فصل اول

آماده‌سازی مواد اولیهٔ شیشه

تصویر ورودی فصل، تصویری از دپو پودر سیلیس پس از آسیاب را نشان می‌دهد.

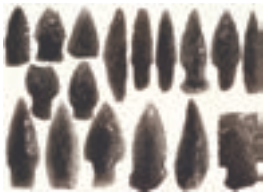
شکل ۱ صفحه ۳ در قسمت (الف) محصولات مختلف شیشه‌ای آمده است. در قسمت (ب) مواد اولیه آمیز (بچ) شیشه که شامل موادمعدنی سیلیس، دولومیت و خرده شیشه است.

پیش از توضیح دربارهٔ ساختار آمورف شیشه‌ها، مواد اولیه‌ای که برای تهیه آمیز شیشه مورد استفاده قرار می‌گیرند و حالت شیشه‌ای ندارند را به هنرجویان نشان داده و بیان این مطلب که این مواد هنگامی که ذوب می‌شوند و با سریع سرد شدن مذاب، حالت شیشه‌ای پیدا می‌کنند.

الف) محصولات شیشه‌ای

ب) مواد اولیه

شکل ۲ صفحه ۳ اولین ابزارهای شیشه‌ای دست‌ساز انسان که از تراشیدن سنگ‌های شیشه‌ای به دست می‌آمدند و این شیشه‌ها از گدازه‌های خروجی آتشفشان‌ها که سختی بالایی دارند ساخته شده‌اند.



در شکل ۳ صفحه ۴ دو نوع شیشه طبیعی نشان داده شده است، (الف) سنگ آبسیدین که ساختار آن آمورف (شیشه‌ای) است و از سریع سرد شدن گدازه‌های خروجی از آتشفشان حاصل شده است. (ب) سنگ‌های حاصل از شهاب‌سنگ‌های رسیده به زمین است که به‌علت سریع سرد شدن در اثر عبور از جو زمین به شیشه تبدیل شده‌اند. هدف از آوردن این تصاویر آن است که مقدمه‌ای برای آموزش ساختار آمورف شیشه‌ها بیان شود.

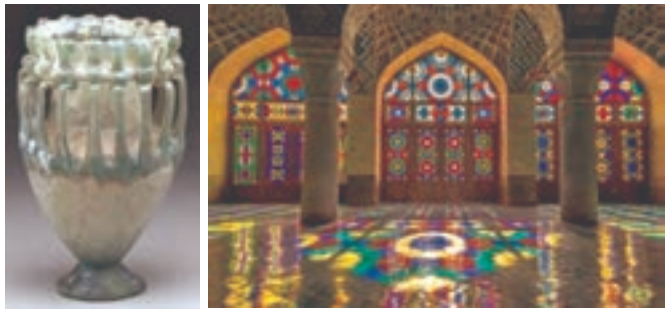
ب الف

شکل ۴ صفحه ۴ در کتب تاریخی سرآغاز دستیابی انسان به هنر شیشه‌سازی را تصادفی بیان کرده است که در بقای محل‌هایی که آتش روشن می‌کردند و پس از خاموش شدن آتش سنگ‌ریزه‌هایی با جلای شیشه‌ای می‌یافتند که به خاطر رنگ و ظاهر زیبای آنها مورد توجه قرار می‌گرفت. سنگ‌ریزه‌ها از جنس سیلیس بودند که با خاکستر حاصل از سوختن گیاهان که حاوی مواد قلیایی است ترکیب می‌شوند. این عامل باعث کاهش دمای ذوب سنگ‌ریزه‌ها شده و به دلیل وجود ناخالصی‌ها در سنگ‌ها به رنگ‌های مختلف و به صورت شیشه‌ای درمی‌آمده‌اند.

مهره‌های شیشه‌ای تاریخی

انسان‌ها کم‌کم با جمع‌آوری این نوع سنگ‌ریزه‌ها و سپس مخلوط کردن آنها با خاکستر گیاهان و حرارت دادن شروع به ساختن مهره‌های شیشه‌ای کردند. چند مورد از تصاویر آنها در شکل ۴ آمده است.

شکل ۵ صفحه ۵ نمونه‌هایی از شیشه‌های رنگی که در ایران باستان ساخته می‌شده است را نشان می‌دهد.



الف) مسجد نصیرالملوک شیراز (دوره قاجار) **ب) جام شیشه‌ای (دوره ساسانیان)**

در شکل ۶ صفحه ۵ سعی شده است به صورت ساده برای هنرجویان تقسیم‌بندی از محصولات شیشه‌ای از لحاظ کاربردهای عمده آورده شود. لازم به ذکر است که در این شکل به طور خلاصه برای هر کاربرد فقط یک تصویر آورده شده است. هنرآموز گرامی می‌توانید در کلاس برای هر تقسیم‌بندی انواع مختلف‌از محصولات شیشه‌ای مثال بزنید و یا از هنرجویان بخواهید برای هریک از موارد مثال‌های دیگری را بیان کنند. (برای مثال در خودرو شیشه‌های درب‌ها و جلو و عقب، آینه‌ها، صفحه‌های نمایشگر، لامپ، سنسور، حباب و درپوش چراغ و...)

برخی از کاربردهای شیشه

در صفحهٔ ۶ دربارهٔ علت به وجود آوردن ساختار آمورفی شیشه از مذاب اشاره شده است. به طور کلی برای اینکه ماده‌ای برای شیشه‌سازی مناسب باشد باید دو ویژگی را دارا باشد:

۱ سرعت کریستالیزاسیون (سرعت جوانه‌زنی و رشد) بسیار بسیارکم

۲ گرانروی بالای مذاب

معمولاً در شرایط شیشه‌سازی بیان می‌شود که مذاب را سریع سرد کنیم تا به شیشه (ساختار غیرمنظم) تبدیل شود و اگر آرام سرد کنیم به بلور تبدیل می‌شود این مطلب ارتباط مستقیم با سرعت کریستالیزاسیون مادهٔ تشکیل‌دهنده مذاب دارد.

بنابراین اگر بخواهیم هر مذابی را به شیشه تبدیل کنیم باید سرعت سرد کردن آن از سرعت کریستالیزاسیون بیشتر باشد تا فرصت تبلور (جوانه زدن و رشد) را نداشته باشد.

در ضمن همیشه پدیده تبلور در محدودهٔ دمای ذوب تا پس از Tg (محدوده شیشه‌ای شدن) رخ می‌دهد. بنابراین برای تولید شیشه از مذاب باید فقط در این محدودهٔ دمایی با سرعتی بیشتر از سرعت تبلور سرد شود و لازم نیست که مذاب تا دمای محیط سریع سرد شود.

(به طور مثال برای آنیل کردن «تنش زدایی» شیشه باید پس از فرایند شکل‌دهی درگرمخانه «لهر» تحت عملیات حرارتی خاص قرار گیرد و با سرعت کنترل شده و آهسته سرد شود. با توجه به اینکه دمای آنیل کمتر از Tg است. بنابراین امکان تبلور در شیشه وجود ندارد و در شیشه تبلوری صورت نمی‌گیرد.)

آیا می‌دانید اگر مذاب سیلیس را با سرعت عادی سرد کنید چرا باز هم به شیشه تبدیل می‌شود؟

زمانی‌که مذاب سیلیس را به طور عادی سرد می‌کنیم به ظاهر آرام سرد می‌کنیم اما مذاب با سرعت بالا در حال سرد شدن است زیرا در این حالت سرعت سرد شدن مذاب از سرعت کریستالیزاسیون آن بسیار بیشتر است زیرا سرعت کریستالیزاسیون سیلیس بسیار بسیار کمتر است.

(ماکزیمم سرعت تبلور سیلیس $۲/۲\times۱۰^{-۷}$ cm/s در دمای ۱۶۷۴° C است.)

آیا می‌دانید اگرمذاب فلزات را با سرعت سریع سرد کنید چرا باز هم به شیشه تبدیل نمی‌شود؟

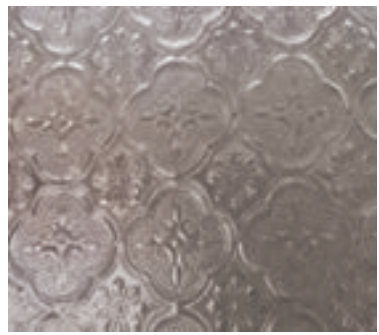
وقتی مذاب فلزات را سریع سرد می‌کنیم به ظاهر سریع سرد می‌شود اما در این حالت مذاب با سرعت آرام در حال سرد شدن است زیرا در این حالت سرعت سرد کردن از سرعت کریستالیزاسیون آن بسیار کمتر است به این دلیل که سرعت کریستالیزاسیون فلزات بسیار بسیار بالا است.

(سرعت تبلور فلزات $۱۰^{۵}$-$۱۰^{۸}$ cm/s است.)

تذکر

برای اینکه از فلزات شیشه تهیه کنند باید سرعت سرد کردن مذاب از سرعت تبلور آنها سریع‌تر باشد.
از فلزات شیشه‌هایی به عنوان شیشه ـ فلز (Metglas)، تولید می‌شود که برای ساخت محصولات خاص که نیاز باشد هم‌زمان خصوصیات فلزی و سرامیکی را باهم دارا باشند تهیه می‌کنند. (جهت کسب اطلاعات بیشتر از کتاب شیشه دکتر مارقوسیان استفاده شود)
چنانچه گرانروی مذاب زیاد باشد باعث می‌شود تحرک اتم‌ها کم شود که این عامل از جابه‌جایی اتم‌ها برای منظم شدن جلوگیری می‌کند.

نکتهٔ صفحهٔ ۶ شکل ۸ شیشه‌ها به خاطر ساختار آمورف شان ذاتاً شفاف هستند و نور را عبور می‌دهند. برای کاهش یا جلوگیری از عبور نور می‌توان به روش‌های مختلف به این هدف رسید. به عنوان مثال در شکل ۸ دو نمونه آورده شده است. شکل (الف) با غلتک نقش‌دار شیشه مشجر شده است. شکل (ب) با تولید درصدی فاز بلوری در شیشه، شیشهٔ اپال شده است که عبور نور این شیشه‌ها کمتر از ۱۰درصد است.



الف) شیشهٔ مشجر

ب) شیشهٔ اُپال

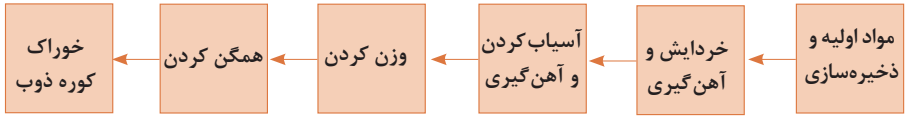
بیشتر بدانید صفحه ۷ و شکل ۹ به این مطلب اشاره دارد که ساختار بلوری نباید حتماً منجر به جلوگیری از عبور نور شود. علت اینکه نور از ساختار مواد بلوری نمی‌تواند عبور کند. شامل موارد زیر است:
۱ وجود مرز دانه‌ها (پلی‌کریستال‌ها) ۲ عیوب کریستالی
بنابراین بلورهایی که ساختار آن تک بلورند و دو مانع بالا را ندارند نور می‌تواند عبور کند.

الف) تک بلور کوارتز

ب) تک بلور آلومینا

ج) سنگ چخماق

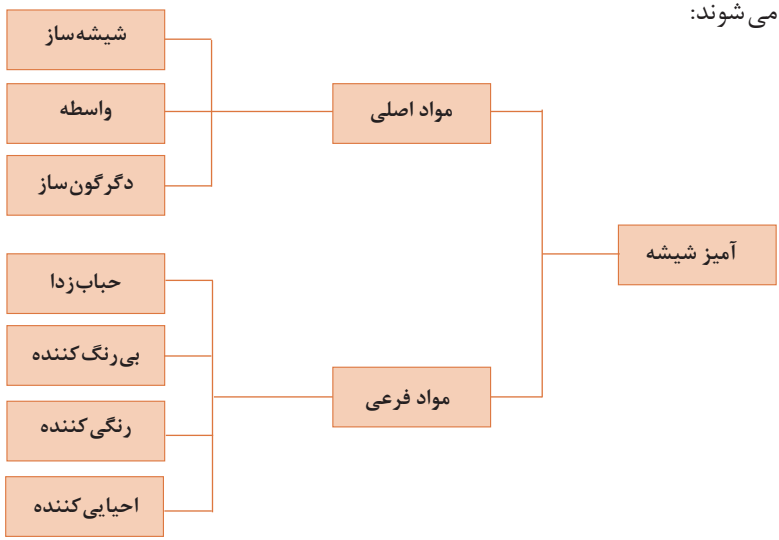
نمودار ۱ صفحهٔ ۷ مراحل آماده‌سازی آمیز (بچ) شیشه است که در ادامه فصل در مورد هر یک از مراحل آن توضیح کامل داده شده است.



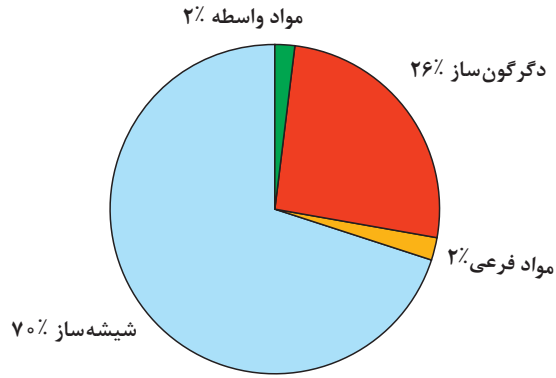
نمودار ۱ــ مراحل تهیهٔ آمیز شیشه

نمودار ۲ صفحه ۷ آمیز شیشه‌ها در دو دسته کلی را معرفی می‌کند: مواد اصلی (که از لحاظ وزنی زیاد استفاده می‌شوند و به عبارتی محصول شیشه را می‌سازند) و مواد فرعی (که از لحاظ وزنی بسیار کم استفاده می‌شوند و در بهبود کیفیت شیشهٔ تولیدی اثرگذار است.)

مواد تشکیل‌دهندهٔ آمیز شیشه در برخی از کتاب‌ها به صورت زیر هم نام‌گذاری می‌شوند:



نمودار ۳ صفحه ۸ محدوده درصد مواد اولیه‌های اصلی و فرعی آمیز (بچ) شیشه است.



نمودار ۳ــ انواع مواد اولیهٔ شیشه

صفحهٔ ۸ و ۹: ویژگی مواد شیشه‌ساز که درصد بالایی از آمیز شیشه را تشکیل می‌دهند را بیان می‌کند. خصوصیت بارز این مواد سرعت کریستالیزسیون بسیار کم (جوانه‌زنی و رشد) است که در فرایند شیشه‌سازی از اهمیت زیادی برخوردار است.

اگر مذاب این مواد را به آرامی سرد کنیم متبلور نمی‌شوند، منظور این است که چون سرعت تبلور آنها بسیار کم است چنانچه فرایند سرد کردن آرام (با سرعت عادی) صورت گیرد فرصت تبلور پیدا نمی‌کنند و شیشه (ساختاری آمورف) خواهد داشت.

مواد شیشه‌ساز باید ویژگی‌های زیر را دارا باشند:

۱ سرعت کریستالیزاسیون کم
۲ ماهیت کووالانت ـ یونی بودن پیوند
۳ داشتن اختلاف الکترونگاتیویته در محدودهٔ ۱/۴ تا ۱/۷
۴ قدرت اتصال تکی بالاتر از ۸۰ کیلو کالری بر مول

به دلایل زیر سیلیس پرمصرف‌ترین شیشه‌ساز است:

۱ فراوانی و دسترسی آسان
۲ سرعت کریستالیزاسیون بسیار کم
۳ تولید شیشه با کیفیت‌های بسیار عالی (قابلیت عبور نور عالی، سختی بالا، مقاومت در برابر شوک حرارتی بسیار عالی، مقاومت شیمیایی عالی و هدایت حرارتی عالی)

(جهت کسب اطلاعات بیشتر به کتاب شیشه دکتر مارقوسیان، مبحث شیشه‌های سیلیسی مراجعه شود)

در کل هر چقدر درصد سیلیس آمیز شیشه‌ای بیشتر باشد آن شیشه از کیفیت بالاتری برخوردار می‌باشد.
لازم به ذکر است مواد دیگری مانند اکسیدهای بور، فسفر، ژرمانیم و وانادیم خاصیت شیشه‌سازی دارند که به علت دارا بودن بعضی از ویژگی‌ها برای تولید شیشه‌های خاص استفاده می‌شوند. به‌طور مثال درآمیز شیشه‌های پیرکس و اپال از اکسید بور، اکسید فسفر برای ایجاد ویژگی پرتوهای نوری با طول موج خاص استفاده می‌شود. همچنین در شیشه‌های دید در شب (عدسی دوربین‌ها) از اکسید ژرمانیم استفاده می‌شود. اگر در آمیز شیشه‌ها از این اکسیدها به تنهایی (سیلیس استفاده نشود) به عنوان شیشه‌ساز استفاده شوند شیشه‌های تولید شده سختی و مقاومت شیمیایی مناسبی ندارد که گاهی قابلیت ارائه به بازار را ندارند. به همین علت در آمیز شیشه‌های خاص علاوه بر این اکسیدها، درصد قابل ملاحظه‌ای سیلیس استفاده می‌شود.
در جدول ۱ صفحه ۹ محدودهٔ درصد سیلیس مصرفی در بعضی از شیشه‌های تجاری آورده شده است تا هنرجویان با درصد وزنی سیلیس در شیشه‌های مختلف آشنا شوند.

جدول ۱ــ درصد سیلیس در شیشه‌های مختلف

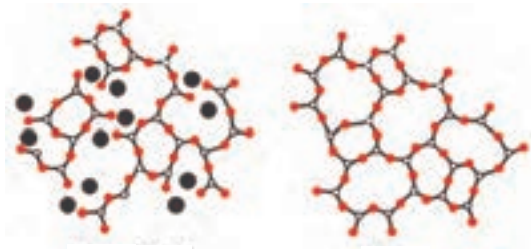
نوع شیشه	درصد سیلیس
شیشهٔ ساختمانی	۷۱ـ۷۳
ظروف غذاخوری بلوری	۶۹ـ۷۳
ظروف شیشه‌ای کریستال	۶۰ـ۷۰
شیشهٔ خودرو	۷۱ـ۷۳

صفحهٔ ۱۰: ویژگی‌های مواد دگرگون‌ساز که شبکه بازکن هستند آورده شده است. این مواد در آمیز شیشه دو نقش کمک ذوبی و کاهش‌دهندهٔ گرانروی مذاب را ایفا می‌کنند. لازم به ذکر است که اکسیدهای قلیایی (R_2O) به تنهایی می‌توانند نقش دگرگون‌سازی را ایفا کنند و هر چقدر درصد استفاده از آنها در آمیز افزایش یابد تأثیر آنها بیشتر خواهد بود.
اما اکسیدهای قلیایی خاکی (RO):

۱ به تنهایی نمی‌توانند به خوبی نقش دگرگون‌سازی را ایفا کنند و حتماً باید با اکسیدهای قلیایی استفاده شوند.

۲ اگر این اکسیدها به آمیز شیشه حتی در درصدهای کم (نهایتاً کمتر از ۱۰٪) اضافه شوند می‌توانند به عنوان دگرگون‌ساز ایفای نقش کنند.
۳ در آمیز شیشه‌هایی که دمای ذوب آنها کمتر از ۱۱۰۰ درجه سلسیوس است به عنوان افزایش‌دهندهٔ دمای ذوب و گرانروی عمل می‌کنند. (به ویژه منیزیم اکسید)

شکل ۱۲ صفحهٔ ۱۰: تأثیر دگرگون‌سازی سدیم اکسید را نمایش می‌دهد. قوی‌ترین اکسیدهای دگرگون‌ساز، اکسیدهای قلیایی هستند که در میان اکسیدهای قلیایی، سدیم اکسید از بقیهٔ این اکسیدها قوی‌تر است به همین دلیل در بیشتر آمیزهای شیشه از این اکسید استفاده می‌شود.



الف) شیشهٔ سیلیسی ب) شیشهٔ حاوی دگرگون‌ساز Na_2O

نقش دگرگون‌سازها در ساختار شیشه

در متن صفحهٔ ۱۱ ویژگی‌های مواد واسطه (دوام‌دهنده یا ثبات‌دهنده) عنوان شده است که این مواد می‌توانند تا حدی به شیشه‌سازی کمک کنند. لازم است هنر آموز محترم این موضوع را بیان کند که این مواد (به تنهایی اصلاً خاصیت شیشه‌سازی ندارند ولی استفاده از آنها در کنار مواد شیشه‌ساز می‌توانند در شیشه‌سازی ایفا نقش کنند) که برای ایجاد این ویژگی باید درصد کمی در آمیز شیشه‌ها استفاده شوند.
در شکل ۱۳ سعی شده است که تأثیر این مواد که کاهش‌دهنده اختلاف‌های بین مواد شیشه‌ساز و دگرگون‌ساز است نمایش داده شود. هنرآموز محترم می‌تواند در کلاس این‌طور توضیح دهد که مواد واسطه خواص و ویژگی‌های شیشه مواد شیشه‌ساز و دگرگون ساز را به سمت تعادل می‌برد..

کنترل خواص شیشه با افزودن مواد واسطه

شکل ۱۴ صفحهٔ ۱۱ دپویی از پودر فراوری شده کائولن را که برای تأمین آلومینیم‌اکسید می‌باشد را نشان می‌دهد. همان‌طور که در متن عنوان شده است شرکت‌های تولید شیشه از آلومینیم‌اکسید استفاده نمی‌کنند و ترجیح می‌دهند به دلایل زیر از کائولن و انواع فلدسپات استفاده کنند.

۱ ارزانی
۲ فراوانی
۳ تأمین‌کننده سایر اکسیدهای آمیز
۴ دمای ذوب پایین‌تر

کائولن

در نکتهٔ صفحه ۱۱ عنوان شده است که سرب‌اکسید در آمیز شیشه‌ها به عنوان واسطه ایفای نقش می‌کند. باید دقت داشت که سرب‌اکسید به علت دمای ذوب بسیار کم (۵۵۰ـ۵۰۰) درجهٔ سلسیوس می‌تواند به عنوان کمک ذوب قوی وحتی کاهش‌دهنده گرانروی مذاب به کار رود و به علت دارا بودن بعضی از ویژگی‌های مواد شیشه‌ساز هم‌زمان به شیشه‌سازی کمک می‌کند، بنابراین به عنوان واسطه در صنعت شیشه استفاده می‌شود. حتی به علت ایفا کردن هر دونقش می‌توان درصد قابل ملاحظه‌ای از آن (۳۲ـ۲۴ درصد) در آمیز شیشه به کار برد.

از این اکسید به عنوان واسطه در ساخت شیشه‌های سربی و کریستال استفاده می‌شود که به علت خاصیت نوری سرب‌اکسید، باعث افزایش خاصیت نوری شیشه‌ها می‌شود. از آنجایی که سرب‌اکسید باعث کاهش سختی شیشه می‌شود بنابراین این شیشه‌ها را می‌توان تراش داد که این ویژگی مطلوبی برای شیشه‌های سربی است.

سرب‌اکسید را عموماً از سرنج (Pb_3O_4) تأمین می‌کنند.

لازم است که هنر آموز محترم به مضرات سرب‌اکسید اشاره و تأکید کند:

۱ سمّی بودن
۲ تبخیر شدن در محدودهٔ دمایی ۱۱۰۰ـ۱۰۵۰ درجهٔ سلسیوس)

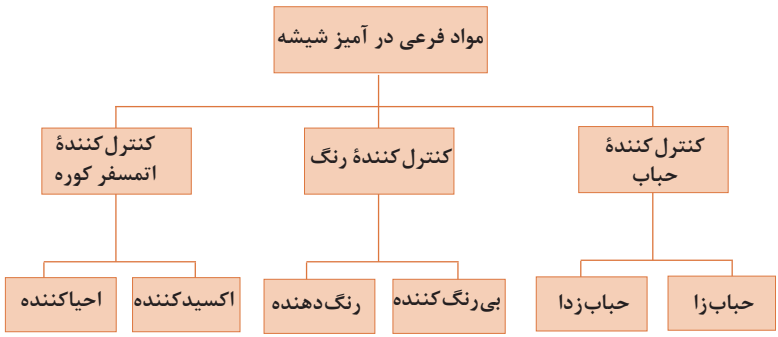
۳ احیایی شدن (تبدیل شدن سرب اکسید به فلز سرب)
۴ ناهمگنی آمیز در فرایند انتقال به دلیل چگالی زیاد اکسیدسرب
(برای اطلاعات بیشتر مراجعه شود به کتاب شیشهٔ دکتر مارقوسیان، مبحث شیشه‌های کریستال، خواص مطلوب و نامطلوب PbO)

فعالیت کارگاهی

کارعملی ۲ صفحه ۱۲: این فعالیت با هدف بررسی تأثیر حرارت بر مواد از لحاظ ذوب شدن در نظر گرفته شده است تا هنرجویان به طور عینی مشاهده کنند که فلدسپات ذوب می‌شود ولی سیلیس و کائولن ذوب نمی‌شود.
با این فعالیت عملی هنرجویان می‌توانند تأثیر مواد قلیایی موجود در فلدسپات به عنوان دگرگون‌ساز را مشاهده کنند.

درصفحه ۱۲دربارهٔ مواد فرعی که برای بهبود کیفیت شیشه‌ها به آمیز شیشه اضافه می‌شود، توضیح داده شده است. اگر این مواد در آمیز شیشه‌ها نباشند شیشه‌های تولید شده از لحاظ کیفیت مانند رنگ و حباب بسیار نامطلوب خواهند بود و در بسیاری از مواقع قابلیت ارائه به بازار را ندارند. این مواد از لحاظ وزنی در آمیز بسیار کم استفاده می‌شوند به همین دلیل به این مواد، فرعی یا جزئی یا غیراساسی نیز گفته می‌شود.

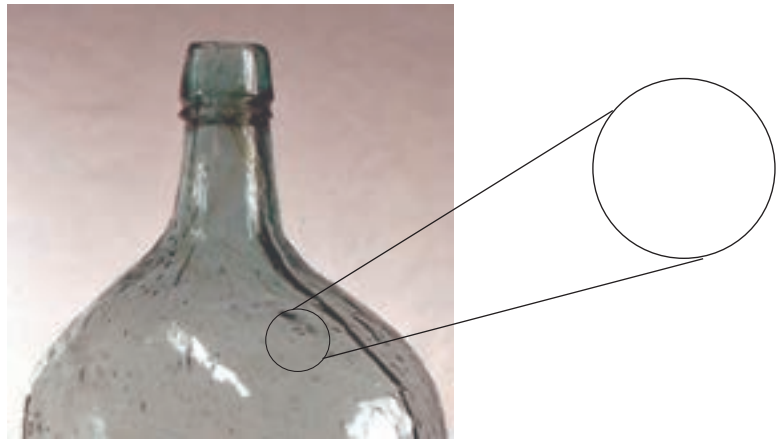
نمودار ۴ صفحهٔ ۱۲ انواع مواد فرعی از لحاظ نقشی که در بهبود کیفیت شیشه ایفا می‌کنند را نشان داده است.



نمودار ۴ــ انواع مواد فرعی

صفحهٔ ۱۳ شکل ۱۵: در این صفحه نقش مواد کنترل‌کنندهٔ حباب (تصفیه‌کننده‌ها) توضیح داده شده است.

یکی از عیوب رایج در شیشه‌ها وجود حباب است. برای از بین بردن حباب‌ها به آمیز شیشه مواد حذف کننده حباب افزوده می‌شود که در صنایع به نام تصفیه‌کننده معروف شده‌اند.



حباب در بدنهٔ شیشه‌ای

عوامل مؤثر بر فرایند حباب‌زدایی (تصفیه) مذاب عبارت‌اند از:

۱ اندازهٔ قطر حباب‌ها
۲ جنس حباب‌ها (نوع گازها)
۳ ترکیب شیشه
۴ گرانروی مذاب
۵ چگالی مذاب
۶ نوع مادهٔ حباب‌زدا و درصد مصرف آن
۷ ارتفاع مذاب در کوره
۸ میزان یکنواختی و هم خوردن مذاب

جدول ۲ صفحهٔ ۱۴: انواع مواد حباب‌زدا با توجه به نوع و ترکیب شیشه مواد آورده شده است. برای هر نوع از شیشه نمی‌توان درصد ثابتی از این مواد ارائه کرد زیرا علاوه بر آمیز شیشه به اتمسفر کوره آن کارخانه بستگی دارد. ولی عموماً درصد مواد حباب‌زدا برای انواع شیشه مطابق زیر است:

- شیشه‌های سیلیکاتی حدود ۰/۷ الی ۱درصد
- بوروسیلیکاتی ۱/۵ الی ۲ درصد
- سربی ۰/۳ الی ۰/۵ درصد

که مطابق با جدول ۲ به آمیز شیشه افزوده می‌شوند.

جدول ۲ـ انواع مواد حباب‌زدا

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

فعالیت کلاسی صفحه ۱۴:

فعالیت کلاسی

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

این فعالیت با هدف نشان دادن تأثیر اندازه حباب‌ها بر فرایند تصفیه طراحی شده است. در فرایند تصفیه کردن مذاب بیشترین مشکلات مربوط به خارج کردن حباب‌های ریز است. هر چه اندازه حباب‌ها بزرگ‌تر باشند می‌توانند راحت‌تر از مذاب خارج شوند. با انجام این فعالیت هنرجویان مشاهده می‌کنند که توپ‌های بزرگ‌تر نیروی بیشتری برای فرو بردن در آب لازم دارند و با حذف نیرو سریع‌تر به سطح آب برمی‌گردند. بنابراین خروج حباب‌های ریز دشوارتر است.

فعالیت کلاسی صفحه ۱۴:

فعالیت کلاسی

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

هدف از این فعالیت کلاسی بررسی چند محصول شیشه‌ای از نظر وجود حباب و میزان حباب‌زدایی آنها پس از فرایند تصفیه است. معمولاً شیشه‌های بطری نوشابه، لیوان، مربا و رب دارای حباب می‌باشند. این نوع شیشه‌ها را برای مشاهده در اختیار هنرجویان قرار دهید.

صفحهٔ ۱۴: دستهٔ دوم مواد فرعی، کنترل‌کننده رنگ است که شامل دو نوع زیر هستند:

۱ بی‌رنگ‌کننده
۲ رنگی‌کننده

بی‌رنگ کننده‌ها

اگر چه باید مواد با خلوص بالا برای شیشه‌سازی استفاده شود اما شیشه جسم شفافی است و مقدار اندکی از ناخالصی‌های رنگ‌زا باعث تولید رنگ در شیشه می‌شود و کیفیت شیشه تولید شده کاهش می‌یابد.

به دو روش می‌توان رنگ نامطلوب شیشه را از بین برد:

۱ **شیمیایی**: در این روش ترکیبات و اکسیدها به آمیز افزوده می‌شوند که این مواد در دمای بالای کوره اکسیژن آزاد می‌کنند و باعث می‌شوند اتمسفر کوره اکسیدی شود. در این اتمسفر اکسیدآهن دو ظرفیتی که باعث ایجاد رنگ سبز مایل به آبی که از لحاظ شدت رنگ قوی می‌شود به اکسیدآهن سه ظرفیتی که با رنگ زرد روشن مشابه به زرد کاهی تبدیل می‌شود.

۲ **فیزیکی**: با استفاده از قانون مکمل نورها، رنگ‌ها در شیشه محو می‌شود.

مکانیزم‌های شیمیایی و فیزیکی در قسمت بیشتر بدانید صفحه ۱۵ و ۱۶ توضیح داده شده است.

تحقیق کنید صفحهٔ ۱۵

تحقیق کنید

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

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

رنگ حاصل از ناخالصی می‌تواند:

۱ میزان عبور نور را کاهش دهد.

۲ باعث پخش ناهمگن نور شود. در شیشهٔ خودرو باعث کاهش دید راننده و خستگی چشم شود.

۳ در عدسی‌ها ولنز باعث آسیب رساندن به چشم شود.

۴ در عدسی‌ها و لنزهای دوربین باعث کاهش کیفیت تصویر می‌شود.

۵ در مانیتورها باعث کاهش کیفیت نمایش می‌شود.

۶ در لوازم آشپزخانه‌ای اثر نامطلوبی بر جلوهٔ خوراکی‌ها و نوشیدنی‌های درون آن دارد.

صفحهٔ ۱۶ شکل ۱۸: دربارهٔ مواد رنگ‌دهنده شیشه توضیح داده شده است. برای تولید شیشهٔ رنگی، به آمیز آن اکسیدهای فلزات عناصر واسطه در جدول تناوبی یا رنگدانه‌های معدنی (پیگمنت) اضافه می‌شود.

شیشه‌های رنگی

صفحهٔ ۱۷ و شکل‌های ۱۹، ۲۰، ۲۱ مربوط به مواد فرعی احیایی‌کننده است. در این شیشه‌ها هدف از رنگی کردن شیشه زیبایی شیشه نیست بلکه هدف از ایجاد رنگ جلوگیری از نفوذ و عبور اشعه‌های نوری است زیرا نور باعث فاسد شدن یا تغییر ماهیت شیمیایی مواد درون شیشه می‌شود. برخی از کاربردهای این شیشه شامل: شیشه‌های دارویی، نوشابه، نگهداری مواد شیمیایی و صنعتی است. بسیاری از این شیشه‌ها یکبار مصرف هستند بنابراین باید ارزان تهیه شوند حال چنانچه بخواهند با مواد رنگ‌دهنده تولید شوند قیمت تمام شده گران خواهد بود، به همین دلیل از روش احیایی که بسیار ارزان‌تر است تولید می‌شوند.

برای تولید این شیشه‌ها اقدامات زیر را انجام می‌دهند:

۱ مواد اولیه آمیز شیشه از مواد آهن‌دار که بسیار ارزان‌تر است انتخاب می‌شود.

۲ به آمیز مواد بی‌رنگ‌کننده افزوده نمی‌شود.

۳ ترکیبات حاوی کربن زیاد افزوده می‌شود که سعی می‌شود ارزان باشند.

۴ اتمسفر کوره در حالت احیایی تنظیم می‌شود.

شیشه‌های احیایی

ظرف شیشه‌ای مواد دارویی

ظروف شیشه‌ای و نگهداری مواد شیمیایی و آزمایشگاهی

گفت‌وگو کنید

صفحهٔ ۱۸: علاوه بر مواد اولیهٔ اصلی و فرعی معمولاً از خُرده شیشه نیز در ترکیب آمیز استفاده می‌شود. دربارهٔ دلایل استفاده از آن گفت‌وگو کنید.

در کارخانه‌های شیشه‌سازی برای اینکه ترکیب آمیز شیشه ثابت باشد فقط خرده شیشه مربوط به ضایعات تولید شده از کارخانه خود را استفاده می‌کنند اما در کارگاه‌های شیشه‌سازی ضایعات جمع‌آوری شده بازار که در اغلب مواقع متنوع هستند، به کار می‌رود.

دلایل استفاده از خرده شیشه در آمیز:

۱ به عنوان کمک ذوب (کاستن از دمای ماکزیمم کوره)
۲ کاهش‌دهنده گرانروی مذاب
۳ تشکیل مذاب اولیه
۴ افزایش سرعت ذوب
۵ صرفه‌جویی در مصرف انرژی
۶ افزایش تولید
۷ کاهش هزینه‌های تولید
۸ جلوگیری از آلودگی زیست‌محیطی

فکر کنید

صفحهٔ ۱۹: در صورت کافی نبودن یکی از مواد اولیهٔ آمیز در سیلوهای ذخیره‌سازی، چه مشکلاتی در روند تولید ایجاد می‌شود؟

هدف از طراحی این سؤال ایجاد زمینهٔ ذهنی و تمرکز هنرجویان بر روی نکات زیر است:

۱ اکثر کارخانه‌های شیشه به صورت مداوم کار می‌کنند.
۲ تولید روزانه بالا (گاهی از ۱۰۰ تن تا ۸۵۰ تن) دارند.
۳ اهمیت هموژن و یکنواخت شدن موادی که از معدن تهیه می‌شود.

به دلایل بالا باید حتماً متناسب با مقدار مصرفی از هر نوع مادهٔ اولیه در کارخانه ذخیره‌سازی انجام شود.

خردایش و آهن‌گیری مواد اولیه

پرسش و متن صفحهٔ ۲۰ و ۲۱: مواد کلوخه‌ای اغلب به کمک سنگ‌شکن فکی خرد می‌شود و سپس در سیلوهای اتاقکی ذخیره می‌شوند. پس از عملیات خردایش در مسیرهای انتقال مواد به سیلوها که با نوار نقاله صورت می‌گیرد با قرار دادن چند آهن‌ربای قوی سعی می‌شود تا آهن‌های موجود در مواد اولیه تا حد ممکن گرفته شود.

پرسش

چرا مواد اولیهٔ شیشه باید آهن‌گیری شود؟

ظرفیت تولید و مصرف مواد اولیه در کارخانه‌های شیشه بالاست و سیلیس و فلدسپات‌ها سختی بالایی دارند بنابراین برای خردایش از سنگ‌شکن‌های فکی که ظرفیت خردایش بالایی دارند استفاده می‌شود. برای این سنگ‌شکن‌ها عموماً ظرفیتی پیش‌بینی می‌شود تا طی یک شیفت کاری بتواند پاسخگوی نیاز و حتی ذخیره هم باشد.

فرایند آهن‌گیری در تمامی مراحل شامل انتقال دادن مواد با نوار نقاله‌ها صورت می‌گیرد. در این روش با نصب آهن‌رباهای الکتریکی با فاصله کمی از مواد در مسیرهای انتقال بر روی نوار نقاله‌ها یا بر روی الک‌های تعیین اندازه مواد انجام می‌شود. این آهنربا معمولاً در مسیرها و الک‌های خروجی مواد اولیه از سنگ‌شکن و آسیاب قرار دارند.

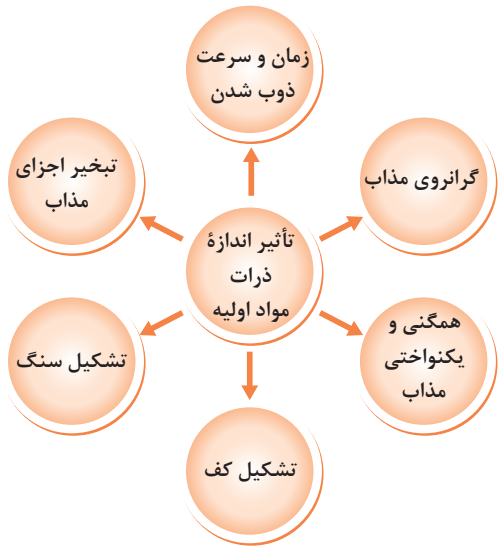
شکل ۲۶ صفحهٔ ۲۰: این تصویر الکی را نشان می‌دهد که هم‌زمان با عبور دادن مواد اولیه با دانه‌بندی معین عمل آهن‌گیری هم انجام می‌شود. (در کارخانه‌ها ماندهٔ روی الک‌ها به صورت سیکل بسته برای خردایش بیشتر به آسیاب یا سنگ‌شکن بازگردانده می‌شود.)

خردایش و آهن‌گیری مواد اولیه

صفحه ۲۱:

گفت‌وگو کنید

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



نمودار ۵

تأثیر محدودهٔ دانه‌بندی آمیز شیشه که اهمیت به سزایی بر فرایند ذوب و حتی کیفیت مذاب دارد به‌صورت خلاصه بیان شده است تا هنرجویان اهمیت محدودهٔ دانه‌بندی را درک کنند. توضیح تأثیر هریک از این عوامل نیاز به ارائه مطالب علمی دارد که در سطح هنرجویان نیست و باعث افزایش حجم مطالب تئوری این فصل می‌شود بنابراین از آوردن آنها صرف‌نظر شده است.

برای مثال:

۱ اگر مواد بیش از حد ریز شوند باعث می‌شود در حین فرایند ذوب ترکیباتی کف مانند روی مذاب به وجود آورند که باعث ایجاد عیوب خواهد شد. بنابراین باید این کف‌ها را از مذاب جدا کرد. (البته لازم به ذکر است تشکیل کف دلایل دیگری هم دارد.)

۲ گاهی بعضی از مواد در فرایند ذوب در مخزن ذوب کوره به هم می‌چسبند و تشکیل ذرات سنگ مانند می‌دهند. این سنگ‌ها کاملاً ذوب نشده و به صورت سنگ در مذاب باقی می‌مانند. البته یکی از عوامل مؤثر در تشکیل آن نامناسب

بودن محدودهٔ دانه‌بندی مواد اولیه است. محصولات شیشه‌ای نباید حاوی سنگ باشند که از لحاظ استاندارد قابل قبول نمی‌باشد. لازم به ذکر است گاهی سنگ‌های به وجود آمده در مذاب به اندازهٔ ذرات کوچکی هستند اما گاهی به صورت تکه‌هایی مانند شناور بودن یخ در آب در مخزن ذوب کوره قابل رؤیت هستند.

۳ اگر مواد بیش از حد ریزدانه شوند به ویژه کمک ذوب‌ها در فرایند ذوب شروع به تبخیر شدن می‌کنند که باعث تغییر ترکیب آمیز شیشه می‌شود. همچنین بخارات حاصل از آن باعث آسیب رساندن و کاهش عمر مفید کوره و تجهیزات آن می‌شود.

صفحهٔ ۲۱: امروزه درکارخانه‌ها در فرایند آماده‌سازی مواد اولیه برای جلوگیری از ایجاد گرد و غبار مستقیماً به آن آب نمی‌زنند بلکه با دستگاهی آب را به گونه‌ای اسپری می‌کنند که به حالت مه درآید که به این دستگاه‌ها مه آب می‌گویند.

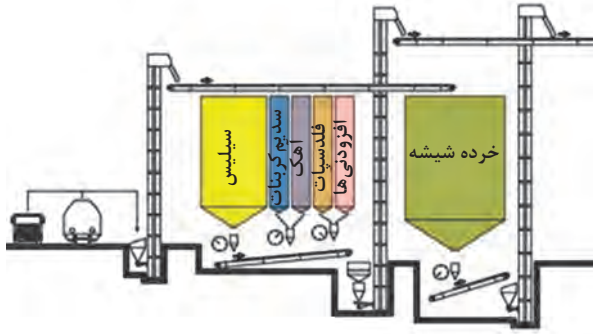
جلوگیری از ایجاد گردوغبار با سیستم مه آب

مزیت‌های استفاده از سیستم مه آب شامل موارد زیر است:

۱ صرفه‌جویی در آب مصرفی (هم از لحاظ مصرف آب و خروج و تشکیل بخارات در کوره)

۲ نچسبیدن مواد به نوار نقاله و سایر تجهیزاتی که مواد با آنها در تماس هستند.

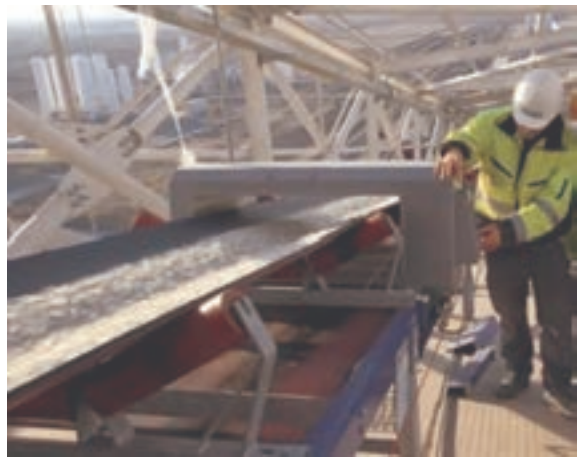
شکل ۲۹ صفحه ۲۲: مواد اولیه پس از آسیاب کردن و آهن‌گیری به سیلوهای فلزی قبل از بچ پلانت (مخلوط‌کن بچ) منتقل می‌شود که خروجی این سیلوها متصل به توزین اتوماتیک است و از اتاق کنترل بچ‌پلانت قابل برنامه‌ریزی و فرمان دادن است.



انتقال مواد با نوار نقاله و بالابر به سیلوهای سرپوشیده

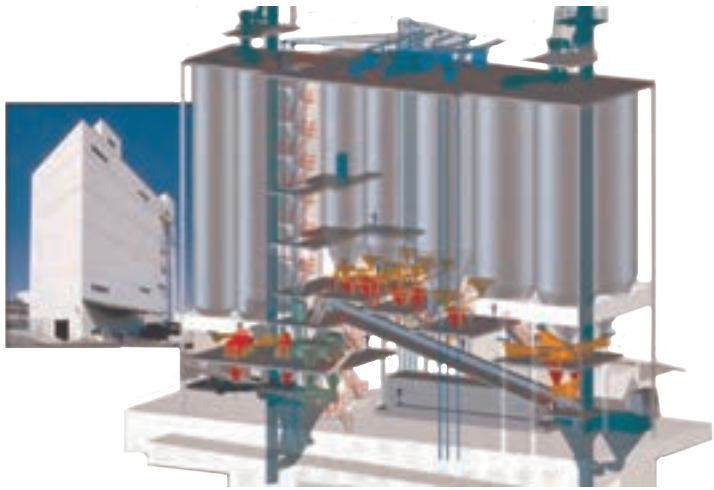
شکل ۳۰ صفحهٔ ۲۳: تصویر سالن ذخیرهٔ سیلیس‌های پودر شده است که به صورت هموژن انبار می‌شود سپس برای منتقل شدن به قسمت بچ‌پلانت به صورت برشی با دستگاه برداشته می‌شود.

شکل ۳۱ صفحهٔ ۲۳: آهن‌گیری از مواد اولیه در حین انتقال را نشان می‌دهد.



فرایند آهن‌گیری هنگام انتقال مواد پودر شده

شکل ۳۲ صفحه ۲۴: مجموعه سیلوها، توزین و سیستم‌های انتقال مواد به بچ‌پلانت که از اتاق کنترل واحد بچ‌پلانت قابل کنترل و برنامه‌ریزی است را نشان می‌دهد.



وزن و مخلوط کردن مواد اولیه

شکل ۳۳ صفحهٔ ۲۴ تصویر یک دستگاه بچ پلانت (مخلوط‌کن) است. ظرفیت دستگاه‌های بچ‌پلانت (از ۵۰۰ کیلوگرم تا ۱۰ تن) متناسب با ظرفیت تولید شیشه کارخانه به گونه‌ای طراحی می‌شود که بتواند همیشه بچی به میزان بیشتر از نیاز کوره آماده کند.

در بعضی از کارخانه‌ها ظرفیت بچ‌پلانت را به اندازه‌ای در نظر می‌گیرند تا طی یک شیفت‌کاری، بچ مورد نیاز ۲۴ ساعت خوراک کوره را تأمین کند.

مخلوط‌کن (بچ‌پلانت)

شکل ۳۴ صفحهٔ ۲۵ بچ آماده شده درون دستگاه بچ‌پلانت را نشان می‌دهد.

افزودن آب به آمیز

صفحهٔ ۲۵ و ۲۶: خرده شیشه‌ها متناسب با درصد تعیین شده از طرف آزمایشگاه پس از خارج شدن بچ (آمیز) از بچ‌پلانت به دو صورت به آن افزوده می‌شود:

۱ هنگام انتقال بچ از بچ‌پلانت به سیلوی خوراک‌دهنده کوره، خرده شیشه کم‌کم با برنامه و وزن مشخص بر روی بچ در حال انتقال با نوار نقاله ریخته می‌شود به گونه‌ای که هنگام ریخته شدن بچ حاوی خرده شیشه در سیلو همگنی ایجاد شود.

۲ هنگام ریختن بچ به درون سیلوی خوراک‌دهنده کوره در دهانه ورودی سیلوی خوراک‌دهنده کوره به صورت لایه‌لایه‌ای از بچ و خرده شیشه ریخته می‌شود به گونه‌ای که همگنی به دست آید.

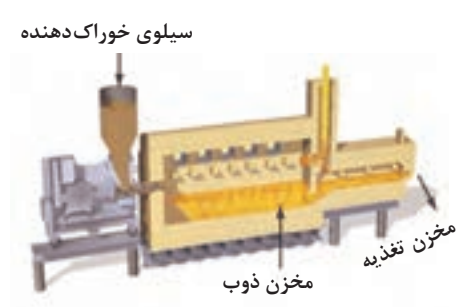
به دلایل زیر در بچ‌پلانت خرده شیشه اضافه نمی‌کنند:

۱ سایش و ضربه خوردن پره‌های دستگاه که منجر به کاهش عمر مفید و صدمه دیدن پره‌ها می‌شود.

۲ سایش پره‌ها منجر به وارد شدن ترکیبات آهن به درون بچ می‌شود.

۳ وزن بیشتری از بچ در هر سیکل آماده می‌شود.

صفحهٔ ۲۶ شکل ۳۶: مجموعهٔ کوره با سیلوی خوراک‌دهنده است. شکل سمت راست شماتیک و شکل سمت چپ یک کارخانهٔ شیشه ظروف که سیلوی خوراک‌دهنده کوره و ساختمان کوره از نمای جانبی مشخص است، را نشان می‌دهد.



کوره و سیلوی خوراک‌دهنده

صفحهٔ ۲۷شکل ۳۷: طرز برداشتن مقداری نمونه از بچ برای بررسی آن آموزش داده شده‌است.

۱

۲

۳

۴

مراحل نمونه‌برداری از آمیز

صفحهٔ ۲۷ کار عملی ۳:

فعالیت کارگاهی

در این فعالیت هنرجویان آماده‌سازی آمیزی از خرده شیشه را انجام می‌دهند. می‌توانید از شیشه‌های شکسته موجود در هنرستان یا با آوردن شیشه‌های خالی مربا یا رب به وسیله هنرجویان این آمیز را تهیه کنید.

تذکر

شیشه‌ها قبل از مصرف شست‌وشو داده شوند تا عاری از آلودگی به ویژه گرد و خاک باشند.

در هنگام استفاده از خرده شیشه‌ها به موارد زیر توجه کنید:

۱ از شیشه‌های حاوی چربی و مواد خوراکی استفاده نکنید زیرا:

الف) خرده شیشه به هاون و الک چسبیده و مراحل آماده‌سازی را کُند می‌کند.

ب) این مواد هنگام ذوب شدن باعث تولید گازهای بد بو و آلودگی زیست‌محیطی شده و حتی اگر با کوره الکتریکی فرایند ذوب را انجام دهید منجر به احیایی شدن اتمسفر کوره و باعث صدمه دیدن المنت‌ها می‌شود.

۲ گرد و خاک موجود در بچ خرده شیشه باقی‌مانده و باعث کاهش کیفیت مذاب و شیشه تولید شده می‌شود.

در نمودار ۶ صفحهٔ ۲۸ برای یادگیری مناسب‌تر هنرجویان سعی شده است که انواع پرمصرف شیشه که شامل موارد زیر است آورده شود:

۱ سدیمی، کلسیمی (سودا، آهکی یا سودا لایم)

۲ بوروسیلیکاتی (پیرکس)

۳ سربی (کریستال)

۴ اُپال

در ادامه فصل دربارهٔ این شیشه‌ها از نظر آمیز و خصوصیات و کاربرد توضیح داده شده است و برای تهیه‌آمیزی مشابه هر یک از این شیشه‌ها فعالیت‌های کارگاهی درنظر گرفته شده است.

صفحهٔ ۲۸ و ۲۹: شکل ۳۸ مربوط به شیشه‌های سودا لایم است که تمامی شیشه‌های در و پنجره، خودرو و محصولات شیشه‌ای روزمره از این جنس هستند. به همین دلیل بیشترین شیشهٔ تولیدی در دنیا (حدود ۹۰ درصد شیشه‌ها) محسوب می‌شود.
(کلمه لایم از نام لاتین آهک اقتباس شده است.)
شیشهٔ 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 ـ آهکی هستند.

الف ب ج

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

صفحهٔ ۳۰ جدول ۳: محدودهٔ آنالیز شیمیایی (محدودهٔ تجاری) شیشه‌های سودالایم آورده شده است. اکثر کارخانه‌های شیشه در ایران تقریباً ترکیبی در این محدوده به کار می‌برند. بعضی از کارخانه‌ها درصدی از پتاسیم‌اکسید را جایگزین سدیم‌اکسید می‌کنند و در برخی از موارد درصد جزئی از اکسیدهای دیگر در ترکیب شیشه استفاده می‌کنند.

نکته

دمای ذوب آمیزهای شیشه‌های سودالایم ۱۴۰۰ الی ۱۶۰۰ درجهٔ سلیسیوس است.

جدول ۳ـ محدودهٔ آنالیز شیمیایی شیشه‌های سودالایم

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

صفحهٔ ۳۰: انواع روش‌های تهیه آمیز در کارگاه‌های شیشه‌سازی آورده شده است. این کارگاه‌ها دارای کوره‌های سنتی (که دمای کارکرد کوره‌ها حداکثر به ۱۳۵۰ـ۱۳۰۰ درجهٔ سلسیوس می‌رسد) هستند. در این کارگاه‌ها آمیز به گونه‌ای تنظیم می‌شود تا در دماهای پایین‌تر از شیشه‌های سودالایم ذوب شوند و حتی گرانروی مذاب کم شود. برای دستیابی به این موضوع در بعضی از کارگاه‌ها:

۱ فقط از ضایعات شیشه (خرده شیشه) جمع‌آوری شده از بازار استفاده می‌شود.

۲ از درصد زیادی خرده شیشه (گاهی ٪۵۰ و حتی بیشتر) و مواد اولیه استفاده می‌کنند.

۳ به مواد اولیه‌ای که استفاده می‌شود، عیار می‌گویند.

در حالت سوم آمیز مواد اولیه نسبت به محدوده شیشه‌های سودالایم، با درصد سیلیس کمتر و کمک ذوب بیشتر و حتی درصدی بوراکس و یا بوریک اسید یا سرنج تنظیم می‌کنند که باعث کاهش دمای ذوب و گرانروی می‌شوند.

صفحهٔ ۳۰ کارعملی ۴: .

فعالیت کارگاهی

آماده‌سازی آمیزی مشابه شیشه سودالایم است. درصد مصرف مینرال‌ها به گونه‌ای تنظیم شده است که با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب شود. این رنج مینرالی در محدودهٔ ۱۱۰۰ الی ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس ذوب می‌شود

نکته

هنرآموز محترم همان‌طور که می‌دانید هر چقدر درصد سیلیس و دولومیت کمتر و در مقابل هر چه درصد سدیم‌کربنات و فلدسپات بیشتری برای آمیز انتخاب کنید می‌توانید در دمای پایین‌تری مذاب را تهیه کنید.

صفحه ۳۱ شکل‌های ۴۰ و ۴۱: شیشه‌های بوروسیلیکاتی که با نام تجاری پیرکس معروف شده‌اند را نشان می‌دهد.

شیشهٔ بوروسیلیکاتی

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

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

الف

ب

ج

شیشهٔ بوروسیلیکاتی الف) آزمایشگاهی ب) حرارتی و ج) آزمایش حرارتی شیشه

این شیشه‌ها در مقایسه با شیشه‌های سودالایم از کیفیت و خواص بالاتری بخصوص از لحاظ مقاومت شیمیایی و مقاومت در برابر شوک حرارتی برخوردار هستند اما از لحاظ قیمت تمام شده بسیار گران‌تر از سودالایم‌ها هستند که برای تولید شیشه‌های روزمره مقرون به صرفه نمی‌باشد.

۱ آمیز این شیشه‌ها به خاطر مینرال‌های تأمین‌کننده بوراکسید گران‌تر است.

۲ بوراکسید در محدوده دمایی ۱۰۵۰ الی ۱۱۵۰ درجهٔ سلسیوس تبخیر می‌شود.

برای تولید این شیشه‌ها نیاز به کوره‌های الکتریکی (بوستری) با اتمسفر کنترلی است که باعث می‌شود هزینهٔ تولید به میزان زیادی افزایش یابد.

صفحهٔ ۳۲ جدول ۴: محدودهٔ آنالیز شیمیایی (محدودهٔ تجاری) شیشه‌های پیرکس آورده شده است. ترکیب اکثر کارخانه‌های شیشه در ایران تقریباً در این محدوده است و شاید درصد جزئی از اکسیدهای دیگر نیز در ترکیب شیشه استفاده می‌شود.

نکته

دمای ذوب آمیزهای شیشه‌های پیرکس ۱۶۰۰ الی ۱۷۰۰ درجهٔ سلسیوس است.

جدول ۴ـ ترکیب شیمیایی شیشه‌های پیرکس

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

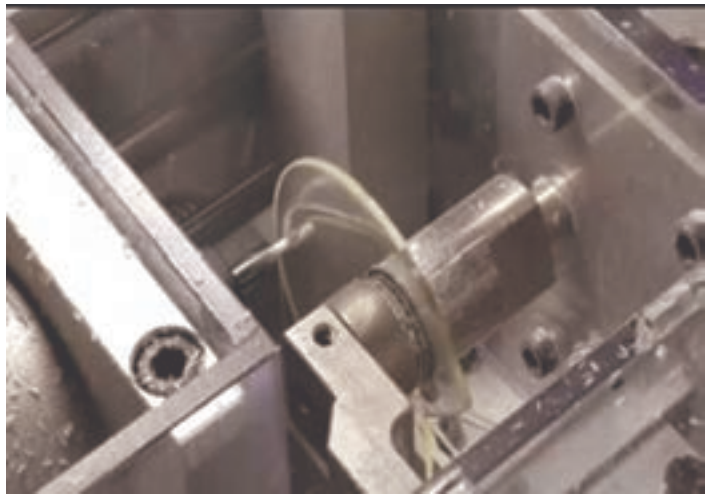
صفحهٔ ۳۲ فعالیت کارگاهی ۵: آماده‌سازی بچی مشابه شیشه بورسیلیکاتی است. درصد مصرف مینرال‌ها به گونه‌ای تنظیم شده است که با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب شود.
آمیز با این رنج مینرالی در محدوده ۱۱۰۰ الی ۱۲۰۰ درجه سلسیوس ذوب می‌شود.

تذکر

الف) مقداری آمیز درون بوته بریزید که تقریباً نصف حجم بوته خالی باشد و سرعت حرارت دادن در مرحلهٔ اولیهٔ آهسته باشد:
۱ زیرا بوراکس در ابتدای مرحله حرارت دادن افزایش حجم زیادی دارد.
۲ آب ساختاری زیادی از آمیز در حال خارج شدن است که باعث پاشیدن آمیز به بیرون از بوته نشود.
۳ در ابتدای فرایند ذوب شدن روی آمیز کف ایجاد می‌شود.
ب) هنگامی که آمیز کاملاً ذوب شد مذاب را در حرارت نگه ندارید زیرا باعث می‌شود که بوراکسید تبخیر شود و این امر باعث تغییر آنالیز شیشه و کدر شدن آن می‌شود.

شکل ۴۲ و متن صفحه ۳۳: شیشه‌های سربی که با نام تجاری کریستال معروف هستند را توضیح می‌دهد.
این شیشه‌ها در مقایسه با شیشه‌های سودالایم از خواص نوری بالاتری برخوردار هستند اما از لحاظ قیمت تمام شده گران‌تر از سودالایم‌ها هستند و به دلیل سمی بودن ترکیبات سرب برای تولید شیشه‌های روزمره مطلوب نیستند.
۱ آمیز این شیشه‌ها به علت مینرال‌های تأمین‌کننده سرب‌اکسید گران‌تر است.
۲ سرب‌اکسید در محدوده دمایی ۱۰۵۰ الی ۱۱۵۰ درجه سلسیوس تبخیر می‌شود برای تولید این شیشه‌ها نیاز به کوره‌های الکتریکی (بوستری) اتمسفر کنترلی است که باعث می‌شود هزینهٔ تولید به میزان زیادی افزایش یابد.

شکل ۴۳ صفحهٔ ۳۳ تراش دادن شیشه سربی را نشان می‌دهد.



تراش دادن شیشه سربی

در جدول ۵ صفحهٔ ۳۴ محدودهٔ آنالیز شیمیایی (محدوده تجاری) شیشه‌های سربی آورده شده است. ترکیب این شیشه در اکثر کارخانه‌های ایران تقریباً در این محدوده است و شاید درصد جزئی از اکسیدهای دیگر در ترکیب شیشه آنها استفاده می‌شود.
دمای ذوب آمیزهای شیشه‌های سربی ۱۳۰۰ الی ۱۴۰۰ درجه سلسیوس است.

صفحهٔ ۳۴ کارعملی ۶:

فعالیت کارگاهی

آماده‌سازی بچی مشابه شیشه سربی است. درصد مصرف مینرال‌ها به گونه‌ای تنظیم شده است که با کوره‌های موجود در هنرستان ذوب شود.

این رنج مینرالی در محدودهٔ دمایی ۱۱۰۰ الی ۱۲۰۰ درجهٔ سلسیوس ذوب می‌شود. هنرآموز محترم همان‌طور که می‌دانید هر چقدر درصد سیلیس کمتر و در مقابل درصد سرنج و کربنات‌های سدیم و پتاسیم بیشتری برای آمیزتان انتخاب کنید می‌توانید در دمای پایین‌تری مذاب را تهیه کنید. البته سختی شیشهٔ تولیدی بسیار کاهش می‌یابد.

تذکر

هنگامی که آمیز کاملاً ذوب شد مذاب را در حرارت نگه ندارید زیرا باعث می‌شود: سرب‌اکسید تبخیر و احیاء شود و این امر باعث تغییر ترکیب شیشه و کدر شدن آن و آلودگی زیست‌محیطی می‌شود.

احیایی شدن سرب یعنی سرب‌اکسید به فلز سرب تبدیل می‌شود که در واقع حالت شیشه‌ای ندارد. (حالت‌های براده‌ای فلز سرب در نمونه تهیه شده مشاهده می‌شود).

صفحهٔ ۳۵ کارعملی ۷:

فعالیت کارگاهی

در این فعالیت از هنرجویان خواسته شده که چگالی کلی و ظاهری آمیز شیشه‌های کارهای عملی ۴ الی ۶ را اندازه‌گیری و سپس مقایسهٔ کنند.

هنرجویان با مقایسه چگالی‌ها به این نتیجه برسند که کدام گروه با دقت بیشتر و صحیح‌تر آمیز را آماده‌سازی کرده‌اند.

صفحهٔ ۳۵ شکل ۴۴: این صفحه دربارهٔ شیشه‌های اپال است. اساس ساختار این شیشه‌ها به وجود آوردن فاز بلور در بستر فاز آمورف شیشه است که باعث می‌شود از عبور نور جلوگیری کند.

دانش‌افزایی

روش اُپک کردن این شیشه‌ها شامل موارد زیر است:

۱ مایع (شیشه) ـ بلور

۲ مایع ـ مایع (جدایش فازی)

۳ حباب‌دار شدن شیشه

اکثر شیشه‌های اپال از مکانیزم مایع ـ بلور تولید می‌شود که با روش‌های زیر فاز بلورین در بستر فاز آمورف شیشه ایجاد می‌شود:

۱ به آمیز شیشه ترکیباتی که تمایل به بلوری شدن مانند فسفراکسید یا ترکیبات فلوریدی مانند سدیم‌فلورید یا کلسیم‌فلورید اضافه می‌کنند.

۲ پس از فرایند شکل‌دهی، شیشه را در گرم‌خانه تحت عملیات حرارتی قرار می‌دهند تا فرصت جوانه‌زنی و رشد در نهایت ایجاد فاز بلورین در شیشه فراهم شود.
شیشه‌های اپال که با فسفراکسید تولید می‌شوند اپال‌های فسفاتی نیز نامیده می‌شوند (ضریب انبساط حرارتی این گروه در حدود ۴×۱۰^{-۷} است).
شیشه‌های اپال که با ترکیبات فلوریدی تولید می‌شوند اپال‌های فلوریدی نیز نامیده می‌شوند (ضریب انبساط حرارتی این گروه در حدود ۸×۱۰^{-۷} است).
در بعضی از منابع علمی شیشه‌های اپال فلوریدی اپال سنتی نیز گفته می‌شوند.
شیشه‌های اپال به ویژه نوع فسفاتی به دلیل دارا بودن ضریب انبساط حرارتی بسیار پایین، از مقاومت در برابر شوک حرارتی بالایی برخوردار هستند.
(برای اطلاعات بیشتر دربارهٔ این شیشه‌ها به کتاب شیشه دکتر مارقوسیان، مبحث شیشه‌های اپال مراجعه کنید.)

ارزشیابی نهایی

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

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

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

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	آماده‌سازی وسایل و تجهیزات تهیهٔ آمیز شیشه	۱	
۲	آماده‌سازی مواد اولیه تهیهٔ آمیز شیشه	۲	
۳	آماده‌سازی آمیز شیشه‌های سیلیکاتی	۱	
۴	آماده‌سازی آمیز شیشه‌های بوروسیلیکاتی	۱	
۵	آماده‌سازی آمیز شیشه‌های سربی	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی، و... 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.

چک لیست ارزشیابی بر مبنای شایستگی

هنرستان:	رشته:	درس:	پایه:
فصل شمارهٔ :	واحد یادگیری شمارهٔ:	عنوان فصل:	هنرآموز:

ردیف	نام و نام خانوادگی هنرجویان	شایستگی‌های غیر فنّی	مراحل کار شایستگی‌های فنّی						نتایج فردی		
حد اقل نمره قبولی		۲	۱_	۲_	۳_	۴_	۵_	۶_	میانگین معیار ها	نمره ارزشیابی شایستگی فنّی از ۳ نمره	مستمر از ۵ نمره	پایانی از ۲۰ نمره
		ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی، کار گروهی، اخلاق حرفه‌ای، نظم، رعایت استانداردها، رعایت الزامات تولید، مسئولیت‌پذیری و ...								۲		۱۲
۱												
۲												
۳												
۴												
۵												
۶												
۷												
۸												
۹												
۱۰												
۱۱												
۱۲												
۱۳												
۱۴												

بودجه‌بندی

ردیف	فصل	محتوای قابل ارائه	زمان		نحوه ارائه	مکان
			نظری	عملی		
اول	آماده‌سازی مواداولیه شیشه	آماده‌سازی وسایل و تجهیزات تهیه آمیز شیشه	۲	۸	کتاب درسی تصویر پوستر فیلم	کلاس کارگاه
		آماده‌سازی مواد اولیه تهیه آمیز شیشه	۳	۹		
		آماده‌سازی آمیز شیشه‌های سیلیکاتی	۲	۱۲		
		آماده‌سازی آمیز شیشه‌های بوروسیلیکاتی	۳	۹		
		آماده‌سازی آمیز شیشه‌های سربی	۳	۹		
دوم	ساخت مذاب	تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی	۲	۱۰	کتاب درسی تصویر پوستر فیلم	کلاس کارگاه
		تهیه مذاب شیشه‌های بوروسیلیکاتی	۲	۱۰		
		تهیه مذاب شیشه‌های سربی	۲	۱۰		
		تهیه مذاب شیشه‌های سیلیکاتی حاوی موادحباب‌زدا	۲	۱۰		
		تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد بی‌رنگ‌کننده ، رنگ‌کننده و احیاکننده	۲	۱۰		
سوم	شکل دهی شیشه	استفاده از انواع ابزار شیشه‌گری دستی	۳	۱۲	کتاب درسی تصویر پوستر فیلم	کلاس کارگاه
		برداشتن بار با استفاده از میله دم و شکل‌دهی لقمه مذاب	۳	۱۲		
		شیشه‌گری با شعله	۳	۱۲		
		شکل‌دهی مذاب شیشه در قالب	۳	۱۲		
چهارم	عملیات تکمیلی شیشه	انجام عملیات حرارتی تنش‌زدایی شیشه‌ها	۴	۱۰	کتاب درسی تصویر پوستر فیلم	کلاس کارگاه
		انجام عملیات حرارتی تمپرینگ بر روی شیشه و آنیل کردن	۳	۱۰		
		انجام عملیات مشجر سازی	۳	۱۰		
		انجام عملیات برش و ساب زنی شیشه	۳	۱۰		
		انجام عملیات مونتاژ قطعات شیشه	۳	۱۰		
پنجم	تزیین شیشه	آماده‌سازی ابزار و تجهیزات شیشه	۲	۶	کتاب درسی تصویر پوستر فیلم	کلاس کارگاه
		آماده‌سازی مواد تزئین شیشه	۱	۵		
		تزئین شیشه	۸	۲۰		
		پخت	۲	۸		
		کنترل نهایی	۲	۶		

طرح درس سالانه

شاخه: فنی و حرفه‌ای	زمینه: صنعت	رشته/ مهارت: سرامیک	سال تحصیلی: ۹۸ـ۹۷
عنوان درس: تولید شیشه	پایه: دوازدهم	تعداد واحدتئوری: عملی: کل: ۳۶۰ ساعت	
هدف کلی: کسب شایستگی‌های فنی و غیرفنی تولید شیشه		تعداد هفته‌های آموزشی: ۳۷	
نام هنرآموز:	استان:	منطقه/ناحیه:	آموزشگاه:

هفته	فصل	عنوان فصل	زمان (ساعت)	عنوان کلی فعالیت آموزشی
۱	۱	آماده‌سازی مواد اولیه شیشه	۸	تدریس مفاهیم اولیه آشنایی با شیشه، فرایند آماده‌سازی آمیز شیشه، نمودار مواد اولیه شیشه
۲	۱		۸	تدریس مواد اصلی آمیز شیشه (مواد شیشه‌ساز، دگرگون‌ساز و واسطه)، انجام کار عملی ۱ ساخت ماکت ساختار شیشه‌ای
۳	۱		۸	انجام کار عملی ۲ تأثیر حرارت بر مواد اولیه اصلی، تدریس مواد اولیهٔ فرعی آمیز شیشه (کنترل‌کننده حباب، کنترل کننده رنگ)
۴	۱		۸	تدریس ادامه بحث مواد اولیه فرعی آمیز شیشه (رنگ دهنده‌ها، کنترل کننده حالت اکسیداسیون و احیا)، ذخیره‌سازی، خردایش و آهن‌گیری مواد اولیه
۵	۱		۸	تدریس آسیاب کردن و آهن‌گیری، وزن‌کردن مواد اولیه، همگن‌کردن آمیز، تدریس روش نمونه‌برداری از آمیز، انجام کار عملی ۳ آماده‌سازی آمیز خرده شیشه
۶	۱		۸	تدریس انواع شیشه، انجام کار عملی ۴ آماده‌سازی آمیز شیشه سیلیکاتی، انجام کار عملی ۵ آماده‌سازی آمیز شیشه بور و سیلیکاتی
۷	۱		۸	انجام کار عملی ۶ آماده‌سازی آمیز شیشه سربی، انجام کار عملی ۷ مقایسه چگالی کلی و ظاهری آمیز شیشه‌های بور و سیلیکاتی و سربی، تدریس شیشه اپال
۸	۱		۸	مجتمع ساختن ارزشیابی‌های فنی و غیرفنی انجام شده در جلسات فصل ۱
۹	۲	ساخت مذاب	۸	تدریس مراحل ذوب در کوره، ذوب آمیز شیشه، مراحل ذوب شیشه با کوره گازسوز و آزمایشگاهی، انجام کار عملی ۱ تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی، تدریس حباب‌زدایی و تصفیه مذاب و انواع حباب از لحاظ اندازه
۱۰	۲		۸	تدریس روش‌های حباب‌زدایی، انجام کار عملی ۲ تهیه مذاب شیشه بور و سیلیکاتی، تدریس انواع کوره در صنعت شیشه (کوره بوته‌ای و مخزنی روزکار)
۱۱	۲		۸	انجام کار عملی ۳ تهیه مذاب شیشه سربی، تدریس کوره‌بانی کوره‌های بوته‌ای و مخزنی روزکار، کوره‌های پیوسته با سامانه بازیافت حرارتی (کوره ریکوپراتوریریجنراتوری)، اجزای مختلف کوره‌های پیوسته مجهز به سامانه بازیافت حرارتی
۱۲	۲		۸	انجام کار عملی ۴ تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا، انجام کار عملی ۵ تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب زدا و بی رنگ کننده
۱۳	۲		۸	تدریس عوامل موثر بر سرعت ذوب و ظرفیت تولید شیشه، کوره الکتریکی
۱۴	۲		۸	انجام کار عملی ۶ تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا، بی‌رنگ کننده و رنگی‌کننده، انجام کار عملی ۷ تهیه مذاب شیشه سیلیکاتی حاوی مواد حباب‌زدا و احیایی‌کننده
۱۵	۲		۸	مجتمع ساختن ارزشیابی‌های فنی و غیرفنی انجام شده در جلسات فصل ۲

۱۶	۳	شکل‌دهی شیشه	۸	تدریس شیشه‌گری دستی، انواع ابزارهای شیشه‌گری دستی، شیشه‌گری به روش دمیدن،
۱۷	۳		۸	انجام کار عملی ۱ شکل‌دهی گوی شیشه‌ای به روش دمیدن، تدریس دمیدن در قالب به روش دستی
۱۸	۳		۸	انجام کار عملی ۲ شکل‌دهی به روش دمیدن در قالب به روش دستی، تدریس دمیدن در قالب به روش نیمه دستی، شیشه‌گری با شعله مراحل شکل‌دهی شیشه آزمایشگاهی
۱۹	۳		۸	انجام کار عملی ۳ شیشه‌گری با شعله، تئریس تولید شیشه به روش دستگاهی، شیشه تخت و روش‌های شکل‌دهی آن (نورد، کشیدن و شناوری)
۲۰	۳		۸	انجام کار عملی ۴ شکل‌دهی شیشه‌های سیلیکاتی، انجام کار عملی ۵ شکل‌دهی شیشه بور و سیلیکاتی
۲۱	۳		۸	تدریس ظروف شیشه‌ای، تولید ظروف شیشه‌ای به روش پرس، تولید ظروف شیشه‌ای به روش پرس ـ دمش، انجام کار عملی ۶ شکل‌دهی شیشه سربی
۲۲	۳		۸	تدریس ظروف شیشه‌ای به روش پرس ـ دمش، الیاف شیشه‌ای، انجام کار عملی ۷ ساخت مهره‌های شیشه‌ای (شیشه رنگی)، انجام کار عملی ۸ شکل‌دهی الیاف شیشه‌ای
۲۳	۳		۸	مجتمع ساختن ارزشیابی‌های فنی و غیرفنی انجام شده در جلسات آموزش فصل ۳
۲۴	۴	عملیات تکمیلی شیشه	۸	تدریس عملیات حرارتی تنش‌زدایی (آنیلینگ)، نمودار تنش‌زدایی شیشه، انجام کار عملی ۱ تنش‌زدایی شیشه سیلیکاتی
۲۵	۴		۸	انجام کار عملی ۲ تنش‌زدایی شیشه بور و سیلیکاتی، انجام کار عملی ۳ تنش‌زدایی شیشه سربی، تدریس عملیات نشکن‌سازی (تمپرینگ) و تمپر حرارتی
۲۶	۴		۸	انجام کار عملی ۴ تنش‌زدایی مهره‌های رنگی، انجام کار عملی ۵ بررسی شکست شیشه‌های تمپر حرارتی، تدریس شیشه مشجر، انواع روش‌های تولید شیشه مشجر، انجام کار عملی ۶ تعیین استحکام شیشه تمپر شده و شیشه تمپر نشده
۲۷	۴		۸	انجام کار عملی ۷ مشجر کردن شیشه، تدریس برش شیشه، انجام کار عملی ۸ برش شیشه با شیشه‌بر، انجام کار عملی ۹ ساب‌زنی شیشه برش خورده
۲۸	۴		۸	تدریس دستگاه برش حرارتی، برش شیشه با آب (واترجت)، شیشه طلقی (لمینیت)، شیشه دوجداره، فرایند ساخت شیشه دوجداره
۲۹	۴		۸	انجام کار عملی ۱۰ ساخت شیشه طلقی (لمینیت)، تدریس مونتاژ شیشه، مونتاژ شیشه با روش پولیش حرارتی، مونتاژ شیشه با چسب UV، مات کردن شیشه، نکات ایمنی کار با اسید هیدروفلوئوریک، انجام کار عملی ۱۱ مونتاژ شیشه با چسب UV
۳۰	۴		۸	مجتمع ساختن ارزشیابی‌های فنی و غیرفنی انجام شده در جلسات آموزش فصل ۴

۳۱	۵	تزئین شیشه	۸	تدریس روش‌های تزئین شیشه، تراش شیشه و دستگاه تراش شیشه، انجام کار عملی ۱ تراش شیشه با استفاده از فرز مینیاتوری
۳۲	۵		۸	تدریس تزئین شیشه با رنگ‌ها، انجام کار عملی ۲ طراحی نام هنرستان روی شیشه و تزئین آن به روش ویترای، تدریس رنگ‌های گرم، نقاشی
۳۳	۵		۸	انجام کار عملی ۳ نقاشی روی شیشه، تدریس میناکاری شیشه، انجام کار عملی ۴ میناکاری روی شیشه
۳۴	۵		۸	تدریس حرارت مستقیم (لمپ وُرکینگ)، مراحل کار تزئین شیشه به روش حرارت مستقیم (لمپ وُرکینگ)، فیوز شیشه، قالب فیوز شیشه، قالب سرامیکی، سیمان نسوز و حرارت‌دهی، انجام کار عملی ۵ فیوز شیشه با استفاده از تکه‌های خرد شده شیشه
۳۵	۵		۸	انجام کار عملی ۶ ساخت سنگ مصنوعی با روش فیوز شیشه، تدریس روش‌های فیوزینگ شیشه و مات کردن شیشه
۳۶	۵		۸	انجام کار عملی ۷ اسلامپینگ با استفاده از نوارهای شیشه، انجام کار عملی ۸ ساخت کاشی شیشه‌ای با روش فول فیوز
۳۷	۵		۸	مجتمع ساختن ارزشیابی‌های فنی و غیرفنی انجام شده در جلسات آموزش فصل ۵

طرح درس روزانه

عنوان درس: تولید شیشه	رشته : سرامیک	ساعت آموزشی	
هدف کلی: کسب شایستگی‌های فنی و غیر فنی در ارتباط با فرایند تولید شیشه	**پایه** : دوازدهم	کل : ۳۰۰ ساعت آموزشی	هفتگی : ۸ ساعت
عنوان فصل: آماده‌سازی مواد اولیه شیشه	**فصل** : اول	نوع درس : کارگاهی	تعداد واحد : ۸
	سال تحصیلی : ۹۸ـ۹۷	هنرآموز:	جلسه : اول ۴۸۰ دقیقه

محتوا

ردیف	عنوان فعالیت	شرح فعالیت	رسانه آموزشی	بازخورد مورد انتظار	زمان دقیقه
۱	احوالپرسی و حضور و غیاب	کلاس با سلام و احوالپرسی از هنرجویان و بررسی جو کلاس شروع می‌شود و حضور و غیاب انجام می‌شود.	---	هنرجویان در مورد وضعیت روحی و جسمی خود سخن می‌گویند.. اسامی غایبین در دفتر ثبت می‌شود.	۱۰
۲	ارزشیابی ورودی	در رابطه با کاربردهای شیشه، مفاهیم بلور و آمورف و مواد اولیه‌ای‌که قادر به ساخت شیشه هستند از هنرجویان پرسش به عمل می‌آید.	کتاب درسی، وایت برد، ویدئو پروژکتور و نرم افزار و عکس و فیلم آموزشی	از هنرجویان انتظار می‌رود با توجه به مفاهیمی که در درس دانش فنی پایه آموخته‌اند مفاهیم آمورف و بلور را بیان کنند و از مواد اولیه اصلی شیشه به سیلیس اشاره کنند.	۲۵

۳	بیان هدف‌های رفتاری	۱ـ بیان کاربردهای شیشه در زندگی روزمره ۲ـ بیان تفاوت آمورف و بلور ۳ـ بیان چند ماده اصلی شیشه‌ساز ۴ـ بیان شرایط تشکیل شیشه	کتاب درسی، وایت برد، ویدئو پروژکتور و نرم‌افزار و عکس و فیلم آموزشی	واکاوی و مجتمع ساختن دانسته‌های هنرجویان در ارتباط با اطلاعات اولیه مورد نیاز دربارهٔ علم شیشه	۵
۴	فعالیت‌های آموزشی	۱ـ بیان انواع شیشه‌های موجود در طبیعت توسط هنرآموز ۲ـ یادآوری مفاهیم بلور و آمورف توسط هنرآموز ۳ـ بیان چند کاربرد شیشه در زندگی روزمره توسط هنرجویان ۴ـ بیان شرایط اصلی تشکیل شیشه توسط هنرآموز و واداشتن هنرجویان به تفکر درباره اثر گرانروی بالای مذاب جهت تشکیل شیشه	کتاب درسی، وایت برد، ویدئو پروژکتور و نرم‌افزار و عکس و فیلم آموزشی	۱ـ از هنرجویان خواسته می‌شود تا چند کاربرد شیشه در زندگی روزمره را نام ببرد. ۲ـ هنرجو پس از یادگیری شرایط ایجاد شیشه به تفکر در این زمینه می‌پردازد.	۳۶۰
۵	ارزشیابی پایانی	۱ـ بیان کاربردهای شیشه در زندگی روزمره ارزشیابی شود. ۲ـ بیان شرایط اصلی تشکیل شیشه و بازخورد تفکر در این زمینه ارزشیابی شود.	کتاب درسی، وایت برد، ویدئو پروژکتور و نرم‌افزار و عکس و فیلم آموزشی	هنرجویان باید بتوانند پس از تدریس هنرآموز، یک ماده اصلی شیشه‌ساز (به‌عنوان مثال سیلیس) را نام ببرند و وجود گرانروی بالای مذاب در هنگام سرد شدن را به عنوان شرط اصلی ایجاد شیشه بیان کنند.	۳۰
۶	فعالیت‌های پایانی	مشاهده فیلم آموزشی در ارتباط با معرفی کاربردهای شیشه در زندگی روزمره	فیلم آموزشی	پس از مشاهده فیلم آموزشی هنرجویان با کاربردهای شیشه در زندگی روزمره آشنا می‌شوند.	۳۰
توضیحات:					