أبيدوس (Abydos)

جامعة سوهاج العدد الأول (٢٠١٩م)، ص ص: ١٤٣ – ١٥٧ كلية الآثار

دراسة تأثير التقادم الحرارى وعلاقته بالتغير اللونى على اللواصق المستخدمة فى تجميع الزجاج الأثري•

Study the effect of thermal aging and its relationship with color change on adhesives used in collecting archaeological glass

أ. مينا صبحى فهمى ابادير – المعيد بقسم ترميم الآثار– بكلية الآثار– جامعة سوهاج

أ.د. مُحَمَّد مُحَمَّد مصطفى إبراهيم – أستاذ ترميم وصيانة الآثار بقسم ترميم الآثار –كلية الآثار – جامعة القاهرة.

أ.د. مُحَمَّد أحمد عوض – أستاذ ترميم وصيانة الآثار(المتفرغ) بقسم ترميم الآثار –كلية الآثار – جامعة سوهاج.

Mena Sobhy Fahmy Abader- Demonstrator at Conservation Department Faculty of Archeology- Sohag University.

Mohamed Mustafa Ibrahim - Professor of restoration and Conservation of monuments at Conservation Department - Faculty of Archeology –Cairo University.

Mohamed Ahmed awad – Professor of restoration and Conservation of monuments at Conservation Department - Faculty of Archeology –Sohag University.

الملخص:

يتناول هذا البحث دراسة أربع أنواع من اللواصق المستخدمة في ترميم الزجاج الآثري (راتنجات الايبوكسي) بعضها مواد قديمة وأخري مستخدمة حديثاً (اراالديت ١٠٩٢ / اراالديت ٢٠٢٠ / كالدوفكس ٢/ هكستال نايلون ١) حيث تتكون هذة اللواصق من جزئين أحداهم مركب (أ)، وهو اللاصق أو الراتنج ومركب (ب) وهو المصلب وكذلك ظروف التشغيل والنسب القياسية لكل لاصق، ومن ثم دراسة الخواص الميكانيكية ومدي قدرة اللواصق علي تحمل ظروف التقادم الصناعي المعجل (تقادم حراري موضوع البحث)، حيث استخدمت ظروف تقادم حرارى داخل فرن حرارى تصل درجه الحرارة بها الى ١٠٥oم، ولفترة زمنية وصلت الى ١٥٠ ساعة ثم بعد ذلك قياس درجه التغير اللونى للواصق ودراسة العلاقة بين التقادم الحراري والتغير اللوني لمواد اللصق حيث استندت الدراسة إلي المنهجية التجريبية في تقيم اللواصق واختيار أنسبها للتطبيق.

• بحث مستل من رسالة ماجستير.

Abstract

This paper examines four types of adhesive used in the restoration of archaeological glass (epoxy resin), some of which are old materials and others used recently (Hxtal Ny / ٢ Caldofix / ٢٠٢٠Araldite / ١٠٩٢Araldite -١).

Where these adhesives consist of two parts, one of which is compound (a) adhesive or resin and compound (B) is hardened as well as the operating conditions and standard ratios for each adhesive, And then study the mechanical properties And the ability of the adhesives to withstand the conditions of industrial Artificial Aging (Thermal aging)، Where the conditions of thermal aging in a thermal oven temperature up to 105oC, For a period of time up to 150 hours and then measure the degree of color change of adhesives And study the relationship between thermal aging and color change of adhesives Where the study was based on the experimental methodology in the evaluation of adhesives and choose the most suitable for applied.

المقدمة:

من المعروف أن القطع الزجاجية من المواد غير المتجانسة التي تتعرض للتلف الشديد بفعل بيئات الدفن المختلفة، والتي تؤدي في كثير من الأحيان إلي تحطم وكسر الآثر الزجاجي نتيجة ضعف البنية الداخلية وهشاشيتها نتيجة وقوع الآثر تحت ضغوط وانفعالات داخلية أو بفعل الضغوط والأحمال الخارجية أو نتيجة لضعف التصميم العام، ولقد تنوعت المواد اللاصقة المختلفة تنوعاً كبيراً فيما بينهما بناءاً علي طبيعتها الفيزيائية والكيميائية وهي متاحة تجارياً بأسماء مختلفة، ولذلك يجب أن يلم المرمم بخواص هذة المواد حتي يستطيع أن ينتقي أفضلها بما يتفق مع طبيعه الآثر[١].

ويمكن تعريف المواد اللاصقة: هي المواد التى يتم تطبيقها علي أسطح المواد المختلفة وذلك بهدف تجميعها بشكل دائم عن طريق الارتباط معاً من خلال المادة اللاصقه، حيث آنها تعمل علي تكوين روابط بين الشظايا المنفصلة للقطعة والتصاقها بعضها البعض، وما يميز المواد اللاصقة أيضاً هي استخدام كميات صغيرة من اللواصق مقارنتاً بوزن القطع المراد لصقها.

[1] **Meyer Dewwek, M., and Favre., G., (1999),** " La Restauration, Paris, P 279 .

ويمكن تعريفة أيضاً "الالتصاق هو الحالة التي تنشا بين جزئين منفصلين تعمل علي الربط المباشر بينهم من خلال القوة الميكانيكية والترابط من خلال قوة فان دير فال وكذلك الجاذبية الكهربئية بينهم من أجل تكوين قطعة واحدة[١].

ولذلك يجب عند إختيار اللواصق الجيدة لترميم الآثار الزجاجية مراعاة بعض الخصائص التي يجب توافرها في اللاصق من حيث الشفافية وأن يكون عديم اللون وذي معامل إنكسار يماثل معامل إنكسار الزجاج وأن يكون ذو متانة وقوة تتناسب مع طبيعة وظيفتة وأيضاً أن لا يتعرض للتغير اللوني نتيجة للتقادم الطبيعي لآثار وكذلك يسهل استخدامة وتطبيقة ويوفر الوقت الكاي لذلك وأن يكون أمن وخامل كيميائياً[٢].

ويعتبر عامل التغير اللوني الناتج من التقادم الحراري هو العامل الرئيسي لهذا البحث حيث سيتم دراسة سلوك وتغير صفات لواصق الإيبوكسي ومدي تأثرها بالحرارة [٣].

وتنقسم اللواصق الي العديد من الأنواع مثل: لواصق السيليكونات – لواصق الاكريلك – لواصق البولى فينيل – لواصق راتنجات الايبوكسي وإن كان الأخير مكلف وباهظ الثمن ولكن مقارنتاً بخواصة الجيدة في الاستخدام والتطبيق والثبات النسبي في الأبعاد ودرجة الإنكماش ومقاومة التقادم ودرجة الإنكماش والقطبية العالية وقدرة علي تكوين روابط كيميائية عالية بين اللاصق والثبات الحراري ومقاومة الرطوبة والبكتريا القليلة والركيزة الزجاجية لذلك تعتبر هذة النوعية من اللواصق مثالية في الاستخدام مقارنتاً باللواصق الآخري[٤].

٢- المواد والأساليب:

٢-١ المواد:

يتضمن هذا البحث دراسة أربع أنواع من اللواصق المستخدمة في ترميم الزجاج الآثرى وهم لاصق الأرالديت ١٠٩٢ (Araldite١٠٩٢) ينتمي هذا اللاصق لمجموعة لواصق الايبوكسى الشفافة حيث يتكون من مركبين يتم خلطهم سوياً بنسب معينة وهم عبوة المونيمر أو الراتنج (A)

[1] **Ebnesajjad,S., (2008)**, "Adhesives Technology Handbook " 2 nd Edition, William Andrew Inc., Norwich, NY, United States of America., p.p 1; **Davison, S., 2003"** Conservation and Restoration of Glass", Butterworth-Heinemann, Oxford, P. 204:205.

[2] **Down JL.** Review of CCI research on epoxy resin adhesives for glass conservation. Rev Conservat 2001; p. 2:39–46.

[3] **Esmeralda Lo´pez-Ballestera, M.** Teresa Dome´nech-Carbo´ a; J. Vicente Gimeno-Adelantadob, Francisco Bosch-Reigb , (1999), "Study by FT-IR spectroscopy of ageing of adhesives used in restoration of archaeological glass objects" , Journal of Molecular Structure 482–483, p. 525:531.

[4] **Horie CV., (1997)** " Materials for conservation – organic consolidants, adhesives and coatings. 8th ed. London: Architectural Press, an imprint of Butterworth-Heinemann, p ١٧٣:١٧٧; **Selwitz C., (1992)** " Epoxy resins in stone conservation. Los Angeles:The Getty Conservation Institute. P٢٨٧:٢٨٨; Paul,S., (1996)," Surface Coating (Science& Technology), Second edition, John Wilesy & Sons Ltd., Canada , P.243 : 244.

Araldite HY) Hardener (B)، عبوة المصلب أو المجمد (Araldite PY 1092)Monemer or resin 1092)، ويعتبر هذا اللاصق أحد أنواع الاراالديت المختلفة التي تستخدم في مجال لصق واستكمال الزجاج، ويستخدم هذا اللاصق في أغراض لصق الزجاج والمعادن والسيراميك والمطاط وبعض المواد الآخرى وذلك لما يتميز به من قوة لصق عالية، وهو من إنتاج شركة سيباجايجي Ciba-Geigy Co الالمانية الأصل والتي لها فرع بمدينة السادات بالقاهرة.

- **الخواص العامة للاصق** Araldite 1092:

١- اللاصق من الأنواع التي تتميز بدرجة لزوجة منخفضة Low viscosity لذلك فهو مناسب لعمليات اللصق، إذ أنة له القدرة علي السريان والتخلل بين الكسر المراد لصقها.

٢- درجة صلابة اللاصق مرتفعة حيث يعطي وصلة لصق قوية.

٣- يتميز اللاصق بالشفافية حيث Monemer or resin شفاف أو عديم اللون، أما المصلب Hardener يميل الي الإصفرار ولكن بخلط المركبين معاً يميل اللاصق إلي الإصفرار قليلاً ويزيد الاصفرار بزيادة المصلب.

٤- له معامل إنكسار Refractive index similar to that of glass قريب جداً من معامل انكسار الزجاج.

- **النسب القياسية لخلط المركب** resin (A) **مع المركب** Hardener (B):

يتم خلط المركب A الى المركب B بنسبه 2 : ١ بالحجم أو ٢٠ : ١٠ جرام بالوزن؛

Mixratio نسب الخلط	Parts by Weight الأجزاء بالوزن	Parts by Volume الأجزاء بالحجم
Araldite resin PY 1092 (A)	٢٠	٢
Araldite Hardene HY 1092 (B	١٠	١

- **زمن تصلب اللاصق وعلاقتة بدرجة حرارة التشغيل :**

تعتبر درجة حرارة ما بين ٢٥ : ٤٠ مO هي درجة الحرارة المثالية لتجهيز اللاصق وتصلبه حيث يستغرق اللاصق ما بين ١٢ : ٢٠ساعة لتمام الجفاف في درجات الحرارة المثالية.

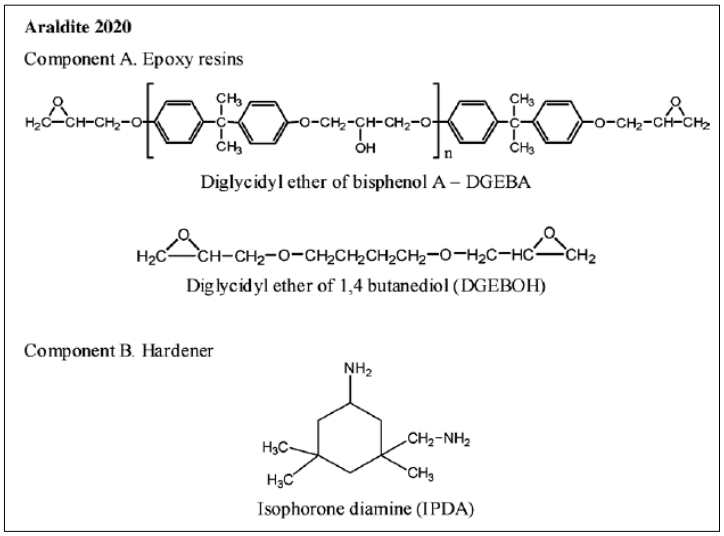
يتوقف ذلك علي كمية المصلب حيث أن زيادة المصلب تعمل علي تسريع عملية التصلب، و يوضح الجدول التالي زمن تصلب اللاصق في درجات الحرارة المختلفة[1]:

درجة الحرارة Temperature	C	١٠	١٥	٢٣	٤٠	٦٠	١٠٠

[1]- **Sorenson RW, Campbell TW.(1961);** " Preparative methods of polyme chemistry"., Interscience Publishers. p. 465.; koop .S.P.,(2006) " Conservation and Care of glass objects", London, p.48.; data sheet of producing company: (Ciba-Geigy Co) araldite 1092.

زمن التصلب	Hours	٢٤	١٨	١٤	٨	-	-
Curing time	Minutes	-	-	-	-	-	١٢٠

اللاصق الثانى هو لاصق الارالديت ٢٠٢٠ (Araldite2020) ينتمى هذا اللاصق لمجموعة لواصق الايبوكسى الشفافة حيث يتكون من مركبين يتم خلطهم سوياً بنسب معينة الرقم الكودى للعبوتين هو (XW 396/XW 397)، عبوة المونيمر أو اللاصق (A) Monemer or resin (XW 396)، عبوة المصلب أو المجمد (B) Hardener (XW 397)، ويعتبر هذا اللاصق من المواد الحديثة التي تستخدم فى مجال لصق وإستكمال الزجاج، ويستخدم هذا اللاصق في أغراض لصق الزجاج والمعادن والسيراميك والمطاط وبعض المواد الآخرى وذلك لما يتميز به من قوة لصق عالية، وهو من إنتاج شركه هانتسمان للمواد المتطورة Huntsman Advanced Materials ومقرها سويسرا Switzerland.



التركيب الكيميائي للاصق ارالديت ٢٠٢٠ :

- **الخواص العاملة للاصق** Araldite2020:

١- يتميز هذا اللاصق بدرجة لزوجة منخفضة Low viscosity تمكنه من السريان والتخلل بين الكسر المراد لصقها.

٢- الشفافية أو اللون (Colour (visual حيث أن هذا اللاصق يتميز بالشفافية وإنعدام اللون للمركبين تقريباً حيث أن مركب A عديم اللون ومركب B قد يميل إلي الاصفرار قليلاً ولكن بخلط المركبين معاً يتحول لون اللاصق إلي الشفاف عديم اللون.

٣- يتميز بمعامل انكسار مماثل للزجاج Refractive index similar to that of glass.

٤- يمكن تجهيز وتشغيل اللاصق في درجة حرارة الغرفة العادية حيث تتراوح درجة الحرارة المثلي للتشغيل ٢٣ – ٤٠ م O.

٥- يتميز بدرجة لصق مرتفعة لذلك يفضل استخدامة في لصق الزجاج حيث يعطي وصلة لصق قوية لها قدرة عالية علي اللصق.

٦- بعد جفاف اللاصق يكون روابط متقاطعة وله قوة متانة عالية وكذلك يتميز بالثبات الكيميائي لفترة كبيرة من الزمن دون تغير أو اصفرار.

٧- يمكن إزالة اللاصق باستخدام بعض المذيبات مثل الأسيتون acetone أو استخدام ايزوبروبانول iso-propanol حيث يحدث له إنتفاش ويسهل إزالته ميكانيكياً.

٨- يتميز بقلة قابليتة للإنكماش بعد التصلب حيث أن أبعادة لا تتغير في الظروف الطبيعية.

- **النسب القياسية لخلط المركب (A) مع المركب (B) :**

يتم خلط المركب A إلي المركب B بنسبه ٣: ١ بالحجم أو ١٠٠: ٣٠ جرام بالوزن؛

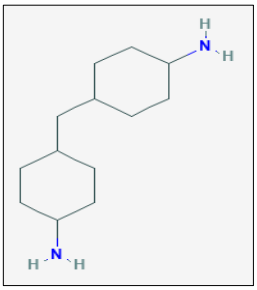
Mixratio نسب الخلط	Parts by Weight الأجزاء بالوزن	Parts by Volume الأجزاء بالحجم
Araldite2020(A)	١٠٠	٣
Araldite2020(B)	٣٠	١

- **زمن تصلب اللاصق وعلاقتة بدرجة حرارة التشغيل:**

تعتبر درجة حرارة ما بين ٢٣ : ٤٠م هي درجة الحرارة المثالية لتجهيز اللاصق وتصلبه حيث يستغرق اللاصق ما بين ٣ : ١٦ ساعة لتمام الجفاف في درجات الحرارة المثالية وكذلك يتوقف ذلك علي كمية المصلب حيث أن زيادة المصلب تعمل علي تسريع عملية التصلب، ويوضح الجدول التالي زمن تصلب اللاصق في درجات الحرارة المختلفة[1]:

درجة الحرارة Temperature	C	١٠	١٥	٢٣	٤٠	٦٠	١٠٠
زمن التصلب Curing time	Hours	٢٤	٢٠	١٦	٣	-	-
	Minutes	-	-	-	-	٩٠	١٥

اللاصق الثالث لاصق كالدوفكس٢ (Caldofix-2) يعتبر هذا اللاصق من المواد الحديثة التي تستخدم في مجال لصق وإستكمال الزجاج، و ينتمي هذا اللاصق لمجموعة لواصق الايبوكسى الشفافة، حيث يتكون من مركبين يتم خلطهم سوياً بنسب محددة أحداهم المونيمر أو الراتنج Monemer or resin (A) ولمركب الآخر المصلب Hardener (B)، وهو من إنتاج شركة Struers العالمية ومقرها الدنمارك Denmark.



التركيب الكيميائي للاصق كالدوفكس –٢ :

يتكون من مركب 4,4'-Methylenedicyclohexanamine

والرمز الكيميائي له C13H26N2

[1]- **Sorenson RW, Campbell TW. ;(1961)**, " Preparative methods of polyme chemistry"., Interscience Publishers. p. 465.; **koop .S.P.,(2006)**, " Conservation and Care of glass objects", London, p.48. data sheet of producing company: Huntsman Advanced Materials , Switzerland , araldite 2020.;.1

- **النسب القياسية لخلط المركب** resin (A) **مع المركب** Hardener (B):

يتم خلط المركب A إلي المركب B بنسبة 3:1 بالحجم أو 10 :31 جرام بالوزن.

– وللحصول علي أفضل نتائج يفضل إستخدام طريقة الوزن لتحضير هذا اللاصق؛

Mixratio نسب الخلط	Parts by Weight الأجزاء بالوزن	Parts by Volume الأجزاء بالحجم
Caldofix-2 (A) resin	٣١	٣
Caldofix-2 (B) Hardener	١٠	١

- **الكثافة النسبيه للاصق** Relative density:

يتميز اللاصق بدرجه كثافة مناسبة حيث تصل درجه الكثافة الى96 g/ml

- **زمن تصلب اللاصق وعلاقته بدرجة حرارة التشغيل :**

تعتبر درجة الحرارة الغرفة ما بين C 25 oم إلي درجة حرارة تصل إلي C O40 هي درجة الحرارة المثالية لتجهيز اللاصق وتصلبة في الظروف العادية، حيث يبدا زمن التصلب الإبتدائى من٩٠ دقيقة ويستغرق ٤ ساعات ويقل أو يزيد زمن التصلب والجفاف وفقاً لإرتفاع أو إنخفاض درجة الحرارة أوأيضا وفقاً لزيادة كمية المصلب Hardener.

ملحوظة هامة: يمكن أن يصل زمن التصلب إلي ساعة ونصف فقط في حالة وضع اللاصق في فرن حراري تصل درجة حرارتة إلي C 75 / F 167 .

- **الخواص الفيزيائية والكيميائية للاصق الكالدوفكس** ٢ (Caldofix-2)

١– يتميز هذا اللاصق بدرجة لزوجة منخفضةLow viscosity تمكنه من السريان والتخلل بين الكسر المراد لصقها.

٢– الشفافية أو اللون(Colour (visual حيث أن هذا اللاصق يتميز بالشفافيه وإنعدام اللون للمركبين.

٣– يتميز بمعامل إنكسار مماثل تماماً للزجاج Refractive index similar to that of glass .

٤– يتميز بدرجة لصق مرتفعة لذلك يفضل استخدامة في لصق الزجاج حيث يعطي وصلة لصق قوية لها قدرة عالية على اللصق .

٦– بعد جفاف اللاصق يكون روابط متقاطعة وله قوة متانة عالية وكذلك يتميز بالثبات الكيميائي لفترة كبيرة من الزمن دون تغير أو إصفرار.

٧– يمكن إزالة اللاصق بإستخدام بعض المذيبات مثل الأسيتون acetone أو الكحول Alcohol حيث يحدث له إنتفاش ويسهل إزالته ميكانيكياً.

٨– قليل أو منعدم الانكماش وثابت ضد المحاليل الحمضية والقلوية.

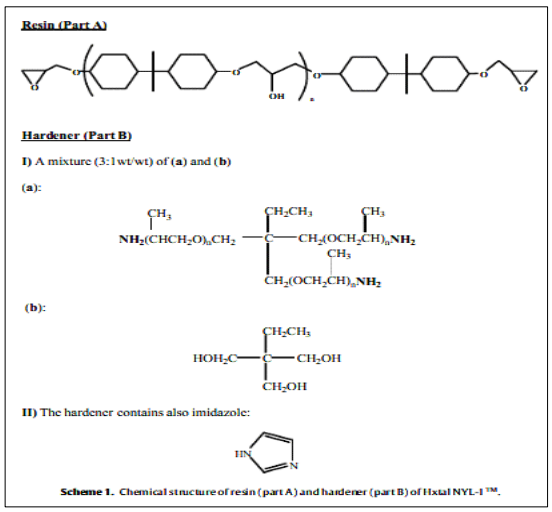
٩- درجة الغليان للاصق تصل الى ٣٢٠ O درجة مئوية.

١٠- غير قابل للذوبان في الماء نهائياً ولا يتفاعل معه.

١١- درجه الحموضة ١١ PH.

١٢- له رائحة تشبة رائحة الأمونيا ammonia أثناء تجهيز اللاصق[1].

اللاصق الرابع لاصق الهكستال نايلون -١ (HXTAL NYL-1) يعتبر لاصق الهكستال من اللواصق الحديثة في مجال ترميم الزجاج حيث يتميز هذا اللاصق بشفافية عالية وقوة لصق عالية ودرجة لزوجة منخفضة، وهو لاصق ينتمي إلي مجموعة الايبوكسى Epoxy عالية الشفافية حيث يتكون من مركبين يتم خلطهم سوياً بنسب معينه وفقاً للمواصفة القياسية للشركة المصنعة (data sheet) حيث المركب A (Epoxy resin) والمركب B أو المصلب (Hardener)، ويستخدم هذا اللاصق فى أغراض لصق الزجاج والمعادن والسيراميك والمطاط وبعض المواد الآخري، وهو من إنتاج شركة كريمر بيجمنت Kremer Pigmente GmbH وتم إحضارة من فرع الشركة بكندا.



Scheme 1. Chemical structure of resin (part A) and hardener (part B) of Hxtal NYL-1™.

التركيب الكيميائي للاصق هكستال نايلون -١:

- الخواص الفيزيائية للاصق هكستال:

١- يتميز هذا اللاصق بدرجة لزوجه منخفضة Low viscosity تمكنة من السريان والتخلل بين الكسر المراد لصقها.

٢- الشفافية أو اللون Colour (visual) حيث أن هذا اللاصق يتميز بالشفافيه وإنعدام اللون للمركبين.

٣- يتميز بمعامل إنكسار مماثل تماماً للزجاج Refractive index similar to that of glass.

٤- يتميز بدرجة لصق مرتفعة لذلك يفضل إستخدامة في لصق الزجاج حيث يعطي وصلة لصق قوية لها قدرة عالية علي اللصق.

٥- الوزن النوعي ١.٩: ٢.٥ فى درجه حرارة ٢٥ o.

٦- درجة الإنصهار ١٠ o مئوية 50 o فهرنهيت (50°F).

٧- يتميز بالثبات في الظروف العادية.

٨- يمكن تلوينه بإستخدام المواد الملونة المختلفة.

[1]- data sheet of producing company: Struers, Denmark, (Caldofix-2).

- **النسب القياسية لخلط المركب** (A) resin **مع المركب** (B) Hardener :

يتم خلط المركب A الى المركب B بنسبه ٣: ١ بالحجم أو بالوزن؛

Mixratio نسب الخلط	Parts by Weight الأجزاء بالوزن	Parts by Volume الأجزاء بالحجم
HXTAL NYL-1 resin (A)	٣	٣
HXTAL NYL-1 Hardene (B)	١	١

- **زمن تصلب اللاصق وعلاقتة بدرجة حرارة التشغيل:**

تعتبر درجة حرارة الغرفة ٢٥ مo هى الدرجة المثلي لتشغيل وإستخدام اللاصق حيث عند درجة حرارة ٢٥ مo مئوية يصل زمن تصلب اللاصق إلي١٥.٣ ساعة حتى يبدأ في التصلب بينما تمام الجفاف والتصلب عند ٣١ ساعة، وحتي يصل اللاصق إلي تكوين روابط اللصق القوية ذلك بعد ٧ أيام من الإستخدام، ويجب الأخذ في الأعتبار أنة كلما إرتفعت درجة حرارة التتشغيل يقل زمن تصلب اللاصق نسبياً وكذلك يجب مراعاة إستخدام النسب السابقة الموضحة من قبل الشركة المصنعة حيث أن أي تغير في النسب قد يؤدي إلي عدم تصلب اللاصق لفترة طويلة وفقدان قوته وخواصة الفيزيائية[١].

٢-٢ الاساليب والطرق (الدراسة التجريبية):

قد أعتمد هذا البحث علي دراسة ما تناولته بعض الدراسات السابقة في اللواصق المستخدمة في تجميع الزجاج والنتائج التي توصلت اليها بعد عمليات التقادم الصناعي المعجل لبعض اللواصق الشائعة قديماً والمستخدمة حديثاً ومقارنتها، وعلي ذلك كانت هذة الدراسة التجريبية هدفها هو استكمال مسيرة هذة الأبحاث ومعرفة المزيد من النتائج ومقارنتها وتقديم مقترح لبعض مواد اللصق المناسبة للتطبيق علي الزجاج الآثرى.

وقد استند هذا البحث إلي بعض المراجع والدراسات الهامة في ترميم الزجاج لتحديد درجات الحرارة والرطوبة المطلوبة لإجراء عمليات التقادم وكذلك الفترة الزمنية اللازمة للتقادم مثل (رمضان عوض ١٩٩٩م[٢]، ٢٠٠٢م[٣]) حيث ذكر فى رسالة الماجستير ١٩٩٩م فترة زمنية

---

[1]- **Horie CV., (1997)**," Materials for conservation – organic consolidants, adhesives and coatings. 8th ed. London: Architectural Press, an imprint of Butterworth-Heinemann. P178..; koop .S.P.,(2006) " Conservation and Care of glass objects" , London ,p.48; data sheet of producing company: Kremer Pigmente GmbH , Canada, (HXTAL NYL-1).

[٢]- **عبد الله (رمضان عوض رمضان)**: "دراسة وعلاج وصيانة الآثار الزجاجية المزخرفة بالمينا والمموهة بالذهب "رسالة ماجستير غير منشورة، كليه الآثار، جامعة القاهرة، ١٩٩٩م.

[٣]- **عبد الله (رمضان عوض رمضان)**: "دراسة العوامل المؤثرة فى تلف الآثار الزجاجية المدفونة فى التربة وأحدث تقنيات علاجها وصيانتها"، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الاثار، جامعة القاهرة، ٢٠٠٢م.

للتقادم تتراوح بين (١٢٠:٢٠٠ ساعة ودرجة حرارة تصل الى ١٠٥ مئوية)، وكذلك (فؤاد احمد حسن ٢٠١١م[١])، و(داليا على حسن الزيات ٢٠٠٩م[٢]، ٢٠١٥م[٣])، و(رشا طه عباس ٢٠١٤م[٤])، و(سلوى جاد الكريم ١٩٩٥م[٥])، و(همس عبد الحافظ ٢٠٠٥م[٦]) حيث تحدثت عن ظروف التقادم والمواصفات القياسية للإختبارات والقياسات اللونية، ومن ثم تم تجهيز عينات اللواصق موضوع البحث من خلال صب اللواصق بنسب الخلط القياسية وفقاً للنشرة الفنية للشركة المنتجة، وكانت العينات علي شكل دائري أبعادها لا تتعدى ١٠مليمتر إرتفاع ونصف قطر لا يتعدى ١٤ مليمتر، ويتضمن هذا الجزء من البحث إجراء اختبار التقادم الحراري داخل فرن التقادم لمدة ١٥٠ساعة علي دورتين كلاً منهما ٧٥ساعة تبدا بدرجة حرارة ١٠٠:٥٥٠ درجة مئوية ثم يتم قياس درجة التغير اللونى للواصق بعد كلا الدورتين ثم مقارنتها بقياسات التغير اللوني للواصق موضوع الدراسة قبل التقادم (عينات مرجعية) واختيار أفضلها للتطبيق (لوحة١).

لوحة ١: توضح عينات اللواصق داخل فرن التقادم الحرارى

حيث تم في ذلك الأختبار إستخدام جهاز الطيف الضوئي (spectrophotometer) وذلك من خلال تعرض عينات اللواصق إلي أشعة ضوئية ذات أطوال موجية محددة تخترق العينة وتنفذ من خلالها لقياس مدي نفاذية المواد للأشعة الضوئية وبالتالي معرفة مدي شفافيتها، حيث تم تعرض العينات لقياس مدي شفافيتها ودرجتها اللونية قبل عمليات التقادم ثم بعد ذلك قياس

---

[١] **حسن (فؤاد احمد)**: "دراسة علميه لعلاج وصيانة بعض المقتنيات الاثريه السليكاتيه (الفخار – الزجاج) في الأردن تطبيقا على نماذج مختارة، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الآثار، جامعه القاهرة، ٢٠١١.

[٢] **الزيات (داليا على حسن)**: "دراسة تجريبية وتطبيقيه لترميم وصيانة الزجاج الاثرى المعشق بالخشب تطبيقا على نماذج مختارة"، رسالة ماجستير غير منشورة، كليه الآثار، جامعه القاهرة، ٢٠٠٩م.

[٣] **الزيات (داليا على حسن)**: "دراسة تجريبية تطبيقية لترميم وصيانة المرايا الزجاجية الاثرية تطبيقا على احد النماذج المختارة "، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الاثار، جامعة القاهرة، ٢٠١٥م.

[٤] **حمد (رشا طه عباس)**: "دراسة العوامل المؤثرة فى تلف الاثار الزجاجية المستخدمة فى الاغراض الطبية وطرق معالجتها وصيانتها تطبيقا على بعض النماذج المختارة "، رساله دكتوراة غير منشورة، كلية الاثار، جامعه الفيوم، ٢٠١٤م.

[٥] **جاد الكريم (سلوى)**: "دراسة ترميم وصيانة الآثار الزجاجية بمصر تطبيقا على نماذج مختارة " رسالة دكتوراه غير منشورة، كليه الآثار، جامعة القاهرة، ١٩٩٥م.

[٦] **محمد (همس عبد الحافظ)**: "مظاهر التلف الفيزيوكيميائى في الزجاج الاثرى وعلاقته بالتركيب الكيميائي (دراسة تجريبية مقارنه) "، رسالة ماجستير غير منشورة، كليه الآثار، جامعه القاهرة، ٢٠٠٥م.

مدي التغير اللوني الناتج من عملية التقادم الحراري للعينات بعد مرور ٧٥ ساعة وكذلك قياسها مرة آخري بعد مرور ١٥٠ساعة.

حيث تعتمد هذة القياسات علي قياس درجات الألوان الموجودة بالعينة ودرجة نفاذيتها للضوء والتي قد تكون غير مرئية بالعين المجردة ولكن يمكن قرائتها من خلال الطول الموجي للألوان حيث من خلال بعض المعادلات التي يجريها الجهاز أتوماتيكياً يعطي ΔE وهي تمثل درجة التغير اللوني للمواد حيث تعتمد هذة النتيجة علي قياس ΔL, Δ A, Δ B هي كما يلي:

ΔL: وهي نسبة اللون الرمادي بالعينة حيث كلما إقتربنا من الصفر يكون نسبة اللوان الأسود أعلى وكلما إقتربنا من (١) تزداد نسبة وجود اللون الأبيض.

Δ A: وهي تمثل بداية وجود اللون الأحمر إذا كانت النتيجة بالموجب (+)، أما إذا كانت بالسالب (−) فهي بداية اللون الأخضر.

Δ B: وهي العلاقة بين اللون الأصفر والأزرق إذا كانت النتيجة (+) يزيد إحتمالية اللون الأصفر أما إذا كانت النتيجة (−) تزيد إحتمالية وجود اللون الأزرق.

٣- النتائج :

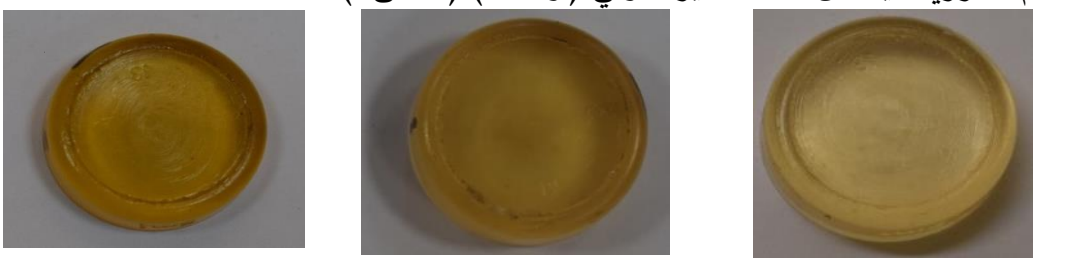
بعد إنتهاء التقادم الحرارى لعينات اللواصق وقياس درجة التغير اللونى وتسجيل النتائج فى الجدول التالي (جدول ١) حيث يوضح نتائج درجة التغير اللوني لعينات اللواصق موضوع الدراسة بعد تعرضها إلي ٧٥ ساعة تقادم حراري ثم قياس درجة التغير مرة آخرى بعد ١٥٠ ساعة تقادم حراري ثم قياس النتائج مرة آخرى علماً بأن درجة الحرارة داخل فرن التقادم تتراوح من ٥٠ : ٥١٠٠ درجة مئوية مقسمة كالتالي حتى ٧٥ساعة درجة حرارة ٥٥٠ مئوية ومن ٧٥ وحتى ١٥٠ساعة ٥١٠٠ درجة مئوية ثم مقارنة النتائج بعضها البعض وتحديد مدي الفرق في التغير وتحديد أقل لاصق من حيث نسبة التغير حيث يعتبر هذا اللصق أفضلهم استخداماً في لصق وتجميع الزجاج الآثرى.

رقم العينة	أسم اللاصق	نسب الخلط	درجة التغير بعد ٧٥ ساعة ΔE	درجة التغير بعد ١٥٠ساعة ΔE	الفرق فى التغير
1	Araldite 1092	2:1	١.٠٦	١.٥٢	٠.٤٦
2	Araldite 2020	3:1	٠.٩٠	١.٢٣	٠.٣٣
٣	Caldofix-2	3:1	١.١٢	١.٣٦	٠.٢٤
٤	-١Hxtal Nyl	١:٣	٠.٣٦	١.٢٩	٠.٩٣

(جدول ١) يوضح نتائج قياسات التغير اللونى للواصق قبل وبعد التقادم الحرارى ومقارنتها ونسبة التغير

وفقاً لنتائج الأختبارات السابقة فإن لاصق الكالدوفكس٢، وصلت نسبة التغير إلي ٠.٢٤ وهو أقل نسبة تغير بين جميع اللواصق موضوع الدراسة ثم يأتي بعد ذلك لاصق الارالديت ٢٠٢٠ بنسبة تغير ٠.٣٣ ثم لاصق الارالديت ١٠٩٢ حيث وصلت نسبة التغير

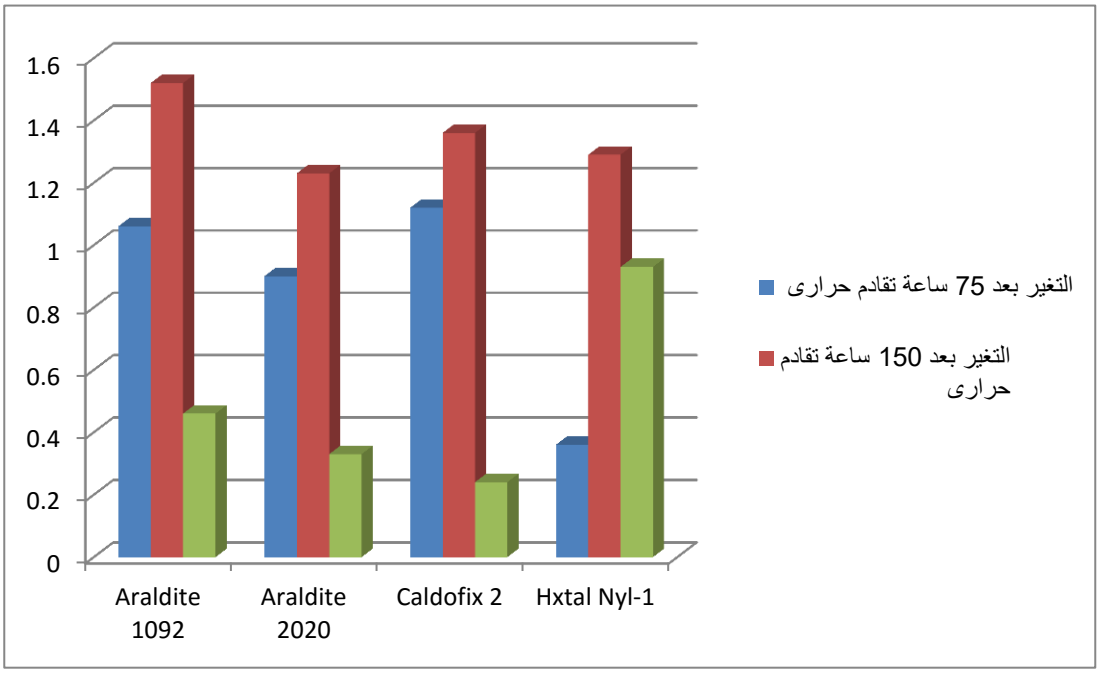
اللوني لـ ٠.٤٦ وهي نسبة متوسطة ثم لاصق الهكستال نايل ١ بنسبة تغير ٠.٣٩ وبذلك يعتبر لاصق الكالدوفكس ٢ أفضل اللواصق من حيث القدرة علي الثبات اللوني في ظل التعرض للتقادم الحراري حيث أن نسبة التغير اللوني (لوحة ٢)،(منحنى١)[١].



قبل	بعد ٧٥ ساعة تقادم حراري	بعد ١٥٠ ساعه تقادم حراري
(عينة ١) لاصق ارالديت ١٠٩٢		
قبل	بعد ٧٥ ساعة تقادم حراري	بعد ١٥٠ ساعه تقادم حراري
(عينة ٢) لاصق ارالديت ٢٠٢٠		
قبل	بعد ٧٥ ساعة تقادم حراري	بعد ١٥٠ ساعه تقادم حراري
(عينة ٣) لاصق كالدوفكس ٢		
قبل	بعد ٧٥ ساعة تقادم حراري	بعد ١٥٠ ساعه تقادم حراري
(عينة ٤) لاصق هكستال نايلون ١		

لوحة ٢: توضح عينات اللواصق موضوع الدراسة قبل وأثناء وبعد التقادم الحراري

[١]- تم إختبار العينات بمعمل قياس القوة – بمعهد القياسات والمعايرة – ترسا – الهرم.



(منحنى بيانى ١) يوضح نتائج قياس التغير اللونى لعينات اللواصق بعد ٧٥ساعة ثم بعد ١٥٠ ساعة ونسبة التغير بينهما

(لوحة ٣) توضح جهاز التغير اللونى المستخدم فى القياس لعينات اللواصق[١]

٤- المناقشة :

بعد الإنتهاء من الدراسة التجريبية للواصق موضوع الدراسة والخروج بنتائج لكل لاصق علي حدا حيث أعطت معظم هذة اللواصق نتائج ممتازة في إختبار التقادم الحراري والتغير اللوني ومقارنة هذة النتائج بينها مقارنةً دقيقة لإختيار الأفضل بينها توصلت هذة الدراسة إلي العديد من التوصيات التي من شأنها تقديم أفضل اللواصق من حيث التطبيق والاستخدام في مجال ترميم ولصق واستكمال الزجاج الآثري وهي كما يلي:

[١]- جهاز قياس التغير اللونى (موديل OPTIMATCH 3100) بالمعهد القومى للقياسات والمعايرة – ترسا – الهرم .

١. يعتبر لاصق الكالدوفكس ٢ (Caldofix-2) من أفضل لواصق الايبوكسي الأكثر ثباتاً ومقاومة لعوامل التقادم المختلفة حيث لم تتعرض للتغير اللوني بصورة كبيرة وأعطى نتائج ممتازة في الإختبار السابق كما يتمتع بقوة التصاق وشفافية عالية ومعامل إنكسار قريب من معامل إنكسار الزجاج بالإضافة إلي شفافيتة وسهولة تطبيقة وهي إشتراطات هامة في إختيار اللواصق المستخدمة في مجال لصق وتجميع الزجاج الآثرى، كذلك قابليته للاسترجاع والذوبان نسبياً في التولوين أو الأسيتون.

٢. أوضحت النتائج أيضاً أن لواصق الارالديت ٢٠٢٠ والهكستال نايلون١ ذات صفات جيدة مقارنتاً بلاصق الارالديت ١٠٩٢ ويمكن استخدامها في حالة الزجاج الملون دون تأثر من جهة التغير اللوني البسيط.

٣. ينصح بعدم إستخدام لاصق الارالديت ١٠٩٢ وذلك بسبب تعرضة للاصفرار والتأثر بعوامل التقادم الحراري في درجات حرارة منخفضة بالإضافة إلي لونة الذي يميل للاصفرار بشكل ملحوظ علي الرغم من أستخدامة علي نطاق واسع قديماً في ترميم الزجاج.

٥- الخلاصة :

من خلال النتائج التي توصلنا لها في هذا البحث نخلص إلي أهمية دراسة اللواصق المستخدمة في ترميم الزجاج الآثري، وخاصة راتنجات الايبوكسي دراسة مستفيضة وأختبارها قبل التطبيق نظراً لتغير خواص البعض منها نتيجة التعرض لعمليات التقادم المختلفة ومن ثم تقيمها من حيث الخواص والإشتراطات المتمثلة في القدرة علي الثبات ومقاومة عوامل التقادم وما ينتج عنها من تغير لوني وإعتام كشرط ضروري عند إختيار اللاصق للتطبيق، حيث أوضحت نتائج الدراسة إلى أن لاصق الكالدوفكس ٢ يعتبر أفضل لواصق الإيبوكسي من حيث الأمان والثبات والشفافية العالية وقابليته للاسترجاع ومقاومة الظروف المناخية المختلفة حيث أعطي أقل درجة تغير لونى مقارنتةً باللواصق الآخرى موضوع الدراسة ولذلك ينصح باستخدامة في ترميم وتجميع واستكمال الزجاج الآثري.

٦- المراجع :

أولاً: المراجع العربية :

١. **جاد الكريم (سلوى)**: "دراسة ترميم وصيانة الآثار الزجاجية بمصر تطبيقا على نماذج مختارة " رسالة دكتوراه غير منشورة، كليه الآثار، جامعة القاهرة، ١٩٩٥م.

٢. **حسن (فؤاد احمد)**: "دراسة علميه لعلاج وصيانة بعض المقتنيات الاثريه السليكاتيه (الفخار – الزجاج) في الأردن تطبيقا على نماذج مختارة، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الآثار، جامعه القاهرة، ٢٠١١.

٣. **حمد (رشا طه عباس)**: "دراسة العوامل المؤثرة فى تلف الاثار الزجاجية المستخدمة فى الاغراض الطبية وطرق معالجتها وصيانتها تطبيقا على بعض النماذج المختارة "، رساله دكتوراة غير منشورة، كلية الاثار، جامعه الفيوم، ٢٠١٤م.

٤. **الزيات (داليا على حسن)**: "دراسة تجريبية وتطبيقيه لترميم وصيانة الزجاج الاثرى المعشق بالخشب تطبيقا على نماذج مختارة"، رسالة ماجستير غير منشورة، كليه الآثار، جامعه القاهرة، ٢٠٠٩م.

٥. **الزيات (داليا على حسن)**: "دراسة تجريبية تطبيقية لترميم وصيانة المرايا الزجاجية الاثرية تطبيقا على احد النماذج المختارة"، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الاثار، جامعة القاهرة، ٢٠١٥م.

٦. **عبد الله (رمضان عوض رمضان)**: "دراسة وعلاج وصيانة الآثار الزجاجية المزخرفة بالمينا والمموهة بالذهب "رسالة ماجستير غير منشورة، كليه الآثار، جامعة القاهرة، ١٩٩٩م.

٧. **عبد الله (رمضان عوض رمضان)**: "دراسة العوامل المؤثرة فى تلف الآثار الزجاجية المدفونة فى التربة وأحدث تقنيات علاجها وصيانتها"، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الاثار، جامعة القاهرة، ٢٠٠٢م.

٨. **محمد (همس عبد الحافظ)**: "مظاهر التلف الفيزيوكيميائى في الزجاج الاثرى وعلاقته بالتركيب الكيميائي (دراسة تجريبية مقارنه)"، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآثار، جامعة القاهرة، ٢٠٠٥م.

ثانياً : المراجع الأجنبية :

1. **Davison, S., 2003,**"Conservation and Restoration of Glass", Butterworth-Heinemann, Oxford.
2. **Down JL.** Review of CCI research on epoxy resin adhesives for glass conservation. Rev Conservat 2001.
3. **Ebnesajjad,S., (2008)**, "Adhesives Technology Handbook " 2 nd Edition, William Andrew Inc., Norwich, NY, United States of America.
4. **Esmeralda Lo´pez-Ballestera,** M. Teresa Dome´nech-Carbo´ a, J. Vicente Gimeno-Adelantadob, Francisco Bosch-Reigb, (1999), "Study by FT-IR spectroscopy of ageing of adhesives used in restoration of archaeological glass objects", Journal of Molecular Structure 482–483.
5. **Horie CV., (1997),** " Materials for conservation – organic consolidants, adhesives and coatings. 8th ed. London: Architectural Press, an imprint of Butterworth-Heinemann.
6. **koop .S.P.,(2006),** " Conservation and Care of glass objects", London.
7. **Meyer Dewwek, M., and Favre., G., (1999),** "La Restauration, Paris.
8. **Paul,S., (1996),** "Surface Coating (Science& Technology), Second edition, John Wilesy & Sons Ltd., Canada.
9. **Selwitz C., (1992),** "Epoxy resins in stone conservation. Los Angeles:The Getty Conservation Institute.
10. **Sorenson RW, Campbell TW.;(1961)**," Preparative methods of polyme chemistry"., Interscience Publishers.
11. data sheet of producing company: (Ciba-Geigy Co) araldite 1092.
12. data sheet of producing company: Huntsman Advanced Materials, Switzerland, araldite 2020.
13. data sheet of producing company: Struers, Denmark, (Caldofix-2).
14. data sheet of producing company: Kremer Pigmente GmbH, Canada, (HXTAL NYL-1) .