دراسة تجريبية لبعض المواد المستخدمة
فى العلاج الكيميائى للزجاج الأثرى

أ.م.د/ سلوى جاد الكريم ضوى(●) د/ رمضان عوض عبد الله (●●)

ملخص البحث Abstract:

ظهرت فى الآونة الأخيرة من القرن الماضى حركة علمية تجمع بين دراسة الزجاج الأثرى كيميائيا، وصيانته وترميمه فى ذات الوقت، غير أنها كانت تتميز بالتحفظ الى حد كبير حول مسألة علاج ظاهرة صدأ الزجاج كيميائيا. وبذلك فتحت المجال أمام الباحثين المتخصصين للبحث والتجريب فى هذا الموضوع.

والبحث الجارى يهدف الى دراسة فاعلية بعض المواد والمحاليل الكيميائية ذات الصفة العضوية وغير العضوية فى علاج الآثار الزجاجية المتآكلة بهدف تقوية الداخلية وتدعيم أسطحها الخارجية مع التخلص من العوامل المساعدة فى نشاط التفاعلات الكيميائية المسببة لتلف الزجاج الأثرى المستخرج من الحفائر أو المحفوظ فى المتحف.

مقدمة البحث Introduction :

حظيت ظاهرة صدأ الزجاج Corrosion of glass سواء المدفون فى التربة أو المعروض بالمتاحف باهتمام العلماء والباحثين فى مجال كيمياء الزجاج عامة، والزجاج الأثرى على وجه الخصوص، إذ تمثل هذه الظاهرة سمة غالبة لمعظم الآثار الزجاجية التى عثر عليها فى الحفائر الأثرية من مختلف العصور التاريخية، وفى مختلف المواقع الأثرية، هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى فانها تعد الظاهرة الأخطر بين مظاهر تلف الزجاج الأثرى على الإطلاق، للدرجة التى يتحول معها جسم الزجاج الى مادة هشة متآكلة ومتحولة دون أن يبقى من أصله شئ.

هذا وقد تناول العديد من العلماء ظاهرة تآكل الزجاج بالبحث والدراسة، وقد تطابقت وجهات النظر العلمية دونما أى إختلاف بينهم، بأن هذه الظاهرة هى نتاج عمليات تبادل أيونى Ian exchangeبين مركبات الزجاج (السليكا – الصوديوم - الكالسيوم) وبين الماء أو الرطوبة. وهو ما ينتج عنه فى النهاية ذوبان العناصر والمركبات القابلة للذوبان فى الماء وهى الصوديوم (Na) والبوتاسيوم (K) وفقدانها

(●) أستاذ مساعد ترميم وصيانة الآثار – قسم ترميم الآثار – كلية الآثار – جامعة القاهرة – ج.م.ع.

(●●) مدرس ترميم وصيانة الآثار – قسم ترميم الآثار – كلية الآثار – جامعة القاهرة – ج.م.ع.

للأبد، وترسيب العناصر والمركبات غير القابلة للذوبان على سطح الزجاج، ومنها أكاسيد الحديد ومركبات السليكا فى صورة طبقات متتالية ومتراكبة.

وأهم النظريات العلمية التى ناقشت ذلك الموضوع هى:

١- نظرية التكوين الطبقى الموسمى لبرل[١] Seasonal Layer growth theory of (Brill, 1967).

٢- نظرية التبادل الأيونى لوايت[٢] (white, 1988) Ian exchange theory of .

٣- نظرية التفاعل المتتابع لنيوتن[٣] Followed reaction theory of (New ton, 1989).

٤- نظرية الصدأ المرحلى لسكولز[٤] Stages corrosion theory of (Schulz, 1992).

الفرض العلمى للبحث:

بنى البحث الجارى تجاربه على أساس الفرض العلمى المسلم بنتائج النظريات العلمية السابق الإشارة إليها والمتمثل فى انهيار التركيب البنائى والكيميائى للزجاج المتآكل، وتحوله الى زجاج ذو تركيب منهار وغير متوازن كيميائيا. أو ما يمكن تسميته بالزجاج غير الثابت Chemically, unstable glass. وبناء على ذلك فإن المفترض القيام به هو تحويل هذا الزجاج وإعادته كليا أو جزئيا إلى زجاج ثابت كيميائيا بمعالجته المعالجة الكيميائية دون الإضرار بالزجاج أو الأثر الزجاجى سواء من ناحية الشكل أو التكوين – وهو ما أطلقنا عليه عملية إعادة الهيكل الكيميائى للزجاج المتآكل.

والذى يمكن مناقشته علميا على النحو التالى:

---

(1) Brill, R.H; Crizzling, a broblem of glass Conservation, IIC Congress on conservation in Archacology and applied art, Stockholm, 1975, pp. 121-134.

(2) white, w.B.,; Glass hydration mechanism with appliction with absidium hydration dating, in *"materials issues in art and rchaeology"*, vol. 123, 1988, pp. 225-234.

(3) New ton, R& Davison, S, Conservation of glass, london, 1989, p. 135-165.

(4) Schulze, R,L. et all, Glass Corrosion and preservation, in *"materials issues in art and archaeology" v 01267, U, A 1992. P 10 15-1028.*

نظرية إعادة الهيكل الكيميائى للزجاج المتآكل

Recomposition of the chemical structure of corroded glass

ثبت بالدراسات العديدة التى أجريت على الزجاج المتآكل وبالتحليل والفحص الكيميائى أن هذا الزجاج يعانى تلفا كيميائيا نتيجة عمليات التفاعل والتبادل الأيونى بين الزجاج والوسط الرطب المحيط فى التربة، هذا التلف نتج عنه إختلال نسب المكونات الأساسية للزجاج نتيجة تحلل المركبات القابلة للذوبان فى الماء ونزحها للخارج وفقدانها للأبد وأهمها المركبات القلوية Alkaline compounds للصوديوم Sodium (Na) والبوتاسيوم Potassium, (K)، وترسيب المركبات غير القابلة للذوبان فى الماء على سطح الزجاج وأهمها أكاسيد السيلكا Silica, (Sio_2)، وأكاسيد الحديد والمنجنيز وبعض الشوائب الأخرى أو المواد الملونة بالزجاج، أما أكاسيد الكالسيوم Calcium (CaO) oxides وهى العامل المثبت بالزجاج والمساعد فى تقويته Stabilizer agent فإنها غير قابلة للذوبان فى الماء Insoluble in water غير أنها قابلة للذوبان فى المحاليل الحمضية Acidic solutions خاصة محاليل حمض الهيدروكلوريك (HCl) وغالبا ما ينتج هذا الحمض أو أحد أملاحه من الكلوريدات بالتربة وتسبب ذوبان مركبات الكالسيوم وانخفاض نسبتها بطبقات الصدأ على الزجاج المتآكل، ومعها تنخفض درجة ثبات الزجاج ويصبح زجاجا غير ثابت Less or completely unstable glass.

نظرية استرجاعية التركيب فى الآثار المعدنية والاستفادة منها:

وعند دراسة أوجه التشابه بين عملية صدأ الزجاج وصدأ المعادن والتحقق من أن كلاهما عمليات تشمل تفاعلات فيزيوكيميائية Physiochemical reactions بين مادة الزجاج أو المعدن والوسط المحيط، إتجه الفكر مباشرة الى الاستفادة من طرق علاج وصيانة الآثار المعدنية المتآكلة ومحاولة تطبيق ما يصلح منها لعلاج وصيانة الآثار الزجاجية المتآكلة. وقد كان للنتائج المذهلة التى توصل إليها (صالح، ١٩٨٣)[٥،٦] فى علاج الآثار المعدنية كاملة التحول الى نواتج الصدأ وتحويلها الى مواد معدنية (فلزات معدنية) مرة أخرى عن طريق توجيه التفاعلات الكيميائية المؤدية الى صدأ المعادن فى الاتجاه العكسى كما فى المعادلة الأتية:

---

(5) Saleh, A.S.; Treatment and restoration of a corroded copper mirror, MDAK, 1983, pp. 177-181.

[٦] صالح أحمد صالح: علاج وصيانة الآثار المعدنية، محاضرات ليسانس ترميم الآثار – كلية الآثار – جامعة القاهرة، سنة ١٩٩٥م.

Metal Physiochemical reactions corrosion products

وبالفعل نجحت هذه التجربة وتطبيقاتها عن طريق استخدام طرق الاختزال الكهربى الذاتى Autocaatalytic reduction techniques وطرق الاختزال الحرارى Thermal reduction techniques، وقد أصبح هذا العلاج أساسيا فى مجال صيانة الآثار المعدنية. وقد كان السؤال مضمونة "هل يمكن إعادة التركيب الزجاجى للآثار الزجاجية المتآكلة مرة أخرى؟" وبالبحث والدراسة والتجربة كان مضمون الإجابة على هذا السؤال أنه لا يمكن معاملة الزجاج بالمعالجة الحرارية والكهربية على غرار الآثار المعدنية لأن إمكانية توجيه التفاعلات الكيميائية فى الاتجاه العكسى أمر يستحيل تطبيقه وأن العلاج الحرارى للزجاج المتآكل فيه من الخطورة ما يكفى لتدمير الزجاج وإتلافه بصورة قد يصعب علاجها، وقد أثبتت التجارب التى أجريت على بعض الكسر الزجاجية المتآكلة ذلك.

ومع استمرار البحث والرجوع الى نتائج الأبحاث الحديثة والمعاصرة وخاصة ما توصل إليه كل من (Carmela & Donald, 1996)[٧] فى تقوية بنية الزجاج المتآكل عن طريق تعويض النقص فى نسبة المركبات المفقودة وخاصة مركبات الكالسيوم العامل المثبت للزجاج ونجاح ذلك من الناحية الكيميائية، فقد كان ذلك إطلالة جديدة فى العلاج الكيميائى للزجاج المتآكل وأعطت الأمل من جديد فى إمكانية معاجلة الزجاج كيميائيا بهدف ضبط تكوينه الكيميائى بما يساعد فى إعادة هيكلة الزجاجى وتدعيمه.

وتم دراسة العديد من المواد والمركبات الكيميائية التى يمكن أن تؤدى ذلك الدور (عامل إعادة البناء Reconstructure agent) وإخضاعها للتجربة للتأكد من فاعليتها وآثارها الجانبية خاصة فيما يتعلق بشكل طبقات الصدأ ولونها وخاصة المظهر الناتج عن ظاهرة تلاعب الألوان Irridescence ودورها فى تدعيم بناء الزجاج. وقد كان ذلك التقنين لتلك المواد مسبوقا ومتبوعا بالفحص الميكروسكوبى Microscopic examination واختبار قياس الصلادة والتغير اللونى[٨]، والمواد التى تم دراستها واختبراها هى:

---

(7) Carmela, C. & donald, I.; op. cit,. pp. 819-825.

(٨) تمت هذه الدراسات التجريبية والفحوص الميكرسكوبية والاختبارات الميكانيكية والفيزيائية بمعامل قسم ترميم الآثار بالمعهد الفرنسى للآثار الشرقية بالقاهرة باشراف الخبير الفرنسى مسيو ميشيل فوتمان.

١- **أسيتات الكالسيوم $(CH_3COO)_2Ca$ Calcium acetate:** والهدف من استخدامها هو تعويض النقص فى نسبة أيونات الكالسيوم بطبقات الصدأ بالزجاج المتآكل وقد سبق نجاحها فى ذل الدور فى تجارب (Carmela & Donald, 1996).

٢- **كربونات الكالسيوم $(CaCO_3)$ Calcium carbonate:** واستخدمت بنسبة تركيز منخفضة للقيام بنفس الدور إلا أنها تحتاج للذوبان أولا فى حامض الهيدروكلوريك ثم تخفيفها بالماء حتى لا تكون معلقا فى المحلول المائى.

٣- **سليكا الإثيل $[Si\ (OC_2H_5)_4]$ Ethyl silicate:** ويمكن بها تعويض الفقد النسبى فى أكاسيد السليكون حيث أن المركبات السليكونية تتكون من مجموعات الأكسيجين والسليكون بالإضافة الى احتوائها على مجموعة الراديكالات العضوية. ومعروف إستخدام هذه المادة فى تقوية البنية الداخلية الضعيفة للمواد السليكاتية كالأحجار الرملية[٩]. والإيثيل سليكات هو أحد مركبات إسترات السليكون Silicon ester وكلها تنتمى الى راتنجات الثرموسيتنج Thermoseting resins، ويعتبر الألمانى هوفمان (Hoffman, 1861) أول من أسدى الى مجال صيانة الآثار مركبات السيلكون كمادة مقوية، وتباع تجاريا تحت مسميات عديدة أهمها سليكات الإيثيل Ethyl silicate التى تحضر بتفاعل هاليدات السيلكون مع الكحولات أو الفينولات كما فى المعادلة الآتية:

$$SiX_4 + {}_4ROH \longrightarrow Si\ (OR)_4 + 4\ HX$$

وتعتمد ميكانيكية التقوية للسليكات على دور الرطوبة فى تفاعلات التميؤ والتكاثف التى تتم داخل بنية الأثر، حيث تؤدى الى انشطار مجموعة الإستر لتتكون السليكات المائية فى صورتها الهلامية التى ما تلبث أن تتقلص تدريجيا مكونة شبكة بوليمرية زجاجية Glassy polymeric net تعمل على ربط حبيبات الأثر (وخاصة السليكا) ببعضها البعض. وبذلك فإن مادة سليكات الإيثيل تقوم بدورين هامين معا أولهما تكوين شبكة بوليمرية زجاجية تعيد التركيب الزجاجى المفقود للزجاج المتآكل، وثانيهما تقوية بنية الزجاج المتآكل الداخلية عن طريق ربط حبيبات السليكا والمكونات الأخرى المفككة فى وحدة قوية واحدة. وقد لوحظ مقدرة هذا الراتنج على ملئ المسام الدقيقة والفواصل بين الحبيبات من خلال التكسية الكاملة للحبيبات والفراغات الموجودة بينها، غير أن ما يعيب هذه المادة أنها ليست من المواد المانعة للماء وتسمح بنفاذه

(9) Horie, C.V.; Materials for conservation, Butterworths, London, 1987, pp. 155-160.

Penetration of water، غير أنه تم تطوير منتجات هذه المادة من خلال مركبات سليكاتية جديدة عرفت باسم مركبات السيلان (SiH_4) Silanes لتصبح مادة مانعة للماء واتسع نطاق إستخدامها لتشمل غالبية المواد الأثرية[١٠].

٤- **أسيتات الصوديوم Sodium acetate (CH_3 COO) Na:** تستخدم هذه المادة لتعويض الفقد فى نسبة ايونات الصوديوم القلوية $^{+}$(Na) التى تعرضت للذوبان فى الماء أثناء عمليات التبادل الأيونى بين الزجاج والماء أثناء فترة الدفن فى التربة، وهذه المادة تتميز بشئ من اللزوجة نظراً لوجود المركب العضوى من الخلات (Acetate) والذى يتطاير وتبقى أيونات الصوديوم فى بناء الزجاج وإن كانت تظل منفصلة عن مركبات الزجاج الأخرى سواء أيونات السليكا أو الكالسيوم، إلا أنها مع مرور الزمن تتحد كيميائيا معهما وتبدأ الشبكة الزجاجية فى التكوين مرة أخرى بصورة تدريجية، ومع تكون هذا التركيب الشبكى الزجاجى البسيط Simple glass net work تستعيد طبقات الزجاج التالفة بناءها الزجاجى مرة أخرى ولو بنسبة بسيطة تدعم بنائها الداخلى وتزيد من ثبات الزجاج ومتانته Glass durability and stability.

وقد أعطت الاختبارات والتجارب الأولية لهذه المواد النتائج الآتية:

جدول رقم (١): يوضح نتائج اختبار فاعلية بعض المواد الكيميائية المستخدمة فى تدعيم بناء الزجاج المتآكل.

م	المركب الكيميائى	تأثيره على شكل وحجم طبقات الصدأ	تأثيره على لون طبقات الصدأ	الفاعلية الكيميائية
١	أسيتات الكالسيوم Calcium acetate (CH_3 COO)$_2$ Ca	لا يوجد تأثير على حجم وشكل طبقات الصدأ	يختفى اللون الناتج عن ظاهرة تلاعب الألوان مؤقتا ويعود سريعا بعد الجفاف.	فعال فى تثبيت أيون الكالسيوم $^{2+}$(Ca) بطبقات الصدأ.
٢	كربونات الكالسيوم Calcium carbonate (Ca CO_3)	تتسبب فى إضفاء طبقة بيضاء جيرية على سطح طبقة الصدأ.	يتأثر اللون قليلا ثم يعود مرة أخرى ولكن بصورة أقل وضوحا قبل المعالجة.	فعال فى تثبيت أيون الكالسيوم $^{2+}$(Ca) بطبقات الصدأ غير أنها تعتبر طبقة هيجروسكوبية.

(10) Horic, C. V.; op. cit., pp. 155-166.

٣	سليكات الإيثيل Etyhl siicate $[Si(COC_2H_5)_4]$	لا يوجد أى تأثير على شكل أو حجم طبقات الصدأ.	يختفى اللون مؤقتا ثم يعود للظهور سريعا بمجرد جفاف طبقات الصدأ.	فعال جدا فى إضفاء الحالة الزجاجية على التركيب البنائي للزجاج المتآكل، وتقويته.
٤	أسيتات الصوديوم Sodium acetate $(CH_3\ COO)Na$	لا يوجد أى تأثير على شكل أو حجم طبقات الصدأ.	يختفى اللون مؤقتا ثم يعود للظهور سريعا بمجرد جفاف طبقات الصدأ.	فعال فى تثبيت أيون الصوديوم $(Na)^{2+}$ بطبقات الصدأ.

ومن خلال النتائج التى تم الحصول عليها فقد كانت الحالات التى استخدمت فيها مركبات أسيتات الكالسيوم جيدة ونتائجها مرضية نظراً لفاعليتها وعدم وجود أى آثار جانبية للاستخدام سواء على شكل وحجم طبقات الصدأ أو طبيعة الألوان الناتجة عن ظاهرة تلاعب الألوان Iridescence وفضلت هذه المادة للاستخدام كمعوض لأيونات الكالسيوم $(Ca)^{2+}$ بالزجاج المتآكل. واستبعدت مادة كربونات الكالسيوم $(CaCO_3)$ بالرغم من فاعليتها الكيميائية نظراً لما تحدثه من تغير فى شكل طبقات الصدأ بظاهرة التجيير (التكلس) Calcification وهى عبارة عن تكون طبقة جيرية بيضاء على سطح طبقات الصدأ تشوه من مظهر السطح، كما أنها طبقة هيجروسكوبية hygroscopic layer لها القدرة على امتصاص الماء وتركيزه على سطح الزجاج. أما مادة سليكات الإيثيل Ethyl silicate فقد أعطت نتائج جيدة كما هو معروف عنها ولم تكن لها أى آثار جانبية على شكل ولون طبقة الصدأ، واستخدمت بكفاءة عالية كمعوض للسليكا وتقوية الهيكل الزجاجى لطبقات الزجاج المتآكل ولما تلعبه من دور كمقويات تحل محل المواد الرابطة المفقودة، كما أنها تسمح بإجراء عمليات التنظيف واستخلاص الأملاح من على أسطح طبقات الصدأ بعد تطبيقها. أما مادة أسيتات الصوديوم Sodium acetate فقد أعطت نتائج مرضية للغاية فى إعادة تثبيت ايونات القلوى المفقودة ولم يكن لها أى آثار جانبية على شكل ولون طبقات الصدأ أو خواصها الميكانيكية كما هو موضح بالجدول السابق.

والتكنيك المستخدم للتطبيق أعطى فيه أسلوب الرش Spray technique باستخدام بخاخة رش دقيقة نتائج جيدة من حيث التوزيع المنتظم والمتجانس لرذاذ المادة الكيميائية وسهولة التحكم فيه وعدم الاحتكاك بطبقات الصدأ الهشة أو الضغط عليها وهذا ما يجعل هذا التكنيك أفضل فى حالة القطع الزجاجية المتحولة الى طبقات هشة وضعيفة وكثيفة من مركبات صدأ الزجاج. أما الحالات قليلة التآكل Less corroded glass فكان من السهل تناولها بتكنيك الرش أو تكنيك التسقية بالفرشاة Impregnation technique باستخدام فرشاة ناعمة الشعر ومناسبة الحجم، لعدم وجود خطورة من الضغط أو الاحتكاك بطبقات الصدأ التى تكون فى هذه الحالة رقيقة ومتماسكة مع سطح

الزجاج. والصور الميكروسكوبية (٣-١٠) توضح نتائج هذا التطبيق وتجاربه المعملية على العديد من عينات الآثار الزجاجية المتآكلة والمستخرجة من التربة بالعديد من مختلف المواقع الأثرية.

نتائج البحث Results:

من خلال نتائج الدراسات التجريبية المتبوعة ببعض التطبيقات العملية للمواد التى تم اختبار فاعليتها فى العلاج الكيميائى للآثار الزجاجية المتآكلة يمكن إيجاز أهم النتائج التى خلص إليها البحث فى الآتى:

١- تعتبر فكرة استخدام المواد الكيميائية لإعادة الهيكل الكيميائى للزجاج المتآكل إيجابية بنسبة كبيرة إذا ما روعى فيها الدقة فى اسلوب العلاج.

٢- تعتبر مادة أسيتات الكالسيوم Calcium acetate, $(CH_3COO)_2Ca$ فعالة ومناسبة كمعوض لايونات الكالسيوم $(Ca)^{2+}$ المفقودة بالزجاج المتآكل دون وجود أى آثار جانبية مؤثرة على شكل وتكوين الزجاج الأثرى.

٣- تعتبر مادة كربونات الكالسيوم Calcium Carbonate $(Ca\ CO_3)$ غير فعالة وغير مناسبة للقيام بدور العامل المعوض لأيونات الكالسيوم بالزجاج الأثرى وتستبعد من ذلك نظراً لتأثيرها السلبى على المظهر السطحى للزجاج بتكوين طبقة جيرية بيضاء غير مستحب وجودها، حيث تتسبب فى تشويه المظهر الأثرى للزجاج.

٤- تعتبر مادة أسيتات الصوديوم Sodium acetate $(CH_3\ COO)Na$ من المواد الفعالة لتعويض أيونات الصوديوم $(Na)^{+}$ القلوية المفقودة بالزجاج دون وجود أى مظاهر سلبية على سطح الزجاج الأثرى.

٥- أثبتت مادة سليكات الإثنيل Ethyle silicate فاعليتها العالية فى تدعيم بناء الزجاج الأثرى المتآكل وذلك من خلال قيامها بتكوين طبقة شبكة زجاجية بسطح الزجاج المتآكل، تساعد بدورها فى تقوية بنية الزجاج السليكاتية وتعويض النقص فى مركبات السليكا بالزجاج (SiO_2)، ودون أى آثار سلبية على سطح الزجاج ومظهره الأثرى نظراً لشفافيتها المماثلة للزجاج الشفاف تماما.

المراجع References:

أولا: المراجع العربية:

١- رمضان عوض عبد الله: دراسة العوامل المؤثرة فى تلف الآثار الزجاجية المدفونة فى التربة وأحدث تقنيات علاجها وصيانتها، رسالة دكتوراه، كلية الآثار، جامعة القاهرة، سنة ٢٠٠٢م.

٢- رمضان عوض عبد الله: الترميم الخاطئ للآثار الزجاجية "الأسباب والمظاهر وطرق العلاج" بحث مقدم فى فعاليات المؤتمر الخامس للأثريين العرب بالقاهرة، "دراسات فى آثار الوطن العربى ٣" ١٩-٢٠ أكتوبر سنة ٢٠٠٢م.

٣- صالح أحمد صالح: علاج وصيانة الآثار المعدنية، محاضرات ليسانس ترميم الآثار، كلية الآثار – جامعة القاهرة، ١٩٩٥م.

٤- محمد عبد الهادى: مبادئ ترميم وصيانة الآثار غير العضوية، مكتبة نهضة الشرق، القاهرة، ٢٠٠٢م.

ثانياً: المراجع الأجنبية:

5- Brill, R: Crizzling – a problem of glass conservation, IIC congress on conservation in archaealogy and applied arts, Stockholm, 1975.

6- Carmela, C. & Donald, I.; Conservation of glass recovered from shipwreck sites, in *"trinnial meeting 11th, Edinburgh, 1-6 September, 1996, ICOM London, 1996"*.

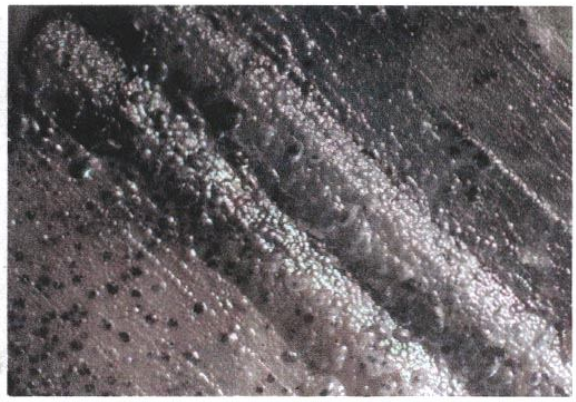
7- Horie, C.V.: Materials for comservation, Butturworths, London, 1983.

8- Newton, R. & Davion, S; conservation of glass, London, 1989.

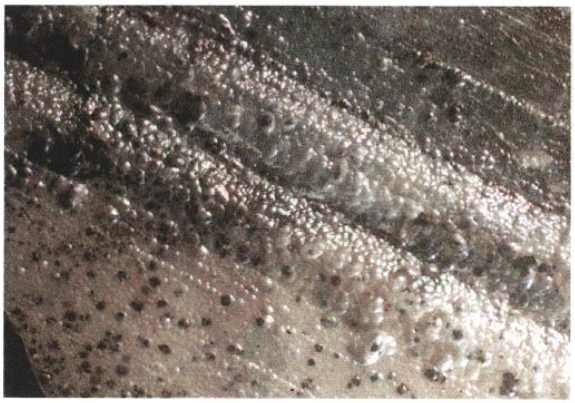
9- Saleh, A.,: Treatment and restoration of acorroded copper mirror, (MdAK), cairo, 1983.

10- Schulze, R.L, & Clarck. D. E. & Floze, D. C., Glass corrosion and preservation. In *"Materials issues in art and Archaealogy" Vol – 267, USA, 1992.*

11- White, w. B.; glass hydration mechanism with application to obsidian hydration dating, in *"Materials issues in art and archaeology" vol. 1239, USA, 1988.*

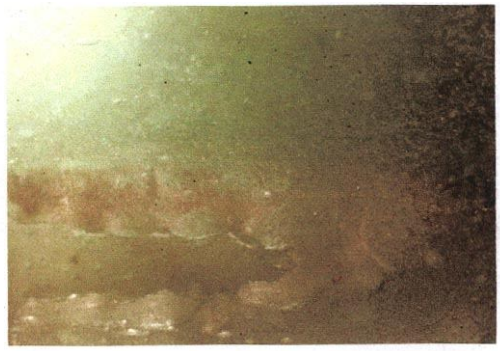


(١)
قبل المعالجة



(٢)
بعد المعالجة

أستيات الكالسيوم - Calcium acetate

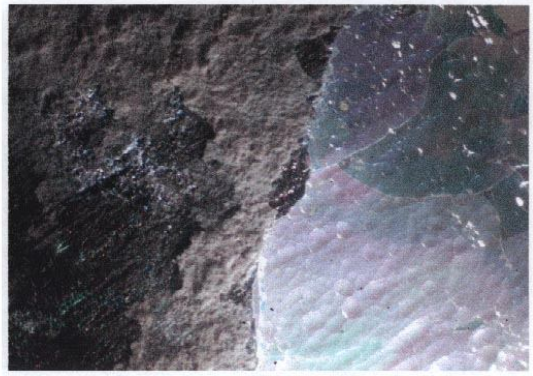


(٣)
قبل المعالجة

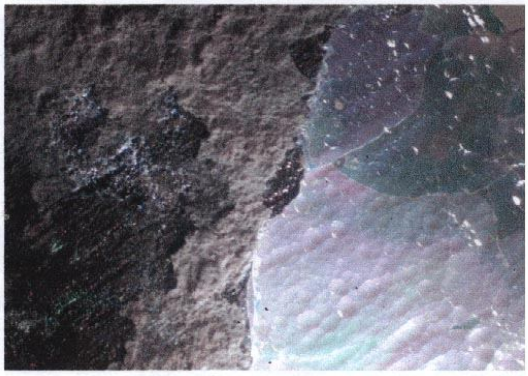
(٤)
بعد المعالجة

كربونات الكالسيوم - Calcium carbonate

صورة أرقام (١-٤) بالميكروسكوب الميكروفوتوجرافى الدقيق لعينات زجاجية مصابة بالتآكل قبل وعبد علاجها كيميائياً بمواد تقوية البنية الزجاجية الداخلية.



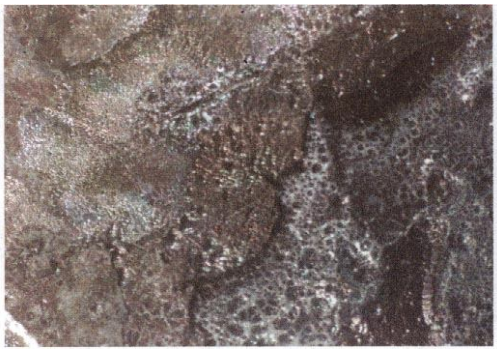
(٥)
قبل المعالجة



(٦)
بعد المعالجة

أستيات الصوديوم - Sodium acetate

(٧)
قبل المعالجة



(٨)
بعد المعالجة

سليكات الإثيل Etlylsilicate

صور أرقام (٥-٦-٧-٨) بالميكروسكوب الميكروفوتوجرافى الدقيق لعينات من الزجاج المصاب بالتآكل والمستخرج من التربة قبل وبعد علاجها كيميائياً بمواد تقوية البنية الداخلية.

صورة رقم (٩) توضح آنية زجاجية رومانية خضراء زيتونية اللون مصابة بتآكل بسيط من حفائر تونة الجبل (دفن مباشر) رقم سجل (٤٩٩) المتحف المصرى بكلية الآثار – حفائر سامى جبرة سنة ١٩٣٠م قبل التنظيف والمعالجة الكيميائية.

صورة رقم (١٠) الآنية الزجاجية بعد إجراء عملية التنظيف الميكانيكى والكيميائى والمعالجة الكيميائية وتقوية السطح لزجاج طبقاً لأسلوب العلاج المتبع بنظرية البحث.

صورة رقم (١١) توضح آنية زجاجية خضراء اللون مائلة للزرقة من حفائر سامى جبرة بتونة الجبل سنة ١٩٣٠ (العصر الرومانى) المتحف المصرى بكلية الآثار - سجل رقم (١٦٦٨) حالتها جيدة -تم معالجتها كيميائياً وتقوية وعزل سطح الزجاج بنسبة مناسبة لحالة الزجاج شبه الثابت والجيد.

صورة رمق (١٢) آنية زجاجية بيضاء اللون من حفائر سامى جبرة سنة ١٩٣٠ بتونة الجبل (عصر رومانى) المتحف المصرى بكلية الآثار - سجل رقم (٥٢٩) حالتها جيدة مع إعتام خفيف للزجاج.تم معالجتها كيميائياً وتقوية عزل سطح الزجاج بالأسلوب الحديث.

صورة رقم (١٣) آنية زجاجية خضراء اللون مائلة للزرقة من حفائر سامى جبرة سنة ١٩٣٠ بتونة الجبل (عصر رومانى) - المتحف المصرى بكلية الآثار - سجل رقم (٥١٢) حالتها جيدة وزجاجها ثابت تم معالجتها علاجاً كيميائياً مناسباً لحالة الزجاج السليمة وتقوية وعزل سطح الزجاج عن الأجواء المحيطة.

* نماذج مختلفة من الآثار الزجاجية الرومانية التى عثر عليها فى التربة بحفائر تونة الجبل بالمنيا ومحفوظة بالمتحف المصرى بكلية الآثار وخضعت للمعالجة الكيميائية طبقاً لحالة الزجاج ودرجة ثباته الكيميائى.