ISSN: 1111-7699
DOI:.16/IJO.01 /2018

تشخيص الزجاج الأثري وطرق التدخل عليه

- نماذج من المجموعة الزجاجية للمتحف الوطني سيرتا-

حنان خربوش

أستاذة مساعدة جامعة قسنطينة2

hanane.kherbouche@univ-constantine2.dz

ملخص:

الزجاج هو نتاج انصهار عناصر مختلفة أهمها العناصر المزججة المتمثلة في السيليكا وكذا عناصر مذيبة كالصودا و/أو البوتاس، و/أو الرصاص، وأيضا العنصر المسؤول عن الاستقرار الفيزيائي للزجاج ألا وهو الجير، ويتميز الزجاج بعدة خصائص كاللمعان والشفافية، والكثافة والصلابة ولكن أيضا الهشاشة الميكانيكية والكيميائية؛ فالزجاج ليس مادة خاملة كيميائيا؛ ويتدهور بسهولة نتيجة تحولات ميكانيكية وكيميائية في هيكله التركيبي ويظهر هذا بوضوح من خلال تغير في خصائصه المذكورة سابقا.

الكلمات المفتاحية: الزجاج الأثري؛ المكونات؛ الخصائص الفيزيائية؛ مظاهر التلف؛ التدخلات

Résumé :

Le verre est le produit de la fusion de différents éléments ; pour l'essentiel, un vitrifiant (la silice), un fondant (la soude et/ou la potasse, et/ou le plomb) et un stabilisant (la chaux). Le verre se qualifie par plusieurs spécificités: brillance, transparence, dureté, compacité, …mais aussi fragilité mécanique et chimique, donc il n'est pas un matériau inerte. En effet, le verre s'altère facilement par des transformations chimiques de sa structure compositionnelle, dont les qualités du verre citées auparavant, en éprouvent visiblement.

Mots clé : Verre archéologique, composants, propriétés physiques et chimiques, manifestations des altérations, interventions

Abstract :

Glass is the product of the fusion of different elements; for the most part, a vitrifying agent (silica), a flux (soda and / or potassium hydroxide and / or lead) and a stabilizer (lime). Glass is characterized by several specificities: gloss, transparency, hardness, compactness, ... but also mechanical and chemical fragility, so it is not an inert material. Indeed, the glass is easily altered by chemical transformations of its compositional structure, of which the qualities of the glass quoted before, visibly feel them.

Key words: Archaeological glass, components, physical and chemical properties, manifestations of alterations, interventions

طالما همّش الزجاج في الاكتشافات والحفريات الأثرية، لأنه غالبا ما يتم العثور عليه في مرحلة متقدمة من التدهور، الناتج عن التغيرات المفاجئة سواء في المضمون الأثري الذي آواه أو داخل المتاحف في المخازن أو حتى في قاعات العرض.

نعلم أن الزجاج ليس فقط هشا ميكانيكيا، إذ يتأثر بأدنى صدمة لاسيما تلك الناجمة عن التغيرات المفاجئة في درجات الحرارة مثلما هو الحال في أي مادة صنعها الإنسان؛ فالزجاج مادة تسعى دائما لاستعادة شكلها الأصلي، وبالتالي تتحلل موادها الأولية.

تتعلق سرعة ومعدل تدهور المادة الزجاجية بخصائصها الفيزيائية والكيميائية من جهة، ومن جهة أخرى بأساليب تصنيعها وبيئتها مثل التغيّرات في درجات الحرارة ونسب الرطوبة وانتشار وتركيز الملوثات في الجو والضوء والعوامل البيولوجية.

1.تركيبة الزجاج

يحتوي الزجاج على مادة السيليكا الخام التي تكون عادة على شكل كوارتز، وهو فلز شائع في الرمال والحجر الرملي وكذا في الحصى والحمم البركانية، ويمثل هذا الأخير لوحده نسبة أكثر من 70% من الوزن الكلي للجسم الزجاجي النهائي. ونشير هنا أن درجة انصهار مادة "السيليس" تكون مرتفعة ولهذا يصعب تشكيله في بعض الأحيان. فسرعان ما أدرك حرفيو الفترة القديمة هذه التفاصيل وعرفوا أنه من الضروري خفض درجة الصهر إلى 1400°م، وهذا بإضافة بعض المكونات المعروفة بالمواد المذيبة[1] ومن بين هذه الأخيرة نجد مادة النطرون (Na_2CO_3)، الذي استعمل في صناعة الزجاج خلال العصور

[1] Pierre-Éric, G. Le Verre antique : Usages et techniques, le Proche-Orient, creuset de l'innovation verrerie, t.1, p.12

القديمة والوسطى، وهو متوفر في أماكن مختلفة، كما كان أكثر وفرة في مصر، خاصة في بحيرات النطرون بين الاسكندرية والقاهرة؛ وغالبا ما يخلط النطرون مع رمال واد بلوس في لبنان. إضافة إلى هذا، عرف زجاج النطرون تاريخا طويلا يمتد من العصر الحديدي (القرنين الثامن والسابع قبل الميلاد) إلى القرن التاسع الميلادي[2].

استعان القدامى أيضا بمادة أكسيد الصوديوم الذي يتميز بخفض درجة الذوبان وتكثيف بريق الزجاج ويساعده كذلك على مقاومة التلوث الجوي.

كما اعتبرت مادة أكسيد البوتاسيوم عنصرا هاما في صناعة الزجاج، فيكون غالبا على شكل رماد النباتات البرية التي نجدها خاصة في نبات السرخس، ونشير أن لهذا العنصر الكيميائي تقريبا نفس خصائص أكسيد الصوديوم، لكن فضل الحرفيون استخدامه في صناعة الزجاج المنفوخ لأنه يسمح للمواد المنصهرة بالبقاء في درجة حرارة المعالجة لفترة أطول من المدة التي يضمنها أكسيد الصوديوم. استعمل أكسيد البوتاسيوم كذلك على نطاق أوسع في العصور الوسطى العليا.

أما أكسيد المغنيزيوم المستخرج من الحجر الجيري، لا نجده في جميع أنواع الزجاج، بل يدخل أساسا في تركيبة زجاج النوافذ والعبوات الزجاجية، وتبقى أهم خصائصه هي خفض درجة الانصهار على غرار العناصر السابقة الذكر، إلا أنه كان يستعمل أيضا للحصول على اللون الأخضر الداكن[3].

فالزجاج عبارة عن مادة شفافة أو ملونة، ينتج من جراء صهر المكونات الأساسية التي يمكن تقسيمها إلى عناصر متزججة وعناصر قاعدية (المذيبة) وعناصر مثبّتة[4].

1.1.العناصر المتزججة

تعطي مادة السليكا – التي تصل نسبتها عادة 70% من الوزن الكلي للجسم الزجاجي النهائي – الزجاج حالته الزجاجية، وتساعد خاصيتها البلورية على إعطاء اللزوجة للمنتجات[5].

تعتبر عملية تشكيل الزجاج صعبة لأن انصهار المواد المتزججة يتطلب درجة حرارة عالية يصل معدلها إلى 1710°م بالنسبة لمادة السليكا، ولهذا تصعب عملية الصهر[6]، ولما أدرك حرفيو الفترة القديمة

[2] Pierre-Éric,Ibid, ,p13
[3] Pierre-Éric, G. op-cit,p13
[4] Davison,S. Conservation and Restauration of Glass, Butterworth-Heinemann, Oxford., 2003,p.4
[5] Pierre-Éric, G. Ibid,p12
[6] Davison,S.op-cit,, p.4

هذه التفاصيل وعرفوا أنه من الضروري خفض درجة الصهر إلى 1400°م ، راحوا يضيفون عض المكونات المعروفة بالمواد المذيبة[7] .

2.1.العناصر المذيبة

وتعرف بالأكاسيد القاعدية كذلك، وهى كل عناصر السطر الأول من الجدول الدوري التي تمتلك إلكترونا واحدا على مدارها الخارجي، يمنحها تفاعلية عالية وتوجد في الزجاج على صيغة أكسيدية رمزها R_2O، نذكر بعض المواد الأكثر استعمالا مثل: أكسيد الصوديوم (Na_2O) و أكسيد البوتاسيوم (K_2O) وأكسيد الليثيوم (Li_2O) الذي يستخلص من مادة الميكا، كلها تتحد مع مادة السيليكا لخفض درجة انصهارها ، لكنها تقلل من المقاومة الكيميائية للمنتوجات الزجاجية[8].

3.1. العناصر المثبتة

إضافة إلى المركبات المذيبة المسؤولة عن إعطاء خصائص مفيدة للزجاج، هناك مكونات أخرى تستخدم في صناعته، تعرف بالمُركبات المثبتة، وتكون هذه العناصر موجودة في الزجاج على صيغة أكسيد معادلته على شكل**RO** . يعد أكسيد الكالسيوم من أكثر الأكاسيد استخدما، وهو يستخرج من الجير الحي أو المطفأ الناتج من كلسنة كربونات الكالسيوم أو من "الدولوميت"[9].

تضاف عدة مثبتات من أجل تسهيل عمل الحرفي وزيادة خواص المادة الزجاجية، فبفضل تركيبته المزدوجة من أكسيد الصوديوم والجير يمكن تسمية هذه المادة بالزجاج الصودي–الجيري، أما أكسيد الألومينيوم فيوجد بشكل خاص في الرمال الغنية بالكوارتز، ويوجد بصفة طاغية في الزجاج العتيق، بينما يتواجد عنصر أكسيد الحديد غالبا على سطح الصخور الطبيعية، وله دور مزدوج في صناعة الزجاج نظرا لإمكانية استعماله سواء كمثبت أو كملوّن؛ تقوم هذه العناصر المثبّتة بتثبيت المُركبات أثناء تشكيل الزجاج لتعطيه الطواعية قدر الإمكان، وترفع المقاومة الميكانيكية(مقاومة الشدة) للزجاج، كما تساهم في التخفيض من قابليته للذوبان في الماء ثم تمنح للأواني مظهرا لامعا[10].

4.1. العناصر الإضافية

[7] Pierre-Éric, G. Ibid, p.12
[8] Davison,S.Ibid, p.4
[9] Davison, S. p.5
[10] Pierre-Éric, G. pp.14-15

تتمثل في العناصر التي تدخل كملونات، وغالبا ما تضاف على شكل أكاسيد أو أملاح معدنية أو حتى على شكل مسحوق المعادن، وتكون نسبتها ضعيفة جدا حتى لا تحدث تغييرا ملموسا في خصائص الزجاج؛ تكون ملونات الزجاج مثل الحديد أو الكوبالت على شكل أيونات موجبة، فتذوب تماما وتنتج كتلة زجاجية ملونة متجانسة[11].

2.الخصائص الفيزيائية والكيميائية

تبين البنية الفيزيائية والكيميائية للزجاج (الغير بلورية) بعضا من خصائصه المتمثلة في الشفافية والهشاشة، فيسمح تموضع الذرات في الزجاج بمرور الضوء بسهولة ويعطيه شفافية السوائل، في حين تتبع هشاشة الزجاج من عدة عوامل كالصلابة والضغط الداخلي المتولد أثناء عملية التبريد[12].

1.2. الخصائص البصرية

تعد الشفافية من مميزات السوائل، لكن كون الزجاج مادة غير متبلورة، يجعله أقرب إلى السائل من حيث الهيكل، لأنه يعكس الضوء المرئي وكذلك بعض الأشعة الفوق بنفسجية والأشعة تحت الحمراء، فإذا امتصت جزيئاته الأشعة الواردة يصبح الزجاج عاتما[13].

وينفرد الزجاج أيضا بخصائص بصرية، إذ بإمكانه تكبير الصور أو تصغيرها من جراء انكسار الأشعة الضوئية، وهذا وفقا للعلاقة بين زاوية الشعاع الوارد مع زاوية الشعاع المنكسر التي تجعل الزجاج يقلل من سرعة الضوء الذي يمر من خلاله وزيادة عن هذا يستطيع الزجاج تفكيك الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف السبعة[14] .

2.2. اللزوجة

تقاس لزوجة السائل بمقاومته للتدفق، ويُعرف أن الزجاج المصهور يتميز عن باقي السوائل بلزوجة فائقة، تتغير كلما تغيرت درجة الحرارة؛ تعتمد اللزوجة على البناء الجزيئى للمائع وبالتالي على قوى التماسك بين الجزيئات، فتقل هذه الأخيرة مع ارتفاع درجة الحرارة، ويعد هذا دليلا على تميز السائل لأنه يستجيب للحركة، وتنشأ اللزوجة بوجود ما يشبه بالاحتكاك بين طبقات السائل ببعضها البعض، الذي يقلل الحركة[15].

[11] Davison,S. p.6
[12] Davison, S. op-cit,p.13
[13] Ibid, p.13
[14]Davison, S. p.13
[15] Ibid, p.11

تزداد اللزوجة بانخفاض درجة الحرارة، فعند عملية التبريد تنشأ بين الجزيئات فراغات ممتلئة بفقاعات من الهواء، ينتج هذا ضغطا بين الداخل والخارج فتتشكل قطعة زجاجية غير متجانسة، وبذلك تصبح هشّة وتظهر عليها تشققات دقيقة وتتحطم عند أدنى احتكاك[16].

3.2. التمدد الحراري والمرونة

تسمح خاصية المرونة أو الطواعية في المواد المنصهرة للحرفيين الأكثر مهارة إنتاج قطع بأشكال متقنة، ويكون الحرفي حرا في إطلاق العنان لخياله[17] ويتعلق الأمر هنا بمعامل التمدد، فالزجاج كباقي الأجسام الأخرى، لديه قابلية التمدد بفعل الحرارة، ومعامل التمدد الحراري الطولي* للزجاج صغير حيث يتراوح بين 0.5 و 1.0 لكل درجة حرارة مئوية ويعود هذا في الواقع إلى طبيعة التكوين الكيميائي له، وتشكل مادة السيليكا به أدنى معامل تمدد قيمته 0.05 لكل درجة حرارة مئوية، بينما يصل معامل تمدد المكونات الأخرى كالأكاسيد القاعدية (الصودا والبوتاس) إلى 1.7 لكل درجة حرارة مئوية، وبالتالي يعتمد التمدد الحراري للزجاج –إلى حد كبير– على كمية الأكسيد القاعدي الداخلة في تركيبه[18] وتتغير ليونته بشكل تناسبي بين المقطع الطولي والمقطع العرضي.

إضافة إلى ما سبق يتميز الزجاج بمرونة عالية تجعله قابلا للعودة إلى شكله الأصلي عندما يتوقف الفعل الذي يسبب المرونة[19].

4.2. الكثافة

يكون الزجاج المتكون من مادة السيليكا والمواد القاعدية فقط أقل الأنواع كثافة، إلا أن إضافة مادة الجير له تزيده من هذه الخاصية[20]، وتعطي مادة الرصاص الموجودة ببعض أنواع الزجاج كثافة عالية[21].

---

[16] Davison, S. op-cit, p.12

[17] Pierre-Éric , G. op-cit, p.17

*حساب معامل التمدد: م ل = ل$_2$ – ل$_1$ / ل$_1$ × Δد؛ م ل: معامل التمدد ؛ Δد = د$_2$ – د$_1$ ،ل$_1$: الطول قبل التسخين؛ ل$_2$: الطول بعد التسخين؛ د$_1$: درجة الحرارة قبل التسخين؛ د$_2$: درجة الحرارة بعد التسخين

[18] Davison,S. Ibid ,p.12

[19] G. Bontemps, Guide du verrier traité historique et pratique la fabrication des verres, cristaux, vitraux, librairie du dictionnaire des arts et manufactures, Paris, 1868, p.35

[20] Pierre-Éric, G. Ibid , p.18

5.2. الصلابة

لا يمكن تعريف خاصية الصلابة بسهولة، لأنها تعتمد على عدة خواص أخرى للمادة، وتقاس الصلابة بسلم "موس" Mohs، الذي يبين أن المواد اللينة يمكن خدشها من قبل مواد أخرى أصلب منها. تتراوح صلابة الزجاج بين 4.5 و 6.5 درجة على هذا المقياس[22]، فمن المعروف أن الزجاج يتميّز بالهشاشة، ومن المفارقات أن لهذه المادة صلابة لا تضاهي صلابة مادة الماس، وهي الوحيدة القادرة على كشطه أو قطعه؛ فكلما زادت كمية مادة السيليكا زادت صلابة الزجاج ومقاومته[23]. تتميز جميع أنواع الزجاج في درجة حرارة عادية بالصلابة، لكنها ليست مطلقة إذ تتباين حسب المواد الداخلة في تركيبتها؛ فمثلا يكون الزجاج ذو الأساس البوتاسي والرصاصي أقل صلابة من زجاج الصود والجير أو الزجاج المحتوي على البوتاس والجير[24].

6.2. الخصائص الحرارية والكهربائية[25]

يتأثر الزجاج بالتغيرات المفاجئة لدرجات الحرارة التي تتعرض لها القطع الزجاجية لكونه موصل سيء للحرارة، ولذلك لا تصل الحرارة إلى جميع الأجزاء بنفس السرعة، ويترتب على ذلك تمدد الأجزاء التي وصلت إليها الحرارة، بينما يحدث العكس عند الانخفاض المفاجئ لدرجة الحرارة، ولذلك يجب إعادة عملية التسخين التي تطلبها أشكال وسماكة الأدوات المصنوعة، لكن هذا يسبب في إحداث عيوب تظهر بعد فترة طويلة، فلو حدث أي تغيير مفاجئ في الحرارة أو أي فعل ميكانيكي أخر تتشقق وتتكسر القطع الزجاجي.

يعتبر الزجاج موصل رديء للكهرباء حتى وإن كان الزجاج ذو الأساس الصودي أو الكلسي أكثر ناقلية للكهرباء من الزجاج الذي يدخل في تكوينه البوتاس أو الرصاص أو الكريستال وبالتالي يكون أقل شراهة لرطوبة الهواء.

3. مختلف العوامل المؤثرة على الزجاج الأثري

يتأثر الزجاج بالظروف المحيطة به؛ فإذا كانت هذه الأخيرة سيئة تنقص مقاومته بصورة كبيرة، إذ تؤدي نوعية الهواء المحيط به والرطوبة النسبية في المتحف مثلا أو حتى عوامل أخرى كالزمن وتركيبة

---

[21] Davison,S. Ibid ,p.12
[22] Davison ,S.op-cit, p.13
[23] Pierre-Éric, G.op-cit, p.18
[24] Bontemps,G. op-cit, p.35
[25] Ibid, pp. 31-33

العجينة، إلى إتلافه وتدهوره مع الإشارة إلى أن الهواء والرطوبة يلعبان الدور الرئيسي في إحداث تغيّرات فيزيائية وكيميائية في تركيبة الزجاج[26].

وقبل التطرق إلى كيفية العلاج والتدخل على القطع الزجاجية، يجب أن نتوقف عند معظم العوامل المسببة في تدهور هذه المادة ومحاولة تفسير وفهم ميكانيزمات تأثيرها، التي لا تزال غير محددة بشكل واضح:

1.3. العوامل الفيزيائية

ينكسر الزجاج بسهولة، فكونه مادة هشة يجعله عرضة للتلف الفيزيائي، وهذا بسبب وجود عيوب في التصنيع، كالتصدعات أو تعرضه لصدمة حرارية أو الكشط، كلها تشكل نقاط ضعف في الزجاج، وتكون التحف المتكوّنة من أكثر من قطعة واحدة أكثر عرضة للتأثير[27].

يكون التلف الفيزيائي (التكسر والتحطم) في غالب الأحيان ناجم عن الحوادث المتعلقة بالتعامل مع التحف، كالتعبئة أو عند احتكاك الزجاج بمواد أكثر كثافة منها.

أما بالنسبة للتلف الذي تسببه الصدمة الحرارية، فينتج عند التغير المفاجئ في درجات الحرارة، وهذا ما يؤدي إلى تمدد وتقلص المادة في وقت قصير؛ ويعتبر هذا إجهادا ما يحدث كسورا عشوائية[28]، كما يتعرض الزجاج إلى الكشط الزجاج من جراء استخدامه خلال فترة حياته (مثل الخدوش في أواني الأكل) أو خلال تدخلات سابقة؛ مثل الخدوش التي تتركها بعض أدوات التنظيف كالمشارط.[29]

2.3. العوامل الكيميائية

قد تكون عوامل التلف داخلية كتلك المتعلقة بالتركيبة الكيميائية للزجاج، أو خارجية لها صلة بالبيئة أو المناخ المحيط بقطع الزجاج، وهذا سواء كانت في محيط اكتشافها أو في مكان حفظها بالمتحف في قاعات العرض أو في المخازن. ولا يكون تأثير العوامل الكيميائية سطحيا فقط بل يمتد إلى مكونات الزجاج كذلك؛ لأنه لم تراع مقادير المكونات المستخدمة في تصنيعه بعض الأحيان، وبذلك ترتبط آلية التدهور بتركيبة الزجاج نفسه؛ فالزجاج الذي يتكون من السليكا بنسبة (73 – 74%) والبوتاس بنسبة

[26] Davison,S. op-cit,p.169
[27] Ibid, p.169
[28] Davison, S. p.,170
[29] Ibid, p. 170

(16–22%) وكربونات الصوديوم بنسبة (7 – 13%)، ينتج أواني ذات مواصفات جيدة تقاوم التأثير السيئ للعوامل الجوية المحيطة به[30]، على عكس الزجاج المصنوع من أكسيد الحديد أو النحاس الذي يتحلل بسرعة أقل من الزجاج الذي يحوي على مادة المنغنيز التي تستعمل في الفترات القديمة لتبييض الزجاج وتعرف بصابون الزجاج، ولذلك نادرا ما يحافظ الزجاج عديم اللون على نقاوته الأصلية وتبدو القطع ضبابية[31].

تتمثل العوامل المتعلقة بمحيط الاكتشاف أساسا في الماء بمختلف حالاته الفيزيائية التي تحدث عملية تبادل أيونى بين الأيونات القاعدية وبين أيونات الماء، تتسبب في ارتفاع درجة الحموضة[32]، ولا يقتصر هذا فقط على محيط الاكتشاف، إذ تتأثر أيضا المجموعات المعروضة أو المحفوظة في المخازن بظاهرة التكثيف أو الرطوبة[33].

3.3. الغلاف الجوي

تتعرض القطع الزجاجية عندما تستخرج من محيط اكتشافها إلى التلف، إذ ينتج عن تفاعل الغازات السامة الموجودة في الهواء مع الماء محلول حمضي و / أو ترسبات على الزجاج، وهذا بسبب تواجد غازات حامضية الهواء، وخاصة مادة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، وغاز ثاني أكسيد الكربون(CO_2)، لكن هذا الأخير لا يهاجم الزجاج مباشرة، بل يتحول بعد اتحاده مع الماء إلى الهيدروكسيدات، وتؤدي هذه الكربونات الحامضية إلى ظاهرة الاسترطاب وهذا بجذب الماء إلى سطح الزجاج[34].

يؤدي تفاعل مادة السيليكات القاعدية مع الأحماض الكربونية الموجودة في الغلاف الجوي، إلى تشكيل طبقة بيضاء على سطح الزجاج وبالتالي يفقد بعضا من شفافيته ويمكن ملاحظة نفس التأثير في الأواني التي ظلت لفترة طويلة في بيئة رطبة[35] وهذا الذي يعرف بالتبادل الأيوني؛ فيحدث تأين السليكا الى مجموعة سيلكا سالبة وأيونات الصوديوم الموجبة حسب المعادلة التالية:

$$=Si–OH + H_2O + Na \rightarrow H_3O^+ + =Si–O^- —Na^+$$

[30] Ibid,p173
[31] Morin ,J. La verrerie en Gaule sous l'empire Romain, Paris, 1922-1923,p.22
[32] Davison, S. Ibid, p.174
[33] Ibid, p.174
[34] Davison,S. op-cit, p.190
[35] Pierre-Éric,G. op-cit, p.16

بفضل قدرتها على الحركة، تهاجر أيونات الصوديوم وتترك سطح الزجاج لتحل محلها أيونات الهيدروجين الناتجة عن تأين الماء إلى "أيون الهيدروكسيل"؛ وبالتالي يحدث فائض في أيونات الهيدروجين، فتتحلل مركباته الأساسية، وتُكوّن هذه الأيونات طبقة لامعة وقزحية على سطح الزجاج[36].

4.3. الرطوبة والضوء

يمكن أن تسبب الرطوبة بمختلف ظواهرها كالتكثف والامتزاز، تدهور التحف الزجاجية وهذا بإحداث خلل في الاستقرار الكيميائي، وتكون النتيجة زيادة نسبة الحموضة على سطح الزجاج، وكذلك ترسب المركبات غير القابلة للذوبان، كالسليكا المتفككة على شكل طبقة رقيقة من الأكاسيد؛ تكون هذه الطبقة معتمة وتؤدى الى تثبيت الضوء الساقط على الزجاج ولا تسمح بنفاذه.

تصاب القطع الزجاجية بالتآكل السطحي عند ارتفاع نسبة الرطوبة، وتتشكل قطرات من الماء على السطح (الامتزاز) تسبب في ظهور شبكة من تشققات دقيقة تتطور على الطبقات السطحية للزجاج، ففي البداية تلاحظ فقط تحت المجهر وتكون حامية للأثر، لكن في حالة استمرار هذه العملية، يصبح من الممكن ملاحظتها بالعين المجردة؛ إذ تمتد هذه الشقوق إلى عمق سطح الزجاج و تنمو حتى تتحول الى عدة طبقات تُفقد للقطعة تماسكها[37].

من الصعب الكشف عن تأثير تذبذب الرطوبة والحرارة على الزجاج مقارنة بغيره من المواد (مثل الخشب والورق) لأنه أقل حساسية منها[38]، غير أن القطع الزجاجية الرديئة الصنع يكون تأثير الرطوبة عليها شديدا، فالرطوبة تؤثر دائما كيميائيا على الزجاج[39]

4.تشخيص مظاهر التلف لبعض القطع من المجموعة الزجاجية المعروضة في متحف سيرتا

تمكننا عملية التشخيص التي تعتبر واحدة من المبادئ الأساسية للحفظ، من التعرف على حالة اللقى الأثرية ومدى ضرورة التدخل عليها. توجد بعض القطع الزرقاء لون في حالة حفظ جيدة على عكس قطع أخرى أصبح لونها الأبيض باهت وفاقد للمعانه، وبالتشخيص عن كثب نلاحظ ما يلي:

- فقدان الشفافية

[36] Davison,S. Ibid ,p. 175
[37] Ibid, p. 191
[38] Newton, C. et . Logan, J« Le soin de la céramique et du verre » in Notes de l'institut Canadien de conservation, Canada, 1990, p.4
[39] Bontemps,G. op-cit,p.39

– ظهور تقشرات على السطح

– التقزح اللوني: ويظهر هذا الأخير على مستوى الطبقات السطحية التي تحتوي على تركيز من أكاسيد المعادن، وتؤدي الأشعة الضوئية الساقطة إلى ظهور ألوان قزحية، وكلما امتد التقزح اللوني إلى طبقات بسمك أكبر، تصبح القطعة الزجاجية أكثر هشاشة وتتفتت عند أدنى احتكاك. (الصورة 01)

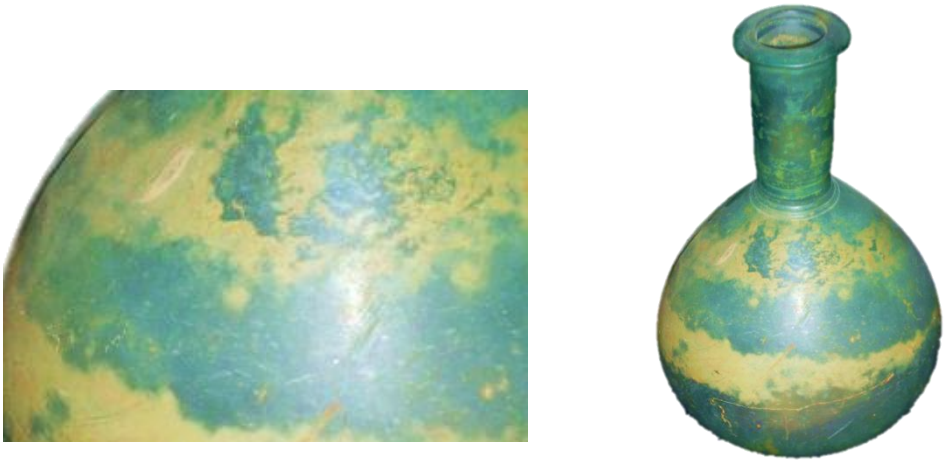
– ظهور بقع داكنة (بنية أو سوداء)؛ و هذا بسبب تأكسد الحديد والمنغنيز، أو الأيونات الموجودة في الزجاج، وكذا بسبب نشاط البكتيريا المنتجة لعنصر الكبريتيد في الظروف اللاهوائية[40]. (الصورة 02)

– **الترسبات:** تظهر على بعض الأواني ترسبات على سطحها الداخلي، قد تعود لاستخداماتها اليومية قبل عملة الدفن (الصورة 03)، وكما تظهر على السطح الخارجي لبعض القطع ترسبات كلسية أو ترابية تشكل طبقات سميكة أثناء عملية الدفن(الصورة 04).

الصورة 01: انتشار التقزحات اللونية

الصورة 02: ظهور بقع سوداء على القطعة

[40] Davison,S. op-cit, pp.183-186



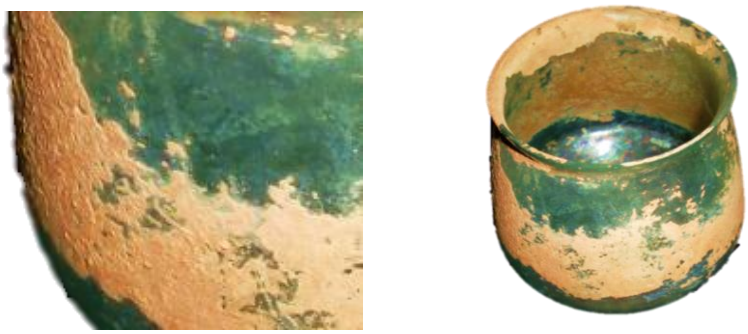
الصورة 03: ظهور ترسبات كلسية على السطح الداخلي للقطعة

- **النضح:** وهو نوع من الأضرار التي تلحق بالزجاج بسبب طبيعة تركيبته، والنضح هو تشكيل قطرات من الماء على سطح الزجاج تصبح حليبية، وهي نتيجة لامتزاز بخار الماء الموجود في الهواء على سطح القطعة الزجاجية، فتساهم هذه الظاهرة في تحلل بعض المكونات الذائبة وتنتقل إلى سطح التحفة الزجاجية، ويمكن أن تتفاقم هذه المشكلة بسبب عدم استقرار الرطوبة النسبية، حيث يمكن لهذه القطرات أن تكون قاعدية جدا فتسبب تلفا بتفاعلها مع أية مادة موجودة في محيطها المباشر. (الصورة 05)
- **التشققات:** يساعد النسيج الغير بلوري للزجاج على انتشار تشققات تمثل نقاط ضعف في جسم القطعة وتشّكل خطورة عليها، وخاصة عندما تتعرض القطعة الزجاجية لإجهاد ميكانيكي أو حراري[41]. (الصورة 06)

- **الكسور:** تتعرض القطع الزجاجية للتكسر بسبب تواجدها تحت التربة، لأن جدرانها رقيقة ولا تتحمل ضغط التربة من جهة، وبسبب ضعف المقاومة الميكانيكية لمادة الزجاج من جهة أخرى

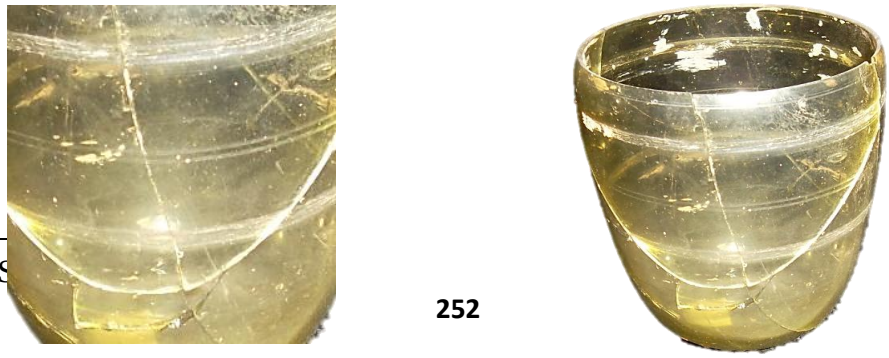
[41] Davison,S. op.cit., p.280

فهي سهلة الكسر والتهشم، وهذا ما يؤثر سلبا على تماسك القطع الزجاجية الأثرية. يمكن تحليل الكسور على الزجاج بصريا من أجل تحديد أصولها والاتجاهات التي انتشرت فيها؛ إلاّ أنه ليس بالسهل دراسة الكسور التي تعرضت لها القطعة في فترات قديمة والمعرف عنها أنه تكون (الكسور) بمعدل بضعة ملليمترات في القرن الواحد[42]. (الصورة 07)



الصورة 04: ظهور ترسبات ترابية على سطح القطعة

الصورة 05 : آثار النضح على سطح القطعة



[42] Davison,S

الصورة 06: توضح انتشار التشققات

الصورة 07 : كسور على مستوى قاعدة القطعة

5. طرق علاج الزجاج

هناك مناهج مختلفة متعلقة بطريقة التدخل على الزجاج الأثري، لكن المنهج المعمول به عادة هو التدخل الوقائي، فمن الأفضل القيام بتدخلات وقائية وحماية اللقى ضد عوامل التلف[43]، وتتمثل هذه التدخلات في التنظيف والتقوية وإعادة التجميع وسد الثغرات، والحرص على اتخاذ كل التدابير اللازمة لضمان سلامة القطع، وضرورة استعمال مواد مجرّبة ومصادق عليها، وإضافة إلى هذا يجب تسجيل كل تدخل على القطعة؛ لأن عمليات الصيانة والترميم ليست بوصفة صالحة لجميع الحالات، فقد تساعد الدراسة الأثرية والتقنية على اقتراح تدخلات أخرى ملائمة، وذلك حسب الإمكانيات المتوفرة.

نشير هنا أن هذه العلاجات تكون متلائمة لحالة حفظ كل قطعة وفقا لمحيطها المباشر في المتحف؛ إذ تستدعي القطع الشديدة التلف تدخلات مباشرة، وهذا بمحاولة إيقاف مسار التدهور، في حين لا تخضع القطع السليمة لأي علاج باستثناء عملية التنظيف الشامل.

1.5. عملية التنظيف

1.1.5. مواد التنظيف

[43] Newton, C.et Logan,J. op.cit., p4

تتمثل المواد المستعملة لتنظيف الزجاج في الماء والأحماض، ويتماشى استعمال كل واحدة منها وفقا للحالة التي بتطلبها التدخل[44]:

1.1.1.5 الماء

يمكن استعمال الماء مقطرا أو على طبيعته لإزالة الأملاح الذائبة، مع العلم أن ماء الحنفية (على طبيعته) يحوي أملاحا معدنية قابلة للذوبان مثل الكالسيوم والكبريتات والمغنيزيوم، لا تؤثر هذه الأخيرة على سطح القطعة، ويجب إزالتها إما بالتقطير أو باستعمال راتنجات التبادل الأيوني للحصول على ماء منزوع الأيونات[45].

2.1.1.5. الأحماض المعدنية

تستخدم الأحماض المعدنية لإزالة الرواسب السطحية، ونذكر منها على سبيل المثال الهيدروكلوريك، والنيتريك الهيدروفلوريك. تكون هذه الأحماض المعدنية على شكل محاليل مركزة؛ كحمض الهيدروكلوريك بتركيز 30 %؛ وحمض النيتريك (HNO_3) بتركيز 75% أو 90 % وحمض الكبريتيك (H_2SO_4) بتركيز 98 % وحمض الهيدروفلوريك (HF) بتركيز 40 %؛ وعليه ينبغي تخفيف تركيزها بالماء، ويتم هذا بإضافة الأحماض إلى الماء وليس العكس، حتى نتفادى خطر غليانها[46].

2.1.5. آلية التنظيف

يطبق على الزجاج نوعين من التنظيف وهما كالآتي:

- **التنظيف الميكانيكي**

يتم تنفيذ التنظيف الجاف الميكانيكي عادة، باستخدام أدوات مثل الفراشي اللينة لإزالة الرواسب المختلفة[47] ، فمثلا ينزع الغبار بفرشاة ناعمة بدلا من استعمال القماش ، وهذ من أجل تفادي تعلق انسجته بسطح القطعة[48]، كما يتم نزع بعض الترسبات اللينة باستعمال عود خشبي صغير أو فرشاة ناعمة رطبة أو حتى بواسطة قطعة قطن مبللة بالماء المقطر أو بحمض الكلور[49].

[44] Davison,S. op.cit., p.199
[45] Ibid, p.200
[46] Davison,S. op-cit,p.203
[47] Ibid, p.203
[48] Newton, C.et Logan,J.op.cit, pp.3-4
[49] Jean Michel, A.. Restauration de céramique et du verre, 1976, p.116

وفي حالة التصاق هذه الترسبات بشده على السطح ولا يجدى معها استخدام الوسائل السابقة، يتم اللجوء أيضا إلى ورق الصنفرة الناعم وذلك بعد ترطيب سطح الزجاج، ثم تنظيفه بشكل دائري حتى تنتهي العملية من دون أن يحدث أي تشويه على السطح [50].

- **التنظيف الكيميائي**

يمكن تنظيف القطعة الزجاجية باستخدام الماء المقطر أو الماء المنزوع الأيونات، وينبغي أن يكون الماء فاترا، ويستحسن إضافة كمية صغيرة من مادة الإيثانول (بتركيز 5 ٪) كعامل ترطيب، فهي لا تؤثر سلبا على القطعة إذا كانت في حالة حفظ جيدة.

تجفف الأواني الزجاجية تدريجيا في الهواء دون الاستعانة بجهاز لتسريع عملية التجفيف[51]، بل يفضل وضعها فوق رقاقات ورقية ماصة و في مناخ مستقر، ويمكن أيضا أن تنفذ عن طريق الغمر في خليط من الكحول الإيثيلي والإيثر[52].

تنقع القطعة في حمام من سائل حامضي مثل حمض "الخليك" بتركيز 2 أو 3٪ لتساعد على تليين الطبقة الكلسية المترسبة، ثم يتم شطف القطعة بالماء، ونشير هنا أن شطفها غير ضروري لأن تأثير الحمض على الزجاج قد يشكل طبقة واقية[53].

2.5. التدعيم

تتم عملية التدعيم قبل أو بعد التنظيف، مع العلم أنه يحتاج إلى مدة طويلة من الزمن ولا تطبق إلا على القطع التي تعاني من تلف حاد، فقبل مباشرة هذه العملية يجب مراقبة درجة الحموضة والرطوبة النسبية للمحيط المباشر للقطعة، حتى يتم اختيار المواد الملائمة والحد من تأثيرها، فعامة تستعمل الراتنجات الاصطناعية المُذوبة في محلول البوليمير (مادة الأسيتون) الذي يساعدها على التصلب بعد تبخره[54]، مع الإشارة إلى ضرورة مراعاة طبيعة وخصائص كل من هذه الراتنجات والمذيبات؛ لأنه إذا

[50] Newton, C.et Logan,J.Ibid pp.3-4
[51] Ibid pp.3-4
[52] Le Tiec, N.« Note sur les traitements de verres médiévaux (fouilles archéologiques de Saint-Denis) / Notice on conservation of medieval glass (archaeological excavations in Saint-Denis. » In: Revue archéologique du Centre de la France. Tome 24, fascicule 1, 1985, p.99
[53] Ibid, p.99
[54] Ibid, p.98

كانت مثلا الراتنجات بلزوجة عالية فلا يمكنها اختراق سطح الزجاج، وهذا سيؤدي إلى تكوّن قشرة سطحية تحول دون التوصل إلى النتيجة المرغوب فيها[55].

ومن بين المواد المدعمة الأكثر استعمالا[56] نذكر:

– الباراليويد Paraloid B 72 ،الذي يخفف في مادة التُولوين أو الأسيتون، وتتم عملية التدعيم هنا بغمر القطعة المعالجة في محلول ذو تركيز عالي حتى يتم إزالة فقاعات الهواء وقد تستدعي العملية تكرار الغمر في تركيز منخفض لا يقل عن 5٪ .

– كحول البُوليفينيل Polyvinyle ، الذي يستعمل في محلول مائي بتراكيز منخفضة.

– راتنجات الاكريليك، التي تستعمل كمدعم مؤقت لحماية الزجاج قبل عملية التنظيف.

ولإنجاح عملية التدعيم، يشترط فيه أن تكون القطع مجففة وإلا سيترك هذا الراتنج شريطا أبيضا على السطح من الصعب إزالته في ما بعد [57].

3.5. إعادة التجميع

تستدعي القطع التي تكون على شكل شظايا إعادة تجميعها حتى تسهل قراءتها، غير أن هذه العملية ليست بالسهلة لأنه لا يوجد مؤشر لموضع هذه الشظايا كما هو الحال في القطع الفخارية، وتقتضي عملية إعادة التجميع استخدام شريط لاصق يمكن نزعه تدريجي بواسطة الأسيتون[58] .

4.5. اللصق

قبل عملية لصق شظايا القطعة الزجاجية، يجب مايلي:

– فرز شظايا الزجاج، كل حسب موضعه

– تنظيف فواصل الكسور بالأسيتون لإزالة الأوساخ الدهنية الناتجة عن اللمس[59].

– وضع الغراء بين نقطتين محددتين على طول الكسر بعد تحديد مواضع تقاطع الشظايا[60].

يجب الحرص على عدم تطبيق كمية زائدة من المادة اللاصقة على الزجاج لأنه يكون من الصعب إزالته من على السطح[61]، ولتفادي ظهور المادة اللاصقة، من المستحسن استعمال غراء البوليفينيليك ألكاني Polynylique Alcaner الذي يختفي دون ترك آثار اللصق[62].

---

[55] Davison, S. op.cit,pp.264
[56] Le Tiec, N. op.cit ,p.99
[57] Ibid,p.98
[58] Ibid, p.99
[59] Davison,op-cit, S. pp.263-277
[60] Le Tiec, N. Ibid ,p99
[61] Davison, S. Ibid ,pp.263-277

أما أهم المواد الناجعة والمستعملة في اللصق[63] نذكر ما يلي:

– راتنجات سيانوكريلات (cyanoacrylates)، تتميز بسهولة استخدامها على الفواصل الرفيعة بالقطعة؛ فهي تتغلغل عن طريق الخاصية الشعرية. وهي كذلك عديمة اللّون وشفافة وانعكاسية، فتتبلمر في ثوان في درجة حرارة الغرفة.

– نترات السليلوز

– بولي ميتاكريليت، أو ما يعرف بـ Paraloid B–7

5.5. سد الفجوات

تُسد الفجوات بالراتنجات الاصطناعية مثل نترات السيليلوز و Paraloid B–72 وكذا الإبوكسي Epoxy ، وتتم هذه العملية في الحالات التي تكون فيها الفجوة هامة وتشكل خطرا على تماسك القطعة[64].

6.5. إزالة الترميمات السابقة

تظهر أحيانا على بعض القطع ترميمات سابقة، لكن ليس من السهل إدراك المواد المستعملة لذلك، أما لإزالتها فيمكن استعمال الماء إما باردا أو فاترا، وإن لم يعط هذا التدخل نتيجة إيجابية، يتم اللجوء إلى استعمال مواد كيميائية مثل الأسيتون، أوثاني كلور الميثان التي تطبق سواء بطريقة مباشرة كاستعمال فرشاة صغيرة أو بطريقة غير مباشرة وهذا من خلال تعريض القطعة إلى بخار تلك المواد[65] .

7.5. الوسم

يتم الوسم بوضع طبقة من محلول مكون من مادة Paraloid B 72 بتركيز عال نسبته 50٪، حتى تكتب عيلها معلومات القطعة ، ثم توضع طبقة أخرى على الوسم من نفس المحلول لتثبيت الكتابة [66].

8.5. التخزين

تُخزن القطع في بيئة مستقرة تكون فيه درجة حرارة معتدلة وتتراوح فيها الرطوبة النسبية بين 45 و50%، والتي يمكن تعديلها بإضافة "هلام السيليس" ؛ إضافة إلى هذا يوصى بوضع القطع داخل أكياس

---

[62] Jean Michel,A.op.cit, p.117
[63] N. Le Tiec, op.cit,p.99
[64] Davison,S. op.cit., p.284
[65] Ibid, pp.272-276
[66] Le Tiec, N. Ibid ,p.100

من مادة "السيلوفان" الشفاف لتفادي التبادلات بين القطع ومحيطها، وكذا تمكين رؤيتها من دون الاضطرار إلى لمسها، كما يجب تخزين القطع بعيدا عن الاهتزازات والصدمات والتدفئة المتواصلة[67] .

9.5. العرض

يمكن أن تصبح وسائل العرض مصدرا لإتلاف القطع من خلال المواد الضارة الصادرة منها، مثل الغبار والكائنات الدقيقة والتفاعلات الناتجة عن الصدأ ..إلخ، ولذا يجب أن تكون خزائن العرض وحوامل القطع مصنوعة من المعادن المعالجة ضد الصدأ[68] بمادة بيرمونغانات المنغنيز permanganate de magnésium.

يجب عرض القطع داخل الخزائن على النحو التالي:

– أن تكون متباعدة عن بعضها البعض، وهذا من أجل تفادي الاحتكاك فيما بينها.

– فصل أجزاء القطعة الواحدة عن بعضها، كعرض الغطاء بالقرب من القطعة وليس فوقها، أو تثبيته بواسطة خيط رفيع (خيط الصيد) لتجنب سقوطها عند حمل أو تحريك القطعة.

– تقديم القطع الصغيرة عن القطع الكبير لتظهر بشكل أوضح

– تكون خلفيات الخزائن من المرايا حتى تعكس تفاصيل القطع، والاستغناء عن وضع مصادر للإضاءة المباشرة

– استخدام مرشّحات الضوء على النوافذ لامتصاص الأشعة تحت الحمراء والفوق بنفسجية، التي تسبب ارتفاع درجة الحرارة داخل قاعة العرض.

خلاصـــــة

تتمثل الخطوة الأولى في علاج أية مادة أثرية وخاصة الزجاج الأثري في الفحص البصري الدقيق للتحفة، والتي يمكن أن تكشف عن أدلة مهمة في طريقة صنعها، فمثلا يحتوي الزجاج المنصهر قبل تشكيله على فقاعات هوائية، وتظهر هذه الأخيرة بعد التبريد في بعض الأوعية الزجاجية المصنعة بتقنية النفخ أو الصب، وبالتالي تشكل أيضا نقاط ضعف ميكانيكي للوعاء الزجاجي، وهذا ما يعرف بالعوامل الداخلية للتلف الناجمة عن أخطاء في الصناعة. يمكننا الفحص البصري أيضا من تقديم معلومات عن ترتيب مختلف مراحل التصنيع وتأثيرها لاحقا على القطعة الزجاجية.

[67] Le Tiec,N. op-cit, p.100
[68] Ibid, p.100

يتم اتخاذ قرار حول العلاجات مطلوبة للصيانة بداية من التنظيف البسيط لإزالة المواد المترسبة أو الملتصقة بالمادة الزجاجية، ولا يجب المبالغة في التنظيف، لما قد تحتفظ به الأواني الزجاجية من آثار محتوياتها الأصلية مثل العطورو الزيوت والأدوية أو حتى الترسبات من المواد ذات تركيبة غير واضحة، التي يمكن أن توفر أدلة على بيئة الدفن.

الأواني الزجاجية من بين المواد الأثرية الأكثر عرضة للكسر، وكان يتم إصلاحها باستعمال مجموعة متنوعة من مواد لاصقة وميكانيكية، بما في ذلك المواد اللاصقة ذات مصدر حيواني والأسلاك المعدنية غير أن هذه التقنيات كانت تشوه الزجاج من ناحية المظهر الجمالي وحتى الاستقرار الميكانيكي والكيميائي لهذه المادة، لكن ومع تطور المواد اللاصقة عديمة اللون، أصبح الترميم وسيلة لإجراء إصلاحات قوية مستقرة وغير مرئية تقريبا، وتوجد أنواع مختلفة من البوليمرات؛ بما في ذلك البوليستر الأكريليك والإيبوكسى، كلها مواد متاحة ليست فقط قوية وتحافظ على جمالية القطعة المعالجة، بل هي خاملة كيميائيا ويمكن إزالتها بسهولة مستقبلا وتعويضها بمواد أخرى.

من أهم جوانب المحافظة هو توفير ظروف آمنة ومستقرة للتخزين والعرض أو ما يعرف بالصيانة الوقائية، وهي لا تقل أهمية عن أي علاج مباشر فعّال، فبالنسبة لمعظم القطع الزجاجية فيجب أن تكون الرطوبة النسبية مستقرة وتقارب خمسين في المئة (50%)، وفي درجة حرارة ثابتة خمسة وعشرين درجة مئوية (25°م)، وبيئة خالية من الغبار.

إن بعض الأنواع من الزجاج ذات التراكيب غير مستقرة بطبيعتها، فيسوقها هذا للتتدهور بسرعة نسبيا حتى في ظروف متحفية ملائمة، فعندما يمتزّ بخار الماء في الهواء على سطح هذه الأواني الزجاجية يسبب في حل مكوناتها القلوية، و يعرف ذلك "بتعرق" أو "بكاء" الأسطح الزجاجية، وعندما يصبح الهواء أكثر جفافا، ويتبخر الماء من على السطح، سوف تتشكل شبكة من الشقوق تؤدي إلى ظاهرة تعرف باسم "crizzling" .

ينتج عن التقلبات المتكررة في الرطوبة النسبية في المخزن، ظهور رقائق من الزجاج التي تنفصل عن سطحه، ويمكن أن تفقد المادة الزجاجية في نهاية المطاف جل المعلومات التاريخية والفنية التي حملتها، لذا من الضروري البحث عن ظروف تخزين مثلى.

فضلا عن تشخيص أنواع تلف هذه المادة الصلبة والهشّة في نفس الوقت واقتراح علاجات مختلفة ومتنوعة حسب تفاوت درجة وحالة حفظ كل قطعة زجاجية، يظل التعامل مع الزجاج الأثري واحد من التحديات المستمرة في مجال الحفاظ عليه.

قائمة المراجع

1. Jean Michel, A. Restauration de céramique et du verre, 1976
2. Newton, C.et Logan, J.« Le soin de la céramique et du verre » in Notes de l'institut Canadien de conservation, Canada, 1990, 1-6
3. Bontemps,G. Guide du verrier traité historique et pratique la fabrication des verres, cristaux, vitraux, librairie du dictionnaire des arts et manufactures, Paris, 1868
4. Pierre-Éric, G. Le Verre antique : Usages et techniques, le Proche-Orient, creuset de l'innovation verrerie, t.1
5. Morin,J. La verrerie en Gaule sous l'empire Romain, Paris, 1922-1923, 3.
6. Le Tiec Nicole. Note sur les traitements de verres médiévaux (fouilles archéologiques de Saint-Denis) / Notice on conservation of medieval glass (archaeological excavations in Saint-Denis. In: Revue archéologique du Centre de la France. Tome 24, fascicule 1, 1985. pp. 97-100.
7. Davison,S. Conservation and Restoration of Glass, Butterworth-Heinemann, Oxford., 2003
8. حنان خربوش، دراســة أثرية تقنية للمجموعة الزجاجية المحفوظة بالمتحف العمومي الوطني سيرتا، مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماجستير في الصيانة والترميم، جامعة الجزائر2، معهد الآثار، 2014.(غير منشورة