Luxor International Journal of Archaeological Studies
PRINT-ISSN: 2535-1788 / ONLINE-ISSN: 2974-4121
HTTPS://LIJAS.JOURNALS.EKB.EG/
Volume 8, Issue 1, July 2025: pp. 230-250

دراسة تجريبية لتقييم كفاءة بعض المواد النانومترية في تقوية طبقة الألوان المنفذة على الآثار الخشبية

عزيزة يحيي عثمان أبو جليل *
طالبة ماجستير، كلية الآثار، جامعة الفيوم & أخصائي ترميم آثار، وزارة السياحة والآثار، الفيوم، مصر
أ.د. عبد الرحمن محمد السروجي
أستاذ ترميم وصيانة المواد العضوية والأيقونات، ووكيل كلية الآثار لشئون التعليم والطلاب، جامعة الفيوم، الفيوم، مصر
أ.د. وائل صبرى محمد
أستاذ كيمياء المواد البوليمرية النانومترية بقسم البوليمر والمخضبات، المركز القومي للبحوث، القاهرة
م.عبد القادر صالح عبد القادر
مسئول الأعمال الفنية ورئيس قسم الأخشاب بالمخزن المتحفي بكوم أوشيم، وزارة السياحة والآثار، الفيوم
م. أحمد محمد محمود طلبة
مدير عام ترميم آثار كوم أوشيم، وزارة السياحة والآثار، الفيوم

الملخص

تهدف الدراسة إلى تقييم كفاءة بعض المواد النانومترية المستخدمة في تقوية الآثار الخشبية الملونة، حيث يتم من خلالها تحديد أفضل مادة أعطت كفاءة أعلى في تقوية طبقة الألوان، فيما لا يضر الآثر وليس لها تأثير ضار على طبقة الألوان أو حدوث أي تغير لوني ملحوظ للمواد الملونة وكذلك المواد التي لها مقاومة للعوامل المتلفة ولها خاصية الاستدامة، تمت المقارنة بين عدد من مواد التقوية النانومترية والمفاضلة بينهم لاختيار الأفضل والأنسب، تم إعداد عدد من العينات التجريبية وكذلك إعداد أفلام (طبقة رقيقة) لمواد التقوية والتي تم تعريضها لنفس العوامل الطبيعية الفيزيائية والكيميائية التي تعرض لها الأثر لإجراء التجارب عليها، فقد تم اختيار خشب الصنوبر في إعداد عينات الاختبار واستخدام مادة Nano Klucel G تركيز ١%، ٢% Nano Klucel E تركيز ١%، ٢% Nano Methyl cellulose تركيز ١%، ٢% في تقوية طبقة الألوان، وقد تم عمل عدة اختبارات وفحوص لتقييم كفاءة كل مادة واختيار أفضل مادة للتقوية، وبعد الانتهاء من الاختبارات والفحوص أعطت مادة Nano Klucel G تركيز ١% أعلى كفاءة في التقوية وأقل نسبة تغير لوني، يليها مادة Nano Methyl cellulose تركيز ١%، ثم مادة Nano Klucel G تركيز ٢%، ثم مادة Nano Methyl cellulose تركيز ٢%، ثم مادة Klucel E تركيز ١%، وأخيرًا مادة Klucel E تركيز ٢%.

الكلمات الدالة

الأخشاب الملونة؛ التقوية؛ المواد النانوية؛ التغير اللوني؛ التقادم الحراري.

Article History
Received: 13/4/2025
Accepted: 24/5/2025
DOI: 10.21608/lijas.2025.375283.1073

* مراسلة المؤلف: ay1565@fayoum.edu.eg

An experimental study to evaluate the efficiency of some nanomaterials in Consolidation the paint layer applied to wooden artifacts

Aziza Yahiya Othman Abo-Gleil
Master's Student, Faculty of Archaeology, Fayoum University & Conservator, Ministry of Tourism and Antiquities, Fayoum
Prof. Dr. Abdel-Rahman Mohamed El-Sorogy
Professor of Organic Materials Conservation, and Vice Dean of the Faculty of Archaeology for Education and Student Affairs, Fayoum University
Prof. Dr. Wael Sabry Mohamed
Professor of Nanoscale Polymer Chemistry, Department of Polymers and Pigments, National Research Center
Eng. Abdel Qader Saleh Abdel Qader
Artistic Works Officer and Head of the Wood Section, Museum Storehouse, Kom Oshim, Ministry of Tourism and Antiquities, Fayoum
Eng. Ahamed Mohamed Mahmoud Tolba
Director General of the Restoration of Kom Oshim Monuments, Ministry of Tourism and Antiquities, Fayoum

Abstract

The study aims to evaluate the efficiency of some nanomaterials used in Consolidation colored wooden monuments, through which the most efficient material in Consolidation the color layer is determined, Without harming the monument or having a harmful effect on the color layer or causing any noticeable color change to the colored materials, as well as materials that are resistant to damaging factors and have the property of sustainability, where a number of nanometric Consolidation materials were compared and compared to choose the best and most appropriate, where a number of experimental samples were prepared as well as films of Consolidation materials that were exposed to the same natural physical and chemical factors that the monument was exposed to conduct experiments on them, where pine wood was chosen to prepare the test samples and used Nano Klucel G at a concentration of 1:2%, Nano Klucel E at a concentration of 2:1%, Nano Methyl cellulose at a concentration of 1:2% in Consolidation the color layer, and after completing the experiments and tests, Nano Klucel G at a concentration of 1% gave the highest efficiency in Consolidation and the lowest percentage of color change, followed by Nano Methyl cellulose at a concentration of 1%.

Keywords

Colored Wood; Consolidation; Nanomaterials; Color measurement; Thermal ageing

مقدمة

كان يسعى الإنسان منذ تواجده دائماً للتعبير عن أفكاره ومعتقداته وكل ما يدور حوله من أحداث حتى وجد طريقته بالرسم والالوان وبدأ يسخر ويطوع المواد من حوله لتصنيع تلك الألوان ثم الحاجة بعد ذلك إلى مواد أخرى لتثبيتها، وقد كان تلوين الأسطح الخشبية خلال العصور المصرية القديمة أما بالتلوين على سطح الخشب مباشرة بلون واحد كأرضيه من أحد الألوان الطبيعة ليعطى السطح لون موحد يستطيع بعد ذلك الرسم عليه[١]، وكانت طبقة الألوان تتكون من المواد الملونة الطبيعية وأحد الوسائط العضوية التى تقوم بربط المواد الملونة مع أرضية التحضير أو الحامل الخشبى مباشرة[٢]، وتطورت المواد الملونة بشكل كبير فى تحضيرها وخاصة فى وسائطها بتطور الإنسان وإكتشاف الخامات الموجودة حوله[٣]، فقد كان المصرى القديم يستخدم خمس مواد ملونة فى الدولة القديمة ولكن تطور فى الدولة الحديثة فأصبح لديه العديد من المواد الملونة ودرجات لونيه أكثر تمكنه وتساعده فى تنفيذ الرسوم والتصوير بدقة عالية[٤]، وتتعرض طبقة الألوان للكثير من عوامل التلف التى تؤدى إلى إحداث العديد من مظاهر التلف بها من تغير لونى وتبقع وإنفصال وتقشر طبقة الألوان وفى بعض الأحيان فقد كامل لطبقة الألوان الموجودة على السطح وخاصة فى مناطق الربط بين الخشب وطبقة الألوان إذا كانت الألوان منفذه مباشرة على الخشب كما يحدث تحلل للوسيط اللونى فيؤدى ذلك إلى حدوث تشققات وإنفصالات وتقشر طبقة الألوان[٥]، وتعد عملية التقوية وخاصة طبقة الألوان من أهم عمليات الترميم والصيانة للآثار الخشبية الملونة حيث تقوم بتحسين خواص مكونتها ومقاومتها لعوامل التلف المختلفة وهنالك العديد من مواد التقوية الطبيعية والمخلقة المستخدمة فى عمليات تقوية الآثار[٦]، وتعتبر تكنولوجيا النانو من أهم التطبيقات فى مجال ترميم الآثار وخاصة فى تقوية الآثار الخشبية الملونة وإستخدام المواد النانوية لها دور فعال فى تحسين خصائص مواد التقوية المستخدمه[٧]، كما أنها لها القدرة على التغلغل بعمق داخل الآثر نتيجة لصغر حجم جزيئاتها وبالتالى فهى تعطى نتيجة تقوية أعلى من مواد التقوية التقليدية[٨]، وقد كان الهدف الرئيسى لعملية التقوية هو الحفاظ علي طبقة الألوان من عوامل التلف التى تتعرض لها كذلك فإن إختيار مادة التقوية المناسبة لها دور كبير فى نجاح عملية التقوية فيجب أن يتوافق تركيبها الكيميائى مع طبيعة الآثر المراد تقويته حتى لا تسبب له أى أثار ضارة[٩].

١- المواد والطرق Materials and methods :

١-١ المواد

- **Klucel G هيدروكسي بروبيل السليلوز**(Hydroxy Propyl Celluose (HPC تركيبه الكيميائى $(CH_2CH(OH)CH_3)$[١٠]، (إنتاج شركةMerck Life Science BV– Hoeilaart– Belgium).

تم إستخدام Klucel G فى تقوية المواد العضوية من قبل العديد من الباحثين وكان له نتائج جيدة فى عملية التقوية ولم يحدث تغيرات لونيه فى طبقات الألوان، كما ساعد فى الحفاظ على المظهر الطبيعى للمادة الأثرية[١١]، ويتميز Klucel G بلونه الشفاف على السطح كما أنه ذات مرونة عالية[١٢]، وتم إستخدامة على نطاق واسع كمادة لتوحيد الألوان غير لامعة على السطح[١٣]، وهو من المواد المستحب إستخدامها فى تقوية الآثار التى يؤثر عليها الماء[١٤].

- **Klucel E هيدروكسي بروبيل السليلوز $CH_2CH(OH)CH_3$**

(إنتاج شركة Merck Life Science BV– Hoeilaart– Belgium).

تتميز مادةKlucel E بنسبة لزوجة منخفضة كما أن تم إستخدام Klucel E بنسبة ١% فى عمليات التقوية والتدعيم[١٥]، وقد تم إستخدامه بشكل شائع فى مجال حفظ الأثار والمواد العضوية وذلك لتوافقه مع التركيب الكيميائى للقطع الأثرية[١٦].

- **Methyl cellulose تركيبة الكيميائى CH_2OCH_3**[١٧]

- (إنتاج شركة Merck Life Science BV– Hoeilaart– Belgium).

هو مسحوق أو حبيبات بيضاء[١٨]، هو إحدى إثيرات السليلوز غير الأيونية ويتم تحضيرة عن طريق معالجة لب الخشب كميائياً بقلوى بعد ذلك بكلوريد الميثيل للحصول على ميثيل سليلوز[١٩]، يعتبر السيليلوز من المواد الهامة المستخدمة فى تقوية الأثار الخشبية نظراً لتوافره وخصائصه المميزه وقدرته على التغلغل داخل السطح[٢٠]، يذوب الميثيل سليلوز فى الماء وهو مادة إسترجاعية تستخدم كطلاء لطبقة الألوان يمكن إسترجاعه[٢١]، وقابل للأمتزاج مع الكحول الإيثيلى حتى ٥٠% بعد إذابته فى الماء ويمتاز باللزوجة العالية فى التركيزات المنخفضة[٢٢].

تم إستخدام خشب الصنوبر فى إعداد العينات (حامل خشبى لطبقة الالوان) (هو من الاخشاب التى أستوردها المصرى القديم وتم إستخدامها فى أعمال النجارة وصناعة التوابيت الخشبية)[٢٣]، وأستخدم المواد الملونة الأتية فى عمليات التلوين(الأزرق المصرى – الأبيض(كالسيت) – أحمر الهيماتيت– أصفر الأوربمنت – أسود الكربون)[٢٤] إنتاج شركة MORGAN SPECIALITY CHEMICALS CO، كما إستخدم زلال البيض كوسيط لونى[٢٥].

١-٢ الطرق

١-٢-١ تحضير العينات

- تم إعداد قطع خشبية مقاس ٢٥×٥×٥سم، (إستبعاد القطع الخشبية التي تحتوى على عيوب، وتم تقسيم المساحة إلى مربعات ٥×٥سم لعمل ما يشبة (باليتة) الألوان صورة رقم (١).

- تم تطبيق طبقة الألوان على الخشب مباشرة مع مراعاة إستخدام فرشاة لكل لون على حدى.

- تم ترك القطع الخشبية لمدة أسبوعين لتجف في درجة حرارة الغرفة.

١-٢-٢ عمليات التقادم للعينات التجريبية:

تم عمل تقادم للعينات التجريبية (حرارى – ضوئى) قبل تطبيق مواد التقوية المختارة للوصول إلى حالة مشابة لحالة الأثر، وبعد تطبيق مواد التقوية تم ترك العينات لتجف فى درجة حرارة الغرفة، ثم عمل تقادم للعينات مرة أخرى بعد إتمام الجفاف.

- **التقادم الحرارى Heat Exposure**

تم وضع العينات داخل فرن حرارى عند درجة حرارة ٨٠ درجة مئوية ورطوبة نسبية ٦٥% لمدة ١٠أيام متواصلة.

وتم عمليات التقادم بمعمل المخزن المخزن المتحفى بكوم أوشيم بإستخدام فرن BTC "BIOTECH COMPANY FOR MEDICAL AND LABATORY EQUIPMENTS ".

- **التقادم الضوئى**

تمت عملية التقادم الضوئى من خلال تعريض العينات لتأثير الأشعة الفوق بنفسجية لما لها من تأثير متلف على الأثر، وذلك بتعريض العينات ل UV Lamp,253.6nm لمدة ١٠ أيام متواصلة، وكانت المسافة بين العينات ومصدر الضوء ١٢,٥سم (عند درجة حرارة ٢٥:٣٠ درجة مئوية، ورطوبة نسبية ٣٥% ±٥)، و تم التقادم الضوئى بمعمل كلية الأثار– جامعة الفيوم[٢٦].

١-٢-٣ تحضير المواد

- **طريقة تحضير Nano Klucel E**

تم تحضير محاليل بوليمر Klucel E باستخدام Klucel E بتركيزين مختلفين ١% و ٢% وذلك عن طريق إذابة ١ و٢ جرام من بوليمر (Klucel E) كمذاب بشكل منفصل في ١٠٠ مل من الإيثانول. تم إدخال كل محلول إلى جهاز الموجات فوق الصوتية بقوة ٤٠٠ وات لمدة ١٥ دقيقة عند درجة حرارة ٣٠ درجة مئوية بتردد ٢ ميجا هرتز (التردد المركزي ٠,٧ ميجا هرتز وعرض النطاق ١,٤ ميجا هرتز). درجة

القياسات ±١٠ م/ثانية باستخدام منظار الذبذبات (منظار الذبذبات بقاعدة زمنية ٦٠ ميجا هرتز، فيليبس، هولندا).

- **طريقة تحضير Nano Klucel G**

تم تحضير محاليل بوليمر Klucel G باستخدام Klucel G بتركيزين مختلفين ١% و ٢٪ بنفس طريقة التحضير السابقة.

- **طريقة تحضير Nano Methyl cellulose**

تم تحضير محاليل بوليمر ميثيل السليلوز باستخدام منتج ميثيل السليلوز من تركيزين مختلفين ١% و ٢٪ بنفس طريقة التحضير السابقة.

٢- الفحص والتحاليل

٢-١ تم عمل أفلام (طبقة رقيقة) لمواد التقوية المستخدمة فى تقوية العينات التجريبية وإجراء الاختبارات الأتية عليها:

- اللون والشفافية
- المرونة
- الإنكماش

٢-٢ قياس التغير في الوزن

لتقدير مدى الزيادة في وزن العينات بعد تشرب مواد التقوية لها تم إتباع الخطوات الأتية:

- إعداد العينات المتقادمة وإعطاء كل عينة رقم خاص بها.
- وزن العينات بميزان إلكترونى حساس وتسجيل قراءة كل عينة.
- تقوية العينات بتشرب كل منها بإحدى مواد التقوية حتى التشرب التام لها.
- تترك العينات في مكان متجدد الهواء لمدة ٢٤ساعة ثم يعاد وزنها وتسجل القراءات لكل عينة.
- يتم حساب نسبة الزيادة في الوزن بالتعويض في القانون التالى[٢٧]:

$$\text{نسبة الزيادة في الوزن\%} = \frac{\text{وزن العينة بعد التشرب} - \text{وزن العينة قبل التشرب}}{\text{وزن العينة قبل التشرب}} \times ١٠٠$$

٢-٣-تسجيل سلوك مواد التقوية أثناء عملية التطبيق :

- حيث تم تسجيل كافة الملاحظات لكل مادة على حدى أثناء عملية التطبيق من حيث درجة إمتصاص السطح لكل مادة، وسرعة جفاف المادة عند التطبيق فى كل طبقة، وظهور طبقة لامعه على السطح من عدمه بعد الإنتهاء من تطبيق المادة، والتغير المبدئى للألوان بعد التطبيق مباشرة.

٢-٤ الأجهزة المستخدمة

٢-٤-١ التقادم الحرارى : وتم بإستخدام فرن BTC "BIOTECH COMPANY FOR MEDICAL AND LABATORY EQUIPMENTS" بمعمل قسم الترميم بالمخزن المتحفى بكوم أوشيم-الفيوم.

٢-٤-٢ التقادم الضوئى: وتم بإستخدام UV Lamp,253.6nm – وتم التقادم بمعمل كلية الأثار جامعة الفيوم.

٢-٤-٣ التصوير والتسجيل الفوتوغرافى: تم التصوير بإستخدام بكاميرا SONY 10 optical zoom.

٢-٤-٤ الميكروسكوب الرقمي USB-Digital Microscope : USB Digital microscope model "VehoVMS-004 DELUXE" magnify the objects up to 500X. (OM)

٢-٤-٥ الميكروسكوب الديجيتال Zeiss Microscope Leica M 715a : Digital microscope and Leica MZ6 is characterized by VHX-970F Keyence, 1/1.8 inch, 3.19 megapixel CMOS image, virtual pixels: 2048 (H) ×1536 (V)"Germany".

٢-٤-٦ الميكروسكوب الإلكترونى النافذ (TEM) : تم الفحص المورفولوجى للمركبات النانوية المحضرة بإستخدام الميكروسكوب الإلكترونى النافذ(TEM) للحصول على صورة عالية الدقة ثلاثية الأبعاد[٢٨] بواسطة JEM-1230 electron microscope operated at 60 KV (JEOL Ltd.,Tokyo,Japan)، وقد تم الفحص بالمعهد القومى للبحوث بالدقى.

٢-٤-٧ التحليل بإستخدام FTIR: يعتبر واحد من أكثر الطرق أو التحليلات قوة وسهولة في الإستخدام وهو تحليل غير متلف للعينة[٢٩] أستخدم التحليل بالأشعة تحت الحمراء Ftir (بمعمل كلية الأثار جامعة الفيوم) بإستخدام جهاز Everest ATR-Factory Preset-Znse with a resolution of 4cm-1 in the 400cm-1 range، من شركة Thermo scientific-Nicolet Summit Lite .

٢-٤-٨ القياس بإستخدام جهاز التغير اللونى : تم قياس التغير اللونى بمعمل كلية الآثار جامعة الفيوم.

حيث تم إستخدام نظام CIE Lab وهى إختصار للكلمة الفرنسية Commission International de l'Eclairage وهو نظام دولى يعتمد على الرموز(L* -a*- b* -E ٨)[٣٠]، و تم بإستخدام جهاز

Spectro densitometer "Exact X-Rite,Switze land"، والذى يتم من خلالة قياس التغير اللونى طبقاً للمعادلة التالية:

$$\Delta E = \sqrt{[(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]}$$
$$\Delta L^* = L_2^* sample - L_1^* standard$$
$$\Delta a^* = a_2^* sample - a_1^* standard$$
$$\Delta b^* = b_2^* sample - b_1^* standard$$

٣- النتائج

٣-١ الميكروسكوب الإلكترونى النافذ (TEM)

توضح صورة رقم(٢) شكل Nano Klucel E تحت الميكروسكوب النافذTem حيث تتراوح حجم حبيبات المادة من ٢١:٥٠ نانو ميتر، كما توضح صورة رقم(٣) شكل Nano Klucel G تحت الميكروسكوب النافذTem بأحجام مختلفة أقل من ١٠٠نانومتر، وتوضح صورة رقم (٤) شكل Nano Methyl cellulose تحت الميكروسكوب النافذ Tem حيث تتراوح حجم حبيبات المادة من ٢٠:٤٠ نانو ميتر.

٣-٢ نتيجة قياس التغير اللونى للعينات قبل وبعد التقادم

التغيير اللونى لعينات اللون الأبيض المعالجة

جدول (١) يوضح التغير اللوني لعينات اللون الأبيض

مواد التقوية	قبل التقادم				بعد المعالجة			
	L*	a*	b*	ΔE	L*	a*	b*	ΔE
Nano KG1%	94.94	0.18	4.59	1.39	96.23	0.25	7.24	2.95
Nano KG2%	92.81	0.43	6.49	3.99	94.92	0.49	10.22	4.29
Nano KE1%	92.2	0.8	5.97	٤,٤١	96.75	0.14	9.85	6.02
Nano KE2%	90.9	0.55	8.34	٦,٦١	95.71	0.78	12.78	6.55
Nano M1%	94.41	0.31	6.36	٢,٢٢	96.45	0.35	9.54	3.78
Nano M2%	22.99	0	-0.45	٣,٦٧	27.22	1.02	-0.52	4.35

التغيير اللوني لعينات اللون الأصفر المعالجة

جدول (٢) يوضح التغير اللوني لعينات اللون الأصفر

مواد التقوية	قبل التقادم				بعد المعالجة			
	L*	a*	b*	ΔE	L*	a*	b*	ΔE
Nano KG1%	64.48	17.94	51.39	3.23	65.86	20.06	53.75	3.46
Nano KG2%	59.28	19.05	48.29	8.68	63.02	22.31	51.09	5.70
Nano KE1%	58.7	19.82	51.26	٩,١٩	62.78	24.85	54.69	7.33
Nano KE2%	57.12	19.33	47.72	١١,٠٢	62.32	23.12	52.12	7.80
Nano M1%	63.36	18.45	51.7	٤,٤٠	65.42	21.56	54.13	4.45
Nano M2%	62.68	17.7	49.45	٤,٥٠	64.54	21.2	53.02	5.33

التغيير اللوني لعينات اللون الأحمر المعالجة

جدول (٣) يوضح التغير اللوني لعينات اللون الأحمر

مواد التقوية	قبل التقادم				بعد المعالجة			
	L*	a*	b*	ΔE	L*	a*	b*	ΔE
Nano KG1%	42.74	16.26	10.14	1.39	44.56	18.57	12.1	3.53
Nano KG2%	36.77	16.98	10.46	6.60	42.12	20.08	13.55	6.91
Nano KE1%	36.64	17.18	10.59	٦,٧٢	42.04	21.87	13.89	7.88
Nano KE2%	35.98	17.75	11	٧,٣٩	42.31	22.43	15.22	8.93
Nano M1%	38.88	14.19	11.01	٣,٩٥	41.79	16.75	13.78	4.76
Nano M2%	36.79	17.35	10.97	٥,٥٢	41.3	20.18	13.19	5.77

التغيير اللوني لعينات اللون الأزرق المعالجة

جدول (٤) يوضح التغير اللونى لعينات اللون الأزرق

مواد التقوية	قبل التقادم				بعد التقادم			
	L*	a*	b*	ΔE	L*	a*	b*	ΔE
Nano KG1%	26.81	−3.16	−14.25	1.12	29.31	−1.89	−12.22	3.46
Nano KG2%	25.99	−2.09	−11.52	4.03	30.25	−1.98	−7.15	6.10
Nano KE1%	25.34	−1.5	−9.15	٦,٥٠	30.8	−0.65	−3.42	7.96
Nano KE2%	25.25	−0.57	−7.23	٨,٥٨	32.45	−0.09	−3.75	8.01
Nano M1%	27.8	−3.69	−12.99	٣,٩٧	30.15	−2.25	−9.88	4.16
Nano M2%	26.09	−1.66	−11.84	٣,٩٧	30.08	−1.64	−8.46	5.23

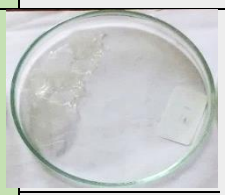
التغيير اللوني لعينات اللون الأسود المعالجة

جدول (٥) يوضح التغير اللوني لعينات اللون الأسود

مواد التقوية	قبل التقادم				بعد التقادم			
	L*	a*	b*	ΔE	L*	a*	b*	ΔE
Nano KG1%	23.04	0.09	0.41	3.19	27.09	0.18	0.47	4.05
Nano KG2%	22.7	0.13	0.01	3.97	27.13	0.17	0.08	4.43
Nano KE1%	22.47	0.06	−0.14	٣,٨٢	28.13	0.13	−0.08	5.66
Nano KE2%	21.66	0.19	0.34	٤,٥١	28.86	0.26	0.42	7.20
Nano M1%	23.14	0.06	−0.3	٣,٦٧	27.43	0.08	−0.1	4.29
Nano M2%	22.99	0	−0.45	٣,٦٧	27.22	1.02	−0.52	4.35

٣-٣ نتيجة اختبار أفلام (طبقة رقيقة) مواد التقوية

جدول رقم(٦) يوضح نتيجة إختبار أفلام مواد التقوية

م	مادة التقوية	التركيز	اللون والشفافية	الانكماش	صور توضح نتيجة اختبار الانكماش	المرونة	صور توضح نتيجة اختبار المرونة
١	Nano Klucel G	١%	شفاف	لا يوجد		مرن	
٢	Nano Klucel G	٢%	شفاف	لا يوجد		مرن	
٣	Nano Klucel E	١%	شفاف	متوسط		مرن	
٤	Nano Klucel E	٢%	شفاف	متوسط		مرن	
٥	Nano Methyl cellulose	١%	يميل للأصفرار	متوسط		شبة مرن	
٦	Nano Methyl cellulose	٢%	يميل للأصفرار	عالى		قصيم	

٣-٤ نتيجة قياس التغير في الوزن

جدول رقم(٧) يوضح نتيجة التغير في الوزن للعينات قبل وبعد التقوية

معتدل χ شبة مرتفع χχ مرتفع χχχ

مادة التقوية	تركيز	وزن العينة قبل التشرب جم	وزن العينة بعد التشرب جم	نسبة الزيادة في الوزن %	التغير فى االوزن
Nano Klucel G	١%كحول إيثيلى	١١٥	١٢٢	٦,٠٨	χχ
Nano Klucel G	٢%كحول إيثيلى	١٠٣	١٠٩	٥,٨٢	χ
Nano Klucel E	١%كحول إيثيلى	٩٧	١٠٢	٥,١٥	χ
Nano Klucel E	٢%كحول إيثيلى	١٠٥	١١٠	٤,٧٦	χ
Nano Methyl cellulose	١%كحول إيثيلى	١١١	١٢٠	٨,١٠	χχχ
Nano Methyl cellulose	٢%كحول إيثيلى	١٠٨	١١٦	٧,٤٠	χχ

٣-٥ نتيجة تسجيل سلوك مواد التقوية أثناء عملية التطبيق

جدول(٨) يوضح سلوك مواد التقوية أثناء التطبيق على العينات التجريبية

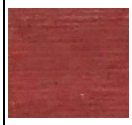
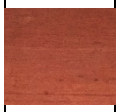
مادة التقوية	تركيز	إمتصاص السطح	الجفاف	تكون طبقة لامعة	الملاحظة بالعين المجردة
Nano Klucel G	%١	معتدل	معتدل	لا يوجد	تغير طفيف
Nano Klucel G	%٢	بطئ	بطئ	غير ملحوظ	تغير طفيف
Nano Klucel E	%١	سريع	متوسط	لايوجد	غمقان طبقة الألوان
Nano Klucel E	%٢	بطئ جداً	بطئ جداً	يوجد	غمقان طبقة الألوان
Nano Methyl cellulose	%١	سريع جداً	سريع جداً	لايوجد	لايوجد
Nano Methyl cellulose	%٢	سريع	سريع	لايوجد	تغير طفيف

٣-٦ التصوير والتسجيل الفوتوغرافي

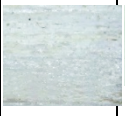
٣-٧الميكروسكوب الرقمي USB Digital microscope

٣-٨ الميكروسكوب الديجيتال Digital microscope

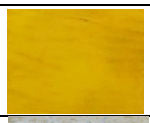
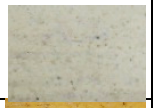
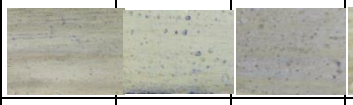
جدول(٩) يوضح مقارنة التغير اللونى لعينة اللون الأحمر المعالجة وغير المعالجة بإستخدام الفحص المجهرى والتصوير الفوتوغرافى

Nano Methyl cellulose 2%	Nano Methyl cellulose1%	Nano Klucel %٢E	Nano Klucel %E1	Nano Klucel %G2	Nano Klucel %G1	عينة غير معالجة	مادة التقوية / الفحص
							التصوير الفوتجرافى
							USB Digital microscope
							Digital microscope

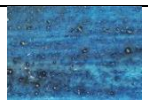
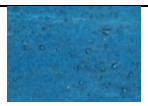
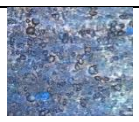
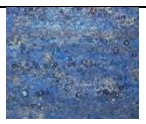
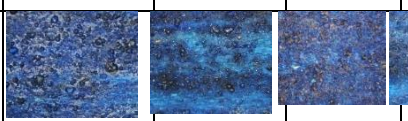
جدول(١٠) يوضح مقارنة التغير اللونى لعينة اللون الأبيض المعالجة وغير المعالجة بإستخدام الفحص المجهرى والتصوير الفوتوغرافى

Nano Methyl cellulose2%	Nano Methyl cellulose1%	Nano Klucel %٢E	Nano Klucel %E1	Nano Klucel %G2	Nano Klucel %G1	عينة غير معالجة	مادة التقوية / الفحص
							التصوير الفوتجرافى
							USB Digital microscope
							Digital microscope

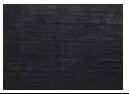
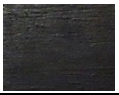
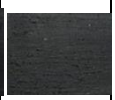
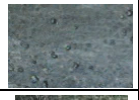
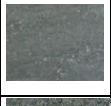
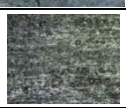
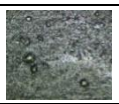
جدول(١١) يوضح مقارنة التغير اللوني لعينة اللون الأصفر المعالجة وغير المعالجة باستخدام الفحص المجهري والتصوير الفوتوغرافي

Nano Methyl cellulose2%	Nano Methyl cellulose1%	Nano Klucel %٢E	Nano Klucel %E1	Nano Klucel %G2	Nano Klucel %G1	عينة غير معالجة	مادة التقوية / الفحص
							التصوير الفوتجرافى
							USB Digital microscope
							Digital microscope

جدول(١٢) يوضح مقارنة التغير اللوني لعينة اللون الأزرق المعالجة وغير المعالجة باستخدام الفحص المجهري والتصوير الفوتوغرافي

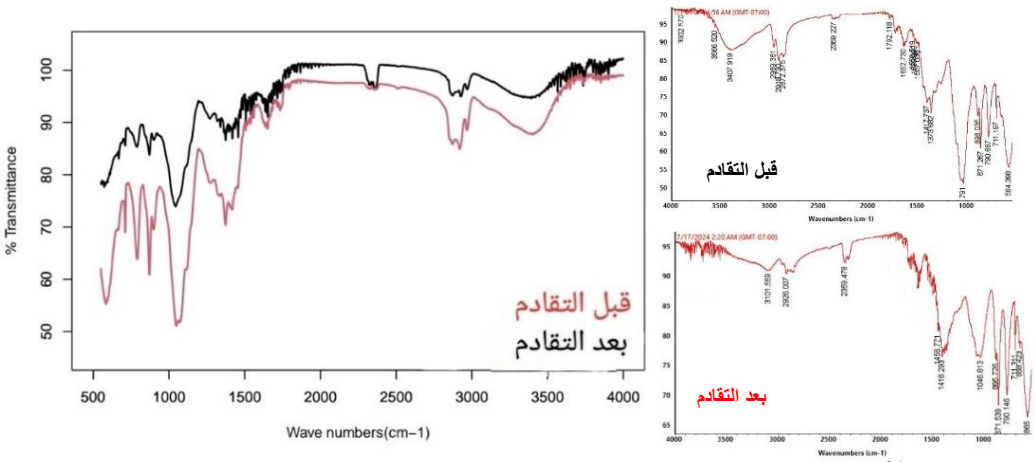
Nano Methyl cellulose2 %	Nano Methyl cellulose 1%	Nano Klucel E %٢	Nano Klucel %E1	Nano Klucel %G2	Nano Klucel %G1	عينة غير معالجة	مادة التقوية / الفحص
							التصوير الفوتجرافى
							USB Digital microscope
							Digital microscope

جدول(١٣) يوضح مقارنة التغير اللوني لعينة اللون الأسود المعالجة وغير المعالجة باستخدام الفحص المجهري والتصوير الفوتوغرافي

Nano Methyl cellulose 2%	Nano Methyl cellulose 1%	Nano Klucel E 2%	Nano Klucel E 1%	Nano Klucel %G2	Nano Klucel %G1	عينة غير معالجة	مادة التقوية / الفحص
							التصوير الفوتجرافى
							USB Digital microscope
							Digital microscope

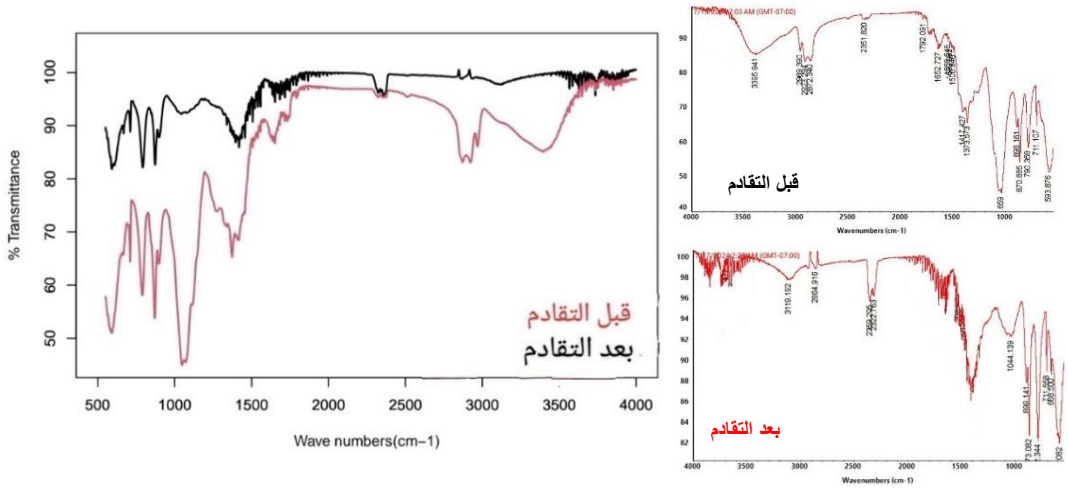
٣-٩ التحليل بإستخدام FTIR قبل وبعد التقادم الحرارى

- مادة Nano Klucel G



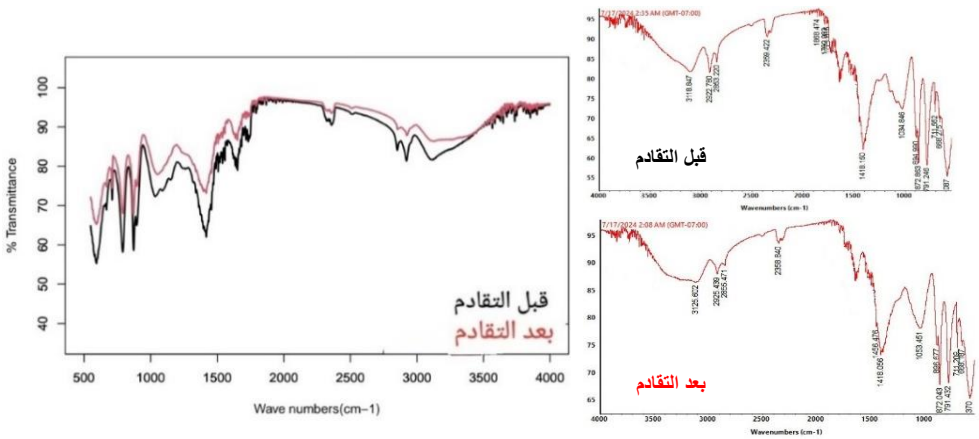
شكل رقم (1) يوضح نتيجة تحليل FTIR لمادة Nano Klucel G قبل وبعد التقادم الحرارى

- مادة Nano Klucel E



شكل رقم (٢) يوضح نتيجة تحليل FTIR لمادة Nano Klucel E قبل وبعد التقادم الحرارى

- مادة Nano Methyl cellulose



شكل رقم (3) يوضح نتيجة تحليل FTIR لمادة Nano Methyl cellulose قبل وبعد التقادم الحرارى

٤ – الخاتمة والنتائج:

- من خلال فحص عينات من مواد التقوية تحت الميكروسكوب الإلكترونى النافذ (TEM) فقد أوضح شكل مواد التقوية فى حجم النانو، فقد أظهر الميكروسكوب النافذ (TEM) حجم مادة Nano Klucel E حيث تتراوح حجم المادة بين (٢١:٥٠) نانومتر صورة رقم(٢)، كما أظهرت مادة Nano Klucel G فى أحجام اقل من ١٠٠نانومتر صورة رقم(٣)، ومادة Nano Methyl cellulose فى أحجام مختلفة تتراوح بين (٢٠:٤٠) نانومترصورة رقم(٤).
- وبقياس التغير اللونى للعينات التجريبية قبل وبعد التقادم تم التعرف على نسبة التغير اللونى التى أعطتها كل مادة، فقد تسببت مواد التقوية فى تغير الألوان بدرجات مختلفة، فقد أعطت مادة Nano Klucel Gتركيز ١% أقل نسبة تغير لونى للألوان حيث يتضح من خلال فحص عينات اللون الأبيض حدوث تغير فى القيم اللونية والتى سجلت معدل ΔE حوالى ١,٣٩ قبل التقادم وزادت نسبة التغير بعد التقادم حيث سجلت ΔE حوالى ٢,٩٥ مما يدل على تأثر العينة بعمليات التقادم جدول (١)، أما بالنسبة لعينات اللون الأصفر فقد سجلت ΔE حوالى ٣,٢٣ قبل التقادم وزادت نسبة التغير بعد التقادم حيث سجلت ΔE حوالى ٣,٤٦ جدول (٢)، كما سجلت ΔE للون الأحمر تغير لونى بنسبة ١,٣٩ قبل التقادم وزادت نسبة التغير بعد التقادم حيث سجلت ΔE حوالى ٣,٥٣ جدول (٣)، وسجل اللون الأزرق ΔE تغير لونى بنسبة ١,١٢ قبل التقادم وزادت نسبة التغير بعد التقادم حيث سجلت ΔE حوالى ٣,٤٦ جدول (٤)، وسجل ΔE للون الأسود نسبة٣,١٩ قبل التقادم وزادت نسبة التغير بعد التقادم حيث سجلت ΔE حوالى ٤,٠٥ جدول (٦)، تليها مادة Nano Klucel G تركيز ٢%، ومادة Nano Methyl cellulose تركيز ١%،٢% أعطت تغير لونى طفيف فى الألوان، أما مادة Nano Klucel E فقد أعطت تغير لونى ملحوظ بشكل كبير فتسببت فى غمان طبقة الألوان.
- ويتضح من خلال الفحص البصرى والفحص الميكرسكوبى تغلغل مادة Nano Klucel G تركيز ١% داخل طبقة الألوان والخشب غير مكونه أى رواسب على السطح مسببه تغير غير ملحوظ فى درجة الألوان مقارنة بمواد التقوية الأخرى المستخدمة فى المعالجة، تليها Nano Klucel G تركيز ٢% ، ثم مادة Nano Methyl cellulose تركيز ١%،٢% حيث سببت تغير لونى طفيف تاركه حبيبات ورواسب قليلة بيضاء على سطح طبقة الألوان، أما مادة Nano Klucel E تركيز ١%،٢% فقد سببت تغير لونى ملحوظ يرى بالعين المجردة وأدت إلى غمقان فى طبقة الألوان مكونة طبقة شبة لامعة على السطح.
- بناءاً على الإختبارات السابقة التى تمت على أفلام (الطبقة الرقيقة) من مواد التقوية المستخدمة فى تقوية طبقة الألوان حيث تم إثبات تعرض بعض خواص هذه المواد للتغير الذى يمكن إرجاعه إلى تأثير العديد من عوامل التلف سواء الفيزيائية أو الكيميائية التى تتوفر خلال عمليات التقادم، وقد تراوح

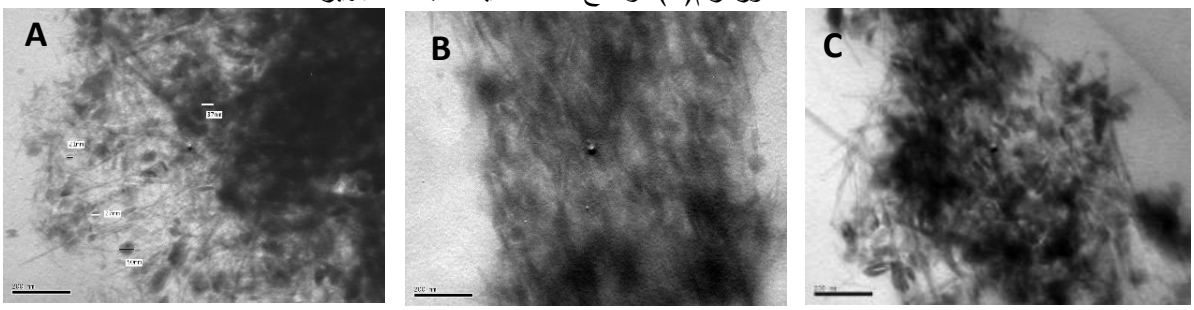
تأثير هذة العمليات من مادة إلى أخرى حسب طبيعة وتركيب هذة المواد حيث لوحظ الأتى:

- فقدان معظم أفلام (الطبقة الرقيقة) مواد التقوية المتقادمة جزء من مرونتها فقد لوحظ أن مادة Nano Methyl cellulose تركيز ١% ،٢% فقدت جزء كبير من مرونتها، ومادة Nano Klucel E تركيز ١%،٢% فقد كانت أقل مرونة، أما مادة Nano Klucel G تركيز ١%،٢% قد أحتفظت مرونتها بشكل كبير، جدول (٦).
- تعرضت مادة Nano Methyl cellulose للإصفرار بصورة أكبر وقد لوحظ أن الفيلم الجاف (الطبقة الرقيقة) من هذة المادة حيث تعرضت للإصفرار بصورة واضحة، ومادة Nano Klucel E أعطت لون مائل للإصفرار عند الجفاف أما مادة Nano Klucel G فأعطت لون شفاف، جدول (٦).
- تعرضت بعض مواد التقوية بعد الجفاف إلى الإنكماش الذى بلغ أعلى قيمة فى مادة Nano Methyl cellulose وفقدت مرونتها بشكل كبير، أما مادة Nano Klucel E فقد كان لها درجة إنكماش معتدلة وأصبحت أقل مرونة، ومادة Nano Klucel G كانت من المواد التى لما تتعرض للإنكماش وأحتفظت بمرونتها بشكل كبير، جدول (٦) .
- كما تم عمل تحليل FTIR لمواد التقوية قبل وبعد التقدم للتعرف على التغير الذى طرأ على كل مادة عند تعرضها لظروف التقادم حيث يتضح من نتيجة تحليل عينة من مادةNano Klucel G قبل وبعد التقادم تأثر مجموعة الهيدروكسيل(OH) بالحرارة فيلاحظ حدوث تغير في نطاقات الإمتصاص المميزة، وفي شدة الإمتصاص حيث يتسبب التقادم الحراري في تفاعلات كيميائية حرارية قوية، وخاصة الأكسدة[٣١] مجموعة الهيدروكسيل OH حدث نقص في شده الامتصاص بعد التقادم الحراري , مما يدل على الفقد في للمحتوى المائى. انخفاض في شدة امتصاص C=O يشير إلى تغيير في نسبة الهيميسليلوز[٣٢] شكل رقم(١)، كما يتضح من نتيجة عينةNano Klucel E حدوث فقد في المحتوى المائي لمادة التقوية للعينة ناتج من عملية التقادم الحراري فحدث تغير في تردد مناطق امتصاص مميزة وتغير في شدة وتركيز الامتصاص بوجه عام. حيث حدث اختفاء لمجموعة الهيدروكسيل O–Hعند تردد $3395cm^{-1}$وظهور طيف امتصاص جديد عند تردد $3119\ cm^{-1}$, ايضا حدوث اختفاء في منطقة امتصاص عند تردد موجي $2923–2969\ cm^{-1}$وتغير تردد طيف من 2872 to 2864 cm^{-1}للمجموعة الوظيفية C–H of methyl and hydroxpropyl شكل رقم(٢)، ونتيجة عينة مادة Nano Methyl cellulose حدوث تغير في الرقم الموجي للمجموعات الوظيفية المميزة للميثيل سيليلوز ايضا حدوث نقص في شدة تركيز امتصاص الاطياف المميزة مما يدل على تأثير عملية التقادم الحراري. حيث حدث نقص في شدة تركيز امتصاص الطيف المميز للمجموعة الوظيفية الهيدروكسيل O–Hوتغير الرقم الموجي $3123\ cm^{-1}$ إلى $3279\ cm^{-1}$ مما يدل على حدوث جفاف ونقص في المحتوى المائي. كذلك اختفاء طيف المجموعة الوظيفية C–H 2872–2835

cm^{-1}و ظهور طيف اخر عند رقم موجي $2926\ cm^{-1}$, ايضا حدوث زيادة في الرقم الموجي cm^{-} ^{1} 1019 إلى cm^{-1} 1044وهو يؤثر على المجموعة الوظيفيةH –C شكل رقم(٣).

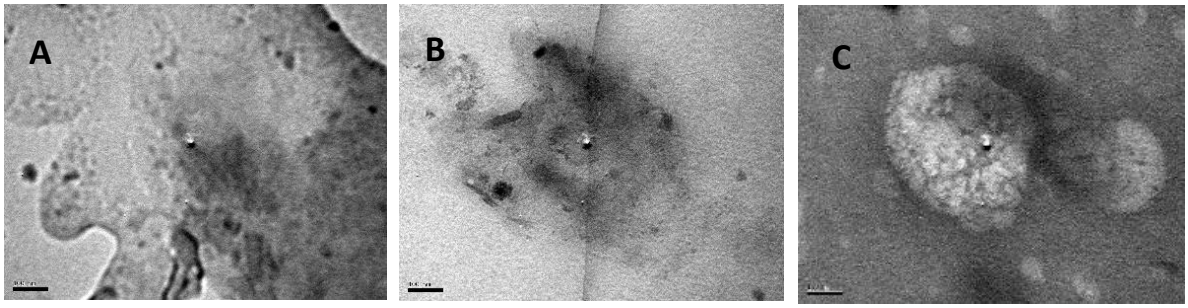
- ومن خلال مقارنة نتائج الإختبارات والفحوص والتحاليل السابقة فقد أعطت مادة Nano Klucel G تركيز ١% أفضل النتائج فى تقوية طبقة الألوان كما أعطت تغطيه موحده للسطح وطبقة حماية جيدة للألوان كما أن لها مرونة عالية وأقل نسبة تغير لونى قبل وبعد التقادم كما تميزت بلونها الشفاف على السطح دون حدوث أى إنكماش لها.
- لذا يفضل أجراء عمليه التقوية للأخشاب الآثرية الملونة أن يتم إستخدام مادة تركيز ١%.

صورة رقم(١) توضح شكل العينات بعد التجهيز



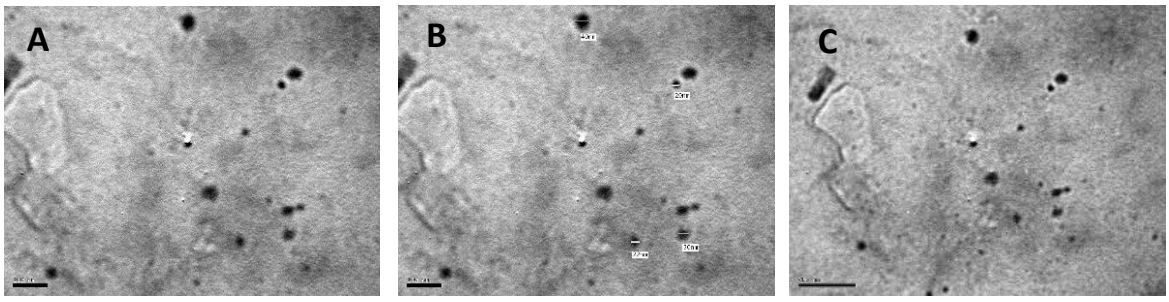
صورة رقم(٢) توضح شكل Nano Klucel E تحت الميكروسكوب النافذTem

حيث تتراوح حجم حبيبات المادة من ٢١:٥٠ نانو ميتر



صورة رقم(٣) توضح شكل Nano Klucel G تحت الميكروسكوب النافذTem

بأحجام مختلفة أقل من ١٠٠نانومتر



صورة رقم (٤) توضح شكل Nano Methyl cellulose تحت الميكروسكوب النافذTem حيث تتراوح حجم حبيبات المادة من ٢٠:٤٠ نانو ميتر

قائمة المراجع

(١) إلهام كريم محمد، دراسة التغيرات الكيميائية الناتجة عن تلف بعض مواد حماية أسطح الأخشاب الأثرية مع تقييم لبعض مواد وطرق المعالجة تطبيقاً على أحد النماذج الخشبية المختارة، رسالة ماجيستير، قسم الترميم، كلية الأثار، جامعة القاهرة،٢٠١٦ م، ص٤.

(٢) سحر محمد إسماعيل، دراسة مقارنة تقنية وعلاج وصيانة الأقنعة الجنائزية الخشبية والكارتوناجية فى مصر القديمة تطبيقاً على نماذج مختارة، رسالة دكتوراة، قسم ترميم الأثار،كلية الأثار، جامعة القاهرة،٢٠١٥م، ص٢٤.

(٣) عبد المعز شاهين، طرق صيانة وترميم الأثار والمقتنيات الفنية، الهيئة العامة المصرية للكتاب،١٩٩٣م، ص١٢٠.

(٤) مجدى منصور بدوى، دراسة علاج وصيانة الزخارف والرسوم الملونة القبطية على الأعمدة فى الكنائس وبعض المنشأت الأثرية الأخرى، رسالة ماجيستير، قسم ترميم الأثار،كلية الأثار، جامعة القاهرة،١٩٩٦م، ص٨٥.

(٥)عصام محمد أحمد، دراسة لترميم الأسقف الخشبية الملونة فى العمائر الإسلامية بمدينة القاهرة تطبيقاً على أحدى العمائر المختارة،رسالة دكتوراة،قسم الرميم،كلية الأثار،جامعة القاهرة،٢٠٠٦م،ص٩٩.

(٦) مدحت عبد اللة عبد الحميد، دراسة تجريبية فى بعض المواد المستخدمة فى تقوية الأخشاب الملونة تطبيقاً على بعض الأخشاب الأثرية المختارة، رسالة ماجيستير، قسم الترميم، كلية الأثار، جامعة القاهرة، ٢٠٠٩م، ص٢٠٦.

(٧) أحمد عادل عبد الستار، دراسة مقارنة لتقييم مواد التقوية الطبيعية والصناعية الشائع إستخدامها فى الأخشاب المحلية (كاسيات البذور) مع التطبيق على أحد النماذج المختارة، رسالة ماجيستير، قسم الترميم، كلية الأثار، جامعة القاهرة، ٢٠١٦م، ص٧٦.

(8) M. E David et al, Nanomaterials Used in Conservation and Restoration of Cultural Heritage: An Up-to-Date Overview, MPDI, Materials, 2020, p1.

(9) S. Abd Al Kader et al, A new mixture of hydroxypropyl cellulose and nanocellulose for wood consolidation, Journal of Cultural Heritage, (2018), p1.

(10) S.Rowe et al, “Roman Egyptian gilded cartonnage: technical study and

conservation of amummy mask from Hawara". In: Decorated surfaces on ancient Egyptian objects: technology, deterioration and conservation, Proceedings of a conference held in Cambridge, UK on 7-8 September 2007, P.117.

(11) H.A.M. Afifi, et al, An Experimental Study for consolidation Of Archaeological Cartonnage Using Klucel G and Chitosan 51 Scientific Culture, Vol. 7, No 2, (2021), pp. 49-68.

(12) K. Gill and F. Boersma, "Solvent Reactivation of hydroxypropyle cellulose (Klucel G) in textile conservation: Recent developments," in: The Conservator, United Kingdome of historic and Artistic works, vol 21,1997, p19.

(13) M. H. Sallam et al, "Evaluation of using Klucel G on the Physical properties of sycamore wood", in: IJMSAC, ISSUE 1, 2022, p137.

(14) H. J. Graaff, "Hydroxy propyl cellulose,Amultipurpose conservation Material", II COM conference,1981, p81-14.

(١٥) نور محمد عبد الحميد، تقييم تأثير بعض مواد التقوية على الطبقات اللونية المختلفة للتوابيت الخشبية مركبة الطبقات تطبيقاً على أحد النماذج المختارة، رسالة دكتوراة، قسم الترميم، كلية الأثار، جامعة القاهرة، ٢٠١٦م، ص٨٦.

(16) O.M. Younis et al, "Preliminary study on the strength enhancement of Klucel E with cellulose nanofibrils (CNFs) for the conservation of wooden artifacts", in: Journal of Cultural Heritage, 2023, p.42.

(١٧) مدحت عبد الله عبد الحميد، تقييم وتطوير العجائن المالئة المستخدمة فى الإستكمال التدعيمى للأثار الخشبية المنقولة تطبيقاً على أحدى النماذج الأثرية المختارة، رسالة دكتوراة، قسم ترميم الأثار، كلية الأثار، جامعة القاهرة، ٢٠١٤م، ص١٠٢.

(18) A. Unger et al, "conservation of wood artifacts", springer, Berlin, Germany, 2001, p450.

(19) C. Baker, "Methylcellulose and sodium carboxymethyle cellulose:an evaluation through accelerated aging" in "adhesives and consolidants" edited by Brommelle, N.et al, the international institute for conservation of historic and works, p55.

(20) L. Jasmani et al, Application of Nanotechnology in Wood-Based Products Industry: A Review, Nanoscale Res Lett, 2020, p2.

(٢١) أميمة على عطية، دراسة لتقييم التلف الناتج عن التخزين غير المناسب للأخشاب الحاملة للطبقة اللونية تطبيقاً على أحدى النماذج، رسالة ماجيستير، قسم الترميم، كلية الأثار، جامعة القاهرة، ٢٠١٣م، ص٨٧.

(٢٢) نادية إبراهيم لقمة، دراسة علاج وصيانة الأخشاب الجافة تطبيقاً على مختارات من التماثيل الخشبية فى مقتنيات المتحف المصرى، رسالة دكتوراة، قسم الترميم، جامعة القاهرة، ١٩٩٩م، ص٣٠٧.

(٢٣) داليا سامى ثابت، الصناعات الخشبية الدقيقة فى الفن الإسلامى والإستفادة منها فى التصميم الداخلى والاثاث، رسالة ماجيستير، قسم التصميم الداخلى والاثاث، كلية الفنون التطبيقية، جامعة حلوان، ٢٠٠٥م، ص٣٦٨.

(٢٤) ريهام شفيق جلال، دراسة تجريبية لتقوية النماذج الخشبية الأثرية المصغرة تطبيقاً على نموذج مختار، رسالة ماجيستير، قسم الترميم، كلية الأثار، جامعة الفيوم، ٢٠٢٢م، ص٤٥.

(٢٥) عبد الرحمن محمد السروجى، دراسة علمية تحليلية فى فحص وعلاج وصيانة التوابيت الخشبية الملونة تطبيقاً على تابوت من طيبة، مجلة كلية الأثار، العدد الثامن عشر،٢٠١٤-٢٠١٥م، ص٢٢١.

(26) Mohamed, H., Sobh, R., El Hadidi, N.M.N., Darwish, S., A Comparative Study to Evaluate Regalrez, Nano Regalrez, and Nano Composite for the Consolidation of Pigments used on Ancient Egyptian Wooden Artifacts, Egyptian Journal of Chemistry, vol. 68 (2), (2025), p47-61.

(٢٧) نادية إبراهيم لقمة، علاج وترميم مجموعة التماثيل الخشبية التي عثر عليها بمصطبة كاعبر، وزارة الثقافة المجلس الأعلى للأثار، مطابع المجلس الأعلى للأثار، ص١٢٢.

(28) G. Kanakkan, Scanning Electron Microscope (SEM), p.2.

(29) F. Pique and G. Verri, Organic materials in wall paintings, the Getty conservation institute, J.paul Getty trust, 2015, p112.

(٣٠) سهام سهرى وأخرون، تقييم كفاءة النانو بارالويد ب٧٢ فى تقوية خشب الجميز الملون، مجلة الأقصر الدولية للدراسات الأثرية، المجلد ٦، ٢٠٢٣، ص٤٧.

(31) P. Hundt et al, “Klucel Hydroxypropylcellulose: Its Impact on Artificial Ageing and Consequences for Conservation Usage – A Case Study.” – *Graphic Documents* 13 (1):, 2021, 13–26.

(32) M. H. Sallam et al, “Evaluation of using Klucel G on the Physical properties of sycamore wood”, in: IJMSAC, ISSUE 1, 2022, p137.