

تئوری شیشه

(چاپ دوم)

از: محمود سالاریه - محمد حکمی

(مدرس و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی ساوه)

رشته: مهندسی سرامیک



سرشناسه	: سالاریه - حکمی، محمود، محمد (۱۳۴۱-۱۳۵۲)
عنوان و نام پدیدآورندگان	: تئوری شیشه/مؤلفان: محمود سالاریه. محمد حکمی
مشخصات نشر	: تهران: سبز آرنج، ۱۳۹۴ .
مشخصات ظاهری	: ۴۳۲ ص: مصور، جدول، نمودار .
شابک	: 978-600-5874-29-7
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: شیشه
موضوع	: شیشه سازی
شناسه افزوده	: سالاریه محمود (۱۳۴۱). حکمی محمد (۱۳۵۲)
رده بندی کنگره	: 1393 9ت2س/857TP
رده بندی دیویی	: 1/666
شماره کتاب شناسی ملی	: 3570590

نام کتاب: تئوری شیشه
نویسندگان: مهندس محمود سالاریه - مهندس محمد حکمی (هیئت علمی دانشگاه آزاد واحد ساوه)
ویراستار: زهرا کاشانی
طراح جلد: احسان ترکمنی
ناشر: سبز آرنج
نوبت چاپ: دوم / ۱۳۹۴
شمارگان: ۱۰۰۰ جلد
قیمت: ۴۵۰،۰۰۰ ریال
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۸۷۴-۲۹-۷
حق چاپ: برای مولف اول محفوظ است.
تلفن: ۰۸۶-۴۲۴۰۱۲۲۲

سایت فروش کتاب: www.armitagesw.com

ذهن ما باغچه است.
گل در آن باید کاشت.
و نکاری گل من، علف هرز در آن می‌روید.
زحمت کاشتن یک گل سرخ.
کم‌تر از زحمت برداشتن هرزگی آن علف است.
گل بکاریم بیا.
تا مجال علف هرز فراهم نشود.

مجتبی کاشانی

تقدیم به:

استاد و آموزگارم دکتر واهاک کاسپاری مارقوسیان
به پاس اینکه می‌دانیم که هر انسانی دو آموزنده دارد:
یکی روزگار و دیگری آموزگار.
اولی به بهای زندگی‌ات، ولی دومی به بهای زندگی‌اش.



پیش گفتار

امروزه اهمیت شیشه بر کسی پوشیده نیست. کاربردهای آن در تمام عرصه‌های زندگی بشر از درب و پنجره‌ها و ظروف نگهداری مواد غذایی و آشامیدنی و دارویی و ظروف خانگی گرفته تا شیشه‌های عینک و دوربین و میکروسکوپ و تلسکوپ و انواع فیلترهای نوری و حسگرها (سنسورها) و وسایل و ادوات نظامی را هم شامل می‌شود. بعلاوه شیشه‌های عایق و نیمه‌هادی با کاربردهای الکتریکی و الکترونیکی و پوشش به صورت لعاب بر قطعات سرامیکی و فلزی و حباب‌های لامپ و اخیراً به صورت الیاف نوری در صنایع مخابرات نفوذ و رخنه کرده است. از سوی دیگر علم شیشه که همانا علم شناخت ساختار، ماهیت و ویژگی مختلف این ماده و ارتباط آن‌ها با یکدیگر است نیز به تدریج رشد و تکامل یافته است. ظهور علوم جدید نظیر نانو مواد و بیو مواد باعث شده است تا شیشه‌های خود تمیز شو و شیشه‌های ضد باکتری در علم پزشکی خصوصاً ابزارآلات پزشکی در اتاق عمل کاربرد ویژه‌ای یابند. در این میان شرکت‌های مختلف سعی دارند تا با استفاده از آخرین تکنولوژی روز، رفاه بشر را فراهم آورند، چنانکه برخی شرکت‌ها اقدام به ساخت نوعی شیشه‌های ضد خش و ضد زلزله کرده‌اند و برخی دیگر نیز انواعی از شیشه را ساخته‌اند که ذرات آب باران را از خود دفع کرده و نیاز به شستشوی دائم ندارد. شیشه، با وجود قدمت طولانی در معماری، امروزه به عنوان یکی از مصالح مدرن در سازه‌ها مطرح می‌شود که علاوه بر نقش سنتی خود در زمینه پوشش پنجره‌ها، به عنوان وسیله‌ای دکوراتیو در نما و داخل ساختمان‌ها هم کاربرد دارد. اخیراً نسل جدیدی از شیشه‌های ساختمانی و دکوراتیو به بازار ایران وارد شده است که دارای خواص مختلفی از جمله خاصیت ضد میکروبی و آنتی باکتریال است.

خاصیت ضد میکروبی این شیشه‌ها بیش از ۹۹/۹ درصد از باکتری‌ها را بر روی شیشه برطرف کرده و همچنین از تکثیر و ایجاد قارچ بر روی شیشه جلوگیری می‌کند. به همین دلیل از این نوع شیشه می‌توان در سرویس‌های بهداشتی، حمام و محیط‌های بیمارستانی استفاده کرد. از طرف دیگر پیشرفت گسترده محصولات شیشه‌ای در ساختار اسکلت انسان نظیر مفاصل دست و پا، قطعات مجامه سر و... باعث کاربرد عملی این محصولات شده است. ولی با وجود قدمت کاربرد شیشه به عنوان ماده‌ای باستانی، علم شیشه هنوز بسیار جوان است. طی هزاران سال شناخت شیشه و روش ساخت آن عمدتاً بر تجربیات استادکارانی استوار بوده است که از نسلی به نسلی دیگر منتقل شده و به کندی تکامل می‌یافت. اما حرکت شتابان تکنولوژی به ویژه از آغاز قرن حاضر میلادی باعث شتاب گرفتن سیر تکاملی تکنولوژی و علم شیشه شده است. شاید آغاز قرن بیستم میلادی را به توان آغاز پایه‌گذاری علم نوین شیشه دانست، اما بیشترین پیشرفت‌ها در این علم از دهه شصت میلادی به بعد انجام گرفته است (به طوری که دهه شصت را دهه طلایی علم شیشه نامیده‌اند). طی این چند دهه پیشرفت‌های

بسیار شگرفی در زمینه شناخت شیشه، ساختار آن، قوانین حاکم بر آن و ویژگی مختلف فیزیکی و شیمیایی آن حاصل شده است. همگام با این پیشرفت، تکنولوژی شیشه نیز از نظر تکامل روش‌های تولید و به بازار آوردن محصولات نوین با کاربردهای بسیار متنوع و گسترده نیز پیشرفت زیادی نموده است. علم شیشه در ایران کم‌تر شناخته شده است و پژوهش و آموزش آن بسیار دیرتر از صنعت آن در ایران رواج و گسترش یافته است. امید است که با انتشار این کتاب گامی هر چند بسیار کوچک در جهت شناخت بهتر و علمی‌تر شیشه برداشته شود. امکانات برای کاربردهای شیشه در علم و تکنولوژی بی اندازه گسترده است. شیشه با کیفیت معمول آن در سرتاسر دنیا تولید می‌شود. مهم‌ترین مواد اولیه مصرفی و سوخت‌های لازم جهت حرارت دهی تقریباً در همه جا در دسترس است و تکنولوژی لازم را می‌توان به آسانی کسب کرد. به سختی می‌توان کشوری را یافت که شیشه تولید نکند. ایجاد تجهیزات ساخت برای ظروف شیشه‌ای جهت غذا، نوشیدنی‌ها و استفاده خانگی معمولاً نشانه شروع صنعتی شدن در کشورهای توسعه یافته بوده است. امروزه شیشه گروهی از مواد سرامیکی هستند که مطالعات گسترده‌ای را به خود اختصاص داده است. به خاطر وجود تعداد زیادی مقالات و کتب علمی در این حوزه به ویژه به زبان‌های انگلیسی و دیگر زبان‌های غیر پارسی، کمبود منابع پارسی در دست رس، ضرورت توجه به تهیه کتاب‌های پارسی در زمینه شیشه را ضروری کرده است. این کتاب از کتاب شیشه ساختار، خواص و کاربرد تألیف استاد بزرگوارم دکتر واهاک کاسپاری مافورسیان بهره گرفته است. لذا در این کتاب مطالب به این صورت دسته بندی و مورد پژوهش قرار گرفته‌اند:

- در فصل اول، تاریخچه شیشه مورد بحث و بررسی قرار گرفت. اینکه شیشه در چه زمانی کشف شد و مورد استفاده انسان قرار گرفت، سوالی است که از قرن‌ها پیش ذهن جستجوگر دانشمندان را به خود مشغول کرده که هنوز پاسخ دقیقی به آن داده نشده است. تاکنون نظریه‌های گوناگون و حتی افسانه‌های عجیب و غریبی در مورد پیدایش و تاریخچه شیشه بیان شده است، اما واقعیت مسئله همچنان در پرده ابهام باقی مانده است. قدیمی‌ترین قطعات شیشه‌ای که به وسیله باستان شناسان کشف شده است همگی متعلق به آسیای باختری بوده که تاریخ آن‌ها به نیمه هزاره دوم پیش از میلاد باز می‌گردد. سر فیلیندرزپیتری، در همین منطقه موفق به کشف قدیمی‌ترین کارگاه شیشه گری شد که قدمت آن به قرن چهاردهم پیش از میلاد برمی‌گردد. نخستین اشیاء و ظروف شیشه‌ای ساخته شده توسط ایرانیان را نیز به اقوام عیلامی نسبت می‌دهند. گفته شده است که عیلامی‌ها ۳۵ قرن پیش، برای انتقال نور از روزنه‌ها از شیشه سود جسته‌اند. کشف یک گردن بند شیشه‌ای با مهره‌های آبی رنگ متعلق به ۲۲۵۰ سال پیش از میلاد در ناحیه شمال غربی ایران دلیل دیگری بر پیشینه شیشه گری در این منطقه از جهان باستان است.

- در فصل دوم در مورد شیشه چیست صحبت شده است. شیشه محصولی معدنی از فرآیند ذوب است، که هنگام سرد شدن بدون آنکه به صورت بلوری در آید، حالت صلب و جامد پیدا می‌کند، یا اینکه مایع ابر سرمایش منجمد شده شیشه نامیده می‌شود. شیشه برخلاف جامدات دیگر فاقد ساختار درونی منظم و یکنواخت است. تفاوت اصلی بین حالت جامد و مایع در هر ماده مشخصی، مثلاً یخ و آب و یا آهن مذاب و آهن جامد، وجود ساختار متقارن و منظم در حالت جامد آن‌هاست که اصطلاحاً بلور یا کریستال نامیده می‌شود.

انتقال به حالت شیشه‌ای، پدیده‌ای است که یک فاز آمورف جامد هنگام حرارت دادن به نمایش می‌گذارد و آن عبارت است از تغییرات بسیار آرام برخی از ویژگی‌ها مانند ظرفیت گرمایی و ضریب انبساط حرارتی (که مشتقات توابع ترمودینامیکی هستند) از مقادیری خاص جامدات آمورف به مقادیری که ویژه مایعات است. دمای این تغییرات خواص به مای انتقال به شیشه T_g موسوم است.

- در فصل سوم در ارتباط با تئوری‌های شیشه‌سازی بحث شده است. به نظر گلداسمیت در اکسیدهای ساده با فرمول عمومی A_mO_n بین توانایی شیشه‌سازی و اندازه‌های نسبی کاتیون A و آنیون اکسیژن رابطه‌ای وجود دارد. مطابق نظریه ایشان اکسیدهای شیشه‌ساز اکسیدهایی هستند که در آن‌ها نسبت شعاع کاتیون به آنیون اکسیژن یعنی $\frac{R_c}{R_o}$ در محدوده $0.4 - 0.2$ قرار داشته باشد.

زاکاریاسن آنگاه تئوری خود را بدین گونه مطرح می‌سازد. نیروهای بین اتمی در شیشه اکسیدی باید مشابه بلور مربوطه باشد زیرا بعضی از ویژگی این دو فاز (بلور و شیشه) تقریباً نظیر یکدیگر است. در نتیجه اتم‌های شیشه باید نظیر بلورها تشکیل شبکه‌های سه بعدی گسترده بدهند. مطابق تئوری کینتیکی شیشه‌سازی اینکه مایعی هنگام سرد شدن پیش از رسیدن به دمای T_g متبلور می‌شود یا خیر دقیقاً یک مسئله کینتیکی است که از یک سو بستگی به سرعت جوانه‌زنی و رشد بلور و از سوی دیگر، به سرعت خروج انرژی حرارتی از سیستم دارد.

در هر دسته‌ای از مواد که بر حسب نوع اتصال می‌توانند به گروه‌های کووالانت، یونی، فلزی، واندروالس و اتصال هیدروژنی تقسیم‌بندی شوند، می‌توان موادی که شیشه‌ساز هستند، یافت. سرعت سرد کردن، میزان تمرکز جوانه‌ها و برخی از ویژگی‌ها مانند کشش سطحی، سطح مشترک بلور-مایع آنتروپی ذوب و غیره به عنوان عوامل مؤثر و مهمی هستند که توانایی مایعات مختلف را از نظر شیشه‌سازی تحت تأثیر قرار می‌دهند. برای انجام هر استحالته یا واکنش فیزیکی و شیمیایی معمولاً وجود فرآیند جوانه زنی یا تشکیل هسته از دو طریق امکان پذیر است.

الف- جوانه زنی هموزن

ب- جوانه زنی هتروژن.

جوانه زنی به دو عامل بستگی دارد:

۱- نیروی محرکه ناشی از اختلاف انرژی آزاد بین دو فاز مایع آمورف و فاز جامد بلوری.

۲- نیروی بازدارنده ناشی از اختلاف انرژی سطح مشترک دو فاز مایع آمورف و فاز جامد بلوری.

فصل چهارم در مورد ساختار شیشه‌ها بحث می‌کند. امروزه یکی از کلیدهایی که ممکن است ما را در شناخت ساختار شیشه‌ها یاری کند تشخیص و شناخت گروه‌های مختلف تشکیل دهنده شیشه می‌باشد. ساختار شیشه‌ها از مواد مختلف می‌تواند کاملاً متفاوت باشد. بنابراین لازم است به طور جداگانه ساختار شیشه‌ها از نظر نوع اتصال مورد بررسی قرار گیرد. - ساختار شیشه‌های دارای اتصال کووالانت ب- ساختار شیشه‌های دارای اتصال یونی پ- ساختار شیشه‌های دارای اتصال هیدروژنی ت- ساختار شیشه‌های دارای اتصال فلزی. با توجه به ساختار بلوری SiO_2 اکسیژن‌هایی که به صورت Si-O-Si بین دو تا تتراهدرال به اشتراک گذاشته شده‌اند را اکسیژن جفت اتصال یا پلزن^۱ گویند و به صورت BO نشان داده می‌شود. اکسیژن‌هایی که به دلایل ساختاری دارای اتصال کامل نیستند یعنی به صورت Si-O^- در آمده‌اند، را اکسیژن‌های غیر پلزن یا تک اتصال می‌گویند، که به صورت NBO نشان داده می‌شود. با تبعیت از قانون استولز برای شیشه‌هایی که حاوی یک نوع کاتیون شبکه‌ساز هستند، قابل بررسی است.

- در **فصل پنجم** با سیستم‌های شیشه سازی آشنا می‌شویم. تعداد زیادی سیستم‌های تک جزئی که توانائی شیشه سازی دارند قبلاً مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این سیستم‌های تک جزئی مانند سیستم SiO_2 و سیستم B_2O_3 و P_2O_5 ... هستند. دیدیم که چگونه در شیشه‌های $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}$ ، حضور Na_2O در شکل گیری اکسیژن‌های غیر پلزن^۲ یا اکسیژن‌های تک اتصال، نقش دارد، به طوری که اتم اکسیژن فقط به یک اتم سیلیکون مرتبط است و یون‌های سدیم به ساختار شیشه که توسط یون‌های اکسیژن احاطه شده‌اند کاملاً پیوند خورده‌اند، ولی این اتصال بیشتر خصلت یونی داشته و از پیوند سیلیکون- اکسیژن خیلی ضعیف‌تر است. همان طوری که می‌دانیم G عاملی است که به قابلیت شیشه‌ای شدن موسوم بوده که عبارت است از عکس بیشینه (ماکزیمم) سرعت رشد بلورها از مذاب. این عامل میزان پایداری شیشه (از نقطه نظر عدم تبلور) را نشان می‌دهد. نتایج اندازه گیری توسط تعدادی از محققین با تغییر در دمای تبلور در شیشه دی سیلیکات سدیم با ترکیب $\text{Na}_2\text{Si}_2\text{O}_5$ که به فرم فاز بلوری (با همان ترکیب به عنوان فاز زمینه) متبلور می‌شود، به طور کلی اعتقاد بر این است که افزودن اکسید کلسیم به شیشه سیلیکاتی اثر کیفی مشابه ای روی ساختار شیشه تولید شده توسط Na_2O

¹. oxygen Bridging

². oxygen NonBridging

دارد. با این حال، به دلیل بزرگتر بودن بار الکترونی یون Ca^{+2} در پیوند $Ca-O$ این اتصال بسیار قوی تر از پیوند $Na-O$ است. بنابراین یونهای کلسیم به صورتی پایدار و محکمتر نسبت به یونهای سدیم در ساختار شیشه حضور دارند که کمک قابل توجهی به هدایت الکتریکی در شیشه نمی‌کنند. لذا اعتقاد بر این است که هدایت الکتریکی تقریباً به طور کامل به مهاجرت یونهای سدیم مربوط است. جایگزینی Na_2O توسط CaO از یک سو به جهت افزایش استحکام اتصال یون و از طرف دیگر میل به واکنش کمتر Ca^{+2} نسبت به Na^{+} نتایج قابل توجهی در بهبود دوام شیمیایی در شیشه دارد که ضریب انبساط حرارتی شیشه و ویسکوزیته مذاب را افزایش می‌دهد که حاکی از افزایش انسجام ساختار و پیوند در این نوع شیشه‌ها است.

فصل ششم در مورد شیشه‌های سرامیک‌ها بحث می‌شود. محصولی از مذاب شیشه‌ای که با عملیات حرارتی خاصی پس از شکل دهی دچار جوانه زنی و رشد بلور شود بطوری که ویژگی محصول آمیزه‌ای از فازهای آمورف و بلور در هم تنیده و یک پارچه باشد به آن شیشه سرامیک می‌گویند. روش‌های شکل دهی شیشه در مقایسه با دیگر روش‌های شکل دهی که بعضاً پیچیده‌کنندتر و غیر اقتصادی‌تر هستند، بسیار متنوع، سریع و اقتصادی‌تر است. برای مثال فرایند ساخت تیغه‌های نازک، لیاف و ... در صنعت شیشه نسبت به صنعت سرامیک بسیار اقتصادی و آسان‌تر انجام می‌گیرد. چون قابلیت کنترل بسیار دقیق نوع فازهای کریستالیزه و مورفولوژی ریز ساختار در مرحله تبلور شیشه سرامیک‌ها امکان پذیر است، لذا تا حدودی قادر خواهیم بود که بسیاری از ویژگی‌های مورد نظر را به این نوع محصولات دیکته کنیم. بنابراین باید مفاهیم دقیق جوانه زنی و رشد بلور در سیستم‌های شیشه سرامیک را کاملاً آنالیز کنیم. توانایی کریستالیزاسیون در شیشه تابع این عوامل است:

۱- دمای نقطه ذوب ۲- سرعت جوانه زنی ۳- سرعت رشد بلور

فصل هفتم - انواع شیشه از نظر ترکیب و قوانین تشکیل را مورد بررسی قرار می‌دهیم. از نظر تجاری بیش از ۹۵ درصد از شیشه‌های تولیدی برحسب تن جزء شیشه سیلیکاتی هستند که بیشتر از نوع شیشه‌های قلیایی هستند و در دامنه ترکیبی نسبتاً کوچکی بنام شیشه سودالایمی شامل سودا، آهک، سیلیس قرار دارند [۱]. علاوه بر اکسیدهای Na_2O ، CaO و SiO_2 ، اغلب مقداری MgO برای بهبود مقاومت مذاب به کریستالیزاسیون یا تبلور و به منظور اصلاح مقاومت شیمیایی مقداری Al_2O_3 به ترکیب آن اضافه می‌گردد لذا ترکیب این شیشه‌ها بسیار پیچیده می‌باشد. شیشه‌های بوروسیلیکاتی گران‌تر از شیشه‌های قلیایی هستند. در اتصالات شیشه‌های بوروسیلیکاتی باقی ماندن سوراخ‌های سوزنی رایج است. این شیشه‌ها برای کار در دمای بالا کاربرد دارند. حداکثر دمایی که این نوع شیشه‌ها تحمل می‌کنند، در حدود ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد است که با بعضی ترکیبات خاص به ۶۵۰ درجه

سانتی‌گرم می‌رسد. شیشه‌های اپال، اساساً شیشه‌هایی غیر شفاف با ظاهری چینی مانند هستند که در مقیاس میکروسکوپی دچار جدایش فازی شده‌اند که اپاسیتی آن‌ها ناشی از انکسار و پخش داخلی نور از طریق سطوح مرز بین فازهای جدا شده می‌باشد. اکسیدهای سرب و پتاسیم (در کنار SiO_2) اجزاء اصلی شیشه‌هایی موسوم به شیشه‌های کریستال هستند. این شیشه‌ها به خاطر ظاهر درخشانده و بی‌رنگ که دارای تالو بلایی هستند، به کریستال‌های کوارتز شباهت داشته که احتمالاً به همین دلیل به نام شیشه کریستال موسوم هستند. شیشه‌های فتوکرومیک نخستین بار در میانه دهه‌ی ۱۹۶۰، توسط استنلی استوکسی در کارخانه‌های شیشه‌ی کورنینگ ساخته شد. هنگامی که شیشه‌های فتوکرومیک در برابر تابش شدید آفتاب قرار می‌گیرند، تیره می‌شوند و به طور برگشت پذیر با کاهش نور، روشن می‌شوند. همان طوری که گفته شد شیشه‌های فتوکرومیک شیشه‌هایی هستند که در صورت قرار گرفتن در معرض تابش امواج الکترومغناطیسی در محدوده‌های خاص (معمولاً بنفش و فرابنفش) میزان انتقال نور آن‌ها در محدوده نور مرئی افت کرده و در صورت قطع این تابش، میزان انتقال نور با سرعتی قابل توجه به حالت اولیه بر می‌گردد.

فصل هشتم - نقش اکسیدها در شیشه مطالعه می‌شود. عناصر در صنایع شیشه سازی بر حسب نقش اکسیدهای سازنده به سه گروه اصلی تقسیم بندی می‌شوند. ۱- اکسیدهای شبکه ساز یا شیشه ساز ۲- اکسیدهای کمک شبکه ساز یا واسطه ۳- اکسیدهای دگرگون کننده. این اکسیدها غالباً به تنهایی در ترکیب شیشه کاربردی ندارند لذا برای تامین آن‌ها در فرمول معمولاً از مواد اولیه مختلفی استفاده می‌کنند. ولی مواد اولیه مصرفی بر حسب غلبه هر اکسید در آن و نقش اصلی که در محیط‌های چند فازی دارند، می‌توانند به گروه‌های مختلفی دسته بندی شوند.

فصل نهم - در مورد روش تولید انواع محصول شیشه‌ای بحث می‌کند. محصولات شیشه‌ای در سیستم‌های شیشه سازی یک یا چند تایی قرار دارند که از نظر صنعتی دارای ترکیب و آنالیزهای گوناگونی هستند. تاکنون مهم‌ترین شیشه یک جزیی مورد استفاده، شیشه کوارتزی بوده است که در حقیقت تنها شیشه سیلیکاتی از نوع یک جزیی می‌باشد. ویژگی دی الکتریکی و شیمیایی بسیار خوب، ضریب انبساط حرارتی پایین، پایداری حرارتی بالا و شفافیت استثنایی بالا در برابر عبور نور فرابنفش، از ویژگی‌های در خور توجه این نوع شیشه به شمار می‌رود. از لحاظ صنعتی، شیشه‌های معروف به شیشه سودا لایمی ۹۰٪ تولید شیشه را به خود اختصاص داده که عموماً در تولید شیشه تخت و ظروف شیشه‌ای به کار می‌روند. همان طوری که پیش‌تر گفته شد این شیشه‌ها شامل مقادیر زیادی اکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی بوده و از لحاظ شیمیایی پایدار تر از سیلیکات‌های صرفاً قلیایی می‌باشند. شیشه‌های مورد استفاده در وسایل آزمایشگاهی از لحاظ مقدار بالای اکسید بور و مقدار پایین اکسید قلیایی با شیشه‌های دیگر متفاوت می‌باشند. شیشه را می‌توان با قالب گیری ماشینی یا دستی

شکل داد. در قالب گیری ماشینی، شیشه در ظرف چند ثانیه شکل می گیرد و از حالت مایع ویسکوز به جامد شفاف بدل می شود. و محصولات متنوعی را می توانیم با انواع روش های تولید شیشه شکل دهی کنیم. شیشه تخت، شفاف، بی رنگ یا رنگی که دارای دو سطح موازی و کاملاً صاف باشد و با روش ریخته گری پیوسته یعنی شناور سازی بر روی حمامی از یک فلز مذاب مانند قلع تولید می شود، شیشه فلوت گفته می شود.

- **فصل دهم** - در این فصل ویژگی فیزیکی و شیمیایی شیشه بررسی می گردد. دماهای مرجع ای که در تشریح رفتار شیشه، نوع شیشه و تفکیک شیشه های مختلف مؤثرند، عبارتند از:

۱- نقطه ذوب ۲- دامنه کار پذیری ۳- دمای سیلان ۴- نقطه نرم شدن ۵- نقطه تنش زدایی ۶- نقطه کرنش ۷- دمای استحاله. مواد با توجه به نوع پیوند و نوع ساختار بلوری موجود در شبکه، دارای نقطه ذوب متفاوتی هستند که این به معنای وجود ضریب انبساط حرارتی متفاوت است. انرژی جنبشی اتم ها یا یون ها با توجه به افزایش درجه حرارت، به شدت افزایش می یابد ولی به جهت وجود چاه پتانسیل و عدم هارمونی حرارتی مقدار نوسان حرارتی افزایش می یابد به طوری که میزان انبساط حرارتی در ارتباط با نوع اتصال و میزان عدم هارمونی حرارتی متغیر است. اصطلاح مقاومت شیمیایی شیشه به منظور بیان مقاومت شیمیایی و پایداری شیشه در مقابل اثرات محلول ها و عوامل اتمسفری خورنده بکار می رود. برای نشان دادن مقاومت شیمیایی شیشه ها نمی توان از مقادیر مطلق که در هر شرایطی صادق باشد، استفاده نمود و معمولاً شیشه ها را از نظر مقاومت شیمیایی به طور نسبی درجه بندی می کنند.

- **در فصل یازدهم** تنش در شیشه مورد مطالعه قرار می گیرد. در صورتی که در برابر انبساط یا انقباض آزاد یک جسم (یا المان های مختلف حجمی داخل جسم) مانعی ایجاد شود آنگاه در داخل آن جسم یا المان تنش ایجاد می شود. اگر این تغییرات ابعادی ناشی از حرارت باشد، این نوع تنش را تنش حرارتی گویند. در سرامیک های چند فاز در صورت وجود تفاوت بین فازهای مختلف در ویژگی هایی نظیر ضریب انبساط حرارتی و ضریب الاستیسیته، به علت اینکه فازها در برابر تغییر طولی یکدیگر مانع ایجاد می کنند، تنش هایی حرارتی داخلی ایجاد می شود. اینزوتروپی ویژگی ها در جهات بلوری نیز ممکن است چنین تنش هایی را به وجود آورد. در شیشه ها به علت تک فازی بودن با وجود نداشتن فازهای مختلف و هم چنین ایزوتروپ بودن ماده، در صورت نبود هیچگونه عیوبی نظیر حباب هوا یا فازهای بیگانه امکان ایجاد چنین تنش هایی وجود ندارد (مگر اینکه شیشه دچار جدایش فازی یا تبلور جزئی شود)؛ بنابراین تنها نوع تنش حرارتی که می تواند در شیشه به وجود آید تنش حاصله از وجود شیب های حرارتی یا عدم یکنواختی دما در قسمت های مختلف نمونه می باشد. میزان مقاومت شیشه ها در برابر تغییرات ناگهانی دما را شوک حرارتی می نامند. در صورتی که نمونه ای در معرض تغییرات

ناگهانی دمایی قرار گیرد، می‌گویند که به آن شوک حرارتی وارد شده است. با توجه به بحث‌های بخش قبل می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری نمود که اعمال تغییرات شدید دمایی (به ویژه سرد کردن سریع) می‌تواند در نمونه شیب‌های حرارتی شدید و در نتیجه تنش‌های خطرناک آنی ایجاد کند. در صورتی که این تنش در سطح به صورت کششی باشد، همان‌گونه که توضیح داده شد، ممکن است با رشد ترک‌ها و عیوب سطحی، شکست حاصل شود. شیشه همانند دیگر مواد سرامیکی، ماده‌ای ترد و شکننده است در نتیجه استحکام خمشی و کششی آن کم است. هنگامی که این ماده بر اثر ضربه، فشار و یا گرا دیان حرارتی در سطح و قسمت‌های داخلی شیشه ترک برداشته و می‌شکند به قطعات تیز و برنده‌ای تبدیل می‌گردد که بسیار خطرناک می‌باشد. تمپر کردن در حقیقت روشی است که در این روش همانند آنیلینگ با استفاده از حرارت دادن شیشه و سرد کردن کنترلی آن می‌توان به افزایش استحکام شیشه کمک نمود و از تبدیل شیشه به قطعات ریز تیز و برنده جلوگیری نمود. شیشه تمپر شده استحکامی در حدود دو برابر و یا بیشتر از شیشه‌های آنیل شده دارد.

- فصل دوازدهم در ارتباط با شیشه‌های رنگی می‌باشد. در تاریخ صنعت سرامیک، اعمالی نظیر ایجاد نقوش در سطح فرآورده‌ها با استفاده از قالب، کنده کاری، صیقل دادن بدنه و ... از اولین مراحل تولید و رشد این صنعت، جهت تزئین فرآورده‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفته و هنوز نیز انجام می‌گیرد. ولی با این همه، ایجاد رنگ در فرآورده‌ها بی‌تردید رایج‌ترین روش تزئین بوده و شاید بتوان گفت که تزئین فرآورده‌ها به وسیله رنگ زیباترین نتایج را تاکنون به همراه داشته باشد. همان‌طور که می‌دانیم در صنعت سرامیک، تزئین و آرایش فرآورده‌ها از نقطه نظر ترکیبات مولد رنگ، چگونگی ساخت، تهیه و آماده سازی آن‌ها و تا حدودی نحوه کاربردشان مورد توجه می‌باشد. تعداد زیادی از افزودنی‌ها در فرآیند تولید شیشه را مواد رنگی یا رنگ زها تشکیل می‌دهند. معمول‌ترین مواد رنگی مورد استفاده در صنایع شیشه عبارتند از: آهن، کرم، سریم، کبالت و نیکل می‌باشند. به دو طریق می‌توان شیشه رنگی بدست آورد. با افزودن و کم کردن بعضی مواد شیمیایی در مواد اولیه تهیه شیشه، برای نمونه اکسیدهای مسی به شیشه رنگ‌های مختلف قرمز می‌دهد و رنگ آبی پر رنگ به وسیله اکسید کبالت بدست می‌آید، رنگ زرد با افزودن مقداری اکسید اورانیوم و کادمیوم حاصل می‌گردد. شیشه سفید را در شیشه مذاب رنگی فرو می‌کنند تا دو روی آن رنگی شود، شیشه‌های رنگی در ویتترین مغازه‌ها، نمایشگاه‌ها، آزمایشگاه‌ها و ساختمان‌های صنعتی بکار می‌رود.

- فصل سیزدهم در مورد کوره ذوب بحث می‌شود. مهم‌ترین بخش تولید شیشه و محصولات شیشه‌ای، کوره‌های ذوب شیشه هستند که در آن جهت بدست آوردن مذاب به مواد اولیه و خرده شیشه حرارت داده می‌شود. با وجود اینکه فرآیند ذوب و تصفیه مذاب در صنایع مختلف شیشه شباهت‌های زیادی با هم دارند، اما نوع کوره‌های مورد استفاده به طور قابل ملاحظه‌ای متنوع هستند.

کوره‌های ذوب مختلفی در صنعت شیشه مورد استفاده قرار می‌گیرند مثلاً از کوره با مخازن بزرگ مذاب بیشتر برای تولید شیشه تخت یا ظروف به کار می‌روند در صورتی که ترکیب شیشه در تولید تغییر کند (مانند شیشه‌های اپتیکی) از کوره‌های کوچک‌تر مانند کوره‌های پاتیلی یا روز کار استفاده می‌شود.

- **فصل چهاردهم** - این فصل در مورد شکل دهی شیشه است. پس از مرحله تصفیه، شیشه مذاب جهت انجام عملیات بعدی به مرحله شکل دهی منتقل می‌شود. شکل دهی مرحله ای از فرآیند تولید است که در آن شکل نهایی محصول تولیدی مشخص می‌شود. فرآیندهای شکل دهی بستگی کامل به نوع شیشه تولیدی و شکل محصول نهایی دارد. این مرحله با فرآیندهای مختلفی مانند قالب گیری، شکل دهی دمشی، شکل دهی صفحه ای، شکل دهی الیافی و یا دیگر فرآیندها صورت می‌گیرد.

- **فصل پانزدهم** - عملیات پس از شکل دهی است. عملیات پس از شکل دهی مذاب شیشه، شامل فرآیندهایی می‌شود که برخی خواص فیزیکی محصول شیشه‌ای را پیش از ورود به بازار فروش تغییر می‌دهد. بسیاری از محصولات شیشه‌ای (بسته به نوع محصول تولیدی) پس از شکل گیری نهایی هنوز نیازمند انجام عملیات خاصی هستند. عملیات پس از شکل دهی در فرآیند تولید محصولات شیشه‌ای، شامل عملیات پرداخت، تکمیل حرارتی و عملیات حرارتی تنش زدایی می‌باشد.

مولفان

سالاریه - حکمی

تهران - زمستان ۱۳۹۴

پیش گفتار	ج
فصل اول تاریخچه شیشه	19
1- تاریخچه شیشه از مهره‌های شیشه‌ای تا شیشه‌های زیست فعال در پزشکی	20
1-2- تاریخ شیشه سازی در جهان	21
1-3- تاریخ شیشه سازی در ایران	22
1-3-1- شیشه سازی در ایران باستان	22
1-4- پیشینه شیشه سازی صنعتی در جهان	24
1-5- پیشینه شیشه سازی صنعتی در ایران	25
منابع فصل اول	27
فصل دوم شیشه چیست؟	28
2- شیشه چیست؟	29
1-2- تعریف شیشه	31
2-2- منحنی سرد کردن یک مذاب	33
3-2- انتقال به شیشه	Error! Bookmark not defined.
منابع فصل دوم	Error! Bookmark not defined.
فصل سوم تئوری‌های شیشه‌سازی	Error! Bookmark not defined.
3- تئوری‌های شیشه‌سازی	Error! Bookmark not defined.
1-3- تئوری‌های ساختاری شیشه‌سازی	Error! Bookmark not defined.
1-1-3- تئوری گلداسمیت	Error! Bookmark not defined.
2-1-3- تئوری شبکه نامنظم زاکاریاسن	Error! Bookmark not defined.
3-1-3- تئورهای شیشه سازی سان	Error! Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined. 4-1-3- اثر الکترونگاتیویته عناصر تشکیل دهنده بر شیشه سازی ..

Error! Bookmark not defined. 2-3- تئوری کینتیکی شیشه سازی.....

Error! Bookmark not defined. 1-2-3- کینتیک جوانه زنی و رشد بلور

Error! Bookmark not defined. 2-2-3- جوانه زنی یا تشکیل هسته

Error! Bookmark not defined. 1-2-2-3- استحاله هموژن

Error! Bookmark not defined. 2-2-2-3- استحاله هتروژن

Error! Bookmark not defined. 3-2-3- عوامل مؤثر در جوانه زنی

Error! Bookmark not defined. 4-2-3- فرآیندهای فعال شده

Error! Bookmark not defined. 5-2-3- ملاحظات ترمودینامیکی در جوانه زنی

Error! Bookmark not defined. 1-5-2-3- نیروی محرکه DG_v در جوانه زنی هموژن

Error! Bookmark not defined. 2-5-2-3- سد انرژی سطحی در جوانه زنی هموژن.....

Error! Bookmark not defined. 3-5-2-3- تغییرات انرژی آزاد در جوانه زنی هموژن...

Error! Bookmark not defined. 6-2-3- جوانه زنی هتروژن

Error! Bookmark not defined. 7-2-3- سرعت جوانه زنی

Error! Bookmark not defined. منابع فصل سوم

Error! Bookmark not defined. فصل چهارم ساختار شیشه

Error! Bookmark not defined. 4- ساختار شیشه

Error! Bookmark not defined. 1-4- ساختار شیشه دارای اتصال کووالانت

Error! Bookmark not defined. 1-1-4- ساختار سیلیس شیشه‌ای (SiO_2)

Error! Bookmark not defined. 1-1-1-4- توابع توزیع شعاعی در ساختار شیشه‌های سیلیسی

Error! Bookmark not defined. 2-1-1-4- تئوری بلورک در ساختار شیشه سیلیسی

Error! Bookmark not defined. 3-1-1-4 اثر نسبت اکسیژن بر ساختار شیشه‌های سیلیکاتی

Error! Bookmark not defined. 4-1-1-4 قانون استولز

Error! Bookmark not defined. 5-1-1-4 رابطه قدرت اتصال با نقش اکسیدها در شیشه

Error! Bookmark not defined. الف - اتم آلومینیم Al^{+3}

Error! Bookmark not defined. ب - اتم بور

Error! Bookmark not defined. پ - اتم‌های زیرکونیم و اتم تیتانیم

Error! Bookmark not defined. 2-1-4 ساختار شیشه‌های بوراتی

Error! Bookmark not defined. 1-2-1-4 رفتار غیر طبیعی در شیشه بوراتی

Error! Bookmark not defined. 2-2-1-4 اثر افزایش هم زمان چند قلیایی به شیشه بوراتی

Error! Bookmark not defined. 3-2-1-4 نظم با برد کوتاه در شیشه بوراتی مخلوط

Error! Bookmark not defined. 3-1-4 ساختار شیشه نیمه‌هادی کالکوجناید

Error! Bookmark not defined. 4-1-4 ساختار شیشه‌های ژرمانیومی

Error! Bookmark not defined. 1-4-1-4 اثر دگرگون سازها در ساختار شیشه ژرمانیومی

Error! Bookmark not defined. 5-1-4 ساختار شیشه‌های فسفاتی

Error! Bookmark not defined. 1-5-1-4 ساختار فسفریک اکسید

Error! Bookmark not defined. 1-5-1-4 اثر افزودن دگرگون کننده‌ها در شیشه متافسفاتی

Error! Bookmark not defined. 2-5-1-4 محاسبه اکسیژن پیوندی در شیشه فسفاتی

Error! Bookmark not defined. 6-1-4 مقایسه رفتار متاسیلیکات ها با متافسفات سدیم

Error! Bookmark not defined. 2-4 ساختار شیشه‌های دارای اتصال یونی

Error! Bookmark not defined..... ساختار شیشه‌های هالیدی 3-4

Error! Bookmark not defined..... منابع فصل چهارم

Error! Bookmark not defined..... فصل پنجم سیستم‌های شیشه سازی

Error! Bookmark not defined..... 5- سیستم‌های شیشه سازی

Error! Bookmark not defined..... 1-5- شیشه سازی در سیستم‌های تکی

Error! Bookmark not defined..... 2-5- شیشه سازی در سیستم‌های دوتایی.

Error! Bookmark not 1-2-5- شیشه سازی در سیستم‌های دو تایی سیلیکات قلیایی defined.

Error! Bookmark 1-1-2-5- محدوده تشکیل شیشه در سیستم‌های سیلیکاتی قلیایی ها not defined.

Error! Bookmark $\text{SiO}_2 - \text{R}_2\text{O}$ 2-1-2-5- ملاحظات کینتیکی شیشه سازی شیشه دوتایی not defined.

Error! Bookmark not defined..... 3-1-2-5- کینتیک تبلور در شیشه سیلیکات قلیایی

Error! Bookmark not defined.. 4-1-2-5- اثر دما در تبلور شیشه دی سیلیکات سدیم.

Error! Bookmark not defined.... 2-2-5- شیشه‌های سیلیکاتی دوتایی $\text{SiO}_2 - \text{RO}$

Error! Bookmark not 1-2-2-5- عدم انحلال در شیشه دوتایی $\text{SiO}_2 - \text{CaO}$ defined.

Error! Bookmark not 3-5- شیشه در سیستم سه تایی $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO}$ defined.

Error! 1-3-5- محدوده تشکیل شیشه در سیستم سه تایی $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO}$ Bookmark not defined.

Error! Bookmark $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CaO}$ 2-1-3-5- سینتیک تبلور شیشه سودا لایمی not defined.

Error! Bookmark not defined..... 4-5- شیشه‌های آلومینوسیلیکات قلیایی

Error! Bookmark not 5-5- جدایش فازی در شیشه‌بوروسیلیکاتی و شیشه قلیایی خاکی . defined.

Error! Bookmark not defined..... منابع فصل پنجم

Error! Bookmark not defined..... فصل ششم شیشه سرامیک‌ها

Error! Bookmark not defined..... 6- تاریخچه شیشه سرامیک‌ها

Error! Bookmark not 1-6 مزایا و معایب ساخت شیشه سرامیک‌ها با روش ذوب defined.

Error! Bookmark not defined..... 2-6 جوانه زنی در سیستم شیشه سرامیک‌ها

Error! Bookmark not defined..... 3-6 فرآیند ساخت شیشه سرامیک‌ها

Error! Bookmark not .. 4-6 ملاحظات کینتیکی سرعت جوانه زنی در شیشه سرامیک‌ها defined.

Error! Bookmark not defined..... 5-6 رشد بلور در شیشه سرامیک‌ها

Error! Bookmark not defined.. 1-5-6 معادله آورامی رشد بلور در شیشه سرامیک‌ها

Error! Bookmark 2-5-6 اثر تغییر ترکیب بر سرعت جوانه زنی و رشد در شیشه سرامیک not defined.

Error! Bookmark not defined..... 6-6 کریستالیزاسیون در لایه سطحی شیشه‌ها

Error! Bookmark not defined..... 7-6 توانایی کریستالیزاسیون در شیشه‌های تجارتي

Error! Bookmark not defined..... 8-6 سیستم‌های شیشه سرامیک

Error! Bookmark not 1-8-6 شیشه سرامیک سیستم $\text{LiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ defined.

Error! Bookmark $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{CaO}$ 2-8-6 شیشه سرامیک در سیستم not defined.

Error! Bookmark not 3-8-6 سیستم‌های شیشه سرامیکی برای کاربردهای نوین defined.

Error! $\text{SiO}_2(\text{BaO})\text{Al}_2\text{O}_3\text{TiO}_2\text{PbO}(\text{BaO})\text{Na}_2\text{ONb}_2\text{O}_5$ 4-8-6 شیشه سرامیک پروسکایتی Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined. 9-6 استفاده از سرباره برای ساخت شیشه سرامیک‌ها

10-6- شیشه سرامیک عایق برای سلول های اکسیدی با سوخت جامد .. Error! Bookmark not defined.

1-10-6- معیارهای مناسب مواد عایق کاری Error! Bookmark not defined.

2-10-6- عناصر تشکیل دهنده شیشه سرامیک مناسب عایق کاری Error! Bookmark not defined.

1-2-10-6- نقش شیشه سازها در شیشه سرامیک مناسب عایق کاری Error! Bookmark not defined.

2-2-10-6- اکسیدهای واسطه در شیشه سرامیک مناسب عایق کاری Error! Bookmark not defined.

3-2-10-6- اصلاح کننده شبکه در شیشه سرامیک مناسب عایق کاری .. Error! Bookmark not defined.

منابع فصل ششم..... Error! Bookmark not defined.

فصل هفتم انواع شیشه از نظر ترکیب و قوانین تشکیل... Error! Bookmark not defined.

7- مقدمه Error! Bookmark not defined.

1-7- شیشه های سیلیکاتی Error! Bookmark not defined.

1-1-7- شیشه سیلیسی (SiO_2 آمورف) Error! Bookmark not defined.

1-1-1-7- انواع شیشه های سیلیسی Error! Bookmark not defined.

الف- شیشه های سیلیسی اپک..... Error! Bookmark not defined.

ب- شیشه های سیلیسی شفاف Error! Bookmark not defined.

2-1-1-7- انواع ناخالصی در شیشه سیلیسی Error! Bookmark not defined.

3-1-1-7- آب در شیشه های سیلیسی Error! Bookmark not defined.

4-1-1-7- ویژگی شیشه سیلیسی Error! Bookmark not defined.

5-1-1-7- تبخیر شیشه سیلیسی Error! Bookmark not defined.

6-1-1-7- چگالی شیشه سیلیسی..... Error! Bookmark not defined.

7-1-1-7- ویژگی نوری شیشه سیلیسی Error! Bookmark not defined.

Error! Bookmark not defined..... 8-1-1-7 ویژگی مکانیکی شیشه سیلیسی

Error! Bookmark not defined..... 2-1-7 شیشه سودا لایمی

Error! Bookmark not 1-2-1-7 نقش CaO و MgO در شیشه‌های سودالایمی defined.

Error! Bookmark not defined..... 2-2-1-7 ویژگی شیشه‌های سودا لایمی

Error! Bookmark not defined..... 1-2-2-1-7 ترکیب شیمیایی شیشه سودالایمی

Error! Bookmark not 2-2-2-1-7 مشخصات فیزیکی و مکانیکی شیشه سودا لایمی ... defined.

Error! Bookmark not defined..... 2-7 شیشه‌های بوروسیلیکاتی ($\text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$)

Error! Bookmark not defined..... 1-2-7 ویژگی شیشه‌های بوروسیلیکاتی

Error! Bookmark not defined..... 2-2-7 کاربردهای شیشه‌ی بوروسیلیکاتی

Error! Bookmark not defined..... 4-2-7 مزایای شیشه‌های بوروسیلیکاتی

Error! Bookmark not defined..... 5-2-7 معایب شیشه‌های بوروسیلیکاتی

Error! Bookmark not defined..... 3-7 شیشه‌های اپال

Error! Bookmark not defined..... 1-3-7 شدت اپاسیتی در شیشه‌های اپال

Error! Bookmark not defined..... 2-3-7 مکانیزم تشکیل شیشه‌های اپال

Error! Bookmark not defined.. 4-3-7 شرایط اپال‌های مقاوم در برابر شوک حرارتی.

Error! Bookmark not 4-3-7 دسته‌بندی اپال‌های مقاوم در برابر شوک حرارتی defined.

Error! Bookmark not defined. 4-7 شیشه‌های سیلیکات سرب یا شیشه‌های کریستال

Error! Bookmark not defined..... 1-4-7 پدیده اثر القایی در شیشه‌های سربی

Error! Bookmark not defined..... 2-4-7 ویژگی شیشه‌های سربی

Error! Bookmark not defined..... 5-7 شیشه‌های فوتوکرومیک

Error! Bookmark not defined..... 1-5-7 علت ایجاد پدیده فوتوکرومیک

Error! Bookmark not defined.....*تعریف فوتوکرومیک* -2-5-7

Error! Bookmark not defined.....*روش تهیه‌ی شیشه‌های فوتوکرومیک* -4-5-7

Error! Bookmark not defined.....*چگونگی روشن شدن شیشه فوتوکرومیک* -6-5-7

Error! Bookmark not defined.....*شیشه فوتوفرم* -6-7

Error! Bookmark not defined.....*شیشه خود تمیز شو و ضد باکتری* -7-7

Error! Bookmark not defined.....*موارد استفاده شیشه ضد باکتری* -1-7-7

Error! Bookmark not defined.....*مزیت استفاده از شیشه ضد باکتری* -2-7-7

Error! Bookmark not defined.....*مزیت استفاده از شیشه ضد باکتری رنگی دکوری* -2-7-7
defined.

Error! Bookmark not defined.....*شیشه‌های نیمه‌هادی* -8-7

Error! Bookmark not defined.....*شیشه‌های خاص* -8-7

Error! Bookmark not defined.....*منابع فصل هفتم*

Error! Bookmark not defined.....*فصل هشتم نقش اکسیدها در شیشه*

Error! Bookmark not defined.....*نقش اکسیدها در شیشه* -8

Error! Bookmark not defined.....*سیلیس یا دی‌اکسید سیلیسیم* -1-1-8

Error! Bookmark not defined.....*اکسید بور (B_2O_3)* -2-1-8

Error! Bookmark not defined.....*بوراکس* -3-1-8

Error! Bookmark not defined.....*بور اکسید (B_2O_3)* -1-3-1-8

Error! Bookmark not defined.....*اسید بوریک* -2-3-1-8

Error! Bookmark not defined.....*متابوریک اسید* -3-3-1-8

Error! Bookmark not defined.....*اسید بوریک* -4-3-1-8

Error! Bookmark not defined.....*کمک ذوب‌ها یا گدازآورها* -2-8

Error! Bookmark not defined.....*کربنات سدیم (Sodaash) (Na_2CO_3)* -1-2-8

Error! Bookmark not defined..... NaNO_3 -2-2-8 سدیم نیترات

Error! Bookmark not defined..... (K_2CO_3) -3-2-8 کربنات پتاسیم

Error! Bookmark not defined..... $(\text{PbO}$ و $\text{Pb}_3\text{O}_4)$ -4-2-8 سرب اکسید

Error! Bookmark not defined..... (BaCO_3) -5-2-8 باریم کربنات

Error! Bookmark not defined..... پایدار کننده‌ها یا تثبیت کننده‌ها -3-8

Error! Bookmark not defined..... آهک یا کربنات کلسیم -1-3-8

Error! Bookmark not defined..... دولومیت -2-3-8

Error! Bookmark not defined..... مشخصات شیمیایی دولومیت -1-2-3-8

Error! Bookmark not defined..... مشخصات فیزیکی دولومیت -2-2-3-8

Error! Bookmark not defined..... کمک شبکه سازها -4-8

Error! Bookmark not defined..... Al_2O_3 -1-4-8 آلومینیم اکسید

Error! Bookmark not defined..... فلدسپار -2-4-8

Error! Bookmark not defined..... CaSO_4 -3-4-8 سولفات کلسیم

Error! Bookmark not defined..... عوامل رنگ بر -5-8

Error! Bookmark not defined..... سیستم بی رنگ کننده As_2O_3 - Se - Co_2O_3 در شیشه‌ها -1-5-8
not defined.

Error! Bookmark not defined..... رنگ بری آنتیموان و آرسنیک -2-1-5-8

Error! Bookmark not defined..... رنگ بری نیترات پتاسیم -3-1-5-8

Error! Bookmark not defined..... عوامل رنگ زا -6-8

Error! Bookmark not defined..... شیشه خرد -7-8

Error! Bookmark not defined..... منابع فصل هشتم -8-8

Error! Bookmark not defined..... فصل نهم روش تولید انواع محصول شیشه‌ای -9-8

Error! Bookmark not defined..... طبقه بندی انواع محصول شیشه -9-8

Error! Bookmark not defined..... 1-9-1-9 روش تولید انواع محصولات شیشه‌ای

Error! Bookmark not defined..... 1-9-1-9 روش تولید شیشه‌های پنجره

Error! Bookmark not defined..... 1-1-9-1-9 روش تولید شیشه جام

Error! Bookmark not defined..... 2-1-9-2-1-9 روش تولید شیشه پنجره با فرآیند فورکلت

Error! Bookmark not defined..... 3-1-9-3-1-9 روش تولید شیشه فلوت

Error! Bookmark not defined..... 2-9-2-9 روش تولید شیشه مشجر

Error! Bookmark not 2-2-9-2-2-9 روش تولید شیشه مشجر سیمی یا شیشه مسلح
defined.

Error! Bookmark not defined..... 3-9-3-9 شیشه دوجداره (مضاعف)

Error! Bookmark not defined..... 4-9-4-9 شیشه‌های چند لایه

Error! Bookmark not defined..... 5-9-5-9 شیشه اسپایدر

Error! Bookmark not defined..... 6-9-6-9 شیشه‌های ایمنی سکوریت

Error! Bookmark not defined..... 7-9-7-9 شیشه انعکاسی (بازتابنده)

Error! Bookmark not defined..... 8-9-8-9 شیشه‌های چاپ دار

Error! Bookmark not defined..... 9-9-9-9 شیشه‌های **Low-E**

Error! Bookmark not defined..... 1-9-9-1-9-9 **Low-E** تکنولوژی ساخت شیشه

Error! Bookmark not defined..... 1-9-9-1-9-9 **CVD** روش

Error! Bookmark not defined..... 1-1-9-9-1-1-9-9 **CVD** پوشش سخت با روش

Error! Bookmark not defined..... 2-1-9-9-2-1-9-9 **MSVD** روش

Error! Bookmark not defined..... 3-1-9-9-3-1-9-9 **MSVD** پوشش نرم با روش

Error! Bookmark not defined..... 10-9-10-9 شیشه شوک پذیر (پیرکس)

Error! Bookmark not defined..... 11-9-11-9 شیشه ضد گلوله

Error! Bookmark not 1-11-9 مقاوم‌ترین شیشه ضد گلوله ساخت کجاست؟
defined.

Error! Bookmark not defined..... 3-11-9 شیشه‌های ضد گلوله یک طرفه

Error! Bookmark not defined..... 4-11-9 شیشه‌های ضد گلوله و ضد پرتو

Error! Bookmark not defined..... 12-9 شیشه ضد فلوثوریک اسید

Error! Bookmark not defined..... 13-9 الیاف شیشه ای

Error! Bookmark not defined..... 2-13-9 انواع فایبرگلاس

Error! Bookmark not defined..... 3-13-9 خصوصیات الیاف شیشه‌ای

Error! Bookmark not defined..... 6-13-9 کاربرد الیاف شیشه‌ای

Error! Bookmark not defined..... 14-9 نانو شیشه

Error! Bookmark not 1-15-9 نتایج حاصل از کاربرد نانو فناوری در صنعت شیشه
defined.

Error! Bookmark not 2-16-9 عمل دفع چربی از سطوح خود تمیز شونده شیشه
defined.

Error! Bookmark not defined..... 1-2-16-9 سطوح دافع آب در شیشه

Error! Bookmark not defined..... 2-2-16-9 تشکیل فیلم آب دوستی

Error! Bookmark not 3-2-16-9 مکانیزم خود تمیز شونده با پدیده فتوکاتالیتیک
defined.

Error! Bookmark 3-16-9 پوشش سطوح شیشه‌های خود تمیز شونده با روش پیرولیز
not defined.

Error! Bookmark not 4-16-9 مزایا و ویژگی‌های شیشه‌های خود تمیز شونده
defined.

Error! Bookmark not defined..... 17-9 شیشه‌های آنتی باکتریال

Error! Bookmark not defined..... 18-9 شیشه‌های رنگی حاوی نانو ذرات

Error! Bookmark not defined..... 19-9 سایر محصولات شیشه‌ای

Error! Bookmark not defined..... منابع فصل نهم

Error! Bookmark not defined..... فصل دهم ویژگی فیزیکی شیشه

Error! Bookmark not defined..... 10- مقدمه

Error! Bookmark not defined..... 1-10- تعاریف برخی واژه‌ها

Error! Bookmark not defined..... 1-1-10- تعریف ویسکوزیته

Error! Bookmark not defined..... 2-1-10- نقطه کار پذیری (q_{f1})

Error! Bookmark not defined..... 3-1-10- دامنه کار پذیری

Error! Bookmark not defined..... 4-1-10- نقطه نرم شدن (q_{f2})

Error! Bookmark not defined..... 5-1-10- دمای استحاله T_g

Error! Bookmark not defined..... 6-1-10- نقطه تنش زدایی (q_{f3})

Error! Bookmark not defined..... 7-1-10- نقطه کرنش (q_{f4})

Error! Bookmark not defined..... 8-1-10- زمان شکل دهی

Error! Bookmark not defined..... 2-10- ویسکوزیته شیشه

Error! Bookmark not defined..... 1-2-10- پارامترهای مؤثر بر ویسکوزیته

Error! Bookmark not defined..... 1-1-2-10- رابطه ویسکوزیته با ترکیب شیشه

Error! Bookmark not defined..... 2-1-2-10- محاسبه رابطه ویسکوزیته با ترکیب

Error! Bookmark not defined..... 3-1-2-10- ویسکوزیته در شیشه سیلیسی و شیشه سودالایمی

defined.

Error! Bookmark not defined..... 4-1-2-10- ویسکوزیته در شیشه سربی

Error! Bookmark not defined..... 2-2-10- ارتباط ویسکوزیته با دما

Error! Bookmark not defined..... 3-2-10- رسم منحنی ویسکوزیته

Error! Bookmark not defined..... 1-3-2-10- اندازه گیری دستگاهی ویسکوزیته

Error! Bookmark not defined. 10-2-3-2-2 تعیین ویسکوزیته توسط ویسکوزیته متر چرخشی

Error! Bookmark not defined. 10-3-3-2-2 تعیین ویسکوزیته با ویسکوزیته متر ازدیاد طول

Error! Bookmark not defined. تصحیح بار

Error! Bookmark not defined. 10-4-3-2-2 تعیین ویسکوزیته توسط خمش در تیغه

Error! Bookmark not defined. تصحیح برای بار

Error! Bookmark not defined. 10-5-3-2-2 تعیین ویسکوزیته با میله فرورونده

Error! Bookmark not defined. 10-3-3-3-10 انبساط حرارتی شیشه

Error! Bookmark not defined. 10-1-3-3-10 ماهیت فیزیکی انبساط حرارتی

Error! Bookmark not defined. 10-2-3-3-10 تعیین دمای استحاله (T_g) شیشه به روش انبساط سنجی

Error! Bookmark not defined. 10-1-2-3-3-10 ارزیابی دمای استحاله (T_g)

Error! Bookmark not defined. 10-3-3-3-10 ضریب انبساط حرارتی در شیشه سیلیسی

Error! Bookmark not defined. 10-4-3-3-10 تغییرات ضریب انبساط حرارتی در شیشه بوراتی

Error! Bookmark not defined. 10-4-4-10 مقاومت شیمیایی شیشه

Error! Bookmark not defined. 10-1-4-4-10 مقاومت شیمیایی شیشه سیلیسی

Error! Bookmark not defined. 10-1-1-4-10 مکانیزم واکنش شیشه‌ها با محلول‌های مایه

Error! Bookmark not defined. 10-2-4-4-10 عوامل موثر در اندازه‌گیری مقاومت شیمیایی شیشه‌ها

Error! Bookmark not defined. 10-3-4-4-10 مقاومت شیمیایی شیشه در آب در 121 درجه سانتی‌گراد

Error! Bookmark not defined. 10-1-3-4-10 مواد و وسایل مورد نیاز برای مقاومت شیمیایی شیشه

Error! Bookmark 10-4-3-2 آماده سازی پودر شیشه برای آزمون مقاومت شیمیایی شیشه not defined.

Error! Bookmark 10-4-3-3 تمیز کردن پودر برای آزمون مقاومت شیمیایی شیشه. not defined.

Error! Bookmark 10-4-3-4 روش اجرای آزمون مقاومت شیمیایی شیشه defined.

Error! Bookmark 10-4-4-4 محاسبات مقاومت شیمیایی شیشه not defined.

Error! Bookmark 10-4-5-5 طبقه بندی شیشه از نظر مقاومت شیمیایی not defined.

Error! Bookmark 10-5-5 مقاومت حرارتی و تبخیر مذاب‌های شیشه‌ای not defined.

Error! Bookmark 10-6-6 ویژگی الکتریکی شیشه سیلیسی not defined.

Error! Bookmark not defined منابع فصل دهم

Error! Bookmark not defined فصل یازدهم تنش در شیشه

Error! Bookmark not defined 11- تنش در شیشه

Error! Bookmark not defined 11-1 تنش‌های موقت در شیشه

Error! Bookmark not defined 11-2 تنش‌های دائم (ماندگار) در شیشه

Error! Bookmark not defined 11-3 تاثیر تنش در ضریب شکست نوری در شیشه

Error! Bookmark not defined 11-3-1 پدیده دو شکستی یا دو محوری

Error! Bookmark not defined 10-4- تنش زدایی

Error! Bookmark not defined 11-4-1 نقطه نرم شوندگی

Error! Bookmark not defined 11-4-2 نقطه تنش زدایی

Error! Bookmark not defined 11-4-3 نقطه کرنش

Error! Bookmark not defined 11-4-4 فرآیند تنش زدایی

Error! Bookmark 11-4-5 تعیین دمای تنش زدایی و دمای کرنش با رشته نازکی از شیشه not defined.

Error! Bookmark not defined. 1-5-4-11 تعیین دمای تنش زدایی با رشته نازکی از شیشه

Error! Bookmark not defined. 2-5-4-11 تعیین دمای کرنش با رشته نازکی از شیشه

Error! Bookmark not defined. 6-4-11 رهایی تنش حجمی در ساختار شیشه‌ای

Error! Bookmark not defined. 6-11 افزایش استحکام و تمپر کردن شیشه‌ها

Error! Bookmark not defined. 1-6-11 هدف از تمپر کردن شیشه

Error! Bookmark not defined. 2-6-11 روش‌های تمپرینگ

Error! Bookmark not defined. الف- روش تمپرینگ حرارتی

Error! Bookmark not defined. ب- روش تمپرینگ شیمیایی

Error! Bookmark not defined. 1-2-6-11 تمپر حرارتی شیشه‌ها

Error! Bookmark not defined. 2-2-6-11 فرآیند تمپر حرارتی

Error! Bookmark not defined. 3-2-6-11 مراحل تمپر حرارتی در زمان‌های مختلف

Error! Bookmark not defined. 4-2-6-11 کوره‌های مورد استفاده برای تمپر حرارتی شیشه

Error! Bookmark not defined. 3-6-11 تمپر شیمیایی شیشه‌ها (افزایش استحکام از طریق شیمیایی)

Error! Bookmark not defined. 2-3-6-11 تنش فشاری در سطح با کاهش انبساط حرارتی لایه سطحی

Error! Bookmark not defined. منابع فصل یازدهم

Error! Bookmark not defined. فصل دوازدهم شیشه‌های رنگی

Error! Bookmark not defined. 12- شیشه‌های رنگی

Error! Bookmark not defined. 1-12- تئوری رنگ

Error! Bookmark not defined. 2-12- ویژگی رنگ

Error! Bookmark not defined..... 3-12- مواد مولد رنگ در فاز غیر آمورف یا بلور

Error! Bookmark not 4-12- افزودنی‌های رنگ زا در صنعت شیشه یا فاز آمورف defined.

Error! Bookmark not defined..... 5-12- مکانیزم ایجاد رنگ در شیشه رنگی

Error! Bookmark not 6-12- ترکیبات و رنگ‌های ظاهر شده در انواع شیشه‌ها defined.

Error! Bookmark not defined..... 7-12- شیشه تخت بی رنگ

Error! Bookmark not defined..... 8-12- رنگ در شیشه تخت

Error! Bookmark not defined..... 1-8-12- شیشه تخت پولیش شده رنگی

Error! Bookmark not defined..... 2-8-12- شیشه تخت سبز

Error! Bookmark not defined..... 3-8-12- شیشه تخت برنزی

Error! Bookmark not defined..... 4-8-12- شیشه تخت خاکستری

Error! Bookmark not defined..... 9-12- رنگ زایی در شیشه مطروف

Error! Bookmark not defined..... 10-12- کنترل رنگ در شیشه رنگی

Error! Bookmark not defined..... 1-10-12- تغییر رنگ شیشه در کوره

Error! Bookmark not defined..... 14-12- خواص نوری شیشه‌ها

Error! Bookmark not defined..... 1-14-12- ضریب شکست نوری

Error! Bookmark not defined..... 2-14-12- ضریب شکست مولی و یونی

Error! Bookmark not defined..... 1-2-14-12- حجم مولی شیشه

Error! Bookmark not defined..... 3-14-12- پاشندگی

Error! Bookmark not defined..... منابع فصل دوازدهم

Error! Bookmark not defined..... فصل سیزدهم کوره ذوب

Error! Bookmark not defined..... 13- کوره ذوب

Error! Bookmark not defined.....1-13-تقسیم بندی کوره‌های ذوب شیشه

Error! Bookmark not 1-1-13-تقسیم بندی کوره‌های ذوب از نظر روش گرمادهی defined.

Error! Bookmark not 2-1-13-تقسیم بندی کوره‌های ذوب براساس روش عملکرد defined.

Error! Bookmark not defined..... 2-13-کوره‌های ناپیوسته

Error! Bookmark not defined..... 3-13-کوره‌های پیوسته

Error! Bookmark not defined..... 1-3-13-گوناگونی کوره‌های پیوسته

Error! Bookmark not defined..... 1-1-3-13-کوره پیوسته شعله- مستقیم

Error! Bookmark not defined..... 2-1-3-13-کوره پیوسته رکوپراتوری

Error! Bookmark not defined..... 3-1-3-13-کوره پیوسته ریزراتوری

Error! Bookmark not defined..... 4-1-3-13-کوره پیوسته ذوب الکتریکی

Error! Bookmark not defined..... 6-13-تزریق مواد اولیه

Error! Bookmark not defined..... 1-6-13-گلوبی ها

Error! Bookmark not 7-13-تجهیزات بازیافت پرت حرارت گازهای حاصل از احتراق defined.

Error! Bookmark not defined..... 8-13-ریژنراتورها

Error! Bookmark not defined..... 1-8-13-محفظه های بازیافت حرارتی نوع تناوبی

Error! Bookmark not defined..... فصل چهاردهم شکل دهی شیشه

Error! Bookmark not defined..... 14- شکل دهی محصول

Error! Bookmark not defined..... 1-14-شیشه‌های دست ساز.

Error! Bookmark not defined..... 2-14-فرآیند تولید شیشه تخت

Error! Bookmark not defined..... 3-14-تولید شیشه تخت به کمک کشش

Error! Bookmark not defined.. 4-14-تولید شیشه نورد شده یا شکل دهی صفحه ای

14-5- Error! Bookmark not defined..... شیشه ریختگی

14-6- Error! Bookmark not defined..... تولید شیشه جام به روش شیشه فلوت

14-6-1- Error! Bookmark not defined..... شرایط حمام قلع

14-7- Error! Bookmark not فرآیند تولید شیشه مظروف به روش قالب گیری
defined.

14-7-1- Error! Bookmark not defined..... شکل دهی ظروف با قالب گیری

14-7-2- Error! Bookmark not defined..... تولید اتوماتیک ظروف شیشه‌ای

14-7-3- Error! Bookmark not defined..... روش تولید ظروف با ماشین **IS**

14-7-4- Error! Bookmark not روش تولید ظروف با روش **IS** دمش - دمش
defined.

14-7-5- Error! Bookmark not defined..... روش تولید ظروف با روش **IS** پرس -دمش

14-8- Error! Bookmark تولید ظروف آشپزخانه، هنری و تزئینی به روش پرس -دمش.
not defined.

14-8-1- Error! Bookmark not defined..... روش تولید ظروف به روش پرس

14-9- Error! Bookmark not defined..... فرآیند شکل دهی چرخشی یا گریز از مرکز

14-10- Error! Bookmark not defined..... محصولات شیشه‌ای روشنایی و الکترونیکی

14-11- Error! Bookmark not defined..... شکل دهی حباب لامپ های رشته ای

14-12- Error! Bookmark not defined..... تولید لوله ها و میله های شیشه‌ای

14-13- Error! Bookmark not defined..... تولید لامپ تصویر تلویزیون

14-14- Error! Bookmark not defined..... تولید الیاف شیشه‌ای

14-15- Error! Bookmark not defined..... فیبرهای نوری

فصل پانزدهم عملیات پس از شکل دهی
Error! Bookmark not defined.

15- Error! Bookmark not defined..... عملیات پس از شکل دهی

15-1- Error! Bookmark not defined..... تنظیم حرارتی رزین یا خشک کردن

Error! Bookmark not defined.....تنش زدایی 2-15

Error! Bookmark not defined..... عملیات حرارتی سختی دهی شیشه‌های جام 3-15

Error! Bookmark not defined..... لایه گذاری شیشه‌های جام 4-15

Error! Bookmark not defined..... پوشش دهی شیشه‌های جام 5-15

Error! Bookmark not defined..... تزئین و پولیش دادن شیشه‌های جام 6-15

Error! Bookmark not defined..... برش مکانیکی شیشه‌های جام 7-15

Error! Bookmark not defined..... برش حرارتی شیشه‌های جام 8-15

Error! Bookmark not defined..... سوراخ کاری شیشه‌های جام 9-15

Error! Bookmark not defined..... عملیات پس از شکل دهی در شیشه جام 10-15

Error! Bookmark not defined..... عملیات حرارتی تنش زدایی در شیشه جام 11-15

Error! Bookmark not defined..... عملیات حرارتی سختی دهی شیشه‌های جام 12-15

Error! Bookmark not defined..... خم کردن شیشه‌های جام 13-15

Error! Bookmark not defined..... لایه گذاری شیشه‌های جام 14-15

Error! Bookmark not defined..... پوشش دهی شیشه‌های جام 15-15

Error! Bookmark not defined..... تنش زدایی و پوشش دهی محصولات شیشه‌ای مظروف ... defined. 16-15

Error! Bookmark not defined..... تنش زدایی محصولات تولیدی به روش پرس-دمشی defined. 17-15

Error! Bookmark not defined..... تکمیل حرارتی و خشک کردن الیاف شیشه‌ای.. 18-15

Error! Bookmark not defined..... بسته بندی و حمل و نقل محصولات شیشه‌ای.. 19-15

Error! Bookmark not defined..... پتانسیل های صرفه جویی انرژی در صنعت شیشه defined. 20-15

Error! Bookmark not defined..... انرژی مورد نیاز 1-20-15

Error! Bookmark not defined..... واژه نامه

Error! Bookmark not defined..... از این نویسنده منتشر شد:

فصل اول

تاریخچه شیشه



۱- تاریخچه شیشه از مهره شیشه‌ای تا شیشه زیست فعال پزشکی

اینکه شیشه در چه زمانی کشف شد و مورد استفاده انسان قرار گرفت، سوالی است که از قرن‌ها پیش ذهن جستجوگر دانشمندان را به خود مشغول کرده که هنوز پاسخ دقیقی به آن داده نشده است. تاکنون نظریه‌های گوناگون و حتی افسانه‌های عجیب و غریبی در مورد پیدایش و تاریخچه شیشه بیان شده است، اما واقعیت مسئله همچنان در پرده ابهام باقی مانده است. مثلاً پلینی در قرن اول میلادی تئوری خود را چنین مطرح می‌کند: شیشه به صورت تصادفی توسط یک عده بازرگان فینیقی که شبی را در کنار رود بلاس اطراق کرده بودند، کشف شد به طوری که آنان جهت تهیه غذای خویش چند قطعه سنگ سودا را بر ساحل شنی قرار داده و با برافروختن آتش در میان آن، ظرف غذای خود را بر بالای سنگ مستقر کردند و صبح روز بعد متوجه می‌شوند که آتش افروخته شده باعث ذوب و اختلاط سودا و شن گشته و موجب پیدایش شیشه شده است. مطمئناً شیشه گران سوری از شن سواحل بلاس جهت ساختن شیشه استفاده می‌کرده‌اند، لکن داستان پلینی نمی‌تواند صحیح باشد، چرا که حرارت

تولید شده از یک اجاق کوچک قادر به ذوب کردن شن و سودا نیست و آزمایشات نشان داده است که اولین فرآورده‌های شیشه‌ای مکشوفه از حفاری باستان شناسی با حرارتی بالغ بر ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد ساخته شده‌اند. علاوه بر این یکی از دلایل دیگری که خود به خود و به تنهایی کافی است تا نظریه وی رد و علمی نبودن آن ثابت شود، کشف شواهد عینی وجود شیشه و حتی استفاده و کاربرد آن در ۲۰۰۰ سال پیش از زمان پلینی است.

یکی از این شواهد کشف شیشه به صورت مهره تزئینی در دلتای فرات مربوط به هزاره سوم پیش از میلاد است. استفاده از شیشه به عنوان لعاب همواره مورد استفاده سفالگران باستان بوده و دستور تهیه آن جهت این صنعت بر روی گل نوشته مکشوفه‌ای در نزدیکی دجله، مربوط به قرن هفدهم پیش از میلاد آورده شده است، که شاید اولین اطلاعات در مورد صنعت شیشه‌گری باشد. استفاده بشر از شیشه برای ساخت ابزار و وسایل مختلف از هزاران سال پیش آغاز شده است. ابتدا شیشه‌های طبیعی چون افسیدین و موادی نظیر آن برای ساخت ابزار مورد استفاده قرار می‌گرفت اما پس از چندی بشر به راز ساخت شیشه پی برد. تاریخ دقیق دست‌یابی بشر به این راز کاملاً مشخص نیست.

غالباً به زمان‌هایی مانند ۷۰۰۰-۵۰۰۰ سال و گاه حتی ۱۲۰۰۰ سال پیش اشاره می‌شود. به نظر می‌رسد که مهره‌های رنگین شیشه‌ای نخستین محصولات شیشه‌ای بوده‌اند که به دست بشر ساخته شده است. این مهره‌ها به عنوان وسایل زینتی مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند و گاه برای آن‌ها ویژگی جادویی نیز قائل بوده‌اند. این مهره‌ها در حدود ۷۰۰۰ سال پیش در مصر مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. به تدریج ساخت سایر وسایل و ابزار شیشه‌ای در مصر، خاورمیانه و دیگر کشورها رواج یافت. به طور مثال شام (سوریه فعلی) در حدود ۳۰۰۰ سال پیش یکی از مراکز مهم تجارت قطعات شیشه‌ای بوده است. [1]

۱-۲- تاریخ شیشه‌سازی در جهان

قدیمی‌ترین قطعات شیشه‌ای که به وسیله باستان شناسان کشف شده است همگی متعلق به آسیای باختری بوده که تاریخ آن‌ها به نیمه هزاره دوم پیش از میلاد باز می‌گردد. سرفیلیندرزپیتری، در همین منطقه موفق به کشف قدیمی‌ترین کارگاه شیشه‌گری شد که قدمت آن به قرن چهاردهم پیش از میلاد برمی‌گردد. گرچه هنوز به درستی معلوم نیست که اولین بار و چگونه شیشه به وسیله انسان کشف شد و مورد استفاده قرار گرفت. اما امروزه این امر تایید شده است که انسان بیش از ۴۰۰۰ سال است از شیشه استفاده می‌کند و به احتمال قوی اولین کشف شیشه نیز در آسیای باختری بوده است. قدیمی‌ترین اشیاء شیشه‌ای مربوط به مصر و حدود ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد بوده است، ولی هنوز به درستی مشخص نشده که چگونه آن‌را تهیه می‌کردند.

تا پیش از کشف هیجان انگیز یک چشم شیشه‌ای آبی رنگ متعلق به قرن شانزدهم پیش از میلاد در جریان کاوش‌های باستان شناسی در کشور مصر، این موضوع که صنعت شیشه‌گری با این ظرافت و

پیچیدگی، از چنین دامنه‌ای گسترده در تاریخ تمدن بشری برخوردار باشد در باور کمتر دیرینه شناسی می‌گنجید. حتی در همان زمان که یافته‌های موجود تاریخی، بر ۴۵ قرن قدمت شیشه‌گری و ۲۵ قرن پیشینه تولید ابزار و ظروف شیشه‌ای در مصر گواهی می‌داد، هیچ‌یک از آن‌ها تا این حد کاوشگران و دیرینه شناسان را به وجد نیاورده بود شکل ۱-۱.



شکل ۱-۱- تولید شیشه در قرن ۱۵ در بوهمیا^۱ جان مندویل [2]^۲

از قرن پانزدهم پیش از میلاد، تولید ظروف شیشه‌ای در مصر به اوج زیبایی خود رسید و این صنعت به سرعت در یونان، ایتالیا و حتی نواحی غربی‌تر گسترش یافت. در سال‌های ۳۳۰-۳۰۵ پیش از میلاد الکساندریا در مصر مرکز شیشه‌سازی جهان به شمار می‌رفت. در اوایل قرن اول پیش از میلاد با استفاده از روش دمیدن که به صنعتگران سوری نسبت داده شده است، صنعت شیشه‌گری وارد مرحله نوینی از تاریخ خود شد. هفتاد سال پس از میلاد مسیح، صنعت شیشه‌سازی که از خاورمیانه به اسپانیا رفته بود، در آنجا رونق گرفته و به اروپای شمالی و مرکزی راه یافت. یکصد سال پس از میلاد مسیح، شیشه‌سازی در کلن شهرت بسزایی یافت و از سیصد و پنجاه سال پس از میلاد مسیح شیشه‌سازی در اروپای مرکزی رواج گرفت.

با سقوط امپراتوری روم، شیشه‌سازی در دیگر نقاط جهان شکل‌های متفاوتی یافت و با ظهور اسلام، مصر و اسکندریه بار دیگر کانون شیشه‌گری جهان شد. این صنعت به حلب و دمشق نیز راه یافت و

^۱ . Bohemia

^۲ . John Mandeville

در خلال سال‌های ۷۵۰ تا ۱۲۵۸ میلادی در بین‌النهرین به ویژه در دوره سلسله عباسی، کنده کاری روی شیشه رواج پیدا کرد. در سال ۱۳۰۰ میلادی اولین شیشه عینک ساخته شد و پس از آن نخستین آینه از شیشه تولید گردید. در قرون ۱۳ و ۱۴ میلادی با بکارگیری انواعی از اکسیدهای فلزی، تولید شیشه‌های رنگین در اروپا آغاز شد.

۱-۳- تاریخ شیشه سازی در ایران

نخستین اشیاء و ظروف شیشه‌ای ساخته شده توسط ایرانیان را نیز به اقوام عیلامی نسبت می‌دهند. گفته شده است که عیلامی‌ها ۳۵ قرن پیش، برای انتقال نور از روزنه‌ها از شیشه سود جسته‌اند. کشف یک گردن بند شیشه‌ای با مهره‌های آبی رنگ متعلق به ۲۲۵۰ سال پیش از میلاد در ناحیه شمال غربی ایران دلیل دیگری بر پیشینه شیشه گری در این منطقه از جهان باستان است. وسایل شیشه‌ای یافت شده در کاوش‌های باستان‌شناسی از نقاط مختلف ایران نشان می‌دهد که ساخت و استفاده از شیشه در میهن ما تاریخی بسیار کهن دارد و گاه به بیش از ۳۰۰۰ سال می‌رسد. این فن و هنر به تدریج از آسیا به اروپا منتقل شده است (ابتدا و نیز و از آنجا به سایر نقاط اروپا) و عمدتاً در آنجا مسیر تکاملی خود را از یک هنر و حرفه دستی به تکنولوژی بسیار پیشرفته و دقیق طی نمود.

۱-۳-۱- شیشه سازی در ایران باستان

شماری اشیاء شیشه‌ای در گورهای بدوی در لرستان، به شکل مهره‌های سبز کم‌رنگ و دستبندهایی با نگاره‌های کار شده بر رویشان در رنگ‌های متضاد، یافت شده‌اند، لیکن به شیوه‌ای کاملاً شبیه با تزیینات نخستین ظروف شیشه‌ای در بین‌النهرین یا شمال سوریه، متعلق به هزاره دوم قبل از میلاد است. به این ترتیب دیگر شکی باقی نمانده که طی این دوران، بین‌النهرین (و کمی بعد مصر) مرکز اصلی تولید ظروف شیشه‌ای در خاور نزدیک بوده است. در هنر شیشه سازی همواره مهره و دست بند مناسب‌ترین اقلام داد و ستد تجاری به شمار می‌آمده است. در سده هشتم قبل از میلاد، هنگامی که قدرت آشوریان در خاور نزدیک سلطه ور شده و قلمرو مادها را مسخر کرده بود، در کارگاه‌های بین‌النهرین ساختن نوع تازه‌ای از شیشه متداول گردید. این نوع شیشه، سبز رنگ و نیمه شفاف و گاه تقریباً بی رنگ بوده است، که احتمالاً نخست به روش ریخته گری یا به روش پرس کردن شیشه مذاب در قالب شکل می‌گرفت و بعداً با کمک چرخ تراش کاری بر روی آن‌ها برجسته کاری و پرداخت می‌شد. نمونه‌ای از آن، رو قندانی از شیشه سبز رنگ در موزه بریتانیا است، که دو دسته قائم در دو جانب دارد و بر سطح بدنه‌اش قاب کتیبه‌ای با نامسارگن دوم پادشاه اکد (۷۷۲-۷۰۵ قبل از میلاد) تعبیه گردیده است. در روزگاران باستان، بین‌النهرین در توسعه لعاب سفال سازی سرآمد دیگر کشورها بوده است. از خوزستان یعنی ناحیه ایلام مدارکی از شیشه سازی در دست است که نشان می‌دهد، این صنعت در سده سیزدهم پیش از میلاد مسیح در آنجا وجود داشته است. گیرشمن بطری‌های

شیشه‌ای زیادی را از حفاری معبد چغازنبیل به دست آورده است، هم‌چنین تعداد زیادی لوله‌های شیشه‌ای که قطر خارجی آن‌ها ۱,۲۵ سانتی متر و قطر سوراخ آن‌ها ۰,۶ سانتی متر و درازای آن‌ها ۷۵ سانتی متر بوده را کشف کرده است. این شیشه‌ها از حلقه‌های شیشه‌ای مات سیاه و سفید ساخته شده و به نظر می‌رسد که در شبکه پنجره از آن‌ها استفاده می‌شده است. با این همه از زمان هخامنشیان شواهد کمی دال بر استفاده کلی از شیشه در دست است، به گونه‌ای که در میان گنجینه‌های غنی تخت جمشید فقط چند ظرف شیشه‌ای هست که با شیوه دمیدن تهیه شده است و بعضی از آن‌ها دارای آرایه‌های شفاف‌ی است که با چرخ مته درست شده و رنگ نشده است. اما یکی از سفیران آتن در بارگاه هخامنشی در آن زمان می‌نویسد که ایرانیان شراب را از پیاله‌های شیشه‌ای می‌نوشیدند. اریستوفانس (۴۴۸-۳۸۵ پیش از مسیح) نیز عادت ایرانیان را دیده و آن را در نمایشنامه آشارتیان خود آورده است. با اینکه پلینی اختراع صنعت شیشه سازی را به فنیقی‌ها نسبت می‌دهد ولی امروز عقیده بر آن است که آن‌ها این صنعت را از بابلی‌ها آموختند. این با افسانه تلموژی که می‌گوید یهودیان در زمان اسارت دوم خود شیشه سازی را آموختند، تطبیق می‌کند. شیشه فنیقی‌ها و یهودیان پیش از آغاز امپراتوری روم بسیار با ارزش بود. با کشف اشیاء شیشه‌ای متعلق به زمان پارت‌ها و ساسانیان، می‌توان چنین پنداشت که صنعت شیشه سازی تقریباً در همان زمان در ایران شایع بوده است. مهارت شیشه سازان ساسانی بسیار قابل توجه است، آنان به ویژه در هنر تزئین شیشه با چرخ شیشه بری کاملاً استاد بودند. یکی از زیباترین نمونه‌ها، جام خسرو اول است که امروزه در کتابخانه ملی پاریس نگه‌داری می‌شود. ظروف شیشه‌ای دوره ساسانیان دارای طرح‌هایی از مناظر و تصاویر خیالی و رنگ‌های بسیار زیاد می‌باشد. منطقه گیلان و مازندران کنونی، دو مرکز مهم شیشه سازی در این دوران به شمار می‌آمده است. قدیمی‌ترین شیشه‌های بدست آمده در ایران به اواخر هزاره دوم قبل از میلاد، یعنی ۴ هزار سال پیش باز می‌گردد. ظروف منسوب به عهد هخامنشیان که علاوه بر فلات ایران از مناطق مختلف خاورمیانه به دست آمده است، دارای تزئیناتی شبیه به قرصک‌های برجسته، گلبرگ‌های کنده کاری شده و خیاره‌ها است.

با فرا رسیدن دوره پارتی در میانه سده دوم قبل از میلاد (۲۲۰۰ سال پیش) تغییرات زیادی در صنعت شیشه گری پدید آمد و در حدود سال‌های ۴۰ قبل از میلاد، پیدایش شیشه گری به روش دمشی تحولات فراوان و ریشه‌ای در این صنعت به وجود آورده است. با توجه به این که هنر شیشه گری در ایران از زمان حمله مغول متروک مانده بود، شاه عباس اول با دیدن ظروف شیشه‌ای ونیزی که به او اهدا شده بود، شیشه گران ونیزی را به ایران دعوت کرد و آثار شیشه‌ای به سبک ونیزی در شهرهای شیراز و اصفهان تولید شد. با اینکه شاه عباس کبیر کوشش کرد که صنعت شیشه سازی را به وسیله هنرمندان ونیزی بار دیگر احیا کند، ولی شیشه گران ایرانی در سده‌های بعد فقط شیشه معمولی مورد

نیاز محل خود را تهیه می‌کردند. پولاک که در سال ۱۸۵۹ به ایران مسافرت کرده می‌نویسد که تقریباً هر شهر بزرگی در ایران یک کارگاه شیشه سازی برای مصرف خودش داشت، ولی شیشه قم و شیراز از همه بهتر بود. در دوره زندیه در نیمه دوم قرن دوازدهم هجری قمری، فعالیت‌های مختصری برای برپایی کارگاه‌های شیشه گری در شهر شیراز انجام گرفت، ولی توسعه نیافت. در دوره قاجار در سده‌های سیزدهم و چهاردهم هجری قمری، بی توجهی به ساخت شیشه‌های ایرانی و علاقه به شیشه‌های وارداتی رونق شیشه گری را از میان برد. امیرکبیر شیشه گران ایرانی را به مسکو و پترزبورگ فرستاد و پس از بازگشت آن‌ها، کارگاه‌هایی در تهران و قم برای آنان بر پا کرد، اما هرگز هنر شیشه گری ایران عظمت گذشته خود را پیدا نکرد.

۱-۴- پیشینه شیشه سازی صنعتی در جهان

در سال ۱۷۵۰ میلادی لاوازیه، تحقیقات اگریکول را دنبال می‌کند و در سال ۱۸۰۰ میلادی فراونهوکر در مورد شیشه‌های اپتیکی مطالعاتی را به انجام رساند که در سال ۱۸۸۰ میلادی تولید آن آغاز شد. در سال ۱۹۰۵ میلادی نیز دستگاه ساخت بطری به صورت اتوماتیک اختراع شد. در سال ۱۹۱۴، دستگاه اتوماتیک تولید شیشه تخت توسط فورکلت^۱ اختراع و در سال ۱۹۲۵ دستگاه اتوماتیک تولید لوله شیشه‌ای توسط دامر، اختراع گردید. در سال ۱۹۳۵ تولید شیشه جام به وسیله کلبورن تکمیل و در سال ۱۹۵۷ دستگاه اتوماتیک تولید شیشه به روش شناور^۲ توسط برادران پیلکینگتون^۳ به ثبت رسید.

۱-۵- پیشینه شیشه سازی صنعتی در ایران

تولید صنعتی شیشه در ایران که بیشترین کاربرد آن در بخش ساختمان بوده است، نزدیک به ۵۰ سال قدمت دارد. نخستین واحد تولید شیشه در ایران (شرکت شیشه ایران)، در سال ۱۳۱۸ با ظرفیتی در حدود ۶۰ تن در روز با استفاده از سه نوع تولید آغاز به کار کرد جدول ۱-۲.

جدول ۱-۲- مشخصات شرکت‌های بزرگ تولید شیشه در کشور

ردیف	نام شرکت	نوع محصول	ظرفیت اسمی
۱	شیشه آبگینه	شیشه جام	۹۸۲۰۰
۲	قزوین گلاس کو	شیشه جام	۲۲۰۴۰۰
۳	ساوه جام	شیشه جام	۹۰۰۰۰
۴	کارخانجات شیشه ایران	شیشه جام	۱۴۰۰۰

^۱ . four coul

^۲ . float

^۳ . Pilkington

۱۸۰۰۰۰	فلوت	ایران فلوت	۵
۲۰۰۰۰۰	فلوت	کاوه فلوت	۶
۱۲۰۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	شیشه لیا	۷
۱۲۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	مظروف یزد	۸
۲۰۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	بلور کاوه	۹
۱۱۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	کریستال ایران	۱۰
۱۱۰۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	نوری تازه	۱۱
۷۱۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	شیشه و گاز	۱۲
۲۰۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	تاکستان	۱۳
۳۵۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	شیشه مینا	۱۴
۴۰۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	بلور شیشه اصفهان	۱۵
۷۵۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	شیشه همدان	۱۶
۱۰۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	حباب ساز	۱۸
۱۲۰۰۰	ظروف شیشه‌ای	شیشه رازی	۱۹

در جریان جنگ دوم جهانی، تولید این واحد متوقف و در سال ۱۳۳۳ بار دیگر بازسازی و راه اندازی شد. پس از آن، کارخانجات شیشه قزوین و شیشه آبگینه نیز ساخته و راه اندازی شد. سه واحد تولیدی شیشه تخت در ایران (شیشه ایران، قزوین و آبگینه) تا سال ۱۳۷۱ مجموعاً حدود ۱۷۰۰۰۰ تن محصولات شیشه‌ای در سال تولید می‌کردند. از سال ۱۳۷۱ با راه اندازی کوره دو آبگینه و همچنین واحد تولیدی ساوه جام، ظرفیت تولید شیشه تخت در ایران به ۳۰۰۰۰۰ تن در سال افزایش یافت. توجه شود که شرکت‌های زیر نظر گروه صنعتی کاوه شامل کارخانجات ایران فلوت، بلور شیشه کاوه، ساوه جام، کاوه فلوت، شیشه تابان و مظروف یزد می‌باشد.

منابع فصل اول

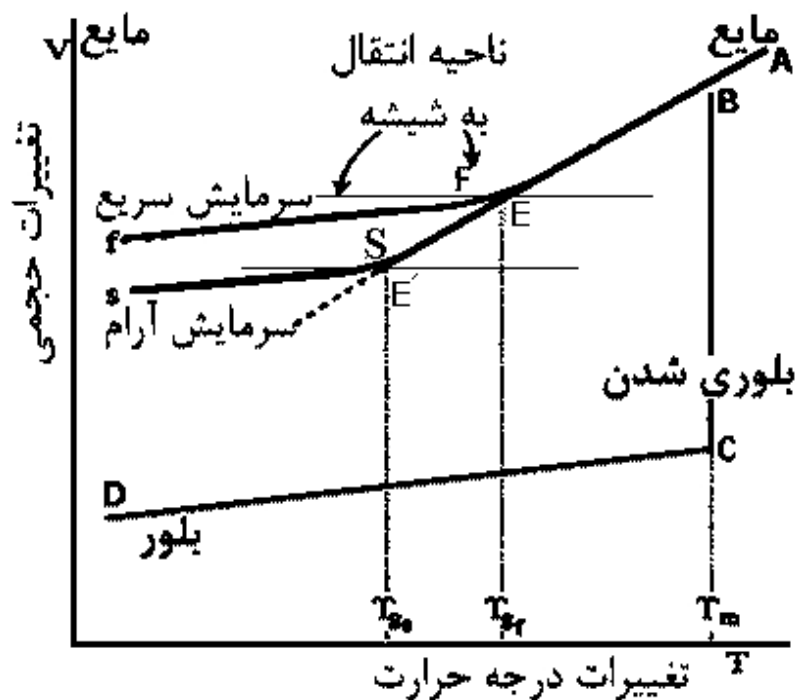
[1] - شیشه، ساختار، خواص و کاربرد- دکتر واهاک مارقوسیان- مرکز انتشارت دانشگاه علم و

صنعت ایران-۱۳۸۱

[2]- C.Barry-Carter-M.Grant Norton-Ceramic Materials Science and engineering

فصل دوم

ثیشه چیست؟



۲- شیشه^۱ چیست؟

دانشمندان به این سوال که شیشه چیست؟ چنین پاسخ داده‌اند: شیشه محصولی معدنی از فرآیند ذوب است، که هنگام سرد شدن بدون آنکه به صورت بلوری در آید، حالت صلب و جامد پیدا می‌کند، یا اینکه مایع ابر سرمايش^۲ منجمد شده شیشه نامیده می‌شود. عملاً شیشه به صورت مایع بی‌اندازه گرانبه (مقاوم در برابر جاری شدن) عمل می‌کند که در اثر نیروهای خارجی در دماهای معمولی به صورت بسیار کند و آهسته تغییر شکل می‌دهد. چشم غیر مسلح نمی‌تواند این تغییر شکل را تشخیص دهد ولی روش علمی برای محاسبه و اندازه‌گیری این تغییر شکل وجود دارد. شاید این تعریف دقیق‌تر باشد که شیشه شامل کلیه موادی است که به لحاظ ساختار شبیه مایع است ولی در دمای محیط (دمای اتاق) در برابر نیروی اعمالی تغییر شکل الاستیک یا تغییر شکل برگشت پذیر نشان می‌دهد لذا بایستی

^۱ . glass

^۲ . super cooled

به عنوان ماده‌ای جامد در نظر گرفته شود. در عین حال شیشه با پلاستیک مرز مشخصی دارد زیرا پلاستیک با وجود شفافیت مواد آلی هستند، لذا هیچ‌گاه نپایستی پلاستیک را به عنوان شیشه برشمرد. شیشه اصطلاح کلی برای تعداد نامحدودی از مواد با ترکیبات متفاوت در فاز شیشه‌ای هستند که به صورت طبیعی نیز یافت می‌شوند. برای مثال آبسیدین که غالباً در مناطق آتشفشانی یافت می‌شود، دارای ترکیب قابل مقایسه با شیشه ساخته شده با دست بشر است. شکل ۱-۲



ب

الف

شکل ۱-۲- الف- شیشه طبیعی در اثر برخورد سنگ آسمانی در بوهمیا

ب- آبسیدین به عنوان شیشه طبیعی [1]

علاوه بر خروج مذاب از دل زمین و سرد شدن سریع آن، هنگام برخورد شهاب‌های آسمانی به سطح زمین و هم‌چنین اصابت صاعقه به ماسه سیلیسی، ترکیبات شیشه‌ای نیز ایجاد می‌شود. آبسیدین متشکل از ماسه سیلیسی و ترکیبات سدیم و کلسیم است که در دوران باستان از آن برای ساخت چاقو، نوک پیکان و دیگر ابزارآلات جنگی استفاده می‌شده است.

شیشه طبیعی به شکل آبسیدین در ابتدا توسط مردم مدیترانه شرقی مورد استفاده قرار گرفت. این ماده در این منطقه جهت داد و ستد دارای تقاضای بالایی بود. قوم آزتک^۱ یکی از اقوام قدیمی قاره آمریکا، با آبسیدین آشنا بودند به طوری که نشان‌های مذهبی و اقلام خانگی را با آن می‌ساختند. امروزه حدود ۶۰٪ از ۹۰ عنصری که در جدول مندلیف به صورت طبیعی یافت می‌شوند از هیدروژن گرفته تا اورانیم در ساخت شیشه به کار می‌روند شکل ۲-۲.

¹ . Aztec

1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		

شکل ۲-۲- ویژگی عناصر در جدول تناوبی

شیشه برخلاف جامدات دیگر فاقد ساختار درونی منظم و یکنواخت است. تفاوت اصلی بین حالت جامد و مایع در هر ماده مشخصی، مثلاً یخ و آب و یا آهن مذاب و آهن جامد، وجود ساختار متقارن و منظم در حالت جامد آن‌هاست که اصطلاحاً بلور^۱ یا کریستال نامیده می‌شود. با بالا رفتن درجه حرارت تا حد دمای ذوب، نظم درونی ماده به هم ریخته و جسم از نظر ساختار درونی بی شکل و نامنظم می‌شود. شیشه تنها جامد بی شکلی است که می‌توان آن را در حقیقت جامدی مجازی دانست. این ویژگی غیرعادی در ساختار درونی شیشه، تعیین کننده بسیاری از ویژگی‌های این ماده پر مصرف است. به علت فقدان نظم تکرار شونده در ساختمان درونی شیشه، یک صفحه شیشه‌ای می‌تواند به عنوان یک مولکول بزرگ مورد توجه قرار گیرد لذا نور را از خود عبور می‌دهد و شفاف به نظر می‌رسد. در عین حال شیشه نور را منکسر نیز می‌کند. به عنوان مثال، شعاع نوری که بر یک بلوک شیشه‌ای می‌تابد، ممکن است با برخورد به آن، بلافاصله تغییر زاویه دهد ولی همواره به موازات مسیر اصلی از بلوک شیشه‌ای خارج می‌شود و از همین خاصیت شیشه است که در ساختن عدسی‌های مختلف از آن استفاده می‌شود. خاصیت تجزیه نور در شیشه بدون آنکه شیشه گر دقیقاً به چگونگی عمل آن آگاهی داشته باشد، همواره مورد بهره برداری شیشه گران باستان بوده است. اسحاق نیوتن اولین فردی بود که تشخیص داد یک منشور شیشه‌ای، نور سفید را به رنگ‌های دیگر تفکیک می‌کند، این دقیقاً همان صفتی است که در شیشه تراش خورده به صورت رنگین کمان دیده می‌شود. معمولاً از شیشه به عنوان ماده ای شکننده یاد می‌شود، اما قدرت آن در بعضی موارد فوق‌العاده و باور نکردنی

^۱. crystal

است. یک رشته شیشه تازه شکل گرفته می‌تواند وزنی بالاتر از ۷۰۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب را تحمل کند. این وزن دو برابر وزنی است که فولاد به صورت رشته‌ای می‌تواند متحمل شود. با این همه، وزنی که شیشه معمولی تحمل می‌کند، یک صدم وزنی است که در تئوری برای آن قائل شده اند که این به دلیل نقایص موجود در شیشه معمولی، مانند ریز ترک‌ها^۱، حباب‌های هوا و ناخالصی‌های دیگر است که باعث می‌شود شیشه تحت فشار زیاد ترک بردارد. چون شیشه دارای ساختمان مایع و یک مولکولی است، اگر ترکی در سطح آن ظاهر شود بدون برخورد به هرگونه مانع که بتواند انرژی نوک ترک را جذب کند، تا آخر پیش می‌رود. شیشه در مقابل تنش کششی، ضعیف و بالعکس در مقابل تنش فشاری، قوی است. به همین دلیل تغییرات ناگهانی حرارت می‌تواند موجب بروز تغییرات خطرناکی شود، چرا که سطح خارجی شیشه زودتر از داخل آن سرد یا گرم می‌شود. سرمای ناگهانی که سطح شیشه را متراکم می‌کند، کم خطرتر از گرمای ناگهانی است که سطح آن را منبسط می‌کند.

۲-۱- تعریف شیشه

یکی از تعاریف بسیار معروف که از سوی انجمن آزمون مواد آمریکا^۲ در سال ۱۹۴۵ میلادی پیشنهاد شد، شیشه را به این صورت تعریف می‌کند:

شیشه ماده‌ای غیر آلی^۳ است که از حالت مذاب، بدون آنکه بلور شود طوری سرد شده است که به صورت صلب^۴ در آمده است. [2] تا [8] شکل ۲-۳

یکی از اشکالات تعریف بالا، همان‌گونه که در سال‌های اخیر ثابت شده است این است که شیشه را می‌توان از طرق بسیار متنوع دیگری به جز سرد کردن از حالت مذاب تهیه کرد. مثلاً روش‌های سرد کردن از حالت بخار، رسوب دادن شیمیایی از فاز بخار (CVD^۵)، روش هیدرولیز شعله‌ای^۶ FH، بمباران نوترونی، سل-ژل^۷ و غیره. مسئله دیگر این است که بسیاری از مواد شیشه‌ای شناخته شده دارای آلی هستند. تنوع مواد شیشه ساز و روش‌های ساخت شیشه از یک سو و الزام برای تعریف موادی با ساختار و ویژگی یکسان، (صرف‌نظر از روش ساخت آن‌ها) با نام واحد در سال‌های اخیر این تمایل را به وجود آورده است که تعریف بسیار عام و وسیع برای شیشه بکار گرفته شود. شیشه یک جامد

1. microcrack

2. ASTM

3. non - organic

4. rigid

5. chemical vapor deposition

6. flame hydrolysis

7. sol-gel

آمورف^۱ است. ماده‌ای را آمورف گویند که از نظر ساختاری دارای نظم پر دامنه نباشد، یعنی اجزاء تشکیل دهنده آن (اتم، یون یا مولکول) در مقیاس چند برابر اندازه خود از نظر چیده شدن در فضا دارای تناوب و نظم و ترتیب نباشند.



شکل ۲-۳- فلزات آمورف که با سرمایش بالا تولید شده اند [9]

مطابق این تعریف ماده آمورف و شیشه‌ای دارای معنی یکسانی هستند. این تعریف بسیار عام، با وجود سادگی مورد قبول برخی دانشمندان علم شیشه نیست. آکادمی ملی علوم آمریکا تعریف دقیق‌تری برای شیشه پیشنهاد کرده است:

شیشه ماده‌ای است که از نظر آزمایش با اشعه ایکس، آمورف (بی‌شکل، غیر بلوری) باشد و مذاب آنها حین سرد کردن از خود رفتار ویژه انتقال به حالت شیشه‌ای را بروز دهد.

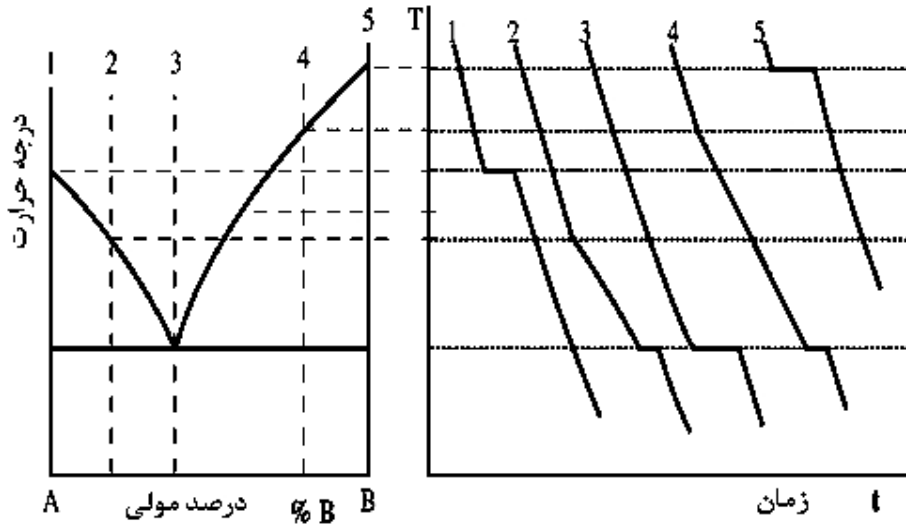
۲-۲- منحنی سرد کردن یک مذاب

برای درک دقیق‌تر از اثر سرد کردن بر رفتار مذاب به سیستم دوتایی A-B توجه کنید. در شکل ۲-۴ منحنی سرعت سرد کردن مذابی در سیستم دوتایی A و B با ترکیب‌های گوناگون را مشاهده می‌کنید. در این سیستم دوتایی یک نقطه یوتکتیک^۲ با ترکیب نقطه ۳ مشاهده می‌شود، تغییرات فازی از حالت مذاب و تبدیل به بلور بر دامنه سرمایش (یعنی محدوده‌ای که مذاب شروع به سخت شدن می‌کند تا تکمیل آخرین قطرات مذاب) تأثیر زیادی دارد، به ویژه که شیب منحنی‌ها کاملاً متفاوت است. البته در این حالت مواد اولیه A و B کاملاً خالص فرض شده است. با توجه به ترکیب شماره ۱ که مذابی صد

^۱ . amorphous

^۲ . eutectic

در صد خالص از A است، می‌بینیم که در دمای ذوب T_{mA} در مدت زمانی کم که دما ثابت است تمام مذاب به جامد بلورین تبدیل می‌شود. ولی برای مذابی با ترکیب شماره ۲ ابتدا یک شکست جزئی برای کریستالیزاسیون A از مذاب داریم سپس تا دمای یوتکتیک، سرمایش با شیب کم‌تری ادامه یافته و در نقطه یوتکتیک مدتی ثابت و پس از تکمیل انجماد، شیب منحنی تغییر می‌کند. دلیل ثابت ماندن دما در نقطه یوتکتیک در مدت زمان مشخص به خاطر تشکیل جامد بلورین خالص AB است و تا مادامی که آخرین قطرات مذاب بلوری نشود، دما ثابت می‌ماند.



شکل ۲-۴- منحنی سرد کردن مذاب دوتایی [6]