دراسة مقارنة لبعض اللواصق الإيبوكسية المستخدمة فى ترميم الآثار الزجاجية

A Comparison Study for Epoxy Adhesives Used in Archaeological Glass Conservation

محمد حفنى مغازى حفنى*[(1)] ، نجوى سيد عبد الرحيم محمد[(2)] ، حمدى عبد المنعم محمد عبد العال [(1)] ، رشا طه عباس حمد[(2)]

[(1)] قسم الترميم- متحف الفن الإسلامى بالقاهرة- وزارة السياحة والآثار- مصر

[(2)] قسم الترميم- كلية الآثار- جامعة الفيوم- مصر

mohammad.hefni@yahoo.com

الملخص

يناقش البحث موضوع هام خاص بترميم الآثار الزجاجية، فنظراً لطبيعة الزجاج سهولة الكَسر فكثيراً ما تكون الآثار الزجاجية المستخرجة من الحفائر فى حالة تهشم، ذلك بالإضافة إلى إحتمالية تعرضها للكسر داخل المتاحف والمخازن الأثرية سواء نتج ذلك عن التناول الخاطئ لها أو عن خطأ أثناء الترميم أو عن أسلوب عرض خاطىء للأثر الزجاجى بالمتحف أو غيره.

نجد أن عملية الترميم الأساسية فى هذه الحالة تتمثل فى مرحلتى التجميع والإستكمال، وهنا تكون المادة الأساسية اللازمة لعملية الترميم هى المادة اللاصقة، وتعتبر المواد الإيبوكسية هى أكثر المواد المستخدمة فى تجميع وإستكمال الآثار الزجاجية.

يهدف البحث للتوصل إلى أفضل المواد الأيبوكسية المتاحة بالمتاحف والمواقع الأثرية بمصر بحيث تتناسب للاستخدام فى ترميم الآثار الزجاجية.

ويتناول البحث دراسة خمس مواد إيبوكسية يسهل تواجدها فى المواقع الأثرية والمتاحف بمصر، حيث تقوم فكرة البحث على عمل مقارنة بين تلك المواد من حيث الخصائص الفيزيائية والميكانيكية وأيضاً من حيث نتيجة عمليات التقادم المختلفة، بحيث تم تعريض عينات من تلك المواد للتقادم الصناعى ثم تم عمل مقارنة لحالة العينات قبل وبعد التقادم بحيث تم تقييم التغيرات من خلال جهاز قياس التغير اللونى Colorimeter وتحليل ATR FT-IR.

وتتمثل مراحل العمل فى عمل عينات لكل مادة، وعمل الإختبارات الخاصة بالتعرف على خواص كل مادة، وكذلك القيام بتعريض كل مجموعة من العينات إلى عملية تقادم مختلفة عن الأخرى، حيث تم عمل التقادم الصناعى بأربع تقنيات مختلفة كعوامل للتلف (تقادم حرارى– تقادم بالرطوبة– تقادم ضوئى Ultraviolet Radiation (UV)– تقادم بالحرارة والرطوبة وأشعة U.V)، بحيث يتم دراسة التغيرات بالعينات على إختلاف تقنيات التقادم، وينتج عن الدراسة التعرف على أفضل المواد المختارة للدراسة.

الكلمات الدالة: حادث الإنفجار، متحف الفن الإسلامى، مشكاة زجاجية، ترميم الآثار الزجاجية، مرحلة التصنيف، التجميع.

Abstract

The research discusses an important topic related to the conservation of glass antiquities, given the nature of glass, the ease of breakage, so the glass artifacts extracted from excavations are often in a state of shattering, in addition to the possibility of being

broken inside museums and archaeological stores, whether this resulted from the wrong handling of it or a mistake during the restoration or from Wrong display of the glass object in the museum or others.

The basic restoration process in this case is the assembly and completion stages, and the basic material needed for the restoration process is the adhesive, and epoxy materials are the most used materials in assembling and completing glass artifacts.

The research aims to find the best epoxy materials available in museums and archaeological sites in Egypt to be suitable for use in the conservation of glass archaeological.

The research deals with the study of five epoxy materials that are easy to find in archaeological sites and museums in Egypt. Where a comparison was made of those materials in terms of physical and mechanical properties and through the different aging stages, where samples of materials were exposed for the condition of the samples before and after aging, So that the changes were evaluated through a Colorimeter and ATR FT-IR analysis.

The stages of work consist in making samples for each substance, performing tests to identify the properties of each substance, as well as exposing each set of samples to a different aging process from the other. Where the industrial aging was done by four different techniques as factors for damage (thermal aging - moisture aging - ultraviolet radiation (UV) - heat and humidity aging and U.V rays), So that the changes in the samples are studied according to the different aging techniques, and the study results in identifying the best materials selected for the study.

Keywords: Conservation Glass, Shattered Glass, Assembly, Completion, Epoxy Adhesives.

1- المقدمة: Introduction

إن العملية الخاصة بلصق أجزاء الزجاج المكسورة يمكن تسميتها بعملية بناء القطعة ([1])، فى البداية كانت تستخدم المواد الطبيعية فى لصق الأجزاء المكسورة للآثار الزجاجية مثل الغراء الحيوانى والصمغ العربى والشموع الطبيعية (شمع عسل النحل) وغيرها، إلا أنه تم إستبعادها مع مرور الوقت نظراً لتعرضها للكثير من المشاكل (الهشاشية – تغير اللون – الجفاف – الإنكماش – جذب الأتربة) ([2])، كما أنه يحدث لها بعض التغير فى اللون ([3]) ، ويوجد دورق زجاجى يحمل رقم 6102 بمتحف الفن الإسلامى تم عمل له فك وإعادة ترميم تم

[1] مصطفى، محمد: دراسة مقارنة لأنواع الفخار والسيراميك فى مصر مع ترميم وصيانة قطع فخارية أثرية- رسالة ماجستير- قسم ترميم الآثار- كلية الآثار- جامعة القاهرة، 1991، ص131.

[2] Davison, S., Conservation and restoration of glass Oxford, second edition, 2006, P.180 & 204.

[3] Brom, N.s. Elizabeth, M, Adhesives and Consolidants Preprints on Contrilutian to the Paris Congress , 1984, P. 197.

التعرف على مادة التجميع الخاصة الترميم السابق وتبين أنها مادة الغراء الحيوانى ([4])، أما وبعد إكتشاف المواد المصنعة من الراتنجات واللواصق الصناعية التى أعطت بعضها نتائج جيدة فى مجال تجميع الآثار فقد أصبحت هى الأكثر إستخداماً فى هذا المجال ([5])، ويوجد طبق زجاجى يحمل رقم 23621 بمتحف الفن الإسلامى بالقاهرة حدث إنفصال لأكثر من كِسرة له وكذلك ترحيل بين الكِسَر فى أماكن التجميع الخاصة بعملية الترميم السابقة وتم التعرف على مادة التجميع فى الترميم السابق ووَجِدَ أنها مادة بولى فينيل أسيتات PVA وتم إعادة ترميمه مرة أخرى، وانتشر إستخدام اللواصق الإيبوكسية فى تجميع الآثار الزجاجية بعد ذلك ومستمر حتى الآن ([6]).

1-1- شروط إختيار المادة اللاصقة اللازمة لترميم الأثر الزجاج:

- أن تكون ذات قوة لصق شديدة تكفى للصق الكِسَر الزجاجية.
- أن تكون إسترجاعية.
- أن تكون ذات درجة لزوجة مناسبة تسمح لها بمعدل سريان معتدل يضمن سهولة تغلغلها عند إجراء عملية اللصق.
- أن تكون سهلة التشغيل. ([7])
- أن يكون معدل التمدد والإنكماش لها مقارباً لمعامل تمدد وإنكماش الزجاج.
- أن تكون مقاومة للرطوبة.
- أن يكون معامل الانكسار الضوئى لها مقارباً لمعامل الانكسار الضوئى للزجاج ([8]) ، ويمكن تعريف معامل الإنكسار للزجاج بأنه نسبة سرعة الضوء فى الفراغ إلى سرعة الضوء فى الزجاج ([9]) ، علماً بأن معاملات الإنكسار لزجاج السليكا القلوى تزداد بزيادة تركيز أكسيد القلوى ، كما أن كثافة الزجاج أيضاً تلعب دوراً فى التأثير بمعامل الإنكسار([10]).
- أن تكون خاملة كيميائياً.
- أن تكون مقاومة للإصابة الفطرية.
- أن تكون مقاومة للتلوث الجوى بحيث لا تجذب الأتربة والعوالق.
- أن تكون مقاومة بشكل كبير ضد التلف بالرطوبة.
- أن تكون لها مقاومة عالية للإجهادات والتمزقات وقوى الشد.
- ألا تتسبب أثناء عملية تصلدها أو بعدها فى حدوث إجهادات تؤثر سلباً على الزجاج.

---

4 العريبى، رانيا: دراسة حماية وصيانة الآثار الزجاجية باستخدام المواد النانوية مع التطبيق العملى لترميم أثر زجاجى، مجلة العمارة والفنون، العدد 18، 2019، ص230.

[5] Buys, S & Oakley, V., Conservation and Restoration of Ceramics, London, 1988, P.80.

6 حمد، رشا- حفنى، محمد - عبد العال ، حمدى: إعادة تجميع وصيانة طبق زجاجى أثرى من العصر الإسلامى المبكر من حفائر مركز البحوث الأمريكية. الفسطاط. مصر، مجلة الإتحاد العام للآثاريين العرب، 2021، المجلد 22، العدد1، ص719، 725.

7 حفنى، محمد: دراسة تأثير الموجات الصوتية الناتجة عن التفجيرات على الآثار الزجاجية وطرق علاجها وصيانتها تطبيقاً على نماذج مختارة من متحف الفن الإسلامى بالقاهرة، رسالة ماجستير، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة الفيوم، 2019م، ص109.

[8] حمد، رشا: دراسة العوامل المؤثرة فى تلف الآثار الزجاجية المستخدمة فى الأغراض الطبية وطرق معالجتها وصيانتها تطبيقاً على بعض النماذج المختارة ، رسالة دكتوراة، قسم الترميم، كلية الآثار – جامعة القاهرة ، 2014 م ، ص90.

[9] محمد ، همس: مظاهر التلف الفيزيوكيميائى فى الزجاج الآثرى وعلاقته بالتركيب الكيميائى " دراسة تجريبية وتطبيقية، رسالة ماجيستير، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار – جامعة القاهرة،2005 م ، ص35.

[10] Shackelford.J., & Doremus.R., *Ceramic and Glass materials "Structure, Properties and Processing" springer*, USA, 2008, P.182.

- أن تكون شفافة وعديمة اللون ([11]).

2-1- المواد الإيبوكسية:

تستخدم المواد الأيبوكسية فى ترميم الآثار الزجاجية، وهى تتكون من مركبين الراتنج والمصلب حيث عند بداية التفاعل بين المركبين تكون فى الحالة السائلة ثم تصبح فى حالة الجيل إلى أن تتم عملية التصلد ([12])، وينتمي راتنج الإيبوكسي إلى مجموعة الراتنجات المتصلبة بالحرارة حيث أن هذه الراتنجات بعدم إمكانية إعادة تشكيلها بالحرارة بعد تحولها إلى مادة صلبة (عدم الإسترجاعية) نتيجة لتكون سلاسل بوليميرية طويلة متشابكة مع بعضها وهو ما يسمى بالربط التشابكي ، يحتوي راتنج الإيبوكسي على مجموعتين أو أكثر من مجاميع الإيبوكسايد التي تتألف من ذرة أُوكسجين مرتبطة مع ذرتي كربون ترتبط مجموعة الإيبوكسي كيميائياً مع الجزيئات الأُخرى لتشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد ذات ربط تشابكي بعملية المعالجة. يتميز راتنج الإيبوكسي بالصلادة والمقاومة الكيميائية العاليتين نسبياً إضافة إلى ذلك يمتلك هذا الراتنج قابلية إلتصاق نوعي عالي بسبب التركيب الكيميائي لهذا الراتنج والمتمثل في مجموعة الإيثرات والهيدروكسيل والمجاميع القطبية التي تعطي متانة وإلتصاق عالية وتكسب المادة صلادة وقوة ([13]).

2- المواد وطرق العمل: Materials and methods

2-1- المواد المختارة:

تم إستخدام خمس مواد إيبوكسية لدراستها بحيث يتم التوصل إلى أفضلها يتكون كل منها من مركبين الراتنج والمصلب ويتم خلطهما معاً، وتتميز المواد الإيبوكسية بسهولة تغلغلها ودرجات الشفافية المستخدمة ومتانتها، وتتمثل المواد الإيبوكسية المختارة للدراسة فى:

1- أرالديت 1092	Araldite 1092
2- أرالديت 2020	Araldite 2020
3- أكسيت 50	Euxit 50
4- أرالديت 1306	Araldite 1306
5- كيما بوكسى 150 3D	* Kemapoxy 150 3D

لوحة (1) توضح المواد الإيبوكسية المختارة للدراسة

2-2- طرق العمل:

2-2-1- الجانب التجريبى:

[11] ضوى، سلوى: *دراسة ترميم وصيانة الآثار الزجاجية فى مصر تطبيقا على نماذج مختارة*، رسالة دكتوراة ،قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة 1995م، ص (137:136).

[12] عبد الرحيم ، نجوى: *دراسة علمية لعلاج وصيانة المواد المصنعة المستخدمة فى تزيين المشغولات الآثرية فى مصر القديمة خلال الدولة الحديثة والعصر المتأخر*- رسالة دكتوراة- قسم ترميم الآثار كلية الآثار جامعة القاهرة، 2003.

[13] ويكبديا: *إيبوكسى* ، 14 فبراير 2019.

* *شكر* إلى أ/ ياسمين عبد المعز مدرس مساعد بقسم الترميم كلية الآثار جامعة القاهرة، وإلى أ/ محمد سليمان أخصائى ترميم الآثار بالمتحف القومى للحضارة على مساعدتهما الخاصة بالمواد المحددة للدراسة.

تقوم فكرة الدراسة على عمل مقارنة بين تلك المواد من حيث خواصها ومن خلال نتيجة عمليات التقادم المختلفة، حيث تم تعريض عينات المواد لمراحل مختلفة من التقادم الصناعى وتم عمل مقارنة بين النتائج قبل وبعد التقادم وتم تقييمها من خلال قياس نسبة التغير اللونى وأيضاً التعرف على التغيرات فى المجموعات الوظيفية للمواد، وتتمثل عناصر الدراسة فى:

* دراسة خواص المواد الإيبوكسية المختارة للدراسة:

- دراسة الخصائص الفيزيائية.
- دراسة الخصائص الميكانيكية.

* دراسة تأثير عمليات التقادم المختلفة على المواد الإيبوكسية المختارة:

- دراسة تأثيير التقادم الحرارى.
- دراسة تأثير التقادم الضوئى بالأشعة فوق البنفسجية (U.V).
- تأثير التقادم بالرطوبة (الغمر فى الماء).
- تأثير التقادم بالحرارة والأشعة فوق البنفسجية (U.V) مع تواجد نسبة الرطوبة.

2-2-1-1- خصائص التشغيل للمواد الإيبوكسية المختارة:

جدول (1) يوضح خصائص التشغيل للمواد اللاصقة المختارة للدراسة

المواد المختارة للدراسة	نسبة خلط المركبين أ، ب بالوزن	فترة التشغيل	زمن الجفاف النهائى
مادة أرالديت 1092	2 راتنج : 1 مصلب	25 : 40 دقيقة	24 ساعة
مادة أرالديت 2020	3 راتنج : 1 مصلب	25 : 40 دقيقة	24 ساعة
مادة أكسَيت 50	3 راتنج : 1 مصلب	60 دقيقة	24 : 28 ساعة
مادة أرالديت 1306	1 راتنج : 1 مصلب	20 : 40	24 ساعة
مادة كيمابوكسى 3D 150	3 راتنج : 1 مصلب	45 دقيقة	24 ساعة

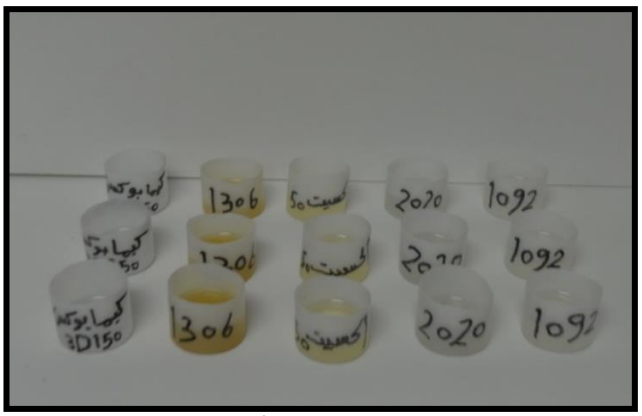
2-2-1-2- تحضير العينات :

تم تحضير عينات اللواصق الإيبوكسية المختارة للدراسة التجريبية بالنسب السابق ذكرها من الراتنج والمصلب والموضحة على علب المواد من الشركات المصنعة، وتم التحضير بمعمل الترميم بمتحف الفن الإسلامى بالقاهرة، حيث تحضير العينات فى صورتين:

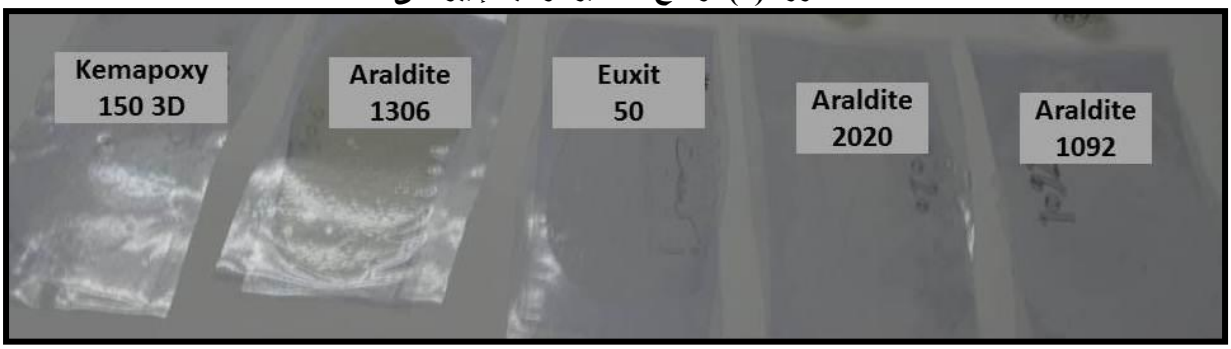
- الصورة الأولى: فى صورة قوالب.
- الصورة الثانية: فى صورة رقائق (طبقة رقيقة من مادة الإيبوكسى).

والهدف من تحضير العينات فى صورة قوالب ورقائق هى رؤية تأثير عمليات التقادم على المادة فى صورتها كمادة إستكمال (صورة القوالب)، وفى صورتها كمادة تجميع (الرقائق)، علماً بأن قياس درجة التغير اللونى فى عمليات التقادم المختلفة تم على المواد الإيبوكسية فى صورة رقائق (الطبقات الرقيقة من المواد الإيبوكسية) تم إستخدامها فى التعرف على المقدار الكلى للتغير اللونى للمادة الإيبوكسية بعد تعرضها للتقادم.

بالنسبة لتحضير العينات فى صورة قوالب إيبوكسية فقد تم استخدام اسطوانات بلاستيكية وتم تغطيتها بشريط لاصق شفاف بإحكام وتم صب مادة الإيبوكسى وبعد الجفاف تم إزالة الإسطوانات البلاستيكية وكذلك إزالة الشريط اللاصق الشفاف*، أما لتحضير العينات فى صورة الرقائق فقد تم استخدام طبقتين من البولى إيثيلين لعمل كل رقيقة بحيث يتم عزلهم بإستخدام قطنة مبللة بصابون متعادل ومجففة نسبياً وتم وضع مادة الإيبوكسى بين الطبقتين على أن يتم وضع البولى إيثيلين على سطح متساوى وفى النهاية يتم وضع ثقل متساوى فوق البولى إيثيلين وذلك حتى يكون الشيت الإيبوكسى متساوى وبعد الجفاف يتم إزالة طبقتى البولى إيثيلين ويتبقى شيت الإيبوكسى.



صورة (2) توضح تحضير قوالب الإيبوكسى



صورة (3) توضح تحضير رقائق الإيبوكسى

2-2-1-3- دراسة خواص المواد الإيبوكسية المختارة:

2-2-1-3-1- الخصائص الفيزيائية:

تم التعرف على لون ودرجة شفافية العينات عن طريق الفحص البصرى ، وتم قياس الوزن الحجمى (الكثافة) لعينات المواد بالمعهد القومى لبحوث الإسكان ، وتتناسب كثافة المواد مع الزجاج خاصة أن نتائجها متقاربة.

* شكر إلى أ/ خالد يحيى أخصائى ترميم الآثار بمتحف الفن الإسلامى بالقاهرة على مساعدته فى إعداد الإسطوانات البلاستيكية الخاصة بإعداد العينات.

2-2-1-3-2- دراسة الخصائص الميكانيكية:

تفيد دراسة الخصائص الميكانيكية للمواد الإيبوكسية المختارة التأكد من قدرة المادة على احتمال العدد الكبير من الكِسَر الزجاجية التى قد تنتج من تهشم أثر زجاجى وذلك فى مرحلة التجميع بحيث لا تحدث أى فروق بين الكِسر أو انفصال لها، وللتعرف على الخصائص الميكانيكية للمواد الإيبوكسية المختارة تم قياس:

- الصلادة (مقياس موه).
- قياس مقاومة الضغط.

الصلادة (مقياس موه):

تم قياس الصلادة (مقياس موه) لعينات المواد الإيبوكسية المختارة بالمعهد القومى للبحوث، وأعطت نتائج متقاربة تتراوح بين (4.5 : 5.5) وهى مناسبة جداً لإستخدامها كمواد لاصقة فى ترميم الآثار الزجاجية.

والصلادة هى مقاومة الجسم للخدش بواسطة جسم آخر، حيث يتم تعيين صلادة أى مادة طبقاً لمقياس موه للصلادة Moh's Scale for hardness الذى يحتوى على عشرة معادن تبدأ بأقل المعادن صلادة وهو التلك Talc وتنتهى بأكثر المعادن صلادة وهو الألماس Diamond ([14]).

مقاومة الضغط:

تم قياس مقاومة الضغط لعينات المواد الإيبوكسية المختارة بالمعهد القومى لبحوث الإسكان بجهاز FORM+TEST- PRUFSYSTEME (Wiefalter: Strabe 20. D- 88499 Riedlinger)، وبالرغم أنها أعطت نتائج مختلفة إلا أن جميعها يتناسب مع الإستخدام كمواد لاصقة فى ترميم الآثار الزجاجية، وأعطت مادة أرالديت 1306 أعلى مقاومة للضغط.

2-2-1-4- دراسة تأثير عمليات التقادم المختلفة على المواد الإيبوكسية المختارة:

تم القيام بعمليات تقادم صناعية مختلفة لمعرفة أفضل المواد بالنسبة للتغير اللونى الذى يحدث للمواد الإيبوكسى مع التقادم.

- دراسة تأثير التقادم الحرارى.
- دراسة تأثير التقادم الضوئى بإستخدام الأشعة فوق البنفسجية (U.V).
- دراسة تأثير التقادم بالرطوبة (الغمر فى الماء).
- دراسة تأثير التقادم بالحرارة والأشعة فوق البنفسجية (U.V) مع تواجد نسبة الرطوبة.

وتم تقييم نتائج عمليات التقادم من خلال:

- قياس التغير اللونى للعينات بعد عمليات التقادم المختلفة.
- مدى التغير فى المجموعات الوظيفية للعينات بعد التقادم.

وتم إستخدام جهاز قياس التغير اللونى (Colorimeter)* فى تقييم مقدار التغير اللونى للعينات فى عمليات التقادم، ويجب هنا ذكر أن جهاز قياس التغير اللونى (Colorimeter) لا يتم إستخدامه مع الأجسام الشفافة ولكن

[14] عبد الله ، رمضان: دراسة تأثير العوامل المؤثرة فى تلف الآثار الزجاجية المدفونة فى التربة وأحدث تقنيات علاجها وصيانتها ، دكتوراة ، قسم الترميم ، كلية الآثار – جامعة القاهرة ، 2002 ، ص21 .

الهدف هنا ليس معرفة درجة لون مواد الإيبوكسى بإستخدام الجهاز ولكن الهدف التعرف على مقدار التغير اللونى فتم وضع خلفية واحدة للعينات (خلفية بيضاء) وتم أخذ القياسات بإستخدام جهاز قياس التغير اللونى (Colorimeter) فى صورتها الأصلية وبعد عمليات التقادم المختلفة، وتم إستخدام جهاز Colorimeter بالمواصفات الآتية:

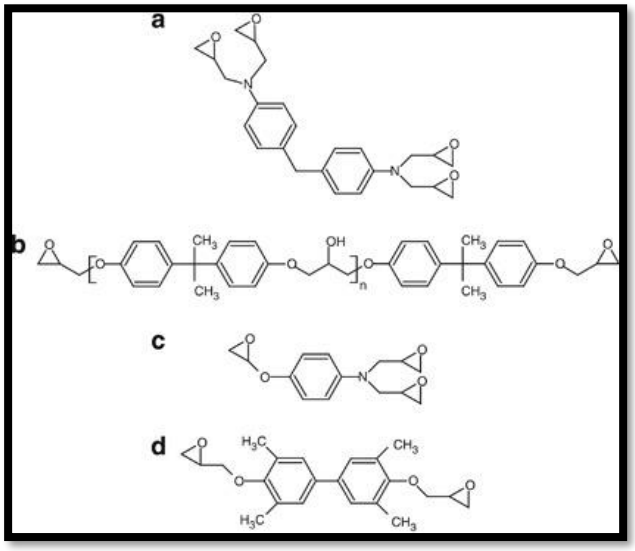
Name: Precise Color Reader - Model: WR-10QC.

لوحة (4) توضح جهاز قياس التغير اللونى (Colorimeter) المستخدم

تم عمل التحليل بإستخدام طيف الأشعة تحت الحمراء ATR- FTIR للتعرف على التغير فى المجوعات الوظيفية لكل مادة بعد عمليات التقادم المختلفة، وتم عمل التحاليل فى معمل الترميم بمتحف الفن الإسلامى بالقاهرة بإستخدام جهاز ATR** ، والجهاز بمواصفات (Platinum – ATR – رقم مسلسل 12382310 – اسم الشركة: Bruker).

تم عمل تحليل ATR للعينة الأصلية Standard لكل مادة وتم عمل التحليل لعينات المادة بعد عمليات التقادم المختلفة، ويتم عرض تحليل العينة الأصلية Standard يليه مقارنة بين نتيجة التحليل للعينات الأصلية والعينات بعد عملية التقادم حيث أن اللون الأحمر يمثل العينة الأصلية Standard ويمثل اللون الأزرق المادة بعد عملية التقادم، ويتمثل التركيب البنائى لمادة الإيبوكسى (الأرالديت) فى الشكل الآتى:

* شكر إلى الأخ والزميل أ/ أحمد خيرى أخصائى الترميم بإدارة الأزمات بالمجلس الأعلى- وزارة السياحة والآثار لمساعته فى قياس مقدار التغير اللى بالعينات.
** شكر إلى د/ صفاء الشحات راشد رئيس قسم ترميم النسيج بمتحف الفن الإسلامى بالقاهرة والمسئولة عن الجهاز المستخدم على ما قدمته من مساعدة فى عمل تحاليل العينات.



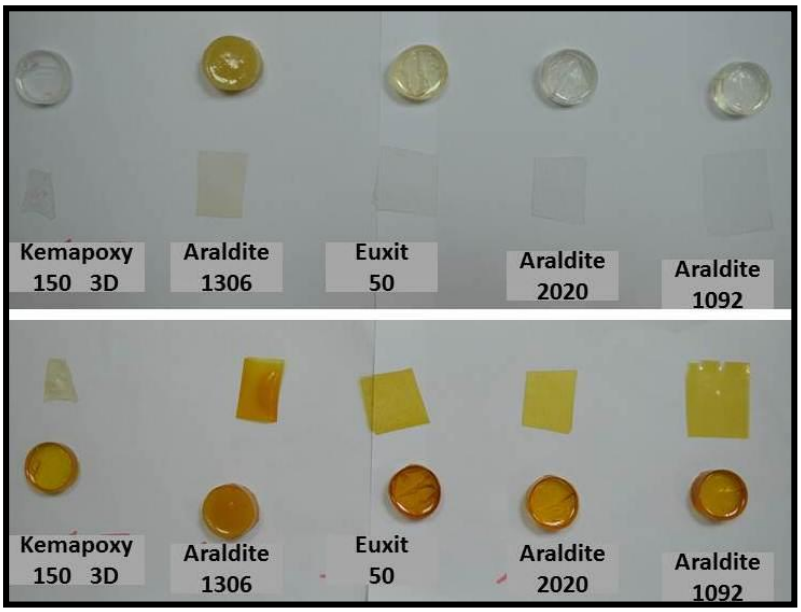
شكل (1) يوضح التركيب البنائى لمادة الإيبوكسى ([15])

<u>دراسة تأثيير التقادم الحرارى:</u>

تم تعريض عينات المواد اللاصقة الإيبوكسية المختارة للدراسة لدورات متتالية بدرجة حرارة 80° لمدة 200 ساعة، وتم عمل التقادم الحرارى بمعمل ترميم الآثار بمتحف الفن الإسلامى بالقاهرة.

لوحة (5) للعينات أثناء التقادم الحرارى

[15] Yoshida, Shuichiro., *Quantitative evaluation of an epoxy resin dispersion by infrared spectroscopy*, The Society of Polymer Science, Polymer Journal, Japan, 2014, p.430.



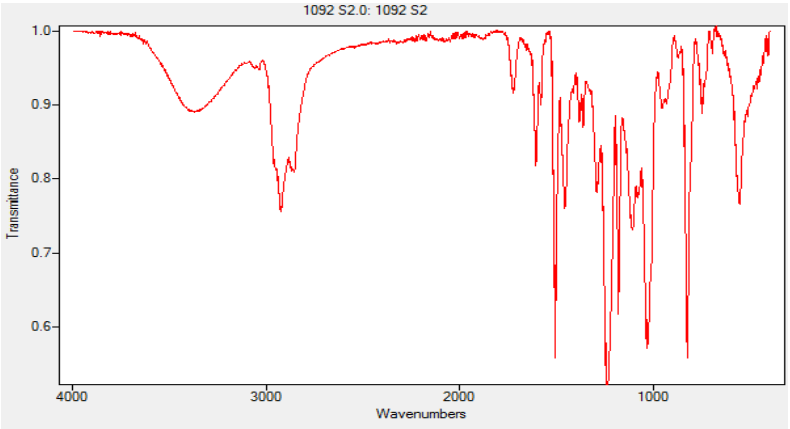
لوحة (6) يوضح العينات الإيبوكسية قبل وبعد التقادم الحرارى

يظهر من القياسات التى تمت بإستخدام جهاز قياس التغير اللونى (Colorimeter) بالطريقة السابق ذكرها أن التقادم الحرارى قد أدى بشكل عام إلى حدوث تغير لونى للعينات إلا أن أكثر المواد الإيبوكسة تأثراً بالتقادم الحرارى هى مادة أرالديت 1306 والأقل تأثراً وبشكل واضح هى مادة كيمابوكسى 150 3D.

مدى التغير للمجموعات الوظيفية للعينات بعد التقادم*:

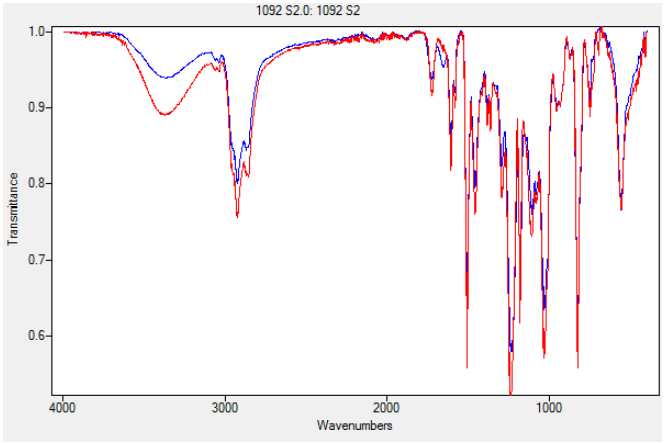
أرالديت 1092: Araldite 1092

يمثل اللون الأحمر العينة الأصلية ويمثل اللون الأزرق عينة المادة بعد التقادم وهذا ثابت فى كل عمليات التقادم، حدث نقص واضح فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث نقص فى مد C=O 1650- 1750 وكذلك حدث نقص فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (2) تحليل ATR- FTIR للعينة الاصلية Standard لمادة أرالديت 1092

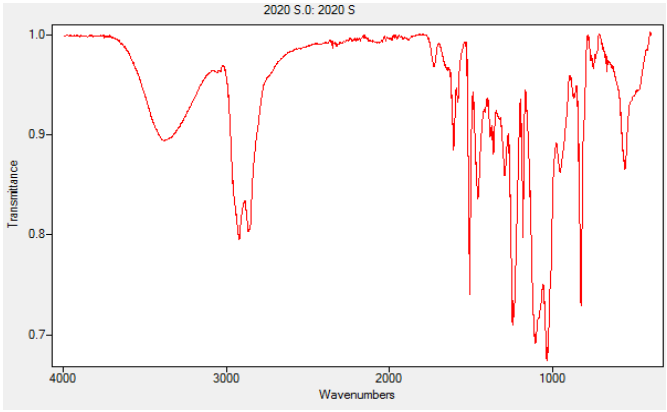
* شكر إلى د/ مراد فوزى مدرس ترميم الآثار بكلية الآثار جامعة القاهرة على مساعدته فى تحديد مدى التغير اللونى للمجموعات الوظيفية للعينات.



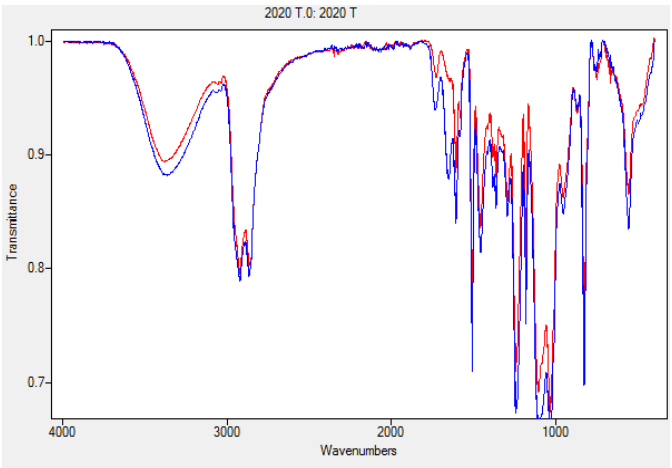
شكل (3) مقارنة تحليل ATR- FTIR لمادة أرالديت 1092 قبل وبعد التقادم الحرارى

أرالديت 2020: Araldite 2020

حدث زيادة طفيفة فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة ملحوظة فى مد C=O 1650- 1750 نتيجة لعملية الأكسدة، وحدث تطابق نسبى فى مد CH 2800 – 3000.



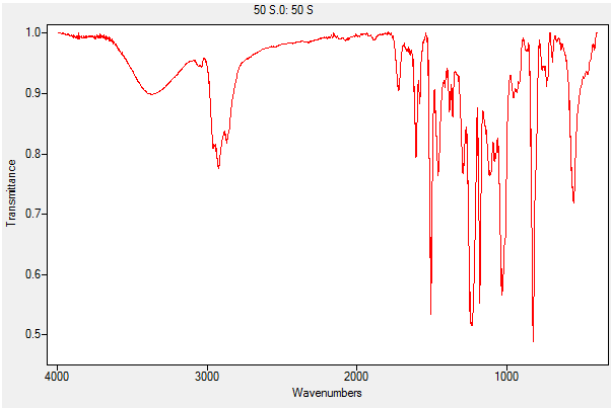
شكل (4) تحليل ATR- FTIR للعينة الاصلية Standard لمادة أرالديت 2020



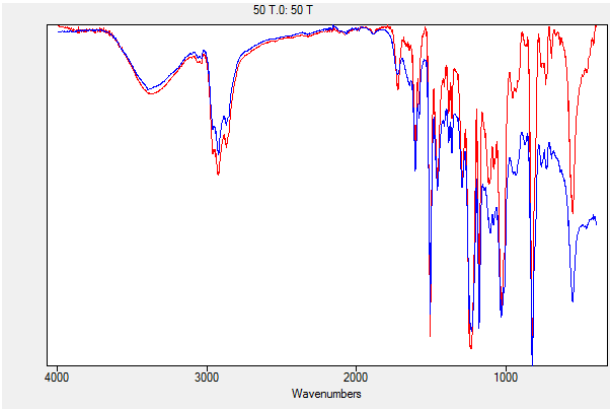
شكل (5) مقارنة تحليل ATR- FTIR لمادة أرالديت 2020 قبل وبعد التقادم الحرارى

أكسَيت 50: Euxit 50

حدث نقص طفيف فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة طفيفة فى مد C=O 1650- 1750 ، كما حدث نقص فى مد CH 2800 - 3000.



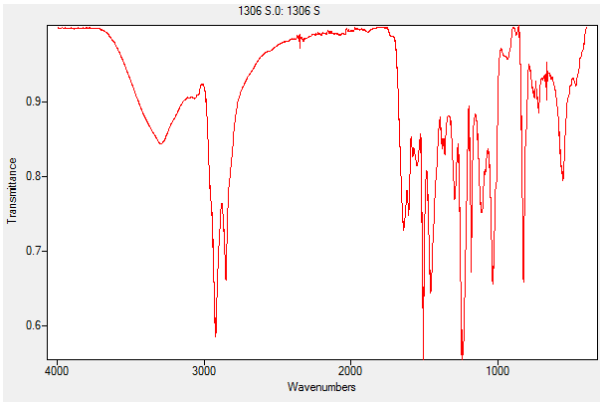
شكل (6) تحليل ATR- FTIR للعينة الاصلية Standard لمادة أُكسَيت 50



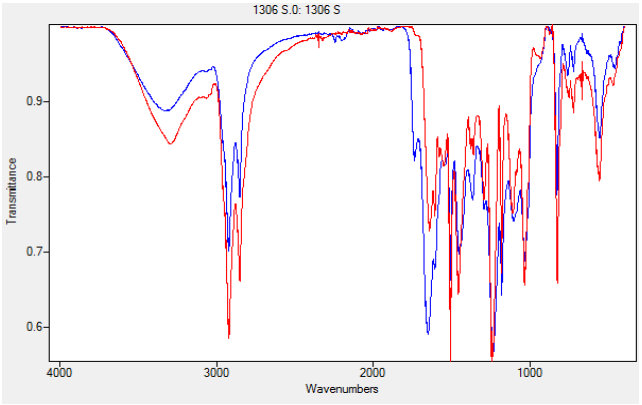
شكل (7) مقارنة تحليل ATR- FTIR لمادة أُكسَيت 50 قبل وبعد التقادم الحرارى

أرالديت 1306: Araldite 1306

حدث نقص واضح فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة واضحة فى مد C=O 1650- 1750 ناتج عن عملية الأكسدة الناتجة عن الحرارة، كما حدث نقص واضح أيضاً فى مد CH 2800 - 3000.



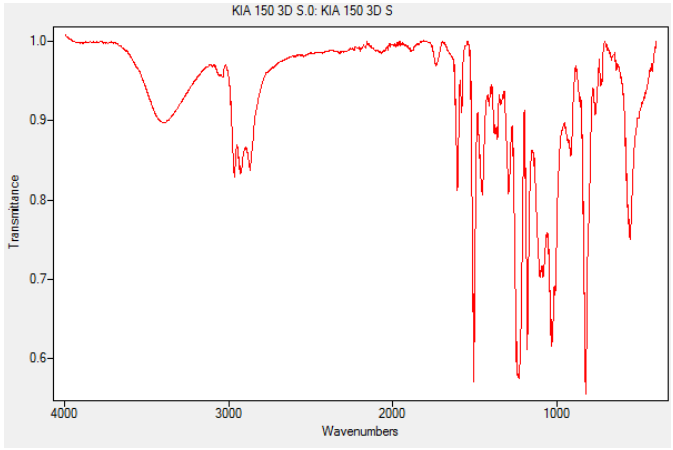
شكل (8) تحليل ATR- FTIR للعينة الاصلية Standard لمادة أرالديت 1306



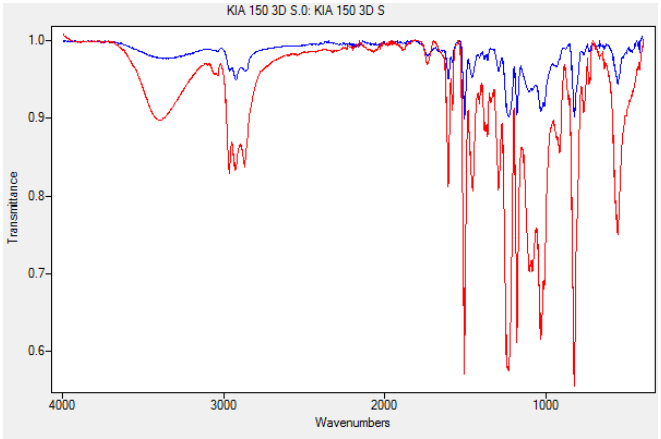
شكل (9) مقارنة تحليل ATR- FTIR لمادة أرالديت 1306 قبل وبعد التقادم الحرارى

كيما بوكسى 3D 150:

حدث نقص واضح فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث نقص واضح أيضاً فى مد C=O 1650- 1750، وكذلك حدث نقص فى مد CH 2800 - 3000.



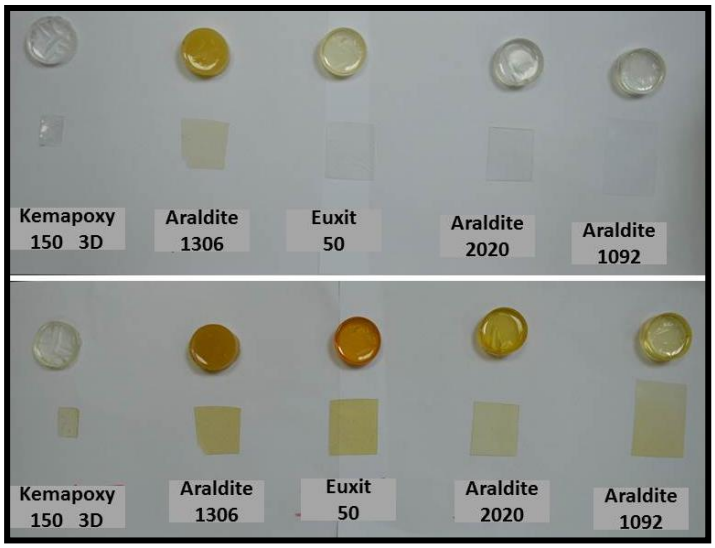
شكل (10) تحليل ATR- FTIR للعينة الاصلية Standard لمادة كيمابوكسى 3D 150



شكل (11) مقارنة تحليل ATR- FTIR لمادة كيمابوكسى 3D 150 قبل وبعد التقادم الحرارى

دراسة تأثيير التقادم الضوئى بالأشعة فوق البنفسجية (UV):

تم تعريض عينات اللواصق الإيبوكسية المختارة للدراسة لدورات متتالية للأشعة فوق البنفسجية (UV) لمدة 200 ساعة،بحيث تم وضع العينات تحت لمبة UV بمواصفات UV9600 -Puissant Ultraviolet light -30 Watt longwave Light Source وتم عمل التقادم الضوئى بمعمل ترميم الآثار بمتحف الفن الإسلامى بالقاهرة.



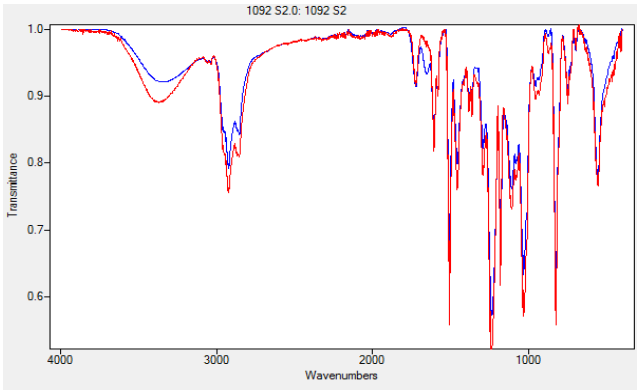
لوحة (7) يوضح العينات الإيبوكسية قبل وبعد التقادم الضوئى بإستخدام الأشعة فوق البنفسجية (UV)

يظهر من القياسات التى تمت باستخدام جهاز قياس التغير اللونى (Colorimeter) بالطريقة السابق ذكرها أن التقادم الضوئى باستخدام الأشعة فوق البنفسجية (UV) تأثيره على العينات أقل من تأثير التقادم الحرارى ، إلا أن هنا تغير لونى بشكل واضح للعينات، وأكثر المواد الإيبوكسة تأثراً بالتقادم الضوئى هى مادة أُكسَيت 50، وأقل المواد تأثراً هى مادة كيمابوكسى 150 3D.

مدى التغير للمجموعات الوظيفية بعد التقادم:

أرالديت 1092: Araldite 1092

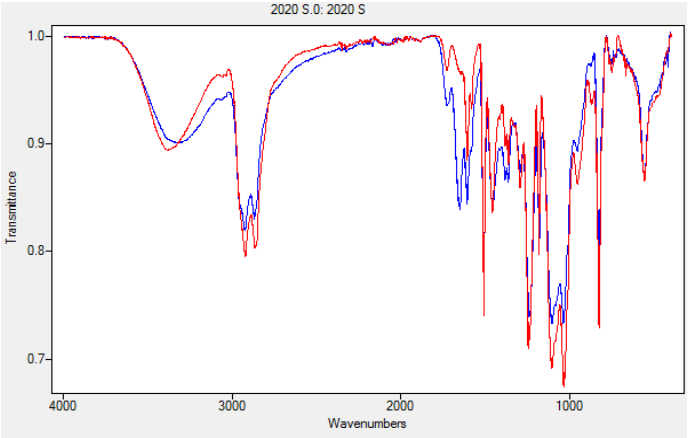
حدث نقص واضح فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث تطابق نسبى فى مد C=O 1650– 1750 ، وحدث نقص فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (12) مقارنة تحليل ATR لمادة أرالديت 1092 قبل وبعد التقادم الضوئى (U.V)

أرالديت 2020: Araldite 2020

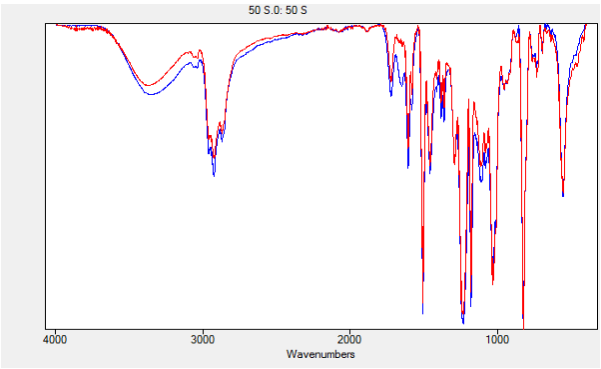
حدث نقص طفيف فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة واضحة فى مد C=O 1650– 1750 وذلك نتيجة لعملية الأكسدة الناتجة عن التقادم الضوئى، وحدث نقص طفيف فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (13) مقارنة تحليل ATR لمادة أرالديت 2020 قبل وبعد التقادم الضوئى (U.V)

أُكسَيت 50: Euxit 50

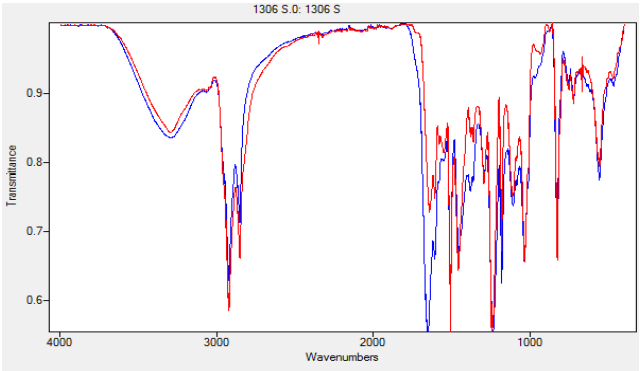
حدث زيادة طفيفة فى مد OH 3300- 3400 ، وأيضاً حدث زيادة طفيفة فى مد C=O 1650– 1750 ، وكذلك حدث زيادة طفيفة فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (14) مقارنة تحليل ATR لمادة أُكسَيت 50 قبل وبعد التقادم الضوئى (U.V)

أرالديت 1306: Araldite 1306

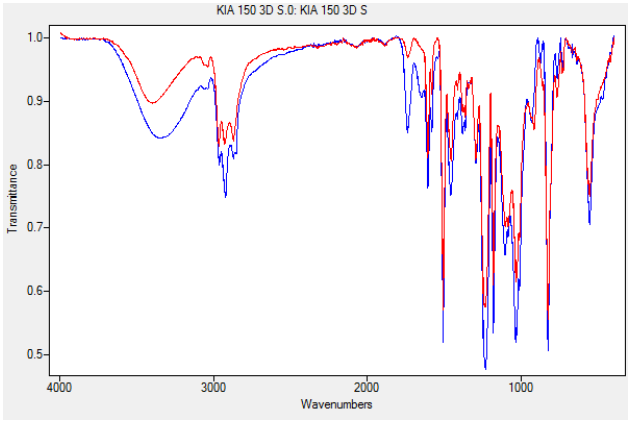
حدث زيادة طفيفة فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة واضحة فى مد C=O 1650– 1750 ، ويوجد تطابق نسبى فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (15) مقارنة تحليل ATR لمادة أرالديت 1306 قبل وبعد التقادم الضوئى (U.V)

كيما بوكسى 3D 150:

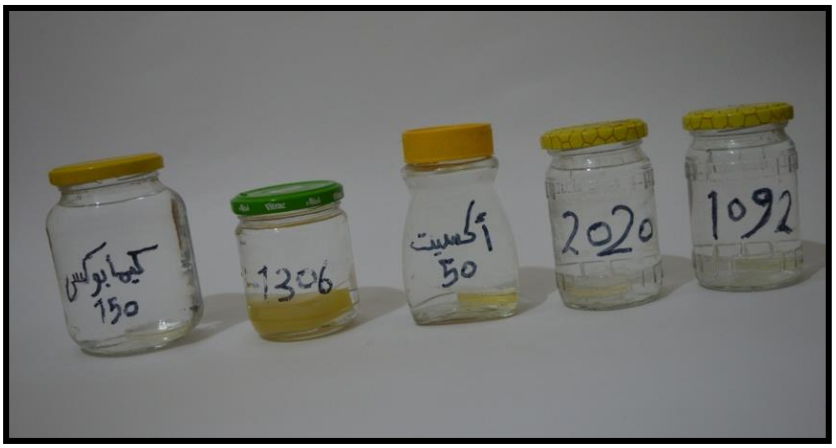
حدث زيادة كبيرة فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة طفيفة فى مد C=O 1650- 1750 ، كما حدث زيادة فى مد CH 2800 - 3000.



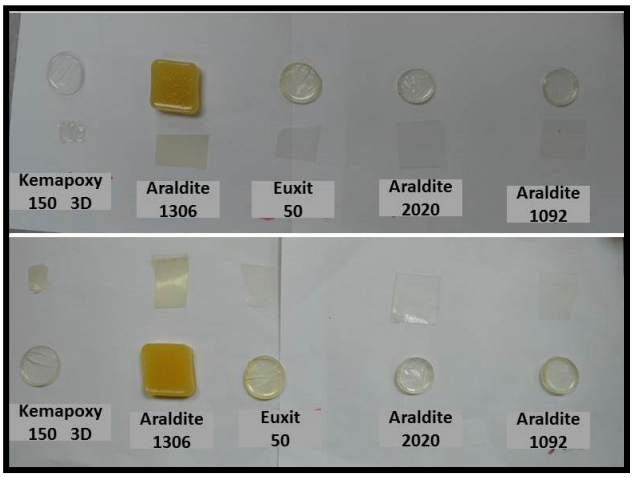
شكل (16) مقارنة تحليل ATR لمادة كيما بوكسى 3D 150 قبل وبعد التقادم الضوئى U.V

<u>دراسة تأثير التقادم بالرطوبة (الغمر فى الماء):</u>

تم غمر عينات المواد اللاصقة الإيبوكسية المختارة للدراسة فى المياه لدورات متتالية لمدة 200 ساعة .



صورة (8) للعينات أثناء التقادم بالرطوبة



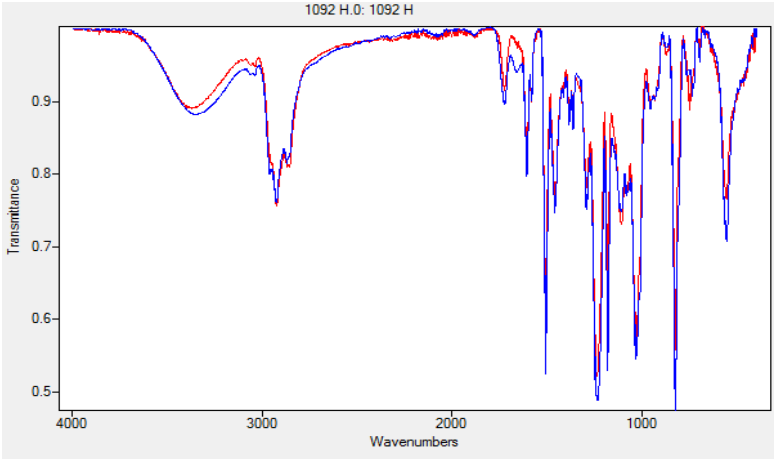
لوحة (9) يوضح العينات الإيبوكسية قبل وبعد التقادم بالرطوبة

يظهر من القياسات التى تمت بإستخدام جهاز قياس التغير اللونى (Colorimeter) بالطريقة السابق ذكرها أن التقادم بالرطوبة لم تؤدى إلى تغير لونى ملحوظ حيث أنه فى حالة أن Δ E (+3) فإن التغير اللونى يكون غير ملحوظ ([16])، ونظراً لأن أغلب التغيرات الناتجة عن هذا التقادم والتواجدة بالجدول رقم 3 أقل من 3 فإنه لا يوجد تغير لونى ملحوظ لكل المواد بإستثناء مادة أرالديت 1092 التى أعطت Δ E 3.59 إلا أنه أيضا تغير يصعب ملاحظته.

مدى التغير للمجموعات الوظيفية بعد التقادم:

أرالديت 1092: Araldite 1092

حدث زيادة طفيفة فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة طفيفة أيضاً فى مد C=O 1650– 1750 ، وكذلك حدث زيادة طفيفة فى مد CH 2800 - 3000.

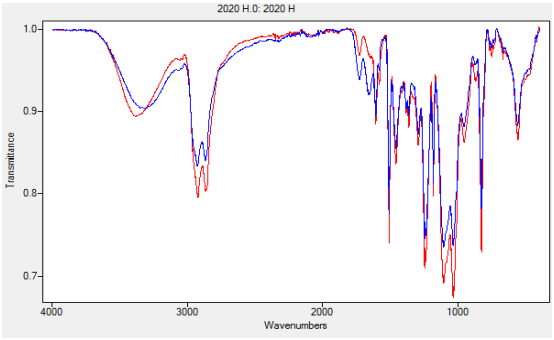


شكل (17) مقارنة تحليل ATR لمادة أرالديت 1092 قبل وبعد التقادم بالرطوبة (الغمر غى الماء)

[16] محمد، حمدي: دراسة مقارنة لتقييم المواد التقليدية و الحديثة المستخدمة في تجميع و استكمال الآثار الفخارية المستخرجة من الحفائر: تطبيقاً على نماذج مختارة، رسالة ماجستير، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2018، ص 153.

أرالديت 2020: Araldite 2020

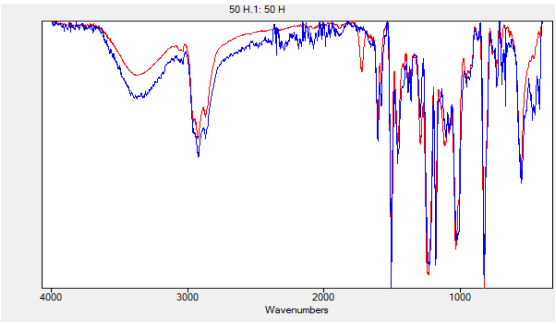
حدث نقص فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة طفيفة فى مد C=O 1650– 1750 ، وكذلك حدث نقص فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (18) مقارنة تحليل ATR لمادة أرالديت 2020 قبل وبعد التقادم بالرطوبة (الغمر غى الماء)

أُكسَيت 50 : Euxit 50

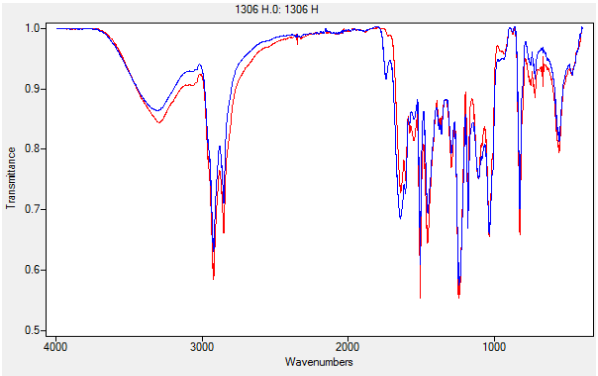
حدث زيادة كبيرة فى مد OH 3300- 3400 ناتجة عن إمتصاص الرطوبة ، وحدث زيادة طفيفة فى مد C=O 1650– 1750 ، وكذلك حدث زيادة طفيفة فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (19) مقارنة تحليل ATR لمادة أُكسَيت 50 قبل وبعد التقادم بالرطوبة (الغمر غى الماء)

أرالديت 1306: Araldite 1306

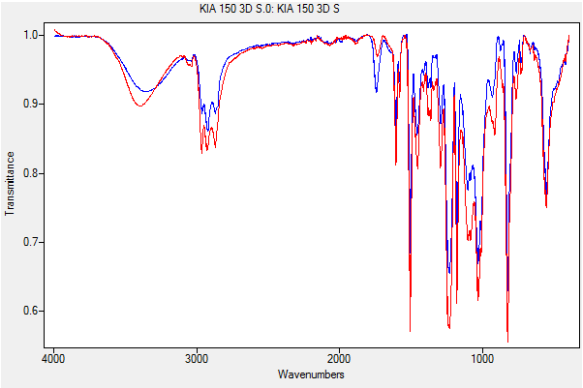
حدث نقص طفيف فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة طفيفة فى مد C=O 1650– 1750 ، و يوجد تطابق نسبى فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (20) مقارنة تحليل ATR لمادة أرالديت 1306 قبل وبعد التقادم بالرطوبة (الغمر فى الماء)

كيما بوكسى 3D 150:

حدث نقص فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث تطابق فى مد C=O 1650- 1750 ، كما حدث نقص فى مد CH 2800 - 3000.

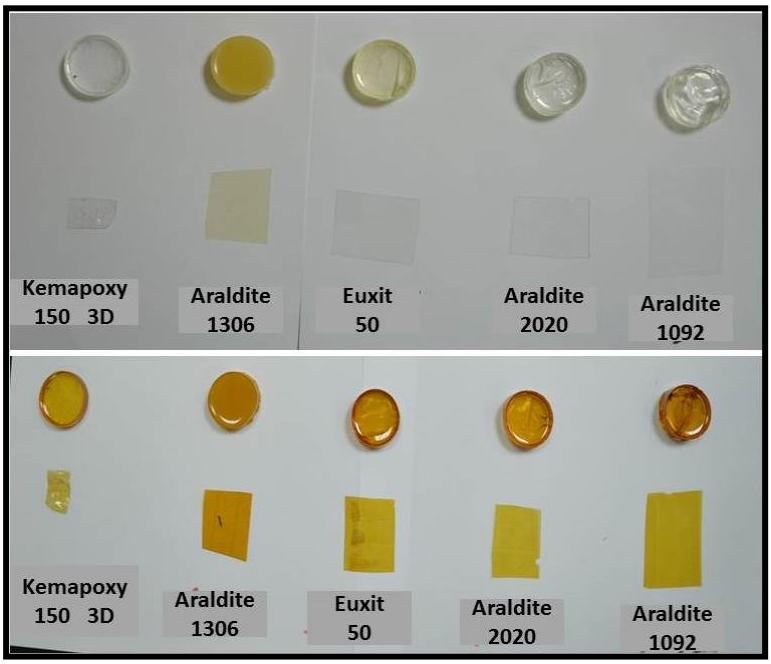


شكل (21) مقارنة تحليل ATR لمادة كيما بوكسى 3D 150 قبل وبعد التقادم بالرطوبة (الغمر فى الماء)

<u>دراسة تأثير تقادم (الحرارة والأشعة فوق البنفسجية مع ورطوبة):</u>

تم تعريض عينات المواد اللاصقة الإيبوكسية المختارة للدراسة للحرارة بدرجة 80° مع الأشعة فوق البنفسجية (UV) فى تواجد نسبة للرطوبة لدورات متتالية بإجمالى 200 ساعة، وتم عمل التقادم بمعمل الترميم بمتحف الفن الإسلامى بالقاهرة.

صورة (10) للعينات أثناء التقادم بـ (الحرارة والأشعة فوق البنفسجية مع الرطوبة)



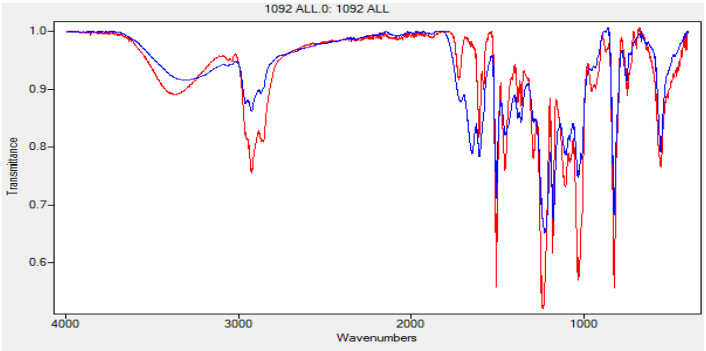
لوحة (11) يوضح العينات الإيبوكسية قبل وبعد التقادم بـ (الحرارة والأشعة فوق البنفسجية U.V مع الرطوبة)

يظهر من القياسات التى تمت باستخدام جهاز قياس التغير اللونى (Colorimeter) بالطريقة السابق ذكرها أن تأثير تقادم (الحرارة والأشعة فوق البنفسجية مع ورطوبة) شديد حيث أدى إلى تغير لونى كبير للعينات إلا أكثر العينات تأثراً هى عينتى مادة أرالديت 1306 يليها مادة أرالديت أكسيت 50 ، فى حين أن أقل المواد تأثراً هى مادة كيمابوكسى 150 3D.

مدى التغير للمجموعات الوظيفية بعد التقادم:

أرالديت 1092: Araldite 1092

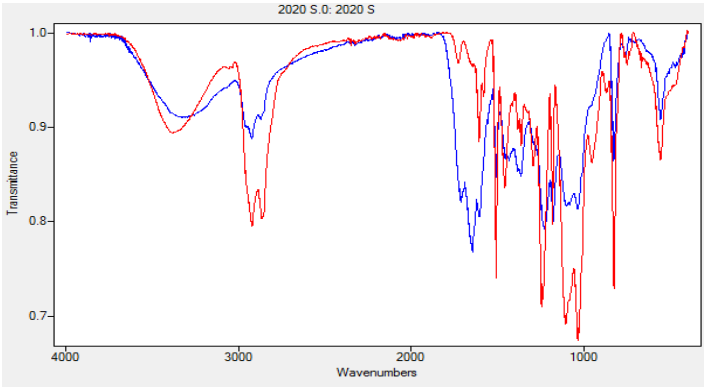
حدث نقص فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة واضحة فى مد C=O 1650– 1750 ، وحدث نقص واضح فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (22) مقارنة تحليل ATR لمادة أرالديت 1092 قبل وبعد التقادم الحرارة والأشعة فوق البنفسجية U.V مع الرطوبة

أرالديت 2020: Araldite 2020

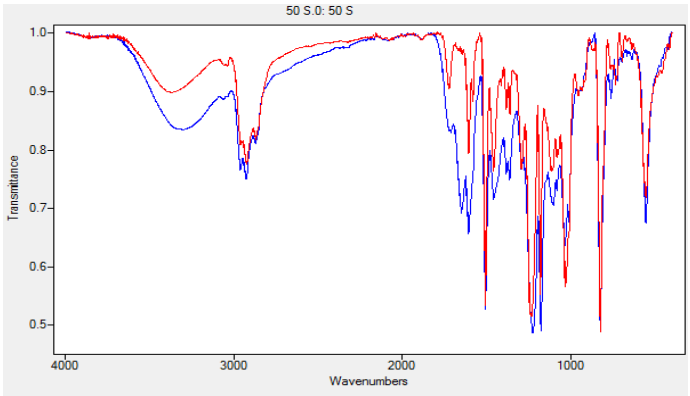
حدث نقص فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة واضحة فى مد C=O 1650– 1750 ، وحدث نقص كبير فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (23) مقارنة تحليل ATR لمادة أرالديت 2020 قبل وبعد التقادم الحرارة والأشعة فوق البنفسجية U.V مع الرطوبة

أُكسَيت 50: Euxit 50

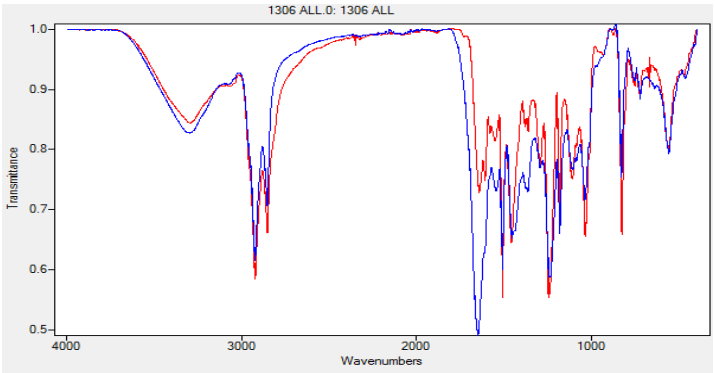
حدث زيادة واضحة فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة كبيرة فى مد C=O 1650– 1750 ، وحدث زيادة طفيفة فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (24) مقارنة تحليل ATR لمادة أُكسَيت 50 قبل وبعد التقادم الحرارة والأشعة فوق البنفسجية U.V مع الرطوبة

أرالديت 1306: Araldite 1306

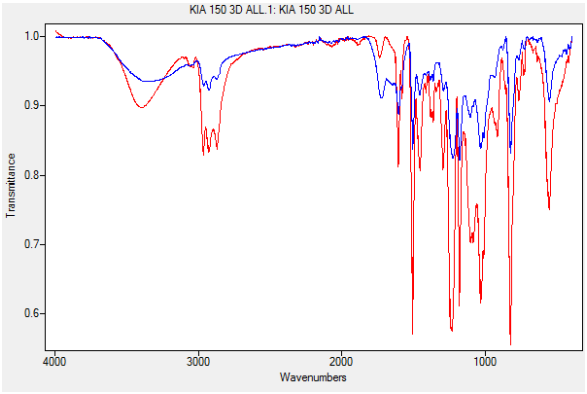
حدث زيادة طفيفة فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة كبيرة فى مد C=O 1650– 1750 ، وتطابق نسبى فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (25) مقارنة تحليل ATR لمادة أرالديت 1306 قبل وبعد التقادم بالحرارة والأشعة فوق البنفسجية U.V مع الرطوبة

كيما بوكسى 150 3D:

حدث نقص فى مد OH 3300- 3400 ، وحدث زيادة فى مد C=O 1650- 1750 ، وأيضاً حدث نقص واضح فى مد CH 2800 - 3000.



شكل (26) مقارنة تحليل ATR لمادة كيما بوكسى 150 3D قبل وبعد التقادم بالحرارة والأشعة فوق البنفسجية U.V مع الرطوبة

2-2-2- الجانب التطبيقى:

أظهرت الدراسة التجربة كفاءة عالية لمادة كيمابوكسى 150 3D ومدى إمكانية إستخدامها فى ترميم الآثار الزجاجية فى مصر، ويتوافق الجانب التطبيقى هنا مع إدخال مادة كيما بوكسى 150 3D التى أعطت أفضل النتائج حيز التنفيذ، وجدير بالذكر أنه تم تم إستخدام مادة كيما بوكسى 150 3D فى ترميم قطعتين من الآثار الزجاجية تحملان رقم 19781/5 ، 19781/88 (Hefny & Others ، 2021) وغيرهما بمعمل الترميم بمتحف الفن الإسلامى بالقاهرة.

ويتناول الجانب التطبيقى فى هذا البحث إحدى تلك القطع التى تم ترميمها بمعمل الترميم بالمتحف بإستخدام مادة كيما بوكسى 150 3D وهى عبارة عن قنينة زجاجية.

رقم الأثر: 6095/2

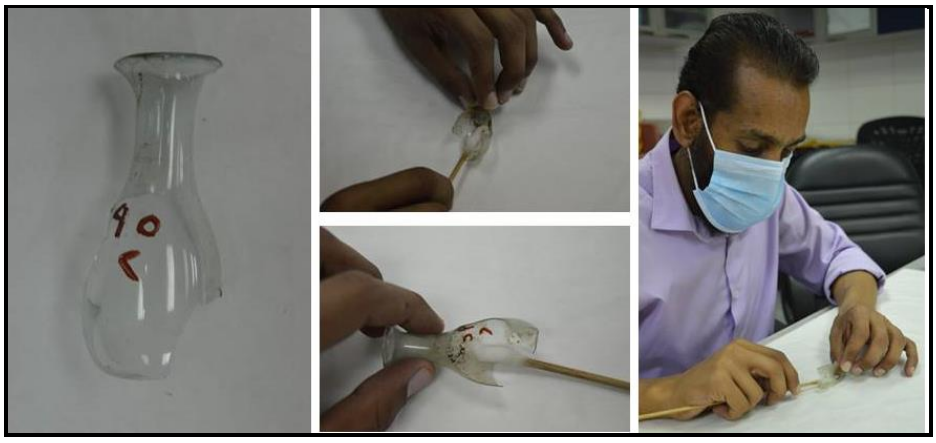
الأثر عبارة عن قنية زجاجية ترجع إلى العصر الإسلامى المبكر*، إرتفاع القطعة 5.6 سم، وقطر2.2 سم، وهى ذات سمك رقيق جداً، القطعة احتوت على إتساخات بالداخل(أتربة)، ومكسورة لعدة أجزاء.

تم عمل تنظيف للقنينة، ثم تم البدء بمرحلة التجميع حيث تم عمل تجميع مبدئى بإستخدام الشرائح اللاصقة الشفافة، ثم تطبيق مادة كيما بوكسى 150 3D بين الكِسَرن وبعد تصلد مادة التجميع تم تنظيف بقايا المادة الزائدة.

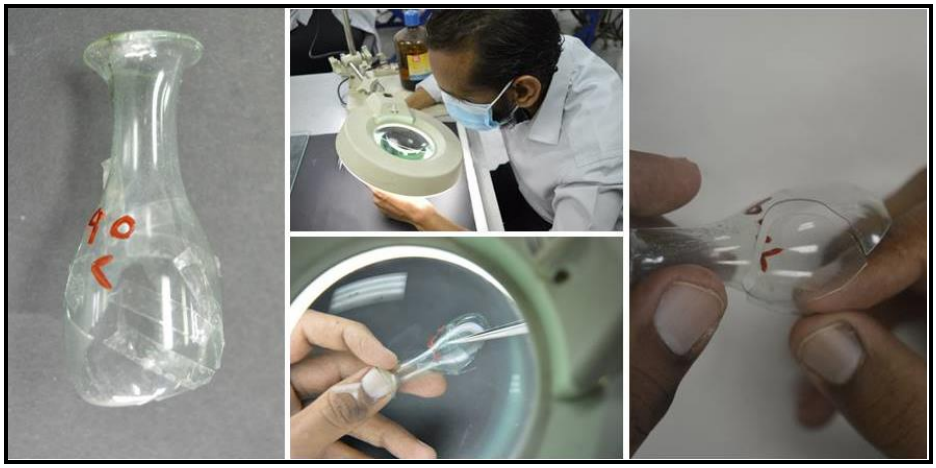
ولصيانة القطعة تم تبطينها من الداخل بقطن مغلف بورق خالى من الحموضة، وتم عمل صندوق حفظ للقنينة من ورق مقوى خالى من الحموضة مغلف بقماش تجليد بحيث يقوم هذا الصندوق بدور الصيانة الوقائية للقطعة، حيث تم وضع القنينة وسط وسادة من القطن مغلفة بورق خالى من الحموضة، وتم الحرص على تواجد فتحة بغطاء الصندوق تعمل كقاعدة ترتكز عليها القطعة عن الحاجة لرؤيتها.

* شكر إلى د/ علاء الدين محمود وكيل متحف الفن الإسلامى بالقاهرة للشئون الأثرية على مساعدته فى هذا البحث.

صورة (12) توضح القنينة الزجاجية قبل الترميم



لوحة (13) توضح مرحلة التنظيف



لوحة (13) توضح مرحلة التجميع المبدئى بإستخدام الشرائح اللاصقة الشفافة، وتوضح إستخدام العدسة المكبرة نظراً لصِغَر حجم القطعة ورقة سمكها

لوحة (14) توضح مرحلة التجميع النهائى بإستخدام مادة كيما بوكسى 3D 150

لوحة (15) توضح الصيانة الوقائية للقنينة الزجاجية

3- النتائج والمناقشة: Results and discussion

جدول(2) عام للخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمواد الإيبوكسية المختارة للدراسة

المادة	اللون ودرجة الشفافية	الوزن الحجمي (جم/ سم2)	الصلادة (مقياس موه)	المقاومة للضغط (كجم/ سم2)
أرالديت 1092	شفاف	1.21	4.5	269.8
أرالديت 2020	شفاف	1.17	4.5	304.9

أكسيت 50	شفاف مع إصفرار طفيف	1.28	5	13.53
أرالديت 1306	منخفض الشفافية يميل إلى الإصفرار	1.01	5.5	661.85
كيمابوكسى 150 3D	شديد الشفافية	1.08	4	297.03

جدول (3) يوضح النتائج العامة لمقدار التغير اللونى للعينات الإيبوكسية بعد عمليات التقادم المختلفة

المادة	حرارة Δ E	Δ E (u.v)	رطوبة Δ E	حرارة و(u.v) + ورطوبة Δ E
أرالديت 1092	47.36	16.36	3.59	51.97
أرالديت 2020	46.33	14.06	1.31	51.50
أكسيت 50	44.78	26.50	1.92	54.20
أرالديت 1306	58.01	13.15	1.86	55.23
كيمابوكسى 150 3D	10.31	7.28	2.86	36.27

بالنسبة لدرجة شفافية عينات المواد الإيبوكسية المختارة للدراسة فإن درجة شفافية مادة كيما بوكسى 150 3D هى الأفضل بين تلك المواد يليها مادة أرالديت 2020 ثم مادة أرالديت 1092 ثم مادة أُكسَيت 50 وفى المرتبة الأخيرة تأتى مادة أرالديت 1306، أما عن الخصائص الميكانيكية فإن جميع اللواصق أعطت نتائج جيدة ومناسبة فيما يخص إستخدامها فى ترميم الآثار الزجاجية، وقد أعطت مادة أرالديت 1306 أكثر درجة صلادة كما أعطت أيضاً أعلى مقاومة ضغط.

أما عن التغير اللونى فإن نتائج مقدار التغير اللونى للمواد الإيبوكسية المختارة للدراسة بعد عمليات التقادم المختلفة تظهر لنا أن أفضل تلك المواد هى مادة كيما بوكسى 150 3D هى الأفضل بين المواد يليها مادة أرالديت 2020 ثم مادة أرالديت 1092 ثم مادة أُكسَيت 50 وفى المرتبة الأخيرة تأتى مادة أرالديت 1306.

وعن مدى ثبات المجموعات الوظيفية للمواد الإيبوكسية المختارة للدراسة بعد عمليات التقادم المختلفة فقد تتميز مادة فى إحدى عمليات التقادم وتتميز عليها أخرى فى تقادم آخر، إلا أنه بشكل عام كان التقادم بالحرارة وأشعة U.V مع الرطوبة الأكثر تأثيراً على المواد حيث حدث تأثر فى مد OH 3300- 3400 وزيادة كبيرة فى مد C=O 1650– 1750 لكل المواد، وحدث تأثير متغير من مادة لأخرى فى مد CH 2800 - 3000، فى حين أن التقادم بالغمر فى الماء (الرطوبة) هو الأقل تأثير على اللواصق الإيبوكسية المختارة.

وبالتالى فإن نتائج القياسات المختلفة لعينات اللواصق الإيبوكسية المختارة للدراسة وكذلك نتائج عمليات التقادم المختلفة تظهر لنا أن أفضل تلك المواد هى مادة كيما بوكسى 150 3D يليها مادة أرالديت 2020 ثم مادة أرالديت 1092 التى يظهر إصفرارها بشكل غير جيد مع الوقت، وتظهر النتائج أن مادة أُكسَيت 50 أعطت نتائج سيئة خاصة مع نسبة الإصفرار الطفيفة المتواجدة بها فى صورتها الأصلية، وأخيراً فإن النتائج أظهرت عدم كفاءة مادة أرالديت 1306 كمادة لاصقة فى ترميم الآثار الزجاجية.*

4- الاستنتاجات: Conclusions

4-1- كفاءة مادة كيمابوكسى 150 3D حيث أعطت أفضل النتائج مقارنةً بباقى المواد المختارة للدراسة أثناء عمليات التقادم المختلفة بالإضافة إلى درجة الشفافية العالية ، وبالتالى يتم التوصية بإستخدمها فى ترميم الآثار الزجاجية.

4-2- أعطت مادة أرالديت 2020 نتائج جيدة جداً، وبالرغم من تقارب نتائجها مع مادة أرالديت 1092 إلا أن مادة أرالديت 2020 أعطت كفاءة أكثر بكثير للإستخدام فى ترميم الآثار الزجاجية نظراً لدرجة شفافيتها أعلى.

4-3- أعطت مادة أرالديت 1092 ثالث أفضل نتائج إلا أن درجة شفافيتها الأقل من مادتى أرالديت 2020 وكيمابوكسى 150 3D مع حدوث التغير اللونى لها يجعل الإصفرار يكون أكثر، وثبت على أرض الواقع حدوث إصفرار كبير للإستكمال المتواجد بمشكاة رقم 332 والمعروضة بمتحف الفن الإسلامى بالقاهرة والذى تم بإستخدام مادة أرالديت 1092.

4-4- أعطت مادة أُكسَيت 50 نتائج غير مرضية أثناء عمليات التقادم، بالإضافة إلى أن درجة شفافيتها تحتوى على إصفرار طفيف ، وبالتالى يتم التوصية بتجنب إستخدامها فى ترميم الآثار الزجاجية.

4-5- عدم كفاءة مادة أرالديت 1306 نظراً للتغير اللونى الشديد أثناء عمليات التقادم المختلفة بالإضافة إلى تواجد إصفرار واضح بالعينات الأصلية لها.

4-6- بالرغم أن المواد الإيبوكسية هى المتاح إستخدامها فى ترميم الآثار الزجاجية بالمواقع والمتاحف الأثرية فى مصر ويتوافر فيها العديد من الخصائص الواجب توافرها فى المادة اللاصقة المستخدمة فى ترميم الآثار الزجاجية إلا أنه لا يمكن إغفال عيب عدم الإسترجاعية وعيب الإصفرار (التغير اللونى) مع التقادم وإن اختلف مقدار التغير اللونى، وبالتالى يجب إستمرار البحث والدراسة عن أفضل المواد اللاصقة التى يمكن إستخدامها فى ترميم الآثار الزجاجية.

5- المراجع : References

5-1- المراجع العربية :

- حمدى محمد محمد محمد: دراسة مقارنة لتقييم المواد التقليدية و الحديثة المستخدمة فى تجميع و استكمال الآثار الفخارية المستخرجة من الحفائر: تطبيقاً على نماذج مختارة، رسالة ماجستير، قسم الترميم ، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2018.

– رشا طه عباس حمد: دراسة العوامل المؤثرة فى تلف الآثار الزجاجية المستخدمة فى الأغراض الطبية وطرق معالجتها وصيانتها تطبيقاً على بعض النماذج المختارة، رسالة دكتوراة، قسم الترميم، كلية الآثار – جامعة القاهرة ، 2014 م.

* شكر لكل من ساهم فى إخراج هذا البحث.

– رشا طه عباس حمد، محمد حفنى مغازى حفنى، حمدى عبد المنعم محمد عبد العال: إعادة تجميع وصيانة طبق زجاجى أثرى من العصر الإسلامى المبكر من حفائر مركز البحوث الأمريكية. الفسطاط. مصر، مجلة الإتحاد العام للآثاريين العرب، 2021، المجلد 22، العدد1.

– رمضان عوض رمضان عبد الله : دراسة تأثير العوامل المؤثرة فى تلف الآثار الزجاجية المدفونة فى التربة وأحدث تقنيات علاجها وصيانتها ، دكتوراة ، قسم الترميم ، كلية الآثار – جامعة القاهرة ، 2002.

– سلوى جاد الكريم ضوى : دراسة ترميم وصيانة الآثار الزجاجية فى مصر تطبيقا على نماذج مختارة، رسالة دكتوراة ،قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة 1995م.

– سلوى جاد الكريم ضوى، محمد محمد مصطفى، رانيا عبد الجواد نعمان العريبى: دراسة حماية وصيانة الآثار الزجاجية باستخدام المواد النانوية مع التطبيق العملى لترميم وصيانة أثر زجاجى، مجلة العمارة والفنون، 2019، العدد الثامن عشر.

– محمد حفنى مغازى حفنى: دراسة تأثير الموجات الصوتية الناتجة عن التفجيرات على الآثار الزجاجية وطرق علاجها وصيانتها تطبيقاً على نماذج مختارة من متحف الفن الإسلامى بالقاهرة، رسالة ماجستير، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة الفيوم، 2019م.

– محمد محمد مصطفى: دراسة مقارنة لأنواع الفخار والسيراميك فى مصر مع ترميم وصيانة قطع فخارية أثرية- رسالة ماجستير- قسم ترميم الآثار- كلية الآثار- جامعة القاهرة، 1991.

– نجوى سيد عبد الرحيم : دراسة علمية لعلاج وصيانة المواد المصنعة المستخدمة فى تزيين المشغولات الآثرية فى مصر القديمة خلال الدولة الحديثة والعصر المتأخر -رسالة دكتوراة- قسم ترميم الآثار كلية الآثار جامعة القاهرة، 2003.

– همس عبد الحافظ محمد محمد : مظاهر التلف الفيزيوكيميائى فى الزجاج الآثرى وعلاقته بالتركيب الكيميائى " دراسة تجريبية وتطبيقية، رسالة ماجيستير، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار – جامعة القاهرة،2005 م.

2-5- المراجع الأجنبية :

- Brom, N.s. Elizabeth, M, Adhesives and Consolidants Preprints on Contrilutian to the Paris Congress , 1984.
- Buys, S & Oakley, V., Conservation and Restoration of Ceramics, London, 1988.
- Davison, S., Conservation and restoration of glass Oxford, second edition, 2006.
- Mohammad Hefni &Nagwa S. Abd Al-RAHIM &Hamdy Abd Al-MONEAM &Rasha T. Hamad., Evaluation of Kemapoxy 150 3D in Restoration of Archeological glass, International Journal of Conservation Since, Volume 12, Issue 2, 2021.
- Shackelford.J., & Doremus.R., Ceramic and Glass materials "Structure, Properties and Processing" springer, USA, 2008.
- Shuichiro Yoshida., Quantitative evaluation of an epoxy resin dispersion by infrared spectroscopy, The Society of Polymer Science, Polymer Journal, Japan, 2014. https//:www.researchgate.net/publication/268208777

6 -3- مواقع الإنترنت :

- إيبوكسى ، 14 فبراير 2019 https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A5%D9%8A%D8%A8%D9%88%D9%83%D8%B3%D9%8A