکل‌پذیری مذاب، شرایط مناسب را در حوضچه بارگیری کنترل کند.
- ۵ اگر گرانی و مذاب برای شکل‌دهی مناسب باشد، حرارت مشعل‌ها ثابت نگه داشته می‌شود تا دما و گرانی و 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.



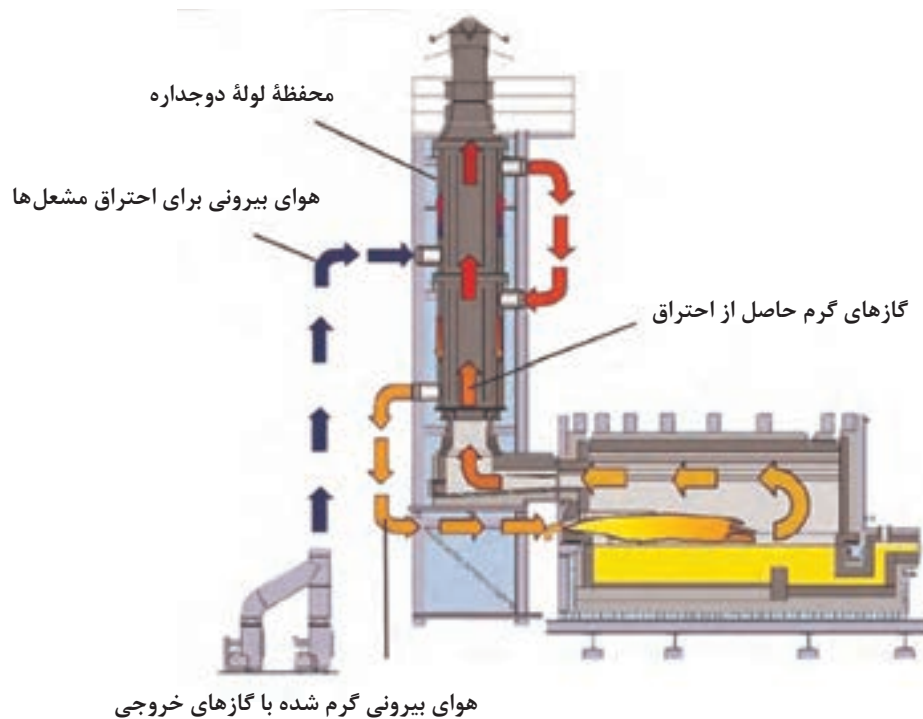
- ۱ کوره گاز سوز در مکانی باشد که تهویه مناسب هوا به خوبی انجام شود.
- ۲ هنگام کار با کوره حتماً از ماسک، دستکش نسوز و عینک ایمنی استفاده کنید.
- ۳ برای برداشتن بوتۀ حاوی مذاب شیشه از درون کوره الکتریکی حتماً برق کوره را قطع کنید.
- ۴ هنگام برداشتن بوتۀ حاوی مذاب شیشه، فاصله مناسب از کوره را رعایت کنید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

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

فکر کنید



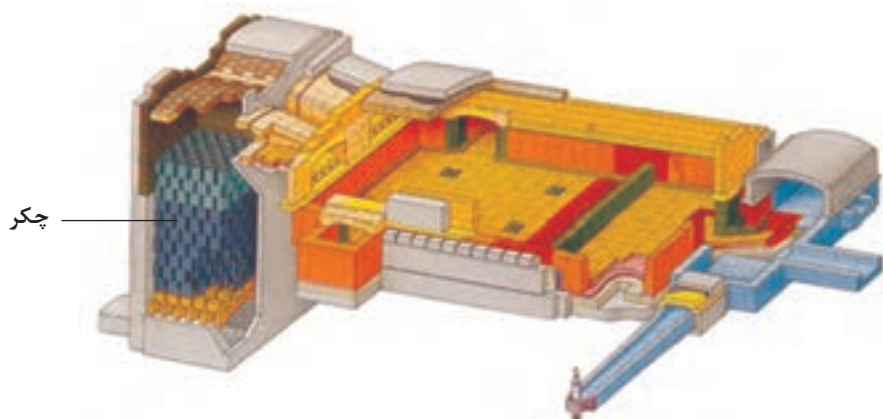
در سامانهٔ ریجنراتور برای گرم کردن هوای مورد نیاز مشعل‌ها از دو مجموعه چکر<sup>۱</sup> استفاده می‌شود. چکرها اتاقک‌هایی هستند که از آجرهای دیرگداز چیده شده به صورت شطرنجی، صلیبی یا دودکشی ساخته شده‌اند. یکی از چکرها وظیفهٔ خروج هوای داغ کوره و چکر دیگر، وظیفهٔ تأمین هوای مشعل‌ها را بر عهده دارد. وظیفهٔ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

## انواع کوره‌های ریجنراتوری

### پشت‌گذر

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

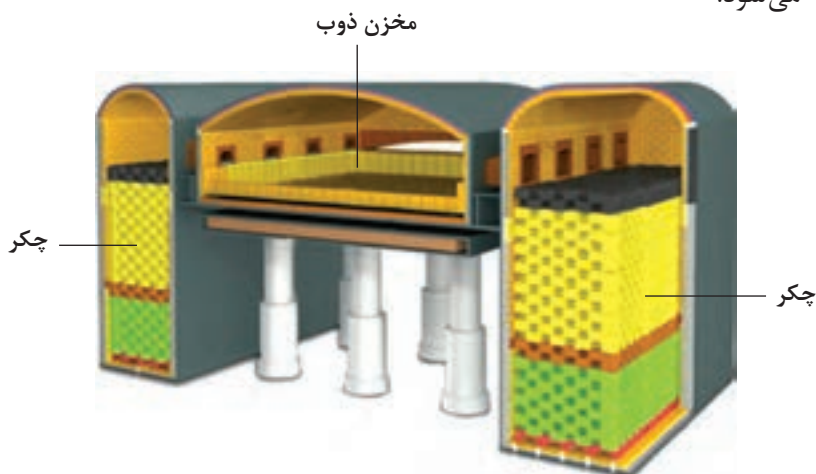




شکل ۱۴ - کوره پیوسته مجهز به سامانه بازیافت حرارتی ریجنراتور با چکرهای پشت گذر

### پهلوی گذر

در کوره‌های پهلوی گذر (کنار گذر)، 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 چکرهای پهلوی 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 حباب‌زدا و بی‌رنگ کننده مواد و ابزار: سیلیس، کائولن، فلدسپات، سدیم کربنات، دولومیت، کلسیم کربنات، مواد حباب‌زدا و بی‌رنگ کننده شیمیایی (مانند: آرسنیک اکسید، آنتیموان اکسید، سدیم سولفات، سدیم نیترات)، بی‌رنگ کننده‌های فیزیکی (کبالت اکسید، کبالت کربنات، کبالت سیلیکات، سلنیم اکسید، سلنیم کربنات)، بوتۀ دیرگداز، کورۀ 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 ۰/۵ الی ۱ درصد ماده حباب‌زدا و ۰/۱ الی ۰/۵ درصد ماده بی‌رنگ کننده شیمیایی و ۰/۰۱ الی ۰/۰۳ درصد ماده بی‌رنگ کننده فیزیکی اضافه کنید.

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



- ۱ کورۀ 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 کوره‌های پیوسته مجهز به سامانه باز یافت حرارتی

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

کانال تنظیم  
گرانروی مذاب

مخزن تصفیه

دیوار 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 پهلو 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 پهلو گذر



الف) مخزن ذوب کوره ریجنراتوری پشت گذر

شکل ۱۸



شکل ۱۹- دیوار حائل و گلوگاه در انتهای مخزن ذوب

**۲ 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.

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

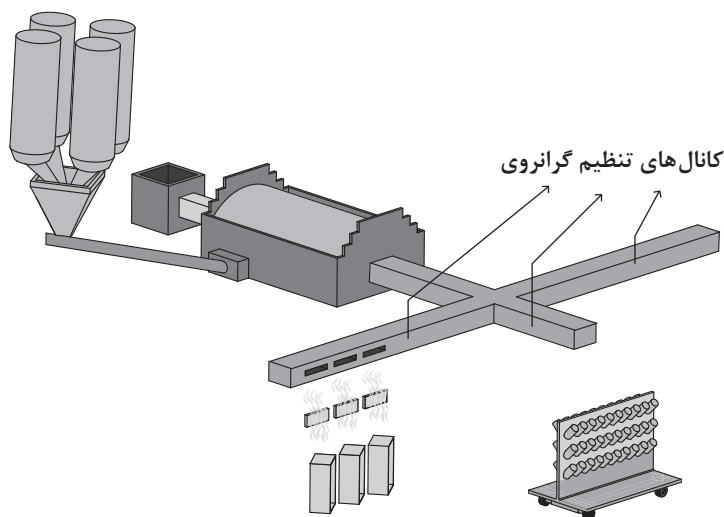
در برخی از کارخانجات شیشه در مخزن تصفیه از همزن مکانیکی برای همگن کردن مذاب و تا حدودی تصفیه کردن آن استفاده می‌کنند.

نکته



شکل ۲۰- همزن مکانیکی

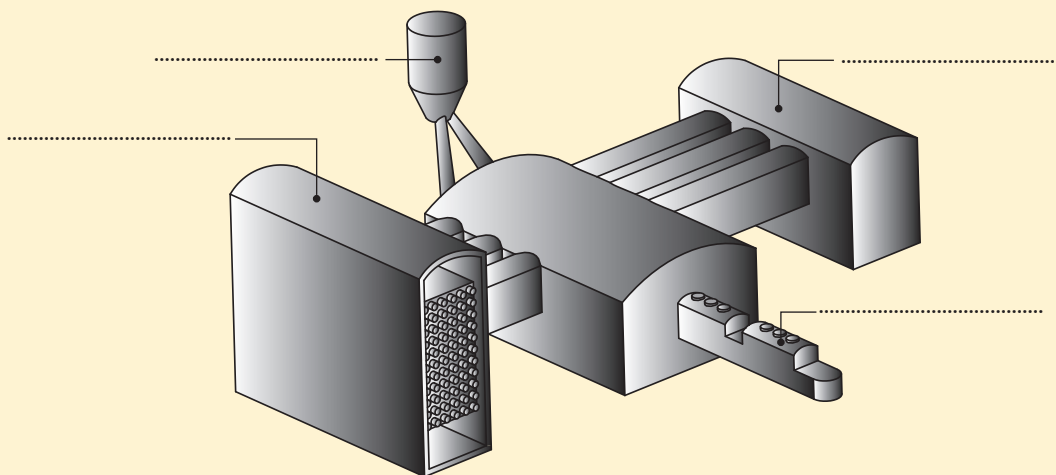
۵ کانال تنظیم گر انرژی مذاب: کوره‌های تولید شیشه ظروف یا بطری، در انتهای مخزن تصفیه به کانال‌هایی متصل می‌شوند که مذاب را به سمت دستگاه‌های شکل‌دهی هدایت می‌کند. براساس تعداد خطوط شکل‌دهی این کانال‌ها ساخته می‌شود. در این کانال‌ها از دمش هوا برای کاهش دمای مذاب و تنظیم گر انرژی آن برای شکل‌دهی استفاده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



شکل ۲۱- کوره با کانال تنظیم گر انرژی (فورهارث)

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

فعالیت  
کلاسی



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



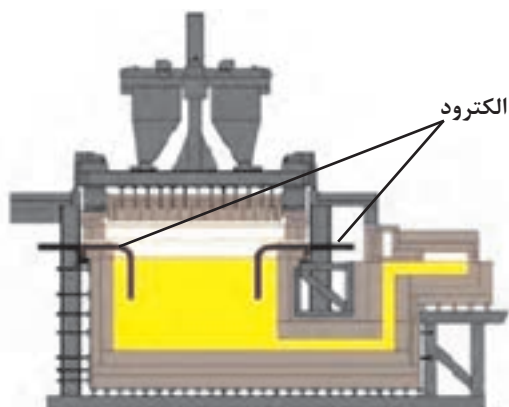
در برخی از کوره‌ها، از اکسیژن به جای هوا برای سوختن مشعل‌ها استفاده می‌شود. در این حالت نیز دمای شعله افزایش یافته و ظرفیت تولید بیشتر می‌شود. این کوره‌ها به کوره سوخت اکسیژن<sup>۱</sup> معروف هستند.

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 نترات) 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 ۰/۵ الی ۱ درصد ماده حباب زدا و ۰/۱ الی ۰/۵ درصد ماده بی رنگ کننده شیمیایی، ۰/۱ الی ۰/۳ 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 نحوه 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 ۰/۵ الی ۱/۵ 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 نحوه برداشتن بوتۀ دقت کافی داشته باشید.

<p><b>شرح کار:</b></p> <p>۱- تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و سربی</p> <p>۲- تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا</p> <p>۳- تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد بی رنگ کننده</p> <p>۴- تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد رنگ کننده</p> <p>۵- تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد احیا کننده</p>		
<p><b>استاندارد عملکرد:</b></p> <p>ساخت مذاب شیشه با توجه به فرمولاسیون، محاسبه مقدار مواد حباب زدا، رنگی کننده و بی رنگ کننده، همگن سازی مذاب</p> <p><b>شاخص‌ها:</b></p> <p>تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی، بوروسیلیکاتی و سربی</p> <p>تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا بی رنگ کننده، مواد رنگ کننده و یا احیا کننده</p>		
<p><b>شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:</b></p> <p>مکان: کارگاه استاندارد ذوب شیشه</p> <p><b>ابزار و تجهیزات:</b> 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</p>		
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>		
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی از ۳ نمره هنرجو
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 شیشه سیلیکاتی حاوی مواد بی رنگ کننده، رنگ کننده و احیا کننده	۱
<p><b>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</b></p> <p>دقت عمل و صحت، مسئولیت پذیری، مدیریت مواد و تجهیزات، مدیریت زمان، به کارگیری فناوری مناسب</p>		۲
<p><b>میانگین نمرات</b></p>		
*		
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ است.</p>		