

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



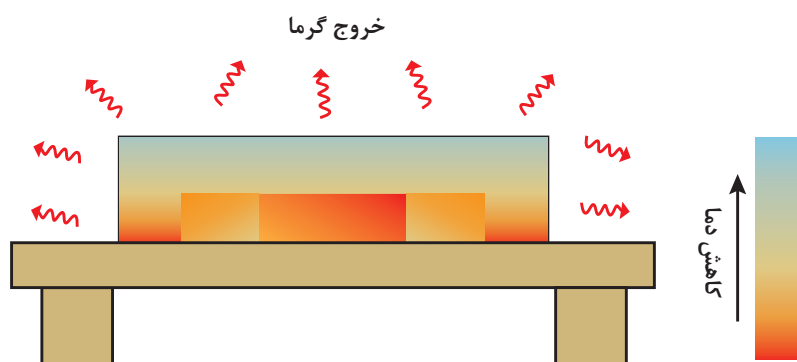
ب) شکل‌دهی به روش دستگاهی



الف) شکل‌دهی به روش دستی

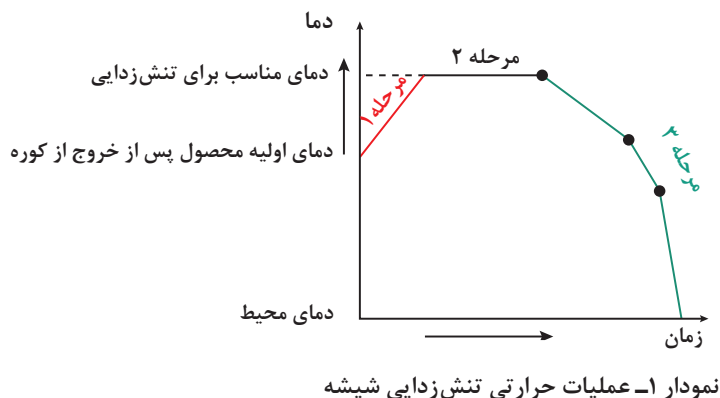
شکل ۱

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



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» 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 کنترل‌دمایی دقیق‌تر است. در آزمایشگاه‌ها تنش‌زدایی شیشه در کوره الکتریکی انجام می‌شود. تصویر این کوره‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است.



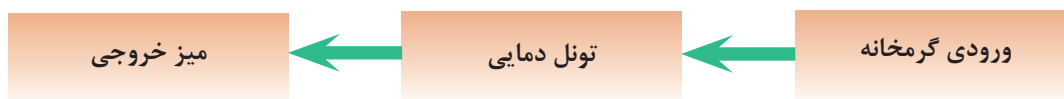
ب) کوره الکتریکی



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.



شکل ۵- محصول شیشه‌ای با بدنهٔ انحنادار

۱ شیشه‌هایی که تخت نباشند.

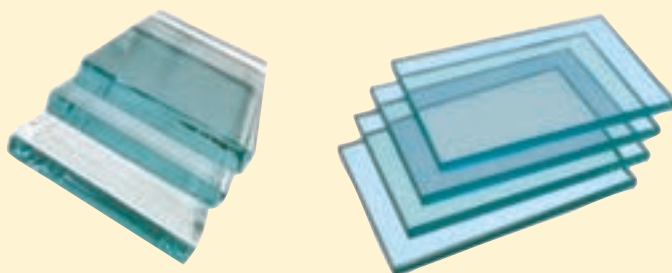
۲ شیشه‌هایی که در بدنهٔ آنها اختلاف ضخامت وجود دارد. به عنوان مثال در شکل ۶ شیشه در قسمت بالایی ضخامت کمتری نسبت به قسمت پایین‌تر آن دارد.



شکل ۶

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

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



(ب) شیشهٔ تخت با ضخامت زیاد

(الف) شیشهٔ 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 شلوع نباشد.
- در هنگام برداشتن مذاب شیشه باید در فاصله مشخصی از کوره قرار بگیرید تا حرارت باعث سوختگی نشود.
- با احتیاط شیشه را به کوره آنیل منتقل کنید.
- در هنگام خارج کردن شیشه از کوره اطمینان حاصل کنید که کوره خاموش است.



### کار عملی ۲: تنش‌زدایی شیشه 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 اولیه 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 شیشه 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، صفحه نسوز آلومینایی، انبر و آهنربا

#### شرح فعالیت:

مواد اولیه 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)



شکل ۸- شکستن شیشه سرد با ریختن مایع داغ

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

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.



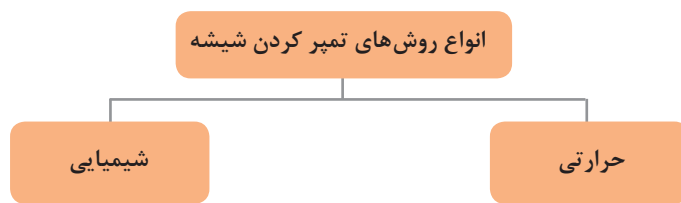
شکل ۹- شکسته شدن شیشه تنش‌زدایی شده در اثر ضربه

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.

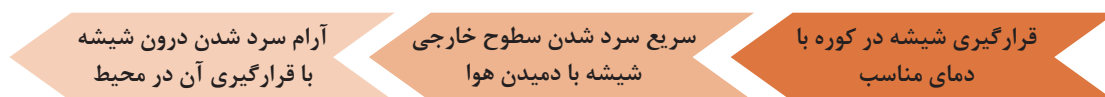


نمودار ۴

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:



نمودار ۵ - مراحل تمپر حرارتی

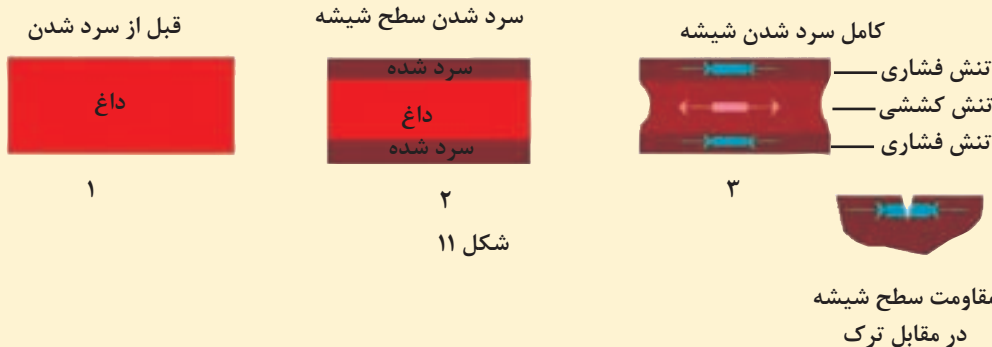
در صورتی که شیشه نیاز به تمیز کردن، برش یا عملیاتی مانند سوراخ‌کاری و سنگ‌سابی داشته باشد باید قبل از تمپر کردن انجام شود.

نکته



همان‌طور که در شکل ۱۱ می‌بینید، 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





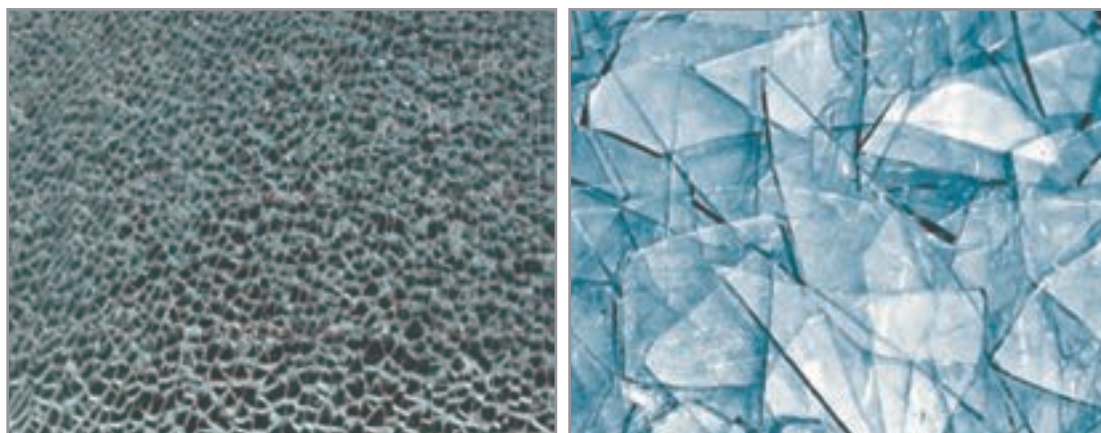
عملیات سریع سرد کردن سطوح شیشه توسط جریان هوا صورت می‌پذیرد. مقدار جریان هوای دمیده شده به عوامل مختلف مانند دمای شیشه و ضخامت آن بستگی دارد.

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.



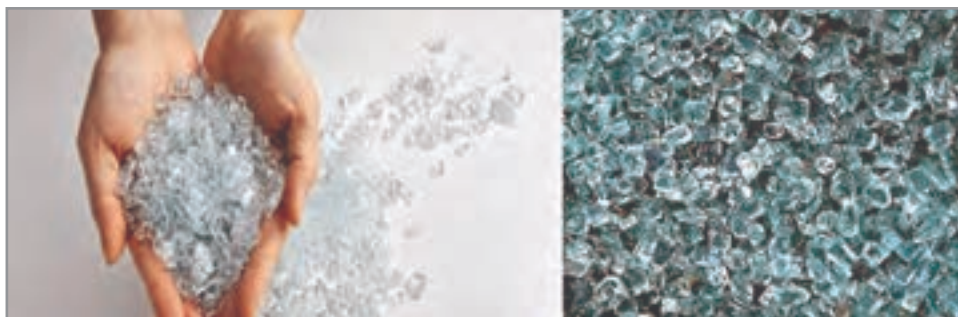
ب

الف

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

#### پودمان چهارم: عملیات تکمیلی شیشه

به شیشه‌های تمپر شده شیشه‌های ایمنی یا سکوریت نیز گفته می‌شود، زیرا این شیشه‌ها با ضربه‌های قوی تر 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

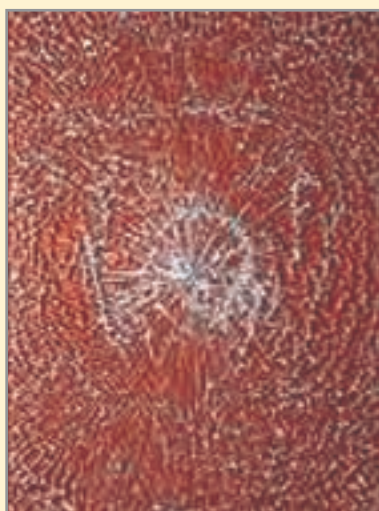
شیشه‌هایی که سرعت سرمایش بیشتری دارند، درجه تمپر کردن بالاتری دارند. استحکام این شیشه‌ها نسبت به شیشه اولیه تا چندین برابر می‌تواند افزایش یابد.

نکته

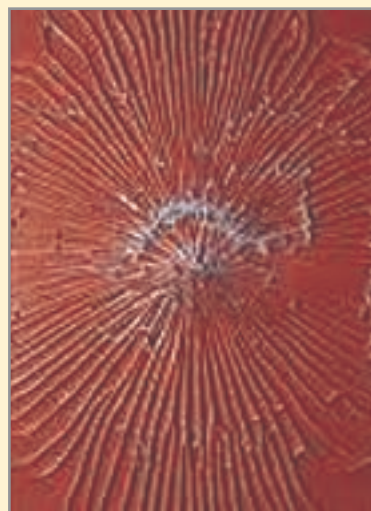


با توجه به الگوی شکست در شیشه‌های شکل ۱۵ مشخص کنید کدام یک درجه تمپر بالاتری دارد؟ چرا؟

فکر کنید



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، مقداری 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 تمپرنشده 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 سرمایه‌ش سریع سطوح شیشه است ولی اگر به صورت یکنواخت و صحیح انجام نشود موجب شکسته شدن آن می‌شود.

● 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.

نکات ایمنی



بیشتر بدانیم



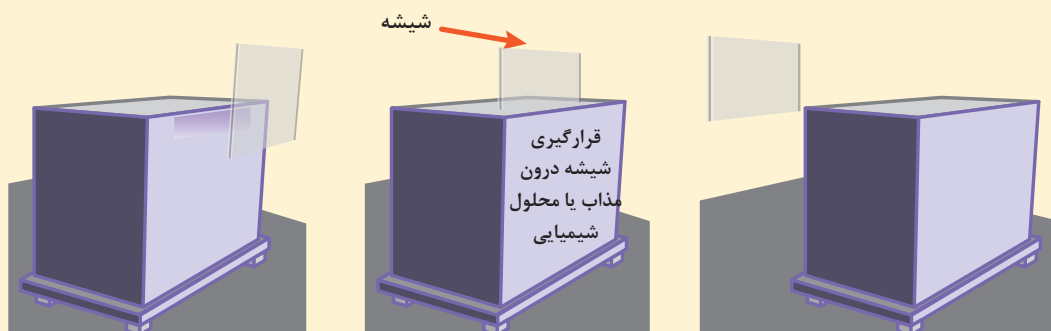
### تمپر شیمیایی

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



شکل ۱۷

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



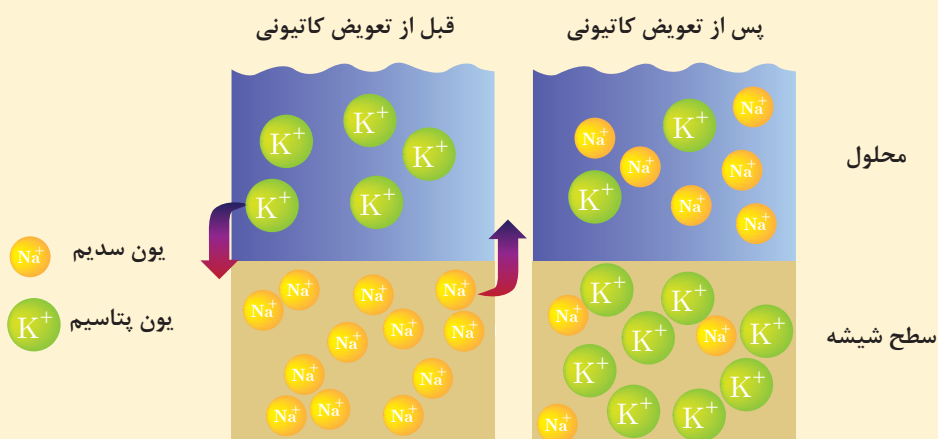
الف) آماده‌سازی شیشه و محلول شیمیایی

ب) غوطه‌وری شیشه درون محلول شیمیایی

ج) خارج کردن شیشه تمپر شده از درون محلول پس از گذشت چندین روز

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



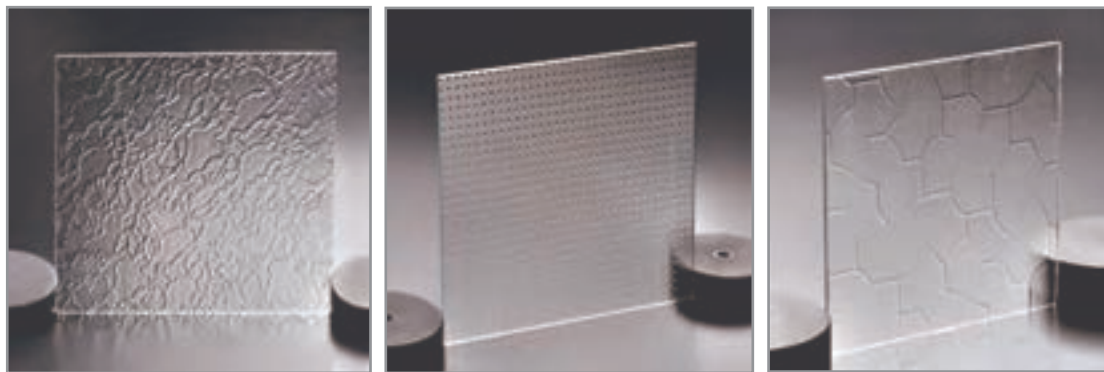
## شیشه مشجر



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.

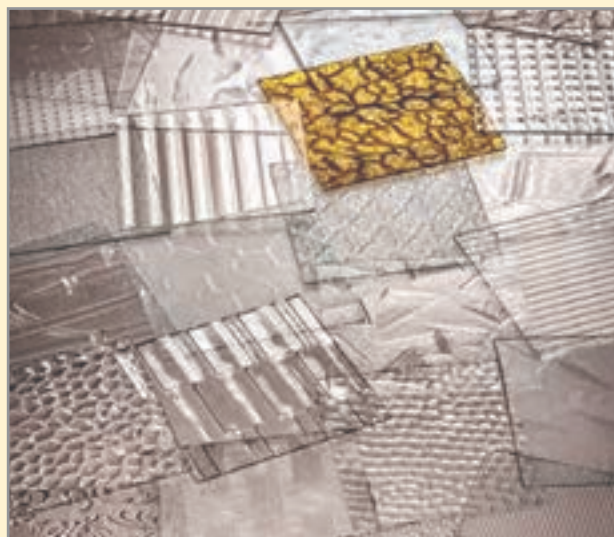
نکات ایمنی



- 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 به‌کارگیری شیشه معمولاً نیاز است، برش شیشه است. شکل ۲۳ شیشه‌های برش خورده با شکل‌های گوناگون را نشان می‌دهد. چگونه می‌توان شیشه را بدون شکستن آن برش داد؟



شکل ۲۳- برش شیشه در شکل‌های گوناگون

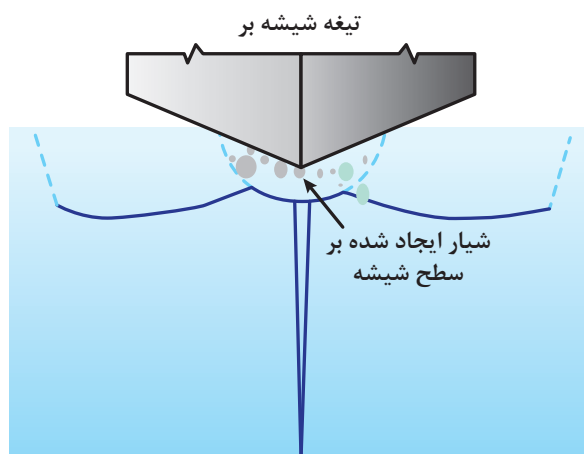
ابزار و دستگاه‌های مختلفی برای برش شیشه به کار می‌رود که پرکاربردترین آنها در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- ابزار و دستگاه‌های شیشه‌بری

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

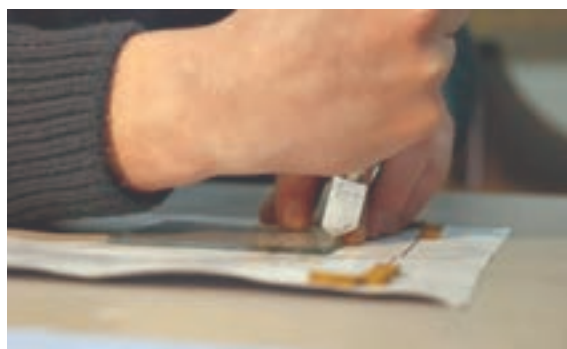
#### شیشه‌بر

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

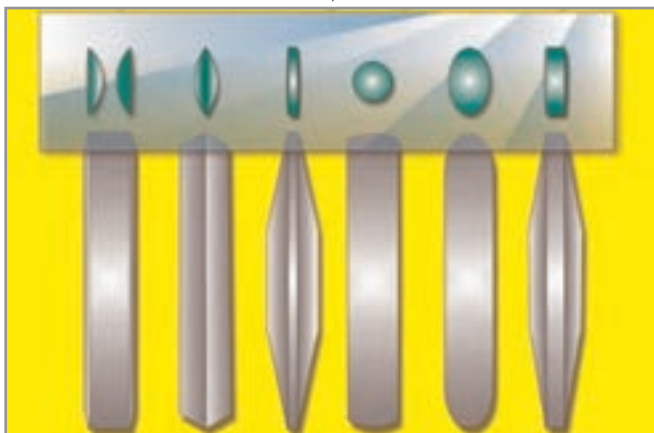
شیشه‌های تمپر شده را نمی‌توان با شیشه‌بر برش داد. زیرا به محض ورود عامل برش به درون شیشه تنش‌هایی که در اثر عملیات حرارتی در سطح شیشه ذخیره شده به صورت ناگهانی آزاد می‌شود و شیشه می‌شکند.

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

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.

نکته



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

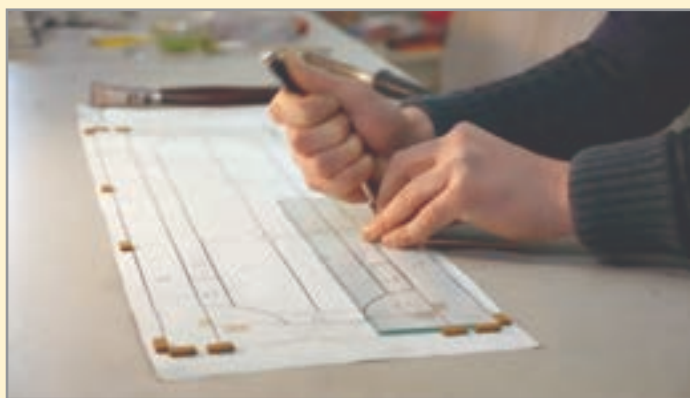


### کار عملی ۸: برش شیشه با شیشه بر

مواد و ابزار: دو قطعه شیشه تنش زدایی 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 خط کش 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.



شکل ۲۹- استفاده از دستکش در شیشه‌بری

- 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.



**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 شیشه‌های برش خورده کار عملی ۸ استفاده کنید.
- ۲ دستگاه ساب زنی را با راهنمایی هنرآموز روشن کنید.
- ۳ لبه‌های شیشه بریده شده را بر روی دستگاه ساب زنی قرار دهید و لبه‌های 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 می‌چرخد و بر روی شیشه شیار ایجاد می‌کند. همزمان دستگاه حرارت کمی بر شیشه وارد می‌کند تا برش بهتر انجام شود. در بیشتر کارگاه‌های شیشه‌گری از این دستگاه برای برش ضایعات و اضافه‌های شیشه تولید شده استفاده می‌کنند.



شکل ۳۰- دستگاه برش حرارتی



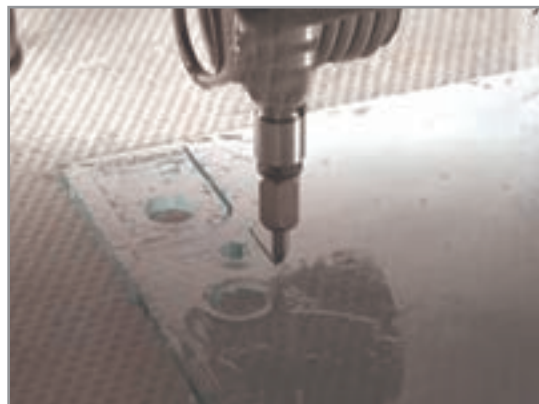
### برش شیشه با آب (واترجت)

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



شکل ۳۱- برش شیشه با واترجت

دستگاه‌های واترجت مصرف آب کمی دارند که این مقدار آب مصرفی نیز قابل بازیافت است. همچنین در این روش دقت برش بالا است و میزان ضایعات بسیار کم است. با دستگاه واترجت می‌توان بر روی شیشه تخت برش یا سوراخ‌کاری با اندازه مورد نظر ایجاد کرد (شکل ۳۲).



شکل ۳۲- برش و سوراخ‌کاری با دستگاه واترجت



روش واترجت برای برش چه مواد دیگری کاربرد دارد؟

کنترل دستگاه برش واترجت با دستگاه کنترل عددی کامپیوتر سی ان سی (CNC<sup>۱</sup>) انجام می‌گیرد. دستگاه سی ان سی (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 سی ان سی (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

پودمان چهارم: عملیات تکمیلی شیشه

شیشه‌ی 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 لایه پلیمری می‌شود.

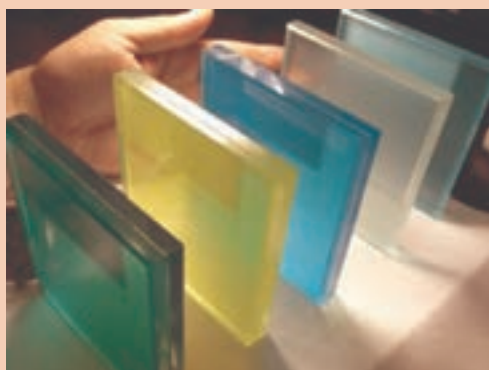


شکل ۳۵- دستگاه اتوکلاو

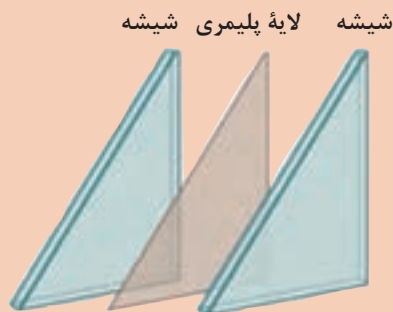
نکته



مرسوم‌ترین لایه 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

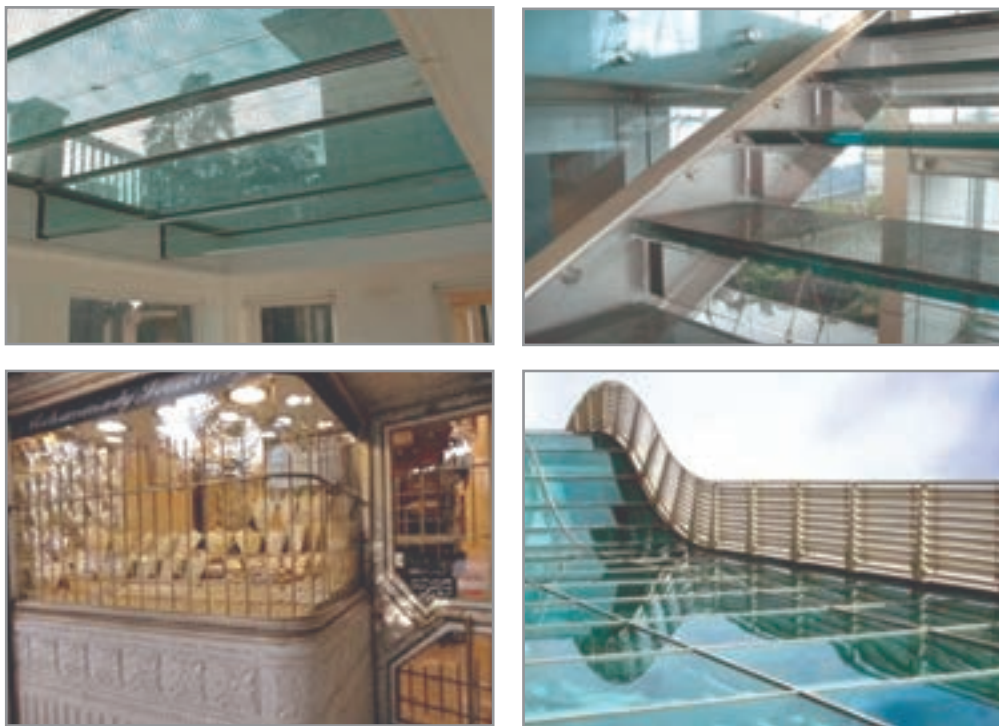
- شیشه‌ عایق صوتی

- 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؟



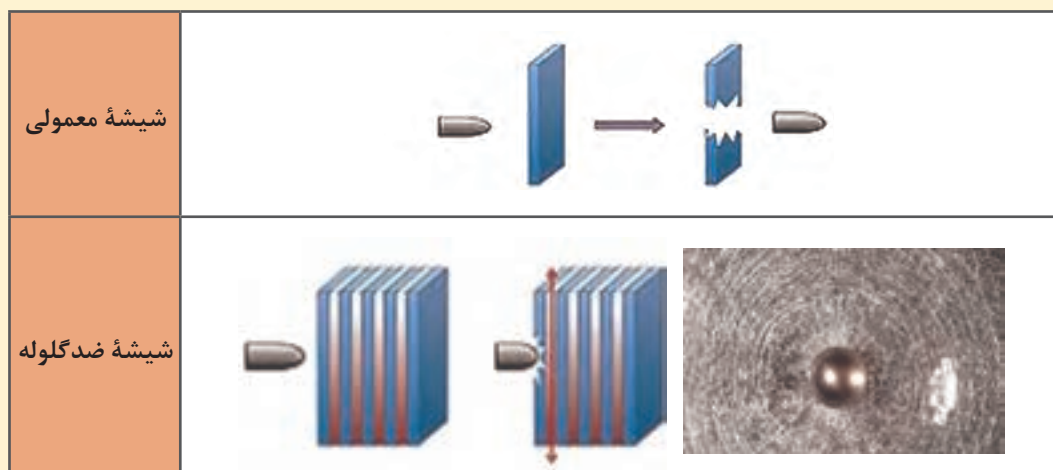
شکل ۳۹- شیشه طلقی (لمینیت) پس از شکسته شدن

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  $150$  درجه سلسیوس به مدت  $30$  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

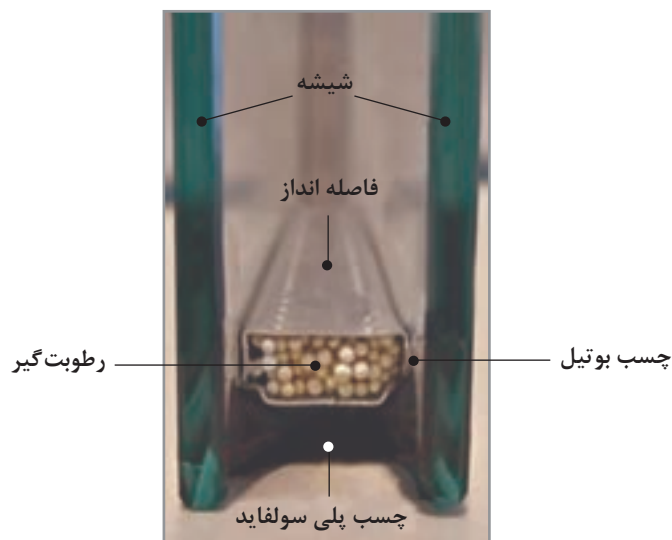
با توجه به روند افزایش مصرف انرژی، صرفه جویی انرژی مورد توجه قرار دارد و راهکارهای بسیاری برای این منظور ارائه شده است.

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 کدروی 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 طلقی) 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.

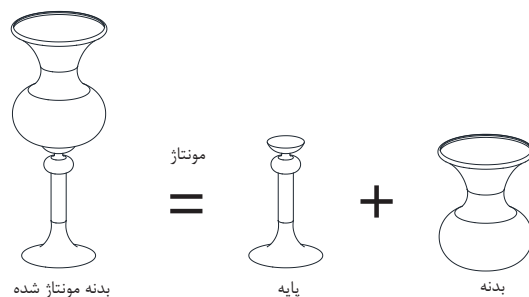
## مونتاژ شیشه با روش پولیش حرارتی

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 هر یک 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.

نکته



فعالیت  
کارگاهی



**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.

نکات ایمنی



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

## مات کردن شیشه

شیشه ظاهری شفاف دارد و در برابر اغلب مواد شیمیایی مقاومت مناسبی دارد. مات کردن شیشه با روش شیمیایی به منظور کاهش عبور نور یا 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 بی‌فلوراید 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>



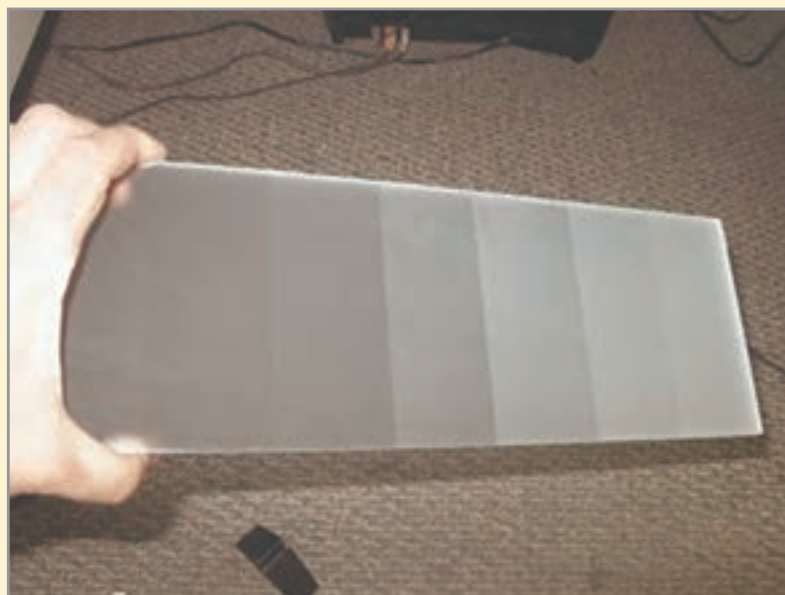
شکل ۵۰- عینک ایمنی طلقی ضد اسید و مواد شیمیایی

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.

نکات ایمنی



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

گفت‌وگو کنید



## ارزشیابی نهایی

### 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: 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.