

تئوری تیشہ

(چاپ دوم)

(دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه)

از: محمود سالاریه - محمد حکمی

(عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد 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 آرنگ، ۱۳۹۳ .
مشخصات ظاهری	: ۵۲۲ ص: مصور، جدول، نمودار .
شابک	: 978-600-5874-29-7
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: شیشه
موضوع	: شیشه سازی
شناسه افزوده	: سالاریه محمود (۱۳۴۱). حکمی محمد (۱۳۵۰)
رده بندی کنگره	: TP857/س2 9 1393
رده بندی دیویی	: 666/1
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 آرنگ

نوبت چاپ: دوم / ۱۳۹۵

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۲۵۰،۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۸۷۴-۲۹-۷

حق چاپ: برای مولفین محفوظ است.

تلفن: ۶۶۴۰۶۴۷۷

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 آموزگارمان 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 مجسمه 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 ماقورسیان 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 فیلیندرزپتری، در همین منطقه موفق به کشف قدیمی‌ترین کارگاه شیشه‌گری 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 شیشه‌گری 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 $\frac{R_a}{R_o}$ در محدوده $0.4-0.7$ 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 مواد 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 هموژن 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 تراهدرال 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 شیشه‌سازی آشنا می‌شویم. تعداد زیادی سیستم‌های تک جزئی که توانائی شیشه‌سازی دارند قبلاً مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این سیستم‌های تک جزئی مانند سیستم SiO_2 و سیستم B_2O_3 و P_2O_5 و... هستند. دیدیم که چگونه در شیشه‌های $SiO_2 - Na_2O$ ، حضور Na_2O در شکل‌گیری 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

¹.oxygen Bridging

².oxygen NonBridging

می‌دهد. نتایج اندازه‌گیری توسط تعدادی از محققین با تغییر در دمای تبلور در شیشه دی‌سیلیکات سدیم با ترکیب $Na_2Si_2O_5$ 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 مشابهی روی ساختار شیشه تولید شده توسط Na_2O دارد. با این حال، به دلیل بزرگ‌تر بودن بار الکترونی یون Ca^{+2} در پیوند $Ca-O$ این اتصال بسیار قوی‌تر 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 پیچیده‌تر و کندتر و غیر اقتصادی‌تر هستند، بسیار متنوع، سریع و اقتصادی‌تر است. برای مثال فرایند ساخت تیغه‌های نازک، الیاف 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 امکان‌پذیر 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 می دهیم. 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 سانتی‌گراد 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 می شود. عناصر در صنایع شیشه سازی بر حسب نقش اکسیدهای سازنده به سه گروه اصلی تقسیم بندی می شوند. 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 می کنند. ولی مواد اولیه مصرفی بر حسب غلبه هر اکسید در آن و نقش اصلی که در محیطهای چند فازی دارند، می توانند به گروههای مختلفی دسته بندی شوند.

- فصل نهم - در مورد روش تولید انواع محصول شیشه ای بحث می کند. محصولات شیشه ای در سیستم های شیشه سازی یک یا چند تایی قرار دارند که از نظر صنعتی دارای ترکیب و آنالیزهای گوناگونی هستند. تاکنون مهم ترین شیشه یک جزئی مورد استفاده، شیشه کوارتزی بوده است که در حقیقت تنها شیشه سیلیکاتی از نوع یک جزئی می باشد. ویژگی دی الکتریکی و شیمیایی بسیار خوب، ضریب انبساط حرارتی پایین، پایداری حرارتی بالا و شفافیت استثنایی بالا در برابر عبور نور فرابنفش، از ویژگی های در خور توجه این نوع شیشه به شمار می رود. از لحاظ صنعتی، شیشه های معروف به شیشه سودا لایمی ۹۰٪ تولید شیشه را به خود اختصاص داده که عموماً در تولید شیشه تخت و ظروف شیشه ای به کار می روند. همان طوری که پیش تر گفته شد این شیشه ها شامل مقادیر زیادی اکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی بوده و از لحاظ شیمیایی پایدار تر از سیلیکات های صرفاً قلیایی می باشند. شیشه های مورد استفاده در وسایل آزمایشگاهی از لحاظ مقدار بالای اکسید بور و مقدار پایین اکسید قلیایی با شیشه های دیگر متفاوت می باشند. شیشه را می توان 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 شیشه‌های 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 جنبشی‌اتم‌ها یا یون‌ها با توجه به افزایش درجه حرارت، به شدت افزایش می‌یابد ولی به جهت وجود چاه پتانسیل و عدم هارمونی حرارتی مقدار نوسان حرارتی افزایش می‌یابد 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 محلول‌ها و عوامل اتمسفری خورنده بکار می‌رود. برای نشان‌دادن مقاومت شیمیایی شیشه‌ها نمی‌توان از مقادیر مطلق که در هر شرایطی صادق باشد، استفاده نمود و معمولاً شیشه‌ها را از نظر مقاومت شیمیایی به طور نسبی درجه‌بندی می‌کنند.

- در فصل یازدهم تنش در شیشه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در صورتی که در برابر انبساط یا انقباض آزاد یک جسم (یا المان‌های مختلف حجمی داخل جسم) مانعی ایجاد شود آنگاه در داخل آن جسم یا المان تنش ایجاد می‌شود. اگر این تغییرات ابعادی ناشی از حرارت باشد، این نوع تنش را تنش حرارتی گویند. در سرامیک‌های چند فاز در صورت وجود تفاوت بین فازهای مختلف در ویژگی‌هایی نظیر ضریب انبساط حرارتی و ضریب الاستیسیته، به علت اینکه فازها در برابر تغییر طولی یکدیگر مانع ایجاد می‌کنند، تنش‌هایی حرارتی داخلی ایجاد می‌شود. اینزوتروپی ویژگی‌ها در جهات بلوری نیز ممکن است چنین تنش‌هایی را به وجود آورد.

در شیشه‌ها به علت تک فازی بودن با وجود نداشتن فازهای مختلف و هم‌چنین ایزوتروپ بودن ماده، در صورت نبود هیچگونه عیوبی نظیر حباب هوا یا فازهای بیگانه امکان ایجاد چنین تنش‌هایی وجود ندارد (مگر اینکه شیشه دچار جدایش فازی یا تبلور جزئی شود)؛ بنابراین تنها نوع تنش حرارتی که می‌تواند در شیشه به وجود آید تنش حاصله از وجود شیب‌های حرارتی یا عدم یکنواختی دما در قسمت‌های مختلف نمونه می‌باشد.

میزان مقاومت شیشه‌ها در برابر تغییرات ناگهانی دما را شوک حرارتی می‌نامند. در صورتی که نمونه‌ای 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 گرادیان 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 بی تردید 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 کاربردها 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 مرحله‌ای 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 صفحه‌ای، 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 - تابستان ۱۳۹۳

پیش گفتار	۵
Error! Bookmark not defined. فصل اول تاریخچه شیشه	
Error! Bookmark not defined. ۱- تاریخچه شیشه از مهره‌های شیشه‌ای تا شیشه‌های پزشکی	
Error! Bookmark not defined. ۲-۱ تاریخ شیشه سازی در جهان	
Error! Bookmark not defined. ۳-۱ تاریخ شیشه سازی در ایران	
Error! Bookmark not defined. ۱-۳-۱ شیشه سازی در ایران باستان	
Error! Bookmark not defined. ۴-۱ پیشینه شیشه سازی صنعتی در جهان	
Error! Bookmark not defined. ۵-۱ پیشینه شیشه سازی صنعتی در ایران	
Error! Bookmark not defined. منابع فصل اول	
Error! Bookmark not defined. فصل دوم شیشه چیست؟	
Error! Bookmark not defined. ۲- شیشه چیست؟	
Error! Bookmark not defined. ۱-۲ تعریف شیشه	
Error! Bookmark not defined. ۲-۲ منحنی سرد کردن يك مذاب	
Error! Bookmark not defined. ۳-۲ انتقال به شیشه	
Error! Bookmark not defined. منابع فصل دوم	
Error! Bookmark not defined. فصل سوم تئوری‌های شیشه‌سازی	
Error! Bookmark not defined. ۳- تئوری‌های شیشه‌سازی	
Error! Bookmark not defined. ۱-۳ تئوری‌های ساختاری شیشه‌سازی	
Error! Bookmark not defined. ۱-۱-۳ تئوری گلداسمیت	
Error! Bookmark not defined. ۲-۱-۳ تئوری شبکه نامنظم زاکارباسن	
Error! Bookmark not defined. ۳-۱-۳ تئوری‌های شیشه سازی سان	
Error! Bookmark not defined. ۴-۱-۳ اثر الکترون‌گاتیویته عناصر تشکیل دهنده بر شیشه سازی	
Error! Bookmark not defined. ۲-۳ تئوری کینتیکی شیشه‌سازی	
Error! Bookmark not defined. ۱-۲-۳ کینتیک جوانه زنی و رشد بلور	

Error! Bookmark not defined...... جوانه زنی یا تشکیل هسته ۲-۲-۳

Error! Bookmark not defined...... استحاله هموزن ۱-۲-۲-۳

Error! Bookmark not defined...... استحاله هتروژن ۲-۲-۲-۳

Error! Bookmark not defined...... عوامل مؤثر در جوانه زنی ۳-۲-۳

Error! Bookmark not defined...... فرآیندهای فعال شده ۴-۲-۳

Error! Bookmark not defined.... ملاحظات ترمودینامیکی در جوانه زنی ۵-۲-۳

Error! Bookmark not defined...... نیروی محرکه ΔG_V در جوانه زنی هموزن ۱-۵-۲-۳ **defined.**

Error! Bookmark not defined...... سد انرژی سطحی در جوانه زنی هموزن ۲-۵-۲-۳ **defined.**

Error! Bookmark not defined...... تغییرات انرژی آزاد در جوانه زنی هموزن ۳-۵-۲-۳ **defined.**

Error! Bookmark not defined...... جوانه زنی هتروژن ۶-۲-۳

Error! Bookmark not defined...... سرعت جوانه زنی ۷-۲-۳

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

Error! Bookmark not defined...... فصل چهارم ساختار شیشه

Error! Bookmark not defined...... ساختار شیشه ۴-۱-۱-۱-۴

Error! Bookmark not defined...... ساختار شیشه دارای اتصال کووالانت ۱-۴-۱-۱-۱-۴

Error! Bookmark not defined...... ساختار سیلیس شیشه‌ای (SiO_2) ۱-۱-۱-۱-۴

Error! Bookmark not defined...... توابع توزیع شعاعی در ساختار شیشه‌های سیلیسی .. **not defined.**

Error! Bookmark not defined...... تئوری بلورک در ساختار شیشه سیلیسی ۲-۱-۱-۱-۴ **defined.**

Error! Bookmark not defined...... اثر نسبت اکسیژن بر ساختار شیشه‌های سیلیکاتی ۳-۱-۱-۱-۴ **defined.**

Error! Bookmark not defined...... قانون استولز ۴-۱-۱-۱-۴

Error! Bookmark not defined...... رابطه قدرت اتصال با نقش اکسیدها در شیشه .. **defined.**

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

Error! Bookmark not defined...... ب- اتم بور B

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

۴-۱-۲- ساختار شیشه‌های بوراتی **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱-۲-۱- رفتار غیر طبیعی در شیشه بوراتی **Error! Bookmark not defined.**

۴-۲-۱-۲- اثر افزایش هم‌زمان چند قلیایی به شیشه بوراتی **Error! Bookmark not defined.**

۴-۲-۱-۳- نظم با برد کوتاه در شیشه بوراتی مخلوط **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱-۳- ساختار شیشه نیمه‌هادی کالکوجناید **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱-۴- ساختار شیشه‌های ژرمانیومی **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱-۴-۱- اثر دگرگون‌سازها در ساختار شیشه ژرمانیومی. **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱-۵- ساختار شیشه‌های فسفاتی **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱-۵-۱- ساختار فسفریک اکسیدهای. **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱-۵-۱- اثر افزودن دگرگون‌کننده‌ها در شیشه متافسفاتی **Error! Bookmark not defined.**

۴-۵-۱-۲- محاسبه اکسیژن پیوندی در شیشه فسفاتی. **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱-۶- مقایسه رفتار متاسلیکات‌ها با متافسفات سدیم ... **Error! Bookmark not defined.**

۴-۲- ساختار شیشه‌های دارای اتصال یونی **Error! Bookmark not defined.**

۴-۳- ساختار شیشه‌های هالیدی **Error! Bookmark not defined.**

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

فصل پنجم سیستم‌های شیشه‌سازی **Error! Bookmark not defined.**

۵- سیستم‌های شیشه‌سازی **Error! Bookmark not defined.**

۵-۱- شیشه‌سازی در سیستم‌های تکی **Error! Bookmark not defined.**

۵-۲- شیشه‌سازی در سیستم‌های دوتایی **Error! Bookmark not defined.**

۵-۲-۱- شیشه‌سازی در سیستم‌های دو تایی سیلیکات قلیایی ... **Error! Bookmark not defined.**

۵-۱-۲-۱- محدوده تشکیل شیشه در سیستم‌های سیلیکاتی قلیایی ها **Error! Bookmark not defined.**

- ۲-۱-۲-۵- ملاحظات کینتیکی شیشه سازی در سیستم $SiO_2 - R_2O$ **Error!**
Bookmark not defined.
- ۳-۱-۲-۵- کینتیک تبلور در شیشه سیلیکات قلیایی.. **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۱-۲-۵- اثر دما در تبلور شیشه دی سیلیکات سدیم **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۲-۵- شیشه‌های سیلیکاتی دوتایی $SiO_2 - RO$ **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۲-۵- عدم انحلال در شیشه دوتایی $SiO_2 - CaO$ **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۵- شیشه در سیستم سه تایی $SiO_2 - Na_2O - CaO$ **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۵- محدوده تشکیل شیشه در سیستم سه تایی $SiO_2 - Na_2O - CaO$ **Error!**
Bookmark not defined.
- ۲-۱-۳-۵- سینتیک تبلور در شیشه‌های سودا لایمی $SiO_2 - Na_2O - CaO$ **Error!**
Bookmark not defined.
- ۴-۵- شیشه‌های آلومینوسیلیکات قلیایی **Error! Bookmark not defined.**
- ۵-۵- جدایش فازی در شیشه‌های بوروسیلیکاتی و شیشه‌های قلیایی خاکی... **Error!**
Bookmark not defined.
- منابع فصل پنجم **Error! Bookmark not defined.**
- فصل ششم شیشه سرامیک‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۶- تاریخچه شیشه سرامیک‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۶- مزایا و معایب ساخت شیشه سرامیک‌ها با روش ذوب **Error! Bookmark not defined.**
- ۲-۶- جوانه زنی در سیستم شیشه سرامیک‌ها... **Error! Bookmark not defined.**
- ۳-۶- فرآیند ساخت شیشه سرامیک‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۴-۶- ملاحظات کینتیکی سرعت جوانه زنی در شیشه سرامیک‌ها در فاز جامد **Error!**
Bookmark not defined.
- ۵-۶- رشد بلور در شیشه سرامیک‌ها **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۵-۶- معادله آورامی رشد بلور در شیشه سرامیک‌ها **Error! Bookmark not defined.**

۲-۵-۶- اثر تغییر ترکیب بر سرعت جوانه زنی و رشد در شیشه سرامیک‌ها **Error!**
Bookmark not defined.

۶-۶- کریستالیزاسیون در لایه سطحی شیشه‌ها .. **Error! Bookmark not defined.**

۷-۶- توانایی کریستالیزاسیون در شیشه‌های تجارتي..... **Error! Bookmark not defined.**

۸-۶- سیستم‌های شیشه سرامیک..... **Error! Bookmark not defined.**

۱-۸-۶- شیشه سرامیک سیستم $LiO_2 - Al_2O_3 - SiO_2$ **Error! Bookmark not defined.**

۲-۸-۶- شیشه سرامیک در سیستم $SiO_2 - Al_2O_3 - MgO - CaO$ **Error!**
Bookmark not defined.

۳-۸-۶- سیستم‌های شیشه سرامیکی برای کاربردهای نوین..... **Error! Bookmark not defined.**

۲- شیشه سرامیک پروسکایت $SiO_2(BaO)Al_2O_3TiO_2PbO(BaO)Na_2ONb_2O_5$ **Error! Bookmark not defined.**

۹-۶- استفاده از سرباره برای ساخت شیشه سرامیک ها .. **Error! Bookmark not defined.**

۱۰-۶- شیشه سرامیک عایق برای سلول‌های اکسیدی با سوخت جامد **Error!**
Bookmark not defined.

۱-۱۰-۶- معیارهای مناسب مواد عایق کاری **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱۰-۶- عناصر تشکیل دهنده شیشه سرامیک مناسب عایق کاری **Error!**
Bookmark not defined.

۱-۲-۱۰-۶- نقش شیشه سازها در شیشه سرامیک مناسب عایق کاری **Error!**
Bookmark not defined.

۲-۲-۱۰-۶- اکسیدهای واسطه در شیشه سرامیک مناسب عایق کاری **Error!**
Bookmark not defined.

۳-۲-۱۰-۶- 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.**

۷- مقدمه **Error! Bookmark not defined.**

۱-۷- شیشه‌های سیلیکاتی **Error! Bookmark not defined.**

Error! Bookmark not defined...... (آمورف) SiO_2 ۱-۱-۱-۷

Error! Bookmark not defined...... انواع شیشه‌های سیلیسی ۱-۱-۱-۷

Error! Bookmark not defined...... الف- شیشه‌های سیلیسی اپک. ۱-۱-۱-۷

Error! Bookmark not defined...... ب- شیشه‌های سیلیسی شفاف ۱-۱-۱-۷

Error! Bookmark not defined...... ۲-۱-۱-۷ انواع ناخالصی در شیشه سیلیسی

Error! Bookmark not defined...... ۳-۱-۱-۷ آب در شیشه‌های سیلیسی

Error! Bookmark not defined...... ۴-۱-۱-۷ ویژگی شیشه سیلیسی

Error! Bookmark not defined...... ۵-۱-۱-۷ تبخیر شیشه سیلیسی

Error! Bookmark not defined...... ۶-۱-۱-۷ چگالی شیشه سیلیسی

Error! Bookmark not defined...... ۷-۱-۱-۷ ویژگی نوری شیشه سیلیسی

Error! Bookmark not defined...... ۸-۱-۱-۷ ویژگی مکانیکی شیشه سیلیسی

Error! Bookmark not defined...... ۲-۱-۷ شیشه سودا لایمی

Error! Bookmark not defined...... ۱-۲-۱-۷ نقش MgO و CaO در شیشه‌های سودالایمی. **defined.**

Error! Bookmark not defined...... ۲-۲-۱-۷ ویژگی شیشه‌های سودا لایمی

Error! Bookmark not defined...... ۱-۲-۲-۱-۷ ترکیب شیمیایی شیشه سودالایمی

Error! Bookmark not defined...... ۲-۲-۲-۱-۷ مشخصات فیزیکی و مکانیکی شیشه سودا لایمی. **not defined.**

Error! Bookmark not defined...... ۲-۷ شیشه‌های بوروسیلیکاتی ($B_2O_3 - SiO_2$)

Error! Bookmark not defined...... ۱-۲-۷ ویژگی شیشه‌های بوروسیلیکاتی

Error! Bookmark not defined...... ۲-۲-۷ کاربردهای شیشه‌ی بوروسیلیکاتی

Error! Bookmark not defined...... ۴-۲-۷ مزایای شیشه‌های بوروسیلیکاتی

Error! Bookmark not defined...... ۵-۲-۷ معایب شیشه‌های بوروسیلیکاتی

Error! Bookmark not defined...... ۳-۷ شیشه‌های اپال

Error! Bookmark not defined...... ۱-۳-۷ شدت اپاسیتی در شیشه‌های اپال

Error! Bookmark not defined...... ۲-۳-۷ مکانیزم تشکیل شیشه‌های اپال

Error! Bookmark not defined...... ۴-۳-۷ شرایط اپال‌های مقاوم در برابر شوک حرارتی. **defined.**

۴-۳-۷- دسته‌بندی اپال‌های مقاوم در برابر شوک حرارتی.. **Error! Bookmark not defined.**

۴-۷- شیشه‌های سیلیکات سرب یا شیشه‌های کریستال **Error! Bookmark not defined.**

۱-۴-۷- پدیده اثر القایی در شیشه‌های سربی... **Error! Bookmark not defined.**

۲-۴-۷- ویژگی شیشه‌های سربی **Error! Bookmark not defined.**

۵-۷- شیشه‌های فوتوکرومیک **Error! Bookmark not defined.**

۱-۵-۷- علت ایجاد پدیده فوتوکرومیک **Error! Bookmark not defined.**

۲-۵-۷- تعریف فوتوکرومیک **Error! Bookmark not defined.**

۴-۵-۷- روش تهیه شیشه‌های فوتوکرومیک **Error! Bookmark not defined.**

۶-۵-۷- چگونگی روشن شدن شیشه فوتوکرومیک **Error! Bookmark not defined.**

۶-۷- شیشه فوتوفرم **Error! Bookmark not defined.**

۷-۷- شیشه خود تمیز شو و ضد باکتری **Error! Bookmark not defined.**

۱-۷-۷- موارد استفاده شیشه ضد باکتری **Error! Bookmark not defined.**

۲-۷-۷- مزیت استفاده از شیشه ضد باکتری **Error! Bookmark not defined.**

۲-۷-۷- مزیت استفاده از شیشه ضد باکتری رنگی دکوری .. **Error! Bookmark not defined.**

۸-۷- شیشه‌های نیمه‌هادی **Error! Bookmark not defined.**

۸-۷- شیشه‌های خاص **Error! Bookmark not defined.**

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

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

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

۱-۱-۸- سیلیس یا دی‌اکسید سیلیسیم SiO_2 **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱-۸- اکسید بور (B_2O_3) **Error! Bookmark not defined.**

۳-۱-۸- بوراکس **Error! Bookmark not defined.**

۱-۳-۱-۸- بوراکسید (B_2O_3) **Error! Bookmark not defined.**

۲-۳-۱-۸- اسید بوریک **Error! Bookmark not defined.**

Error! Bookmark not defined...... ۳-۳-۱-۸ متابوریک اسید
Error! Bookmark not defined...... ۴-۳-۱-۸ اسید بوریک
Error! Bookmark not defined...... ۲-۸ کمک ذوب‌ها یا گداز‌آورها
Error! Bookmark not defined...... (۱-۲-۸) کرنات سدیم (Na_2CO_3)
Error! Bookmark not defined...... ۲-۲-۸ سدیم نترات $NaNO_3$
Error! Bookmark not defined...... ۳-۲-۸ کرنات پتاسیم (K_2CO_3)
Error! Bookmark not defined...... ۴-۲-۸ سرب اکسید (PbO و Pb_3O_4)
Error! Bookmark not defined...... ۵-۲-۸ باریم کرنات ($BaCO_3$)
Error! Bookmark not defined...... ۳-۸ پایدار کننده‌ها یا تثبیت کننده‌ها
Error! Bookmark not defined...... ۱-۳-۸ آهک یا کرنات کلسیم
Error! Bookmark not defined...... ۲-۳-۸ دولومیت
Error! Bookmark not defined...... ۱-۲-۳-۸ مشخصات شیمیایی دولومیت
Error! Bookmark not defined...... ۲-۲-۳-۸ مشخصات فیزیکی دولومیت
Error! Bookmark not defined...... ۴-۸ کمک شبکه سازها
Error! Bookmark not defined...... ۱-۴-۸ آلومینیم اکسید Al_2O_3
Error! Bookmark not defined...... ۲-۴-۸ فلدسپار
Error! Bookmark not defined...... ۳-۴-۸ سولفات کلسیم $CaSO_4$
Error! Bookmark not defined...... ۵-۸ عوامل رنگ بر
Error! ۱-۵-۸ سیستم بی رنگ کننده $As_2O_3 - Se - Co_2O_3$ در شیشه‌ها
Bookmark not defined.
Error! Bookmark not defined...... ۲-۱-۵-۸ رنگ بری آتیموان و آرسنیک
Error! Bookmark not defined...... ۳-۱-۵-۸ رنگ بری نترات پتاسیم
Error! Bookmark not defined...... ۶-۸ عوامل رنگ زا
Error! Bookmark not defined...... ۷-۸ شیشه خرده
Error! Bookmark not defined...... منابع فصل هشتم
Error! Bookmark not defined.... فصل نهم روش تولید انواع محصول شیشه‌ای
Error! Bookmark not defined...... ۹- طبقه بندی انواع محصول شیشه

Error! Bookmark not defined...... ۱-۹-۱ روش تولید انواع محصولات شیشه‌ای
Error! Bookmark not defined...... ۱-۹-۱ روش تولید شیشه‌های پنجره
Error! Bookmark not defined...... ۱-۱-۱-۹ روش تولید شیشه جام
Error! Bookmark not defined...... ۲-۱-۱-۹ روش تولید شیشه پنجره با فرآیند فورکلت
defined.
Error! Bookmark not defined...... ۳-۱-۱-۹ روش تولید شیشه فلوت
Error! Bookmark not defined...... ۲-۹-۲ روش تولید شیشه مشجر
Error! Bookmark not defined...... ۲-۲-۹-۲ روش تولید شیشه مشجر سیمی یا شیشه مسلح ...
defined.
Error! Bookmark not defined...... ۳-۹-۳ شیشه دوجداره (مضاعف)
Error! Bookmark not defined...... ۴-۹-۴ شیشه‌های چند لایه
Error! Bookmark not defined...... ۵-۹-۵ شیشه اسپایدر
Error! Bookmark not defined...... ۶-۹-۶ شیشه‌های ایمنی سکوریت
Error! Bookmark not defined...... ۷-۹-۷ شیشه انعکاسی (بازتابنده)
Error! Bookmark not defined...... ۸-۹-۸ شیشه‌های چاپ دار
Error! Bookmark not defined...... ۹-۹-۹ شیشه‌های **Low-E**
Error! Bookmark not defined...... ۱-۹-۹-۱ تکنولوژی ساخت شیشه **Low-E**
Error! Bookmark not defined...... ۱-۹-۹-۱ روش **CVD**
Error! Bookmark not defined...... ۱-۱-۹-۹-۱ پوشش سخت با روش **CVD**
Error! Bookmark not defined...... ۲-۱-۹-۹-۲ روش **MSVD**
Error! Bookmark not defined...... ۳-۱-۹-۹-۳ پوشش نرم با روش **MSVD**
Error! Bookmark not defined...... ۱۰-۹-۱۰ شیشه شوک پذیر (پیرکس)
Error! Bookmark not defined...... ۱۱-۹-۱۱ شیشه ضد گلوله
Error! Bookmark not defined...... ۱-۱۱-۹-۱۱ مقاوم‌ترین شیشه ضد گلوله ساخت کجاست؟
defined.
Error! Bookmark not defined...... ۳-۱۱-۹-۳ شیشه‌های ضد گلوله يك طرفه
Error! Bookmark not defined...... ۴-۱۱-۹-۴ شیشه‌های ضد گلوله و ضد پرتو
Error! Bookmark not defined...... ۱۲-۹-۱۲ شیشه ضد فلونوریک اسید

۱۳-۹- الیاف شیشه ای **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱۳-۹- انواع فایبرگلاس **Error! Bookmark not defined.**

۳-۱۳-۹- خصوصیات الیاف شیشه‌ای **Error! Bookmark not defined.**

۶-۱۳-۹- کاربرد الیاف شیشه‌ای **Error! Bookmark not defined.**

۱۴-۹- نانو شیشه **Error! Bookmark not defined.**

۱-۱۵-۹- نتایج حاصل از کاربرد نانو فناوری در صنعت شیشه **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱۶-۹- عمل دفع چربی از سطوح خود تمیز شونده شیشه **Error! Bookmark not defined.**

۱-۲-۱۶-۹- سطوح دافع آب در شیشه **Error! Bookmark not defined.**

۲-۲-۱۶-۹- تشکیل فیلم آب دوستی **Error! Bookmark not defined.**

۳-۲-۱۶-۹- مکانیزم خود تمیز شوندگی با پدیده فتوکاتالیتیک **Error! Bookmark not defined.**

۳-۱۶-۹- پوشش سطوح شیشه‌های خود تمیز شونده با روش پیرولیز **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱۶-۹- مزایا و ویژگی‌های شیشه‌های خود تمیز شونده .. **Error! Bookmark not defined.**

۱۷-۹- شیشه‌های آنتی باکتریال **Error! Bookmark not defined.**

۱۸-۹- شیشه‌های رنگی حاوی نانو ذرات **Error! Bookmark not defined.**

۱۹-۹- سایر محصولات شیشه‌ای **Error! Bookmark not defined.**

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

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

۱۰- مقدمه **Error! Bookmark not defined.**

۱-۱۰- تعاریف برخی واژه‌ها **Error! Bookmark not defined.**

۱-۱-۱۰- تعریف ویسکوزیته **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱-۱۰- نقطه کار پذیری (q_{f1}) **Error! Bookmark not defined.**

۳-۱-۱۰- دامنه کار پذیری **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱-۱۰- نقطه نرم شدن (q_{f2}) **Error! Bookmark not defined.**

۵-۱-۱۰- دمای استحاله T_g **Error! Bookmark not defined.**

- ۱-۱-۱-۶- نقطه تنش زدایی (q_{f3}) **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۱-۱-۷- نقطه کرنش (q_{f4}) **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۱-۱-۸- زمان شکل دهی **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲- ویسکوزیته شیشه در مراحل ساخت **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳- پارامترهای مؤثر بر ویسکوزیته **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۱- رابطه ویسکوزیته با ترکیب شیشه **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۴- محاسبه رابطه ویسکوزیته با ترکیب **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۴-۱- ویسکوزیته در شیشه سیلیسی و شیشه سودالایمی . **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۴-۲- ویسکوزیته در شیشه سربی **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۲- ارتباط ویسکوزیته با دما **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۳- رسم منحنی ویسکوزیته **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۵- اندازه گیری دستگاہی ویسکوزیته **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۵-۱- تعیین ویسکوزیته توسط ویسکوزیته متر چرخشی ... **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۵-۲- تعیین ویسکوزیته با ویسکوزیته متر ازدیاد طول **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۵-۲-۱- تصحیح بار **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۵-۳- تعیین ویسکوزیته توسط خمش در تیغه **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۵-۳-۱- تصحیح برای بار **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۵-۴- تعیین ویسکوزیته با میله فرورونده **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۱- انبساط حرارتی شیشه **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۱- ماهیت فیزیکی انبساط حرارتی **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۲- تعیین دمای استحاله (T_g) شیشه به روش انبساط سنجی **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۲-۳-۱- ارزیابی دمای استحاله (T_g) **Error! Bookmark not defined.**
- ۱-۳-۳- ضریب انبساط حرارتی در شیشه سیلیسی **Error! Bookmark not defined.**

- ۱۰-۳-۴- تغییرات ضریب انبساط حرارتی در شیشه بوراتی . *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴- مقاومت شیمیایی شیشه *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴-۱- مقاومت شیمیایی شیشه سیلیسی *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴-۱-۱- مکانیزم واکنش شیشه‌ها با محلول‌های مایه .. *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴-۲- عوامل موثر در اندازه‌گیری مقاومت شیمیایی شیشه‌ها *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴-۳- مقاومت شیمیایی شیشه در آب در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴-۳-۱- مواد و وسایل مورد نیاز برای مقاومت شیمیایی شیشه *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴-۳-۲- آماده سازی پودر شیشه برای آزمون مقاومت شیمیایی شیشه. *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴-۳-۳- تمیز کردن پودر برای آزمون مقاومت شیمیایی شیشه *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴-۳-۴- روش اجرای آزمون مقاومت شیمیایی شیشه ... *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴-۴- محاسبات مقاومت شیمیایی شیشه *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۴-۵- طبقه بندی شیشه از نظر مقاومت شیمیایی *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۵- مقاومت حرارتی و تبخیر مذاب‌های شیشه‌ای *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۰-۶- ویژگی الکتریکی شیشه سیلیسی *Error! Bookmark not defined.*
- منابع فصل دهم *Error! Bookmark not defined.*
- فصل یازدهم تنش در شیشه *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۱- تنش در شیشه *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۱-۱- تنش‌های موقت در شیشه *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۱-۲- تنش‌های دائم (ماندگار) در شیشه *Error! Bookmark not defined.*
- ۱۱-۳- تأثیر تنش در ضریب شکست نوری در شیشه *Error! Bookmark not defined.*

- Error! Bookmark not defined.**..... ۱-۳-۱۱ پدیده دو شکستی یا دو محوری
- Error! Bookmark not defined.**..... ۴-۱۰- تنش زدایی
- Error! Bookmark not defined.**..... ۱-۴-۱۱ نقطه نرم شوندگی
- Error! Bookmark not defined.**..... ۲-۴-۱۱ نقطه تنش زدایی
- Error! Bookmark not defined.**..... ۳-۴-۱۱ نقطه کرنش
- Error! Bookmark not defined.**..... ۴-۴-۱۱ فرآیند تنش زدایی
- Error! ۵-۴-۱۱ تعیین دمای تنش زدایی و دمای کرنش با رشته نازکی از شیشه**
Bookmark not defined.
- Error! Bookmark not defined.**..... ۱-۵-۴-۱۱ تعیین دمای تنش زدایی با رشته نازکی از شیشه
defined.
- Error! Bookmark not defined.**..... ۲-۵-۴-۱۱ تعیین دمای کرنش با رشته نازکی از شیشه
defined.
- Error! Bookmark not defined.**..... ۶-۴-۱۱ رهایی تنش حجمی در ساختار شیشه‌ای
defined.
- Error! Bookmark not defined.**.. ۶-۱۱ افزایش استحکام و تمپر کردن شیشه‌ها
- Error! Bookmark not defined.**..... ۱-۶-۱۱ هدف از تمپر کردن شیشه
- Error! Bookmark not defined.**..... ۲-۶-۱۱ روش‌های تمپرینگ
- Error! Bookmark not defined.**..... الف- روش تمپرینگ حرارتی
- Error! Bookmark not defined.**..... ب- روش تمپرینگ شیمیایی
- Error! Bookmark not defined.**..... ۱-۲-۶-۱۱ تمپر حرارتی شیشه‌ها
- Error! Bookmark not defined.**..... ۲-۲-۶-۱۱ فرآیند تمپر حرارتی
- Error! Bookmark not defined.**..... ۳-۲-۶-۱۱ مراحل تمپر حرارتی در زمان‌های مختلف
defined.
- Error! Bookmark not defined.**..... ۴-۲-۶-۱۱ کوره‌های مورد استفاده برای تمپر حرارتی شیشه ...
not defined.
- Error! ۳-۶-۱۱ تمپر شیمیایی شیشه‌ها (افزایش استحکام از طریق شیمیایی)**
Bookmark not defined.
- ۲-۳-۶-۱۱ ایجاد تنش فشاری در سطح با کاهش انبساط حرارتی لایه سطحی
Error! Bookmark not defined......
- Error! Bookmark not defined.**..... منابع فصل یازدهم

Error! Bookmark not defined...... فصل دوازدهم شیشه‌های رنگی

Error! Bookmark not defined...... ۱۲- شیشه‌های رنگی

Error! Bookmark not defined...... ۱-۱۲- تئوری رنگ

Error! Bookmark not defined...... ۲-۱۲- ویژگی رنگ

Error! Bookmark not defined...... ۳-۱۲- مواد مولد رنگ در فاز غیر آمورف یا بلور

Error! Bookmark not defined...... ۴-۱۲- افزودنی‌های رنگ زا در صنعت شیشه یا فاز آمورف **defined.**

Error! Bookmark not defined...... ۵-۱۲- مکانیزم ایجاد رنگ در شیشه رنگی

Error! Bookmark not defined...... ۶-۱۲- ترکیبات و رنگ‌های ظاهر شده در انواع شیشه‌ها... **defined.**

Error! Bookmark not defined...... ۷-۱۲- شیشه تخت بی رنگ

Error! Bookmark not defined...... ۸-۱۲- رنگ در شیشه تخت

Error! Bookmark not defined...... ۱-۸-۱۲- شیشه تخت پولیش شده رنگی

Error! Bookmark not defined...... ۲-۸-۱۲- شیشه تخت سبز

Error! Bookmark not defined...... ۳-۸-۱۲- شیشه تخت برنزی

Error! Bookmark not defined...... ۴-۸-۱۲- شیشه تخت خاکستری

Error! Bookmark not defined...... ۹-۱۲- رنگ زایی در شیشه مطروف

Error! Bookmark not defined...... ۱۰-۱۲- کنترل رنگ در شیشه رنگی

Error! Bookmark not defined...... ۱-۱۰-۱۲- تغییر رنگ شیشه در کوره

Error! Bookmark not defined...... ۱۴-۱۲- خواص نوری شیشه‌ها

Error! Bookmark not defined...... ۱-۱۴-۱۲- ضریب شکست نوری

Error! Bookmark not defined...... ۲-۱۴-۱۲- ضریب شکست مولی و یونی

Error! Bookmark not defined...... ۱-۲-۱۴-۱۲- حجم مولی شیشه

Error! Bookmark not defined...... ۳-۱۴-۱۲- پاشندگی

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

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

Error! Bookmark not defined...... ۱۳- کوره ذوب

Error! Bookmark not defined...... ۱-۱۳- تقسیم بندی کوره‌های ذوب شیشه

۱-۱-۱۳- تقسیم بندی کوره‌های ذوب از نظر روش گرمادهی ... **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱-۱۳- تقسیم بندی کوره‌های ذوب براساس روش عملکرد... **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱۳- کوره‌های ناپیوسته **Error! Bookmark not defined.**

۳-۱۳- کوره‌های پیوسته **Error! Bookmark not defined.**

۱-۳-۱۳- گوناگونی کوره‌های پیوسته **Error! Bookmark not defined.**

۱-۱-۳-۱۳- کوره پیوسته شعله- مستقیم **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱-۳-۱۳- کوره پیوسته رکوپراتوری **Error! Bookmark not defined.**

۳-۱-۳-۱۳- کوره پیوسته ریژنراتوری **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱-۳-۱۳- کوره پیوسته ذوب الکتریکی **Error! Bookmark not defined.**

۶-۱۳- تزریق مواد اولیه **Error! Bookmark not defined.**

۱-۶-۱۳- گلوبی ها **Error! Bookmark not defined.**

۷-۱۳- تجهیزات مورد نیاز برای بازیافت پرت حرارت گازهای حاصل از احتراق. **Error! Bookmark not defined.**

۸-۱۳- ریژنراتورها **Error! Bookmark not defined.**

۱-۸-۱۳- محفظه های بازیافت حرارتی نوع تناوبی **Error! Bookmark not defined.**

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

۱۴- شکل دهی محصول **Error! Bookmark not defined.**

۱-۱۴- شیشه‌های دست ساز. **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱۴- فرآیند تولید شیشه تخت **Error! Bookmark not defined.**

۳-۱۴- تولید شیشه تخت به کمک کشش **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱۴- تولید شیشه نورد شده یا شکل دهی صفحه ای **Error! Bookmark not defined.**

۵-۱۴- شیشه ریختگی **Error! Bookmark not defined.**

۶-۱۴- تولید شیشه جام به روش شیشه فلوت **Error! Bookmark not defined.**

۱-۶-۱۴- شرایط حمام قلع **Error! Bookmark not defined.**

۷-۱۴- فرآیند تولید شیشه مظروف به روش قالب گیری **Error! Bookmark not defined.**

۱-۷-۱۴- شکل دهی ظروف با قالب گیری **Error! Bookmark not defined.**

۲-۷-۱۴- تولید اتوماتیک ظروف شیشه‌ای **Error! Bookmark not defined.**

۳-۷-۱۴- روش تولید ظروف با ماشین IS **Error! Bookmark not defined.**

۴-۷-۱۴- روش تولید ظروف با روش IS دمش - دمش **Error! Bookmark not defined.**

۵-۷-۱۴- روش تولید ظروف با روش IS پرس-دمش **Error! Bookmark not defined.**

۸-۱۴- تولید ظروف آشپزخانه، محصولات هنری و تزئینی به روش پرس-دمش. **Error! Bookmark not defined.**

۱-۸-۱۴- روش تولید ظروف به روش پرسی **Error! Bookmark not defined.**

۹-۱۴- فرآیند شکل دهی چرخشی یا گریز از مرکز **Error! Bookmark not defined.**

۱۰-۱۴- محصولات شیشه‌ای روشنایی و الکترونیکی **Error! Bookmark not defined.**

۱۱-۱۴- شکل دهی حباب لامپ های رشته ای ... **Error! Bookmark not defined.**

۱۲-۱۴- تولید لوله ها و میله های شیشه‌ای **Error! Bookmark not defined.**

۱۳-۱۴- تولید لامپ تصویر تلویزیون. **Error! Bookmark not defined.**

۱۴-۱۴- تولید الیاف شیشه‌ای **Error! Bookmark not defined.**

۱۵-۱۴- فیبرهای نوری **Error! Bookmark not defined.**

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

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

۱-۱۵- تنظیم حرارتی رزین یا خشک کردن **Error! Bookmark not defined.**

۲-۱۵- تنش زدایی **Error! Bookmark not defined.**

۳-۱۵- عملیات حرارتی سختی دهی شیشه‌های جام **Error! Bookmark not defined.**

۴-۱۵- لایه گذاری شیشه‌های جام **Error! Bookmark not defined.**

۵-۱۵- پوشش دهی شیشه‌های جام **Error! Bookmark not defined.**

۶-۱۵- تزئین و پولیش دادن شیشه‌های جام **Error! Bookmark not defined.**

Error! Bookmark not defined...... برش مکانیکی شیشه‌های جام ۷-۱۵

Error! Bookmark not defined...... برش حرارتی شیشه‌های جام ۸-۱۵

Error! Bookmark not defined...... سوراخ کاری شیشه‌های جام ۹-۱۵

Error! Bookmark not defined...... عملیات پس از شکل دهی در شیشه جام ۱۰-۱۵

Error! Bookmark not defined...... عملیات حرارتی تنش زدایی در شیشه جام ۱۱-۱۵

Error! Bookmark not defined...... عملیات حرارتی سختی دهی شیشه‌های جام ۱۲-۱۵

Error! Bookmark not defined...... خم کردن شیشه‌های جام ۱۳-۱۵

Error! Bookmark not defined...... لایه گذاری شیشه‌های جام ۱۴-۱۵

Error! Bookmark not defined...... پوشش دهی شیشه‌های جام ۱۵-۱۵

Error! Bookmark not defined...... تنش زدایی و پوشش دهی محصولات شیشه‌ای مظلوف ۱۶-۱۵

Error! Bookmark not defined...... تنش زدایی محصولات تولیدی به روش پرس-دمشی... ۱۷-۱۵

Error! Bookmark not defined...... تکمیل حرارتی و خشک کردن الیاف شیشه‌ای..... ۱۸-۱۵

Error! Bookmark not defined...... بسته بندی و حمل و نقل محصولات شیشه‌ای..... ۱۹-۱۵

Error! Bookmark not defined...... پتانسیل های صرفه جویی انرژی در صنعت شیشه ۲۰-۱۵

Error! Bookmark not defined...... انرژی مورد نیاز..... ۱-۲۰-۱۵

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

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