

حفاظت و مرمت شیشه‌های تاریخی

وحیدپورزرغان

دانشجوی کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی

دانشکده‌ی مرمت دانشگاه هنر اصفهان

Email: Vahid_poorzarghan@yahoo.com

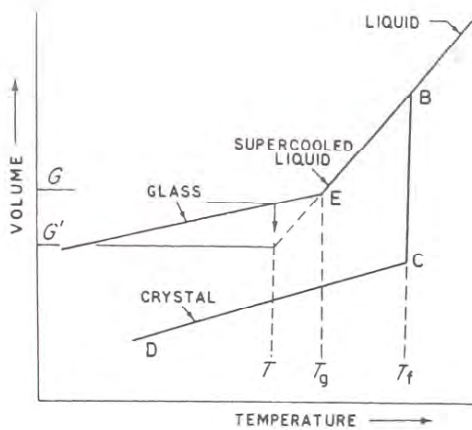
چکیده

در ادوار مختلف تاریخی از شیشه به عنوان ابزار جنگی، اشیاء و ظروف تزئینی استفاده شده است. آثار شیشه‌ای به دلیل ماهیت آسیب پذیرشان بسته به شرایط قرارگیری در محوطه‌های باستان شناسی و حتی در موزه‌ها دچار آسیب‌های جدی از قبیل آسیب‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌شوند. از این رو استحکام بخش‌ها و پوشش‌دهنده‌ها در حفاظت و مرمت شیشه‌های تاریخی از اهمیت خاصی برخوردارند. نتایج حاصله بر روی رزین‌های اپوکسی که برای استحکام بخشی و وصالی این آثار به کار رفته نشان‌دهنده‌ی مقبولیت رزین هگزتال در بین دیگر استحکام بخش‌ها می‌باشد. روش جدید سل - ژل (پوشش‌دهنده‌ی محافظ بانیان سیلیکونی) با آنکه هنوز مراحل آزمایشگاهی خود را طی می‌کند، می‌تواند راهکار مناسبی برای حفاظت و پوشش‌دهی آثار شیشه‌ای در مرمت‌های آینده باشد.

کلید واژگان: حفاظت، مرمت، شیشه‌ی تاریخی، آسیب، درمان

مقدمه

از دوران‌های بسیار دور شیشه‌های طبیعی خصوصاً اَبسیدین (obsidian)، پومیس (pumice) و پرلیت (pearlit)) که از سرد شدن گدازه‌های آتشفشان به وجود آمده، وجود داشته است و انسان از این طریق با نقش‌ذوب حاصل فرآیند شیشه با شفافیت و رنگ‌های گوناگون آشنا بوده است؛ به طوری که در دوران باستان تجارت وسیع و گسترده‌ی سنگ‌های طبیعی به صورت مهره، منجوق، قطعات تزئینی و ابزار نوک تیز برای دفاع و شکار بین قبایل و مردم تمدن‌های باستانی ساکن کناره‌ی شرق مدیترانه، مصر، سوریه و بین‌النهرین دلیل این ادعاست. طبیعی است آغاز شیشه‌گری خاستگاه منطقه‌ای است که علاوه بر دانش فوق‌دارای مواد اولیه‌ی فراوان و طبیعی مانند ماسه و قلیا در کنار یکدیگر باشند که با شواهد تاریخی، بین‌النهرین، اولین تمدنی است که تجربه‌ی ذوب شیشه را دارد و با توجه به اینکه تمدن بین‌النهرین مربوط به ۳۰۰۰ ق.م است، ۵۰۰ سال از قدمت شیشه‌گری در جهان می‌گذرد. با توجه به اینکه آریایی‌ها حدود ۲۰۰۰ ق.م از شمال کناره‌های رود سیحون واقع در شمال خراسان مهاجرت بزرگ به طرف اروپا، هند و ایران را شروع کردند در منطقه‌ی ماوراءالنهر و رود جیحون در شمال شرقی (پارت‌ها)، مرکز (مادها) و جنوب غربی (پارس‌ها) ساکن شدند و شهر نینوا که از مراکز مهم شیشه‌سازی بین‌النهرین بود مدتها زیر حکومت امپراطوری آشور بود که بعد به تصرف ماد درآمد. اگرچه ساکنان بومی ایران با سفالگری، ریخته‌گری مس، برنز و طلا آشنا بوده‌اند، اما شیشه‌سازی و انتقال این مهارت به قبایل آریایی و امپراطوری ایران از طریق شیشه‌گران نینوا صورت گرفته است. ناگفته نماند که از هزاره‌ی دوم ق.م از چغازنبیل در خوزستان و قلعه‌ی کوتی در گیلان مقدار زیادی مهره‌های استوانه‌ای به دست آمده است (برداشت آزاد از: دقت، ۱۳۷۸، صص ۴-۸).



تصویر ۱- نمودار درجه-دما مربوط به حالات مایع، بلور و شیشه (مارقوسیان، ۱۳۸۶، ص ۴)

با سرد کردن مایع از حالت اولیه A ، حجم به تدریج و به صورتی یکنواخت در امتداد خط AB کاهش می یابد.

اگر سرعت سرد کردن آهسته باشد تبلور قاعدتاً در دمای انجام T_f انجام خواهد شد. در این دما حجم به طور ناگهانی از نقطه B تا C کاهش می یابد. از آن پس با کاهش دما حجم جامد در امتداد خط CD کاهش خواهد یافت. اگر سرعت سرد کردن به اندازه y کافی بالا باشد، عمل تبلور در دمای T_f انجام نخواهد شد. در این حالت حجم مایع ابر سرمایش یافته (supercooled) در امتداد خط BE به کاهش خود ادامه می دهد. در دمای معینی که با T_g نشان داده می شود، منحنی حجم-دما به صورتی محسوس تغییر شیب می دهد و تقریباً به موازات خط CD که مربوط به جامد بلوری است ادامه می یابد. T_g به دمای استحاله یا انتقال به شیشه موسوم است. ماده y مربوط را فقط در زیر دمای T_g می توان شیشه نامید. موقعیت نقطه E ، نقطه ای که مربوط به دمای T_g است، با سرعت سرد کردن ماده تغییر می یابد. بنابراین بهتر است که از محدوده y انتقال سخن گفت نه از دمای انتقال. در T_g معمولاً گرانیوی ماده بسیار است و در حدود 10^{13} پواز می باشد. اگر دمای شیشه در T که کمی زیر دمای T_g قرار دارد ثابت نگه داشته شود، حجم آن که ابتدا دارای مقدار G است به آهستگی کاهش یافته و سرانجام به مقدار G' بر روی خط نقطه چین که ادامه y همان خط BE است خواهد رسید. سایر خواص شیشه نیز در حوالی T_g با زمان تغییر می کند. این فرآیند که طی آن شیشه به حالت پایدارتری می رسد، به تثبیت شدن موسوم است. در بالای دمای T_g این پدیده وابستگی خواص به زمان مشاهده نمی شود. در نتیجه y وجود اثرات تثبیتی، خواص شیشه تا حدودی به سرعت سرد کردن آن بستگی خواهد داشت، به ویژه به سرد کردن از محدوده y انتقال (برداشت آزاد از: مارقوسیان، ۱۳۸۶، صص ۲-۴، عباسیان، ۳۷۰، صص ۳۲-۳۵).

مواد تشکیل دهنده ی شیشه

شیشه از اختلاط بعضی از اکسیدها تهیه می گردد و خواص هر شیشه بستگی به نسبت، مقدار و نوع اکسیدهای سازنده y آن دارد. این اکسیدها عبارتند از:

گذشت زمان و رشد و نزول شیشه در طول دوره های تاریخی باعث باز شدن جایگاه ثابتی در بین دیگر آثار تزئینی شده است. آثار شیشه ای در زمان سلجوقیان به اوج خود رسیده و باعث ارزش دو چندان به این آثار در بین دیگر آثار در این دوره شده است. حال گذشت زمان و قرار گرفتن آن تحت شرایط محیطی مختلف باعث به وجود آمدن آسیب هایی بر روی این آثار شده-اند. این عوامل باعث فرسوده شدن و از دست دادن استحکام ساختاری شیشه ها و کم رنگ نشان دادن ارزش های هنری و زیباشناختی این آثار شده اند. شیشه مانند دیگر آثار در طول زمان بر اثر عوامل و شرایط محیطی دچار تخریب و آسیب شده و تأثیر این عوامل هر چه قدر بر روی شیشه ها کم باشد گذشت زمان می تواند باعث جبران این کمبود شود و باعث می شود که شیء در طول زمان، فرآیند زوال و تخریب خود را طی کند. مهمترین این عوامل، رطوبت است که شرایط را برای دیگر عوامل آسیب رسان مانند میکرو ارگانیزمها و تبادل یونی در ساختار شیشه فراهم می نماید. در این نوشته به مباحثی از قبیل فن شناسی شیشه های تاریخی و عوامل آسیب رسان بر روی آن ها در محوطه های باستانی (خشکی و زیر آب) همچنین مناسب ترین روش های حفاظت و مرمت از آثار شیشه ای در موزه ها پرداخته شده است.

شیشه یک جامد آمورف است. ماده y را آمورف گویند که از نظر ساختاری دارای نظم پر دامنه نباشد. یعنی اجزای تشکیل دهنده y آن (اتم، یون یا مولکول) در مقیاس چند برابر اندازه y خود از نظر چیده شدن در فضا دارای تناوب و نظم و ترتیب نباشد. مطابق این تعریف ماده y آمورف و شیشه دارای تعریف یکسانند. این تعریف بسیار عام، با وجود سادگی خود مورد قبول برخی از دانشمندان شیشه نیست. آکادمی ملی علوم آمریکا تعریف دقیقی برای شیشه پیشنهاد کرده است: شیشه ماده y است که از نظر آزمایش با اشعه X آمورف (بی شکل، غیر بلوری) باشد و از خود رفتار ویژه y انتقال به حالت شیشه ای بروز دهد. انتقال به حالت شیشه ای پدیده ای است که یک فاز آمورف جامد هنگام حرارت دادن به نمایش می گذارد و آن عبارت است از تغییرات کم و بیش ناگهانی برخی از خواص مانند ظرفیت گرمایی و ضریب انبساط حرارتی از مقادیری که خاص جامدات بلوری است به مقادیری که ویژه y مایعات است. دمای این تغییرات ناگهانی به دمای انتقال به شیشه یا T_g موسوم است. همانگونه که ملاحظه شد، طبق تعریف بالا، وجود پدیده y انتقال به شیشه یکی از الزامات وجود حالت شیشه ای است (برداشت آزاد از: عباسیان، ۱۳۷۹، ص ۱۴۵).

ارتباط بین بلور، مایع و شیشه را می توان به آسانی با یاری نمودار حجم-دما (تصویر ۱) نشان داد.

اکسیدهای شبکه ساز (آنیونی/اسیدی): اکسیدهایی هستند که پایه و اساس شیشه را تشکیل می دهند و ایجاد فاز شیشه ای می کنند؛ مانند SiO_2 ، B_2O_3 که از قدرت پیوندی زیادی برخوردارند و ماهیت اسیدی دارند.

اکسیدهای دگرگون ساز (کاتیونی/قلیایی): این اکسیدها با وارد شدن داخل شبکه ی پیوندهای $Si-O-Si$ ساختمان شبکه را قطع کرده و در حفره های شبکه سازی جای می گیرند و یونهای O^{2-} اطراف آن را احاطه می کنند. این اکسیدها (Na_2O ، K_2O) به عنوان کمک ذوب حرارتی یا روان کننده عمل می کنند و باعث کاهش ویسکوزیته می شوند. در شیشه های سیلیکاتی قلیایی با اضافه شدن مقدار برابر از هر نوع قلیایی، مقاومت شیشه تغییر خواهد کرد. اضافه نمودن اکسیدهای قلیایی حاکی مانند CaO و MgO مقاومت شیمیایی شیشه را بالا برده و از کریستالیزاسیون و هیدرولیز آن جلوگیری می کنند. اتصال در شبکه به علت داشتن ظرفیت ۲ در یون کلسیم محکم تر از اتصال $Na-O$ می باشد. بنابراین ملاحظه می شود که اغلب شیشه های معمولی دارای ترکیباتی از $Na_2O-CaO-SiO_2$ می باشد. به طور کلی هر قدر نسبت اصلاح کننده های کلسیم و پتاسیم بیشتر باشد، شیشه دارای پایداری بیشتری خواهد بود. هر قدر درصد سیلیس بیشتر باشد مقاومت آن نسبت به استخراج (خارج شدن از شبکه) بیشتر خواهد بود (برداشت آزاد از: دقت، ۱۳۷۸، ص ۳۳. مارفوسیان، ۱۳۸۶، صص ۳۸۲-۴۰۷).

اکسیدهای واسطه: اکسیدهایی نظیر آلومینیوم و آهن به عنوان واسطه عمل می کنند و شیشه را وارد یک حالت تشکیل دهنده (Forming) یا تغییر دهنده (Modifying) می نمایند و دارای قدرت متوسط هستند. نوع و مقدار تغییر دهنده ها باعث وارد آوردن آسیب جدی به ماهیت استحکامی زیاد یک شبکه ی سیلیکاتی ناخالص می گردد. اکسید آلومینیوم به دلیل خواص آمفوتر می تواند به عنوان پایدار کننده یعنی جلوگیری کننده از هیدرولیز شدن به عنوان سازنده ی شبکه مورد استفاده قرار گیرد (دیویسون، ۲۰۰۶، صص ۳-۶، نیوتن، ۱۹۸۹، صص ۵-۷).

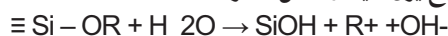
آسیب شناسی شیشه های تاریخی

از جمله مهمترین عواملی که باعث تخریب و از بین رفتن شیشه های تاریخی می شود می توان آسیب های ناشی از حضور در محیط های مرطوب، آسیب های ناشی از ضعف شبکه، آسیب های ناشی از مدفون بودن و عوامل محیطی از جمله اسیدها و اکسیدهای قلیایی خاکی را برشمرد.

آسیب های شیشه در محیط های مرطوب

وجود رطوبت به روش های گوناگون باعث تخریب می شود. «طبق نظریه ی چارلز خوردگی شیشه های سیلیکاتی-قلیایی و سیلیکاتی-قلیایی آهکی توسط آب از طریق سه واکنش زیر انجام می پذیرد:

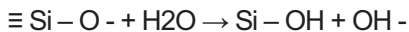
الف) نفوذ پروتن های آب به شبکه ی شیشه و جابجایی یونهای قلیایی و استخراج یون قلیا در داخل محلول



ب) شکست باند سیلیسیم-اکسیژن توسط گروه هیدروکسیل

$$\equiv Si - O - Si \equiv OH + \rightarrow \equiv SiOH + \equiv Si - O$$

ج) اکسیژن های پل نشده حاصل از واکنش قسمت (ب) توسط مولکول های آب، ایجاد گروه هیدروکسیل می نمایند و بعد دوباره واکنش (ب) تکرار می شود.



مولکول سیلیکات هیدراته با از دست دادن آب به سیلیس تبدیل می گردد.



این نوع واکنش کاملاً شناخته شده است و همان واکنشی است که باعث تبدیل اسیدسیلیسیک محلول در آب به سیلیس آمورف نامحلول می گردد.» (مارفوسیان، ۱۳۸۶، ص ۳۳۰)

آسیب های شیشه که با عناوین مختلف از جمله شیشه های گریان، ترکهای طولی و عرضی، سیاه شدن، پوسته شدن، حفره-دار شدن، قوس و قزحی، کدر شدن و غیره که نتایج حاصله از واکنش های شیشه با آب می باشد، با توجه به ساختار شیشه و محیط و PH محیط و اینکه واکنش تا چه مرحله ی پیشرفت کند علائم و آثار جانبی بر جای می گذارد که معمولی ترین آنها قوس و قزحی است که در بیشتر شیشه های باستانی به همراه تخریب های دیگر دیده می شود.

۱-۱: شیشه ی بیمار (گریان): در ترکیب شیشه، یون های قلیایی (سدیم، پتاسیم و منیزیم) با بار مثبت در شبکه ی یون های سیلیکات با بار منفی راخنشی می نماید. هرگاه یون های قلیایی از حدمعینی کاهش یابند، تحرک آنها بیشتر خواهد شد و در اثر مجاورت با رطوبت تحت عمل دیفوزیون قرار گرفته از شیشه خارج شده و فوراً با دی اکسید کربن هوا ترکیب و کربنات سدیم و پتاسیم تشکیل می گردد که بسیار جاذبه الرطوبه است و جذب رطوبت از محیط باعث شده که پیوسته خیس به نظر برسد. از این رو به آن شیشه ی گریان یا عرق ریز می گویند (برداشت آزاد از: دیویسون، ۲۰۰۶، ص ۱۴۵). (تصویر ۲)



تصویر ۲- شیشه ی گریان

(ت.م ۱۳۸۶/۱۱/۱۵ <http://www.Ancienttouch.edu>)

۱-۲: ترک های طولی و عرضی: وقتی یک شیشه از زمین خارج می شود، دارای رطوبت و موادی است که به سطح آن چسبیده اند. در نقطه ی اتصال آن دو نوع تجزیه (آنالیز) روی می دهد:

۱-۲-۱- آنالیز اسیدی: یون هیدروژن در این فرآیند باعث جدایش زنجیره ی شیمیایی بین اکسیژن و سیلیکون می شود.

۱-۲-۲- آنالیز قلیایی: توسط یون های هیدروکسید ساختار سیلیکون در ترکیبات تخریب می شود و باعث ترک طولی و عرضی می گردد.

ترک خوردن به شکل کریستالی فرآیند دیگری است که طی آن کریستال های موضعی در ساختمان شیشه ایجاد می گردد. طی عمل کریستال شدن، شیشه منقبض شده و ترک می خورد. ترک ها معمولاً از ناحیه ی کریستالین به ناحیه ی شیشه ای می باشد، در واقع وقتی که شیشه ی مذاب به طور ناگهانی سرد می شود به دلیل بالا بودن ویسکوزیته، اتم ها فرصت کافی برای این که به صورت یک شبکه ی کریستالین آرایش یابد را ندارد؛ اگر چه با اضافه کردن اصلاح گرهای شبکه، ویسکوزیته کاهش پیدا نموده در قسمت هایی از شبکه کریستال تشکیل می گردد و باعث کاهش استحکام مکانیکی شیشه می شود.

۱-۳- کدر شدن: تبادل یونی کاتیون ها و H^+ توسط آب ایجاد نمک های مختلفی در سطح شیشه می نماید که با تابش نور و دما واکنش تسریع شده و بعضی از اکسیدهای داخل شیشه مانند اکسیدهای مس از آن خارج و در نتیجه ایجاد کدری و رنگ باختگی می شود.

۱-۴- پوسته و حفره ای شدن: یون H^+ با شعاع یونی کوچکتر از کاتیونهای جایگزین شده باعث انقباض در سطح شیشه می گردد که ابتدا به صورت حفره سپس در اثر تکرار استخراج سیلیکا، سطح به صورت پوسته و لایه ی هیدروژنی در می آید. این واکنش در $PH=9$ نقطه ی بحرانی صورت می گیرد. (تصویر ۳)



تصویر ۳- پوسته ای و حفره ای شدن (برگرفته از: اچ، تیننت، ۱۹۹۹، ص ۸۹)

۱-۵: قوس و قزحی شدن: در واقع همان لایه ی شیشه ی هیدروژنی است که به صورت سیلیکای هیدراته و در اثر تداخل اشعه ی نورانی انعکاس می یابد. Brewster اثبات کرده است که با پر کردن و تزریق آب، قوس و قزح ناپدید و با خشک شدن آب از سطح دوباره ظاهر می گردد (برداشت آزاد از: دیویسون، ۲۰۰۶ ص ۱۴۶). (تصویر ۴)



تصویر ۴- قوس و قزحی شدن شیشه

(ت.م ۱۳۸۶/۱۱/۱۵ <http://www.Ancienttouch.edu>)

۱-۶: سیاه شدن: در شیشه های تاریخی لایه نمکی بارها دیده شده که رنگ آن ها سیاه و قهوه ای تیره و کاملاً مات شده اند. نقصان و کاهش یون $Fe(II)$ و $Mn(II)$ سبب کم رنگ یا سفید شدن می شود و در پیشرفت نمکی شدن این یون ها از باند شبکه ی سیلیکا آزاد شده و هیدراته می شوند. سطح، شروع به ترک خوردن و باز شدن و آب شروع به سوراخ کردن می کند. اتم ها دارای بار مثبت هستند و یون هیدروکسید آزاد می کنند. اکسیداسیون در شرایط قلیایی بالا در بین لایه های خیس و خشک سریع انجام می گیرد. یون منگنز $Mn(II)$ هیدراته شده ی زرد کم رنگ و یون هیدراته شده ی آهن سبز کم رنگ تبدیل به $MnOH$ و $FeOH$ قهوه ای تیره می شوند و در نتیجه در حفره ها لایه های سیلیکات هیدراته شده ی نمک باقی می ماند. ساختار مجدداً باز شده و کاتیون ها هیدراته می شوند و هیدرولیز انجام می گردد و اکسیدهای آبدار جدا شده، ته نشین و خارج می گردند (برداشت آزاد از: دقت، ۱۳۷۸، ص ۵۷).

عیوب ساختاری شیشه های تاریخی

شیشه های سیلیسی که در ساختار آنها تمام سیلیسیم ها توسط چهار اتم اکسیژن محاصره شده و این چهار وجهی های حاصله تشکیل مجموعه ی شش عضوی می دهند (در سه بعد) یک نوع ساختار ایده آل است. هر نوع انحراف از این حالت ایده آل نوعی عیب محسوب می شود. به طور کلی عیوب در ساختار شیشه ی سیلیسی می تواند دارای ماهیت های متفاوتی به قرار زیر باشد:

الف) برخی حلقه ها ممکن است دارای کمتر از شش وجه باشند.
ب) نوعی عیب متداول در شیشه های سیلیسی کمبود آنیون اکسیژن است که منجر به نوعی غیر استوکیومتری می شود. در نتیجه برخی از اتم های سیلیسیم دارای همسایه های اکسیژنی کمتر خواهند

بود. این وضعیت به ویژه هنگامی که ذوب سیلیس در محیط احیایی انجام شود احتمال وقوع خواهد داشت. در این صورت فرمول سیلیس به صورت SiO_{2-x} در می آید که در اینجا X معرف مقدار اکسیژن غایب است.

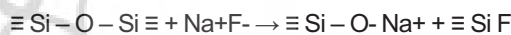
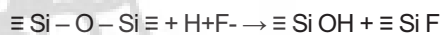
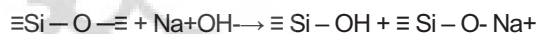
این امر منجر به تشکیل شیشه ی به اصطلاح احیائی می گردد که بسیاری از انواع شیشه ی سیلیسی، کم و بیش این حالت را نشان می دهند.

حضور گروه OH در شیشه خود نوعی عیب محسوب می گردد و این به علت حضور پل های هیدروژنی بین چهار وجهی-های SiO_4 می باشد. تمام عیوب فوق، بدون در نظر گرفتن وجود ناخالصی ها، ساختار و خواص فیزیکی شیشه ی سیلیسی را تحت تأثیر قرار می دهند (برداشت آزاد از: مارقوسیان، ۱۳۸۶، ص ۳۰۰، عباسیان، ۱۳۷۰، ص ۳۵، تویسرکانی، ۱۳۸۶، صص ۷۰-۷۵).

آسیب های ناشی از شرایط اسیدی و بازی

۱- شرایط اسیدی

سیلیس در اثر محلول های چون فلوئورین، اسید هیدروفلوئوریک و محلول های قلیایی به شدت آسیب می بیند که سرعت آسیب پذیری سیلیس به فرم کریستالین به مراتب کمتر از سیلیس به فرم آمورف می باشد. واکنش های دیپلمریزاسیون سیلیس به صورت زیر می باشد:



علت اساسی واکنش های فوق، ابتدا شکست پیوند اکسیژن-سیلیسیم است. این پیوند قوی قطبی است $O^{\delta-} \dots Si^{\delta+}$ و افزایش بار مثبت بر روی Si عاملی است جهت جذب نوکلوفیلی مانند OH^- و F^- . لذا در این گونه واکنش ها حمله ی OH^- به عامل Si^+ می باشد (برداشت آزاد از: ترنس مالونی، ۱۳۷۹، ص ۱۶۰، ریسمانچیان، ۱۳۷۶، ص ۷۸، مارقوسیان، ۱۳۸۶، ص ۳۳۹).

۲- شرایط قلیایی (اثر اکسیدهای قلیایی

خاکی در استخراج قلیا)

روند اصلی تخریب شیشه در حضور آب، شستشوی قلیایی یون ها می باشد. با افزایش اندازه ی کاتیون های قلیایی، مقاومت کاهش می یابد و به همین دلیل شیشه های پتاسی مقاومت کمتری نسبت به اندازه ی سدوایی نشان می دهند و به این دلیل شیشه ی پنجره-های قدیمی دو قرن ۱۹ و ۲۰ دارای تخریب بیشتری شده اند. در شرایط قلیایی PH بیشتر از ۹ پیوند $Si-O$ شکسته و منجر به لایه ی هیدرات سیلیکا روی سطح شیشه می شود (برداشت پراکنده از: استانی فورس، ۱۹۹۹، صص ۷۵۷-۷۵۹).

«یکی از عیوب مهم قلیایی ها در ترکیب با SiO_2 حلالیت آنها در

آب است.» (عباسیان، ۱۳۷۰، ص ۳۷۲)

افزایش مقدار CaO از ۱۰ درصد مولی باعث کاهش سریع در استخراج قلیا Na_2O می شود. اندازه ی شعاع یونی اکسیدهای تشکیل دهنده ی شیشه نقش بسیار مهمی در تخریب آن دارند، به طوری که در تعویض یونی H^+ با قلیا به دلیل کوچک بودن یون H^+ به نسبت قلیایی ها پس از جایگزین فضاهای خالی در شبکه افزایش یافته و این امر منجر به انقباض و جمع شدن لایه-ی سطحی شیشه می گردد و به همین جهت شیشه های پتاس که دارای یون بزرگتر نسبت به یون سدیم است، دارای نیمی از استحکام شیشه های سوذایی است و از طرفی اکسید کلسیم با یون بزرگتر باعث استحکام شیشه شده و در نتیجه در صورت استخراج نیز تخریب بیشتر خواهد شد. اکسید آلومینیوم به دلیل خواص آمفوتر می تواند به عنوان پایدار کننده یعنی جلوگیری-کننده از هیدرولیز شدن به عنوان سازنده ی شبکه مورد استفاده قرار گیرد. اکسید آلومینیوم Al_2O_3 در ترکیبات شیشه باعث بالا بردن مقاومت شیمیایی آن می گردد. اگر نسبت مولی اکسید آلومینیوم به اکسید سدیم بیشتر از یک شود، یون Al^{3+} به عنوان تغییر دهنده ی شبکه در شیشه موجب خوردگی می شود (برداشت پراکنده از: ریسمانچیان، ۱۳۷۶، صص ۵۷-۶۷).

اکسیدهای رنگی می توانند نقش مهمی در شیشه ها از لحاظ ایجاد مقاومت و یا آسیب خوردگی در آن ها داشته باشد (برداشت آزاد از: دیویسون، ۲۰۰۶، ص ۱۹۳).

در مورد شیشه های قلیایی-سیلیکاتی میزان مقاومت با افزایش یون قلیایی کاهش پیدا می کند و این نوع شیشه به شیشه های مریض معروف است. بریل (Brill) تعدادی از شیشه های مریض را مورد آنالیز قرار داده است و علت را کاهش میزان کلسیم به میزان ۳/ تا ۴/۷۱ درصد وزنی بیان کرده است. در پی بررسی، نمونه هایی از شیشه های فرسوده ی قدیمی توجه او را جلب کرد. در ابتدا میزان تخریب را یک لایه ی نازک سیلیکا حدس زد، ولی بعد از چند ماه متوجه میزان شدید تخریب در اثر خشک شدن اشیاء شد. او می گوید اشیاء قرن ها آب گرفته که با محیط به تعادل رسیده، وقتی به محیط بیرون راه پیدا کردند در خلال چندین ماه در اثر کاهش رطوبت و دهیدراته شدن، علائم تخریب در آنها مشاهده شد (برداشت آزاد از: نیوتن، ۱۹۸۹، ص ۱۴۴).

در شیشه ها با مقدار زیاد پتاس برای خنثی نمودن گداز آور به آنها سنگ چخماق اضافه شده است. این عمل باعث به وجود آمدن ترک ها و خوردگی های ریز در سطح شیشه شده است. برای برطرف نمودن این عیب از اکسید سرب استفاده شده است (برداشت آزاد از: ترنس مالونی، ۱۳۷۹، صص ۹۷-۹۹).

سیلیکات هیدراته رفتار و خاصیتی مانند سیلیکا ژل دارد، یعنی ماده ای است هائروسکوپ که باعث جذب و دفع آب می شود و تکرار این امر باعث ترک و تخریب شیشه های تاریخی می شود (برداشت پراکنده از: ریسمانچیان، ۱۳۷۶، صص ۵۷-۶۷).

علاوه بر موارد ذکر شده چگونگی ساخت نیز می تواند فرآیند تخریب را تسریع نماید، به عنوان مثال نحوه ی سرد کردن شیشه

در پنجره های خانه های قدیمی در طول خیابان Beacon در بستن، ماساچوست آمریکا دیده شده است (برداشت آزاد از: دیویسون، ۲۰۰۶، ص ۱۹۸).

۶- میکرو ارگانیزم ها (Micro-organisms)

رشد مواد آلی بر روی شیشه های انبار شده در شرایط رطوبتی و بی توجهی به پنجره های قرون وسطی ممکن است با خوردگی شیشه ارتباط داشته باشد.

میکرو ارگانیزم ها مانند خزه ها، قارچ ها و جلبک ها به شیشه های تمیز نمی توانند حمله کنند. آنها به منبع غذایی نیاز ندارند و غذای خودشان را به وسیله ی فتوسنتز به دست می آورند، که احتیاج به گرد و غبار، و یا حفره هایی بر روی شیشه که می توانند مکانی برای تجمع آنها فراهم سازند، دارند.

گلسنگ ها احتمالاً نمی توانند به طور مستقیم به شیشه حمله کنند، ولی خوردگی به وسیله ی رطوبتی که در خود نگه می دارند می تواند باعث تسریع در تجزیه ی شیمیایی شیشه شود.

(تصویر ۵)

بررسی شده که باکتری سیلیکوفاج (Silicophage) ممکن است به خوردگی شیشه های مدفون شده کمک کند، ولی هنوز جزئیات روشنی در این زمینه وجود ندارد (برداشت آزاد از: دیویسون، ۲۰۰۶، ص ۱۹۴، نیوتن، ۱۹۸۹، ص ۱۵۴).



تصویر ۵- رشد میکرو ارگانیزم ها بر روی شیشه (ت.م ۱۳۸۶/۱۱/۱۵ <http://www.Ancienttouch.edu>)

حائز اهمیت است، چرا که ثابت شده است شیشه اگر به آرامی سرد شود از دوام و استحکام بیشتری برخوردار است. وقتی شیشه سرد می شود یک لایه ی سیلیکاتی غنی روی آن تشکیل می شود که غلظت و تراکم این لایه یا فیلم بستگی به ساختار و نحوه ی ساخت آن دارد که نقش مهمی در تخریب پذیری دارد.

۳- مساحت شیشه

مساحت شیشه یکی از عوامل مهم خوردگی شیشه می باشد، زیرا میزان اجزایی از شیشه که در طی عمل تجزیه آزاد می گردد متناسب با مساحتی از شیشه که در معرض محلول قرار گرفته است؛ در واقع هر چه نسبت تغییر SA به V افزایش یابد استخراج سیلیس نیز افزایش می یابد. همچنین میزان قلیای استخراج شده با افزایش SA به V افزایش می یابد (برداشت آزاد از: دیویسون، ۲۰۰۶، ص ۱۹۷، نیوتن، ۱۹۸۹، ص ۱۸۰).

۴- اثر دما بر استخراج قلیا

مقدار قلیایی که از یک شیشه خارج می شود در مدت معینی از زمان با بالا رفتن حرارت افزایش می یابد. به ازای یک زمان معین هر ۸ تا ۱۵ درجه ی سانتیگراد افزایش حرارت بر اساس ترکیبات شیشه و نوع یون قلیایی تقریباً استخراج دو برابر می -گردد.

$$\text{Log } t_1 = \text{Log } t_2 + (T_2 - T_1) 23/4$$

t_1 = زمان برای خوردگی در دمای T_1

t_2 = زمان برای خوردگی در دمای T_2

T_1 = دمای محیط (دمای اولیه)

T_2 = دمای که بالا برده شده است (دمای ثانویه)

و همچنین تابع حرارتی استخراج قلیا بر حسب معادله ی (Arrhenius) به صورت زیر بیان می شود:

$$A = B e^{E/RT}$$

A = میزان واکنش مخصوص است که با حرارت تغییر می کند

B = ثابت سرعت

R = ثابت گاز

T = حرارت مطلق

E = انرژی اکتیواسیون تعریف شده است که به عنوان کمترین انرژی که یک سیستم باید برای واکنش که اتفاق می افتد به دست آورد (برداشت آزاد از: دیویسون، ۲۰۰۶، ص ۱۹۷).

۵- آفتاب زدگی (Solarization)

در سال ۱۸۷۵م فرادی یک گزارش علمی از تأثیر آفتاب زدگی بر روی شیشه ارائه داد که مشخص گردید شیشه هایی که بی-رنگ هستند برای مدت زیادی که در معرض نور خورشید قرار می گیرند، یک ته رنگ ارغوانی در آنها مشاهده می شود. این پدیده که به اسم آفتاب زدگی می شناسیم، نخست نشان می دهد که این تغییر رنگ در اثر تأثیر متقابل Fe_2O_3 و Mn_2O_3 می باشد که منجر به ایجاد Fe_2O_3 و Mn_2O_3 می شود. تأثیر آن به خصوص در پنجره ی خانه ها در قرن ۱۹م که به رنگهای زرشکی فام مشاهده شده به عنوان مثال

۷- لکه‌ی سیاه

شیشه‌های پیدا شده از حفاری‌ها ممکن است یک لایه‌ی سیاه روی سطح آنها وجود داشته باشد. این تاریکی یا تیرگی ممکن است به دلایل زیر باشد:

- ۱) اکسیداسیون یون‌های آهن و منگنز موجود در شیشه.
- ۲) فعالیت باکتری‌های احیاء کننده‌ی سولفور که تولید سولفور هیدروژن در شرایط بی‌هوازی می‌کند.
- ۳) ندرتاً به دلیل ایجاد سولفید سرب.

این موارد در شیشه‌هایی روی می‌دهد که در ترکیب آنها سرب زیادی وجود داشته باشد که در شیشه‌های قرون وسطی غیر معمول است.

شیشه‌های پتاسی که در ساختمان‌های شمال اروپا در قرون وسطی استفاده شده است، بر روی این شیشه‌ها بیشتر لکه‌های موضعی و حفراتی مشاهده شده است.

اثر تاریکی بر روی شیشه‌ها به دلیل اکسیداسیون‌های یون‌های آهن (III) و منیزیم (II) موجود در ساختار شیشه می‌باشد که از ماسه و خاکستر چوب راش که در ساختار آنها استفاده شده است می‌باشد. ته رنگ صورتی یون منگنز (II) هیدراته شده و ته رنگ سبز یون آهن (II) تبدیل به قهوه‌ای تیره (MnOH) و (FeOH) شده است. فرآیندهای اکسیداسیون در شرایط قلیایی در فصل مشترک لایه‌ی شسته شده‌ی شیشه خیلی سریع است. اکسیدهای آهن و منیزیم تنها در PH خیلی پایین قابل حل است و به طور کلی در PH برابر با ۹ یا ۸ غیر قابل حل هستند و حضور آنها در سطح شیشه نتیجه‌ی نشست کاتیون‌های قلیا است (برداشت آزاد: دیویسون، ۲۰۰۶، ص ۱۸۶، نیوتن ۱۹۸۹، ص ۱۹۰).

شیشه‌های مدفونی که بر روی آنها طراحی شده است را می‌توان با استفاده از روش بتا-بک اسکاتر (Beta-bakscatter) مشاهده کرد و طرحهایی که بر روی آن رسوبات و لکه‌های سیاه قرار دارند با وضوح روشن و طبیعی مشاهده نمود (برداشت آزاد از: کنایت، ۱۹۸۹، ص ۲۰۷).

شیشه در سایت‌های آبی

رسوب لایه‌ی کربنات بر روی شیشه‌هایی که در محیط‌های آبی وجود داشته‌اند، مشاهده شده است. بیشتر کربنات‌ها در آب دریا به صورت نامحلول هستند که از دی‌اکسید کربن هوا مشتق شده و به شکل کربنات هیدروژن (H_2CO_3) است. زمانی که میزان CO_2 کاهش یابد به همان نسبت PH افزایش پیدا می‌کند. در جاییکه CO_2 به طور آزاد در محلول وجود ندارد آب دریا بیشتر قلیایی از ۷/۵ است. اگر دما، شوری یا PH آب دریا افزایش یابد، کربنات‌ها نشست خواهند کرد، همانند کلسیم، منیزیم و یا کربنات استرانسیم. کربنات‌ها می‌توانند بر روی ماده‌های غیر آلی نشست کنند (برداشت آزاد از: کارمونا و دیگران، ۲۰۰۵، صص ۹۸-۱۰۰).

دریا از چهار طریق می‌تواند باعث نشست پوشش‌های کربناتی گردد:

- ۱) به صورت فیزیکی (به وسیله‌ی رشد میکروارگانیسم‌ها)

۲) بیوشیمی (به وسیله‌ی فعالیت میکروبیولوژیکها که باعث پایین آوردن PH می‌گردند)

۳) شیمیایی-فیزیکی (به وسیله‌ی محلول و نشست دوباره‌ی کربناتها) (تصویر ۶)

۴) الکتروشیمیایی (نشست روی کاتد و نواحی آند به خصوص فلز) کاهش باکتری سولفیت یک نقش مهم در نشست کربنات‌ها بازی می‌کند. به دلیل پایین آوردن PH، این لایه در دریا سخت شده و توسط لکه‌های آهن می‌تواند به شدت ایجاد لکه کنند. سولفید هیدروژن به وسیله‌ی باکتری احیاء سولفیت، باعث آزاد شدن سولفید هیدروژن می‌گردد و سولفید هیدروژن می‌تواند با یون‌های آهن در آب واکنش دهد و رسوب سولفید آهن ایجاد شده با کربنات کلسیم نشست دهد (برداشت پراکنده از: دیویسون، ۲۰۰۶، صص ۱۸۷-۱۹۰).



تصویر ۶- رسوبات کربنات بر روی شیشه در سایت‌های دریایی (ت.م. ۱۳۸۷/۲/۲۰۰۶، <http://www.hfmvgv.org/explore/artifacte/glass/asb-1387/2/2006>)

۷- حفره و پوسته شدن سطح

حفره‌ای و پوسته‌ای شدن روی سطح شیشه‌هایی که در معرض آب و یا هوا قرار داشته‌اند، بر روی شیشه‌های قرون وسطی مطالعه شده است. تخریب شیشه نتیجه‌ای از ایجاد حفره و پوسته در سطح بوده که در ابتدا ملاحظه شده است و دو پدیده‌ی متفاوت را به وجود می‌آورد. پیشنهاد شده که حفره‌ها و چاله‌ها تنها در شیشه‌های پتاسی به وجود می‌آید و پوسته شدن در شیشه‌های سودایی ایجاد می‌شود. ولی در واقع این طور نبوده است. به نظر می‌رسد که ایجاد سطح پوسته‌ای در حقیقت باعث ایجاد حفره‌هایی در سطح شده است. استنباط شده است که شیشه‌های (York minster بدون تخریب بوده است، به دلیل اینکه محتوای سیلیس این شیشه‌ها بیشتر از ۶۰ درصد مولی بوده است. شیشه‌های پوسته شده معمولاً دارای کمتر از ۶۰ درصد مولی سیلیس بوده است. حفره‌ها و پوسته‌های ایجاد شده روی شیشه عموماً در دامنه‌ی بین ۵۷ تا ۶۳ درصد محتوای سیلیس به وجود می‌آیند (برداشت پراکنده از: دیویسون، ۲۰۰۶، صص ۱۹۰-۱۹۲).

روش های درمان و مرمت

عوامل کمپلکس دهنده

برای برداشتن شوره ها و رسوبات شیشه که از سایت های باستانی به دست آمده با استفاده از دو روش شیمیایی و فیزیکی به برداشتن آنها اقدام می کنند. برای پاک کردن رسوبات که در سطح شیشه های تاریخی وجود داشته بیشتر از عوامل کیلیت ساز (Chelating agents) مانند پلی فسفات ها، اسیدهای آمینو کربوکسیل و اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک استفاده شده است. عوامل کمپلکس دهنده ی بالا پیوند چند گانه با یون فلزی تشکیل می دهند. موادی که توسط کیلیت دهنده ها برداشته می شوند، رسوباتی هستند که از کربنات کلسیم، سولفات کلسیم و ترکیب آنها با سیلیکات ها می باشند. یون های فلزی که باید برداشته شوند همان یون های هستند که در ترکیب شیشه وجود دارند مانند کلسیم. در هنگام تمیز کردن با این محلول ها باید توجه داشت که شیء کمترین زمان را در تماس با محلول داشته باشد (برداشت آزاد از: ریسمانچیان، ۱۳۷۶، ص ۷۶).

پلی فسفات ها برای نرم کردن آب جهت کلسیم و منیزیم معرفی شده اند و هنوز به عنوان پاک کننده های تجاری به طور وسیع استفاده می شوند، یکی از پلی فسفات های استفاده شده کالگون است که اثر آن بر روی شیشه ها متناقض به نظر می رسد. فرنزل (Frenzel) سال ۱۹۷۵ م استفاده از کالگون (Calgon) را پیشنهاد کرد، ولی بعد از ۴ سال فرودی کرافت استفاده از آن را متوقف کرد، زیرا که محلول به صورت لغزنده به زیر لایه ی تزئینات نقاشی رفته و باعث آسیب لایه های نقاشی شده است. اسیدهای هیدروکسی کربوکسیلیک که بستگی به PH دارد به دو صورت عمل می کند. در PH کمتر از ۱۱ این گونه اسیدها با قلیایی ها کمپلکس می دهند و جهت حمل کردن یون های کلسیم مقدار زیادی کمپلکس نیاز دارند و در PH بالاتر از ۱۱ موثرتر از EDTA و پلی فسفات ها برای حل کردن کلسیم می باشند. در PH برابر ۷ اسید گلوکانیک جهت برداشتن عناصر مس و لکه های آهن با اثر تقریباً کمی بر روی اصلاح گره های شیشه موثر است. کمپلکس های کربوکسیلیک در PH بالا به خصوص برای شیشه مضر می باشند. همچنین EDTA که جزء گروه اسیدهای آمینو-کربوکسیلیک می باشد باعث استخراج سرب در شیشه های سه جزئی (سیلیس، سرب، پتاس) می گردد. چنانچه عوامل کمپلکس دهنده در آب باشند، سرعت خوردگی شیشه افزایش خواهد یافت. عوامل کمپلکس دهنده در شرایطی می توانند سرعت خوردگی را کاهش دهند. مثلاً اتانول در سطح شیشه های سیلیکاتی هیدراته، جذب شده تولید اتیل سیلیسکات غیر محلول می نماید و اتیل سیلیکات به عنوان یک لایه ی محافظ عمل می کند (برداشت پراکنده از: دیویسون، ۲۰۰۶، صص ۱۹۹-۲۰۳، نیوتن ۱۹۸۹، صص ۱۷۴-۱۸۲).

امروزه از جدیدترین روش غیر تخریبی، لایه برداری توسط لیزر استفاده می شود که عمومیت نیافته است. این روش تجزیه و آزمایش در سال ۱۹۹۷ م بر روی نمونه های شیشه ی آسیب دیده از هر نوع تخریب قرون وسطی در مدرسه ی عالی مونستر (Munster) انجام گرفت^۳ (برداشت آزاد از: دقت، ۱۳۷۸، ص ۶۱).

چسب ها و استحکام بخش ها

پوسته های تشکیل شده روی شیشه را می توان با ماده ی ((C-luttu که در ماده ای فرار نظیر استون یا الکل محدود است با برس نرم تثبیت نمود. بعضی اوقات برای این کار از سیانوآکرلیک استفاده می شود. این ماده برای شیشه بسیار سخت بوده و برق و جلای نامطلوبی را ایجاد می کند (برداشت آزاد از: دقت، ۱۳۷۸، صص ۷۵-۷۱).

پوشش های حفاظتی شیشه باید دارای شرایط زیر باشد:

(۱) افزایش مقاومت شیمیایی و فیزیکی شیشه

(۲) مقاومت در برابر نور

(۳) حفظ کننده ی شفافیت شیشه

(۴) دارای انعکاس کم

(۵) برگشت پذیری

یکی از جدیدترین روش های پوشش دهی (Coating) شیشه، روش سل-ژل (Sol-gel) می باشد. پایداری پوشش های سل-ژل به کار رفته بر روی شیشه بالا می باشد و به نظر می رسد که هم سطح پوشش دهنده و هم سطح اورژینال، حالت طبیعی شیشه را دارند.

در آزمایش های صورت گرفته مشخص گردیده که پوشش دهندگی با ترکیب $(90SiO_2, 10ZrO_2)$ دارای انعکاس کم و پایداری نسبتاً خوبی می باشد. تأثیر حفاظتی به طور مستقیم با دمای استفاده شده برای تراکم افزایش می یابد که دمای ۲۵۰ تا ۴۰۰ درجه ی سانتیگراد، بهترین دما برای تراکم حرارتی بوده است و اساس حفاظتی خوبی به دست آمده است. کریستاله شدن بعضی فازهای پوشش دهنده ی سیلیکاتی خالص در لایه ی پوشش دهنده ها مشاهده نشده است. پوشش دهنده ی سیلیکاتی خالص برای پوشش دهندگی مناسب می باشد و بعضی از ترک های این پوشش دهنده ها، به دلیل ناصاف بودن سطح شیشه بوده و زمانی که تراکم حرارتی با دما مطابقت داشته باشد این ترک ها کاهش پیدا می کنند (برداشت آزاد از: کارمونا، ۲۰۰۶، صص ۱۳۲۶-۱۳۲۸).

روش سل-ژل برای شیشه هایی که در ترکیب آنها یون های سرب به کار رفته آزمایش گردیده است و نتایج نشان می دهد که پوششی مناسب برای سطح این شیشه ها می باشد (برداشت آزاد از: ویلی گاس، ۲۰۰۷، ص ۱۴۱).

روش غیر آبی سل-ژل، که بیشتر از روش سیلان ها مرسوم شده است می تواند به عنوان یک استحکام بخش مناسب برای لعاب-ها و شیشه ها باشد (برداشت آزاد از: برادلی، ۱۹۹۹، ص ۷۷۰).

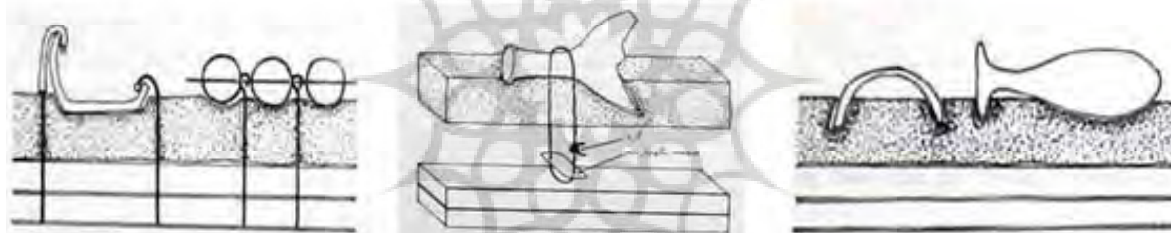
یکی از چسب های مورد استفاده برای چسباندن شیشه ها پارالوئید ((B-72 می باشد. این چسب برای شیشه هایی که در موزه قرار خواهند گرفت مناسب نمی باشد و بیشتر برای چسباندن شیشه هایی که در حین حفاری از زمین خارج می شوند مناسب می باشد. چسب سیانوآکریلات بعد از استفاده در PH محیط های قلیایی متلاشی می گردد. توصیه شده که برای چسباندن موقت تکه های شیشه قبل از وصالی دائم، آنها را با رزین اپوکسی از سیانوآکریلات که بسیار نرم است و داخل ترکها و کمبودها را می-پوشاند و به سرعت خشک می

شود استفاده شود (برداشت پراکنده از: دقت، ۱۳۷۸، صص ۷۱-۷۵).

اپوکسی های بیس فنول آ (Bis phenol A) زمانی که با عامل های انیدریدی ترکیب شوند، پیوندهای عرضی در ۸۰ درجه ی سانتیگراد تشکیل داده و حالتی پایدار و بدون زرد شدگی دارند. تغییر رنگ کم در طول زمان بر روی شیشه ها محسوس است. عیب اپوکسی های آلیفاتیک حساسیت آنها در برابر رطوبت است. از اپوکسی-رزین ها برای استحکام بخشی شیشه هایی که از سایت های باستان شناسی به دست آمده اند استفاده شده است، ولی زرد شدگی رزین را نمی توان از سطح برطرف نمود. اپوکسی-رزین های امریکایی ابلباند ۱-۳۴۲ (Ablebond 342-1) استفاده ی گسترده ای برای چسباندن شیشه ها در انگلستان و آمریکا داشته است. عیب این محصول ها تمایل داشتن هاردنر به کریستاله شدن در دمای اتاق است و قبل از مخلوط کردن با رزین هاردنر باید گرم شود. دیگر رزین های استفاده شده آرالدیت (AY 103/HY 956) و آرالدیت (Araldit 2020) است که آرالدیت ۲۰۲۰ برای چسباندن شیشه ها به کار می رود (برداشت پراکنده از: دیویسون، ۲۰۰۶، صص ۲۱۱-۲۱۳، نیوتن، ۱۹۸۹، صص ۱۷۴-۱۷۹).

در آزمایشی که به وسیله ی فیلتر UV بر روی تخریب چسب ها در سطح شیشه های قدیمی انجام گرفت، مشخص گردید که بعد از پیر سازی و کاربرد فیلتر UV اثری از تخریب فیزیکی بر روی شیشه ها وجود نداشته است و هر ترک و یا خراشیدگی بر روی سطح شیشه نتیجه ی استفاده از چسب ها یا زدودن آنها به صورت تخریب فیزیکی بوده است (برداشت آزاد از: ک. استاینی فورس، ۱۹۹۹، صص ۷۶۰). در حال حاضر مناسب ترین چسبها و استحکام بخش ها در مرمت و حفاظت ساخته های شیشه ای آرالدیت ۲۰۲۰ و هگز تال (Hxtal) و هیپوتک (Hpo-TEK 301-۲) می باشد.

روش حفاظتی که برای جلوگیری از شکستگی در انبار و موزه ی ویکتوریا و آلبرت برای اشیاء شیشه ای و سرامیکی طراحی شده است روش (Plastazot-LD) می باشد، روش بسته بندی بر روی فوم نرم بوده که هم برای نمایش اشیاء شیشه ای و هم برای نگهداری در انبارهای موزه مناسب می باشد (برداشت آزاد از: جونیتا، ۱۹۹۹، صص ۷۹۳-۷۹۶).



تصویر ۷- نحوه ی بسته بندی اشیاء شیشه ای و سرامیکی در موزه ی ویکتوریا و آلبرت (برگرفته از: جونیتا، ۱۹۹۹، صص ۷۹۶).

نتیجه گیری

حفاظت، نگهداری و مرمت شیشه های تاریخی به عنوان قسمتی از میراث فرهنگی کشور که در گذشته به عنوان اشیاء تزئینی و همچنین وسایل روزمره کاربرد داشته اند، با توجه به جایگاه ارزشمند این گونه آثار حفاظت و مرمت آن در بین حفاظت گران امری لازم و ضروری می باشد. آسیب پذیری این آثار بیشتر تحت شرایط مرطوب و پارامتر های دیگر محیطی می باشد که باید کنترل شود. مناسب ترین راهکار و روش حفاظتی برای این گونه آثار با توجه به پیشرفت تکنولوژی و فن آوری، روش نانو (سل-ژل) می باشد که به صورت لایه ی پوشش دهنده بر روی این آثار می باشد و می تواند جواب گوی برخی از مشکلات مرمتی مورد استفاده برای آثار شیشه ای باشد.

در پایان از زحمات و راهنمایی های دلسوزانه ی استاد محترم درس پروژه ی مرمت یک، آقای دکتر پدram و همکاری های دیگر دوستان که در تکمیل این مقاله یاری نمودند، کمال تشکر را می نمایم.

پی نوشت

۱) یعنی مایعی که به زیر دمای انجماد آمده اما انجماد حاصل نکرده و در نتیجه از نظر ترمودینامیکی در وضعیت فرا پایدار قرار دارد.

۲) Diffusion حرکت مولکول ها در داخل یک محلول از منطقه ای که دارای غلظت بیشتری است به سمت منطقه ای با غلظت کمتر جهت حصول همگنی در سراسر محلول؛ به عبارت دیگر مهاجرت اتمها در یک جامد، مایع، گاز است حتی در یک ماده ی خالص اتم ها جای خود را تغییر می دهند.

James&James. London

11. Navsarro. juanita; (1999), «moving display ; Four methods. used for mounting ceramic and glass objects in drawers «11 Th Triennial meeting Lyon 29 August – 3 September .1999. Icom. Vol, 2. James&James. London

12. Knight , Barry; (1989). «Imaging the design on corroded mediaeval windo glass By Beta – Back-scattering radiography », study in conservation. IIC,V.34,N.4 London

13. Staniforth , Sarah ; (1999). «Apreliminary investigation into the effect of self – adhesive ultraviolet absorring film on window glass «; 12 Triennial meeting Lyon 29 August – 3 September .1999. Icom. Vol 2. James&James. London

منابع اینترنتی

1. <http://www.ancienttouch.edu>
2. <http://www.hfmvgv.org/explore/artifacte/glass/asb>
3. [۳\) این روش که موفقیت آمیز بود، توسط افراد زیر انجام گرفت: مهندس فیزیک کریستف الانیک \(Christoph olainech\) از دفتر فن آوری لیزر، پروفیسور دکتر کلاوس دیک من \(Klus Dick\) سرپرست آزمایشگاه فن آوری لیزر در حوزه ی فن آوریهای فیزیک، این گروه از نظرات مشورتی حوزه ی مرمت برخوردار بوده اند.](http://www.science direct . / «chemical degradation of glasses under simulated marin medium «. Carmona.n and another. April 2007: ت.م 12/2/1387</p></div><div data-bbox=)

۴) تهیه کردن ماده ی شفاف شیشه ای در دمای پایین تر از دمای ذوب شیشه. این ماده به عنوان پوشش دهنده ی نازک حفاظتی برای شیشه مورد استفاده قرار می-گیرد و ضخامت آن بین ۲۰۰ nm تا ۵۰۰ nm می باشد.

(۵) <http://www.talasonline.edu/> م.ت.م ۱۳۸۷/۲/۱۲

منابع

۱. ترنس مالونی، افساجی، (۱۳۷۹)، «صنعت شیشه»، محمد رضانی، انتشارات گوتنبرگ، چاپ دوم، تهران
۲. تویسرکانی، حسین، (۱۳۸۶)، «اصول علم مواد»، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ ششم، تهران
۳. دقت، اشرف، ۱۳۷۸، «تحلیل علمی آسیبهای شیشه ی معبد چغازنبیل و طرح حفاظتی آن»، پایان نامه ی کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده ی مرمت، دانشگاه هنر اصفهان
۴. ریسمانچیان، فرزانه، (۱۳۷۶)، «تحقیق فرسودگی شیشه های تاریخی»، پایان نامه ی کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده ی مرمت، دانشگاه هنر اصفهان
۵. عباسیان، میر محمد، (۱۳۷۰)، «مبانی شیمی، فیزیک شیشه، سرامیک»، انتشارات گوتنبرگ، چاپ اول، تهران
۶. مارقوسیان، واهاک، (۱۳۸۶)، «شیشه: ساختار، خواص و کاربرد»، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ دوم

7. Davison ; Sandra (2006), «Conservation and restoration of glass» Butterworth Heinemann , London

8. H.tennent, Norman, (1999), «the conservation of glass and Ceramic» James&James, London

9. Newton; Roy.g (1989),»conservation of glass»; Butterworths, London

10. Bradley. Susan and another. (1999), «A novel inorganic polymer for conservation of glass and ceramic object», 11 Th Triennial meeting Lyon 29 August – 3 September .1999. Icom. Vol, 2.