

تقييم كفاءة النانو بارالويد ب ٧٢ في تقوية خشب الجميز الملون

سهام سهري برشاوي^١، * نسرين محمد نبيل الحديدي^٢، محمود سيد محمود علي^٣

^١ وزارة السياحة والآثار، الأقصر، جمهورية مصر العربية

^٢ كلية الآثار، جامعة القاهرة، الجيزة، جمهورية مصر العربية

^٣ كلية الآثار، جامعة الأقصر، الأقصر، جمهورية مصر العربية

الملخص

تستخدم الأخشاب في العديد من الصناعات على مر العصور، حيث بدأ استخدام الأخشاب في العصور المصرية القديمة ومن العصور الأولى في حياتهم اليومية وصناعة التماثيل والتوابيت الخشبية وغيرها كما استخدمت أخشاب الجميز في العديد من الصناعات القديمة. تتعرض الأخشاب للعديد من عوامل التلف من رطوبة نسبية ودرجات حرارة وضوء وغيرها بشكل مستمر ونتيجة لذلك فتستخدم مواد التقوية لتحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية للأخشاب بصفة عامة، وفي هذه الدراسة تم استخدام مادة نانو بارالويد ب ٧٢ المذاب في الكحول الإيثيلي بنسبة تركيز ١% و ٣% في تقوية عينات الخشب، وذلك لتقييم كفاءة هذه المادة في عمليات تقوية الأخشاب الملونة وذلك من خلال استخدام الفحوص والتحليل مثل الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح لدراسة التغيرات السطحية للعينات والتغير اللوني باستخدام نظام CIE Lab، والتحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء لدراسة التغيرات الكيميائية في التركيب الكيميائي للخشب والأطياف المميزة للمجموعات الوظيفية للسيليلوز والهيميسليلوز واللجنين المكونة للخشب، ومن خلال النتائج يتم تقييم مادة النانو بارالويد ب ٧٢ في عمليات تقوية الأخشاب الملونة.

الكلمات الدالة

خشب الجميز، نانو بارالويد ب ٧٢، الميكروسكوب الإلكتروني الماسح، التغير اللوني، التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء.

Article History

Received: 15/4/2023

Accepted: 26/5/2023

DOI: 10.21608/LIJAS.2023.211213.1004

Evaluation of the Efficiency of Nano Paraloid B72 in Consolidation of Polychromed Sycamore Wood

Seham Sahry Bershawy ^{1,*}, Nesreen Mohamed Nabil El-Hadidi ², Mahmoud Sayed Mahmoud Ali ³

¹ Ministry of Tourism and Antiquities, Luxor, Egypt

² Faculty of Archaeology, Cairo University, Giza, Egypt

³ Faculty of Archaeology, Luxor University, Luxor, Egypt

Abstract

Wood has been used in many industries throughout the ages, as wood began to be used in ancient Egyptian times and from the early ages in their daily lives and in the manufacture of statues, wooden coffins and others. Sycamore wood was also used in many ancient industries. Wood is exposed to many factors of damage such as relative humidity, temperature, light, etc. continuously. As a result, strengthening materials are used to improve the physical, mechanical and chemical properties of wood in general. In this study, Nano Paraloid B72 dissolved in ethyl alcohol at a concentration of 1% and 3% was used to strengthen wood samples, in order to evaluate the efficiency of this material in the strengthening of colored wood through the use of tests and analyzes such as scanning electron microscopy to study changes. surface of samples and color change using CIE Lab system, And infrared spectroscopy to study the chemical changes in the chemical composition of wood and the characteristic spectra of the functional groups of cellulose, hemicellulose and lignin that make up wood. Through the results, Nano-Paraloid B72 is evaluated in the strengthening of colored wood.

Keywords

Sycamore wood; Nano-Paraloid B72; SEM; CIE Lab Colorimetric Variance; FTIR Spectroscopy.

١. المقدمة

شجرة الجميز هي أحد أنواع الأشجار المعروفة بأشجار السيكامور - Sycamore ويحمل الاسم العلمي *Ficus sycomorus* [١]. كما تعتبر من أهم الأشجار والنباتات المقدسة عند المصريين القدماء، وهي شجرة نوبية الأصل انتقلت إلى فلسطين والشام، ويبلغ متوسط عمرها ٤٠٠ عام، كما تدلنا النقوش والرسوم الموجودة على جدران المعابد المصرية القديمة. ارتبطت شجرة الجميز بالفكر المصري القديم الخاص بنشأة الكون، واعتبرها "الأم السماوية" للإنسان، كما صنع منها التوابيت مثل تابوت الإله أوزيريس، كما عرف المصري القديم قدرتها على الشفاء واحتوائها على فوائد طبية وصحية كثيرة [٢]. وكان خشب الجميز يستعمل عادة لعمل تماثيل الإلهات، ولصنع الأثاث والتوابيت والتماثيل على العموم وقد وجد خشب الجميز أو ثماره - لم يذكر أيهما - في آثار مواقع جبانات عصر ما قبل الأسرات [٣]. ويعتبر خشب الجميز من أهم الأشجار التي اعتمد عليها المصري القديم في صناعة الأخشاب المستخدمة في تسقيف المنازل والزحافات الخشبية المستخدمة في نقل البضائع والأحجار، كما استخدم في صناعة التماثيل الخشبية [٤]. وخشب الجميز مرن ويسهل تشكيله، ولهذا يعتبر صالحا لعمل التماثيل الخشبية، ومن عيوبه كثرة الماء بداخله مما يجعله عرضة للتحلل بالفطريات والتلف بالحشرات فضلا عن تأثيره الشديد والسريع بالتغيرات المفاجئة في درجات الحرارة والرطوبة النسبية المحيطة [٥].

يعتبر اللون الأحمر أكثر المواد الملونة الحمراء شيوعاً في مصر القديمة بدءاً من فترة ما قبل الأسرات. توجد بشكل طبيعي في واحات الصحراء الغربية وبالقرب من أسوان وتم تحضيرها بالغسيل والرفع والطحن. يحتوي Ochers بشكل عام على كمية متفاوتة من أكسيد الحديد ثماني السطوح، وخاصة الجوثيت ($FeO.OH$)، والهيماتيت (Fe_2O_3)، وقد وجدت المغرة الحمراء في عينات كثيره ترجع لعصر الأسرات الرابعة والخامسة في مقبرة مرس عنخ بالجيزة من الأسرة الخامسة وفي مقبرة آخت حتب من الأسرة الخامسة بسقاره [٦]، والمغرة الحمراء في صورتها النقية تحتوي على نسب تقرب من ٩٥ % من أكاسيد الحديد مع شوائب أخرى مثل السليكا SiO_2 وأكسيد الألمونيوم Al_2O_3 ، لا تتأثر بالضوء أو المواد القلوية ولكنها تذوب في الأحماض المركزة الساخنة وفي درجات الحرارة العالية حيث يتحول اللون الفاتح للمغرة إلى لون أكثر دكارة [٧].

وتعتبر التقوية من العمليات المهمة في عمليات الصيانة والمحافظة على الأخشاب الأثرية، ويعد استخدام بعض مواد التقوية من البوليمرات إحدى الحلول في عمليات تقوية الأخشاب حيث يعمل على ملء الفراغات والمسام والعمل على تقويتها مما يؤدي إلى تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية للأخشاب الأثرية التالفة [٨]. وفي هذه الدراسة التجريبية نتناول تأثير إحدى مواد النانو في تقوية الأخشاب الأثرية وهي نانو بارالويد ب ٧٢.

ونانو بارالويد ب ٧٢ هو عبارة عن راتنج أكريليك ثابت وغير مصفر كيميائياً، هو عبارة عن بوليمر خليط من إيثيل ميثاكريلات وأكريلات الميثيل بنسبة مئوية تبلغ (٣٠-٧٠٪) [٩]، وهو أحد راتنجات الأكريليك الأكثر استخداماً لتقوية القطع الأثرية نظراً لخصائصه الميكانيكية وسهولة استخدامه. إذ أنه بوليمر يتطلب إذابته في مذيب، مثل الأسيتون أو الطولوين أو الكحول [١٠]، وتهدف هذه الدراسة إلى فحص تأثير النانو بارالويد البوليمري في معالجة العينات الخشبية والحفاظ عليها من خلال تقييم التغيرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية قبل وبعد التقوية للعينات المعالجة.

ويتكون الخشب من السليلوز والهيميسليلوز واللجنين وهي المكونات الأساسية لتركيب الأخشاب، حيث تم تقسيم مناطق الامتصاص للأشعة تحت الحمراء للمجموعات الوظيفية للمكونات الكيميائية للأخشاب [١١]، إلى خمسة مناطق امتصاص مميزة [١٢-١٣-١٤] وهي: منطقة الامتصاص (٢٧٠٠-٣٦٠٠)، ومنطقة الامتصاص (١٦١٠-١٧٥٠)، ومنطقة الامتصاص (١٥٠٠-١٦١٠)، ومنطقة الامتصاص (١٠٠٠-١٠٠٠)، ومنطقة الامتصاص (٤٠٠-١٠٠٠)، وتناولت العديد من المراجع والأبحاث العلمية الأطياف المميزة للتركيب الكيميائي للخشب والتلف الذي يحدث لهذه المركبات باستخدام التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء [١٥-١٦-١٧].

٢. المواد والطرق

٢.١. المواد

٢.١.١. تحضير عينات الأخشاب

تم تجهيز العينات الخشبية من نفس نوع الخشب المستخدم في صناعة بقايا التابوت وهو خشب الجميز حيث تم تقطيع العينات إلى مكعبات ذو أبعاد (٢×٢×٢ سم) طبقاً للمواصفات البريطانية (ISO, 3133. Wood 1975) [١٨-١٩]، كما في الشكل رقم (١-١). ثم تم عمل طبقة تحضير للعينات من كربونات الكالسيوم (الكالسييت) حتى تمام الجفاف في درجة حرارة الغرفة، كما في الشكل رقم (٢-١). وتم تلوين العينات باللون الأحمر وهو من مادة المغرة الحمراء، وهي الشكل الترابي لمعدن الهيماتيت (Fe_2O_3) (أكسيد الحديد) الذي يوجد بوفرة في مصر [٢٠]، وقد وجدت المغرة الحمراء في عينات كثيرة ترجع لعصر الأسرات الرابعة والخامسة في مقبره مرس عنخ بالجيزة من الأسرة الخامسة وفي مقبره آخت حنتب من الأسرة الخامسة بسقارة، كما هو موضح بالشكل رقم (٣-١) حتى تمام الجفاف في درجة حرارة الغرفة. وتم ترقيم العينات المستخدمة إلى: العينة القياسية (ST1)، العينة القياسية للتقادم الحراري (STA1)، العينة المعالجة بنانو بارالويد ب ٧٢ تركيز ١% (A1)، العينة المعالجة بنانو بارالويد ب ٧٢ تركيز ١% والمتقدمة حرارياً (A2)، العينة المعالجة بنانو بارالويد ب ٧٢ تركيز ٣% (B1)، العينة المعالجة بنانو بارالويد ب ٧٢ تركيز ٣% والمتقدمة حرارياً (B2).

ونظراً لأنه لا توجد مواصفة قياسية للتقادم الحراري للخشب فقد تم اللجوء للمواصفة القياسية للورق المصنوع من لب الخشب وذلك لتشابه المركبات الكيميائية بينهما وهي: (درجة حرارة ٨٠ °م ورطوبة نسبية ٦٥%) [١١].

BS 6388-3: 1996 - ISO 5630-3: 1996, paper and board -- Accelerated ageing -- Part 3: Moist heat treatment at 80 degrees C and 65 % relative humidity Paperback – 23 Aug 2007.

وتتمت عملية التقادم لمدة ١٢٠ ساعة (٥ أيام) متواصلة ما يعادل ٢٥ سنة في الظروف الطبيعية [٢١].



شكل رقم (١-١) يوضح تجهيز العينات الخشبية، (٢-١) العينات الخشبية بعد تطبيق أرضية تحضير، (٣-١) العينات بعد التلوين بالمغرة الحمراء.

٢. ١. ٢. تحضير نانو بارالويد ب ٧٢

تم تحضير النانو بارالويد بتركيز ١ %، ٣% مذاب في الكحول الإيثيلي، حيث تم تحضيره باعتباره بوليمر خليط بين مونومرات الميثيل ميثا أكريلات والإيثيل أكريلات بنسبة ٣٠ : ٧٠ %، وعن طريق تقنية البلمرة تم حله بنسبة ١ و ٣ % في الكحول الإيثيلي، حيث تمت البلمرة في وعاء سعة ٢٥٠ ملي مع المونومرات (MMA : EA 30% : 70%) ثم تم تقليبها بالكحول الإيثيلي في درجة حرارة الغرفة لمدة ٣٠ دقيقة عن طريق جهاز الموجات فوق الصوتية (Ultra Sonic) (٥٠٠ دورة في الدقيقة)، ثم يسخن الخليط إلى ٨٠°م، ثم يتم حل كبريتات البوتاسيوم 0.27 g (potassium persulphate, PPS) في ٥٠ مل من الكحول الإيثيلي وكبريتات دوديسيل الصوديوم (Sodium dodecyl Sulphate, SDS) كمستحلب مذاب في ٤٥ مل من الكحول الإيثيلي ويضاف إلى خليط التفاعل تحت التقليب المستمر لمدة ٣ ساعات للحصول على المحلول (طريقة معدلة) [٢٢-٢٣].

٢. ٢. الطرق

٢. ٢. ١. الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح

تم استخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح موديل: JEOL JSM 5400LV EDX Link ISIS-Oxford، جامعة أسيوط، والهدف من هذا الفحص التعرف على التغيرات السطحية لخشب الجميز الملون قبل وبعد عمليات التقادم والتقوية.

٢. ٢. ٢. التغير اللوني بنظام CIE Lab

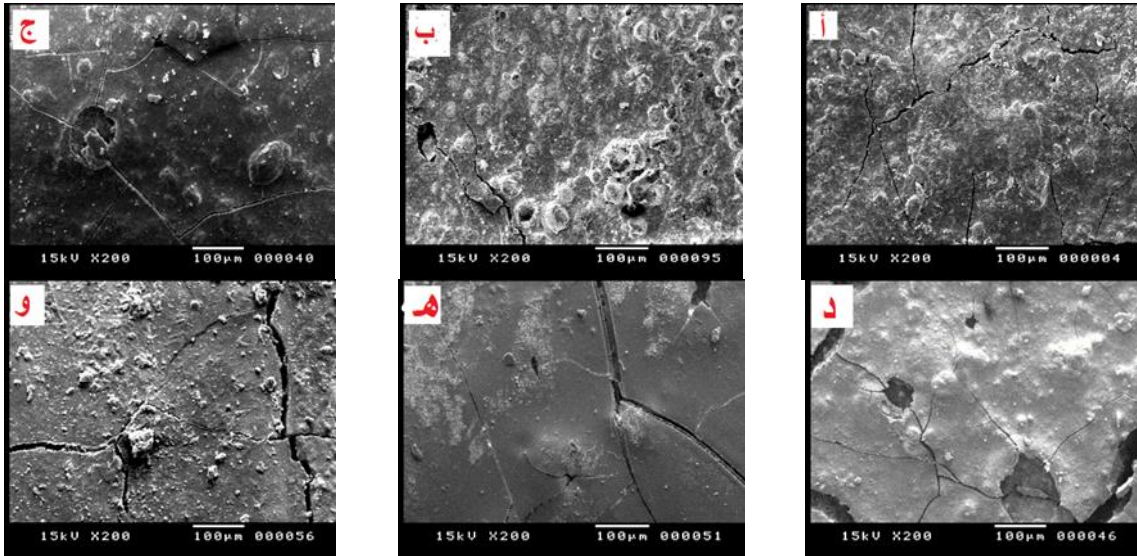
تم استخدام جهاز التغير اللوني: Optimatch 3100® from the SDL Company، تم قياس التغير اللوني للعينات الخشبية باستخدام نظام CIE Lab [٢٤] وهو اختصار للجملة الفرنسية (Commission Internationale de l'Eclairage) وهو نظام دولي يعتمد على الرموز $(L^*-a^*-b^*-\Delta E)$ [٢٥]، ويتم قياس مدى التغير اللوني بين عينتين عن طريق مقارنة قيم $(L0^*-a0^*-b0^*)$ في العينة القياسية وقيم $(L1^*-a1^*-b1^*)$ في العينة المراد التعرف على التغير اللوني لها، حيث يعطي جهاز قياس التغير اللوني Colorimeter هذه القيم لكل عينة [٢٦].

٢. ٢. ٣. التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء FTIR

تم تحليل العينات الخشبية باستخدام جهاز التحليل الطيفي للأشعة موديل: FTIR. B BRUKER, Alpha, made in German، في مدى ما بين $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ، بالمعهد القومي للقياس والمعايرة بالجيزة، حيث تم دراسة التغيرات الكيميائية للمجموعات الوظيفية لكل من مكونات الخشب السليلوز والهيميسليلوز واللجنين عن طريق مقارنة شدة ومناطق طيف الامتصاص للمجموعات الوظيفية المميزة لهم للعينات المعالجة والعينات القياسية.

٣. النتائج

٣. ١. الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح



شكل رقم (٢) يوضح التصوير بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM بقوة تكبير 200X لعينات نانو بارالويد ب تركيز ١% و ٣% حيث تمثل (أ) العينة القياسية (ST1)، و(ب) العينة القياسية للتقادم الحراري (STA1)، و(ج) عينة (A1)، و(د) عينة (A2)، و(هـ) عينة (B2)، و (و) عينة (B2)

حيث توضح عينة (A1) تقوية سطح العينة وغلغ المسام بشكل جيد ومعالجة الشروخ الدقيقة التي نتجت من عمليات التقادم الحراري قبل التقوية، بينما عينة (A2) توضح حدوث تشققات وشروخ كبيرة لسطح العينة وتأثر مادة التقوية بشكل ملحوظ نتيجة لدرجات الحرارة الناتجة من عمليات التقادم الحراري للعينة، أما عينة (B1) توضح تغلغ مادة التقوية ومعالجة الشروخ إلى حد ما، أما عينة (B2) توضح تكلس مادة التقوية الموجودة على سطح العينة بصورة ضعيفة وذلك نتيجة تأثر العينة ومادة التقوية لعمليات التقادم الحراري بعد عمليات المعالجة للعينة.

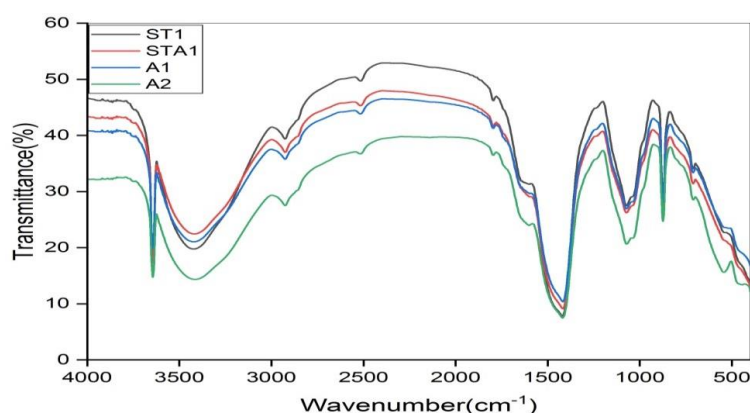
٣. ٢. التغير اللوني بنظام CIE Lab

جدول رقم (١) يوضح قيم التغير اللوني لعينات المادة الملونة الحمراء للتقادم الحراري

م	العينة	L	ΔL	A	Δa	b	Δb	ΔE
1	ST1	35.478	-	20.957	-	12.074	-	-
2	STA1	33.989	- 1.489	21.325	0.368	12.613	0.539	1.625
3	A1	33.034	- 0.955	21.100	- 0.225	12.607	- 0.006	0.981
4	A2	35.150	1.161	21.958	0.633	13.034	0.421	1.387
5	B1	34.373	0.384	22.095	0.770	13.040	0.427	0.960
6	B2	33.565	- 0.424	21.624	0.299	12.876	0.263	0.581

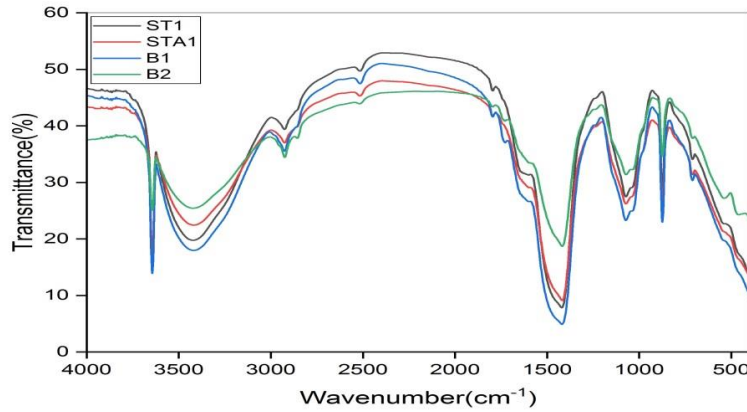
من خلال الجدول السابق يتضح قيم (ΔE) فإن جميع عينات التقادم الحراري للون قد أعطت العينات تغير لوني كلي بصورة طفيفة وغير ملحوظة، وذلك مقارنة بالعينة القياسية للتقادم الحراري (STA1) والتي أعطت (١,٦٢٥)، ومن خلال النتائج السابقة يتضح أن أفضل قيم (ΔE) للتغير الكلي للعينات للتقادم الحراري هو عينات نانو بارالويد ب ٧٢ تركيز ٣% حيث جاءت النتائج لعينة (B1) وكانت (٠,٩٦٠) وعينة (B2) وكانت (٠,٥٨١) حيث أحدثت تغير كلي للعينات بصورة طفيفة وغير ملحوظة مقارنة بباقي العينات والعينات القياسية ST1 و STA1.

٣. ٣. التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء



شكل رقم (٣) يوضح نتائج التحليل الطيفي لعينات التقادم الحراري للمادة الملونة الحمراء للنانو بارالويد ب ٧٢ تركيز ٣%.

من التحليل السابق يتضح لنا عدم وجود اختلاف بين أطياف الامتصاص في منطقة (٢٨٠٠-٣٥٠٠ سم^{-١}) حيث يوجد طيف مد الهيدروكسيل (OH)، وطيف مد الهيدروكربون الأليفاتي (CH) والمتواجدين في السيليلوز والهيميسيليلوز واللجنين، وظهور طيف مد (C-O) في السيليلوز والهيميسيليلوز واللجنين وانحناء (CH) أروماتي في اللجنين في عينة (A2) وعدم تواجدها في باقي العينات، وتواجد طيف امتصاص الماء (H-OH) في العينة القياسية (ST1) وعينة (A1) وعدم تواجده في عينة التقادم الحراري (STA1) وعينة (A2)، كما أن النطاقات عند درجة ٤٦١,٣١ و ٥٢٢,٥٤ سم^{-١} مشابهة لأيونات الحديد الخاص بمعدن الهيماتيت (Fe₂O₃) (المغرة الحمراء) المكون للون الأحمر.



شكل رقم (٤) يوضح نتائج التحليل الطيفي لعينات التقادم الحراري للمادة الملونة الحمراء للنانو بارالويد ب ٧٢ تركيز ٣%.

من التحليل السابق يتضح لنا عدم وجود اختلاف بين أطياف الامتصاص في منطقة (٢٨٠٠-٣٥٠٠ سم^{-١}) حيث يوجد طيف مد الهيدروكسيل (OH)، وطيف مد الهيدروكربون الأليفاتي (CH) والمتواجدين في السيليلوز والهيميسيليلوز واللجنين، وظهور طيف مد (C-O) في السيليلوز والهيميسيليلوز واللجنين وانحناء (CH) أروماتي في اللجنين، وكذلك طيف مد (C-O-C) في السيليلوز في عينة (B1) وعينة (B2) وعدم تواجدها في باقي العينات، وتواجد طيف امتصاص الماء (H-OH) في العينة القياسية (ST1) وعدم تواجده في باقي العينات، وظهور طيف مد (C=O) Unconjugated في الهيميسيليلوز عينة (B1) وعينة (B2) عند طول موجي ١٧٢٨ سم^{-١}، كما أن النطاقات عند درجة ٤٦١,٣١ و ٥٢٢,٥٤ سم^{-١} مشابهة لأيونات الحديد الخاص بمعدن الهيماتيت (Fe₂O₃) (المغرة الحمراء) المكون للمادة الملونة الحمراء [٢٧-٢٨].

٤. مناقشة النتائج

تعتبر الأخشاب الأثرية واحدة من أهم المواد العضوية التي استخدمت في مصر القديمة منذ العصور الأولى التي تم استخدام الأخشاب في حياتهم اليومية ومن خلال عوامل التلف التي نتجت عنها بعض من مظاهر التلف المختلفة ومن خلال الدراسة لتقييم تركيزات مادة نانو بارالويد ب ٧٢ في عمليات تقوية عينات

أخشاب الجميز المتقدمة، حيث أوضحت نتائج الفحوص والتحليل للعينات المعالجة بنانو بارالويد ب ٧٢ تركيز ٣% في تحسين الخواص الفيزيائية من خلال نتائج التغير اللوني وعدم حدوث تغيرات لونية كلية للعينات لـ ΔE وذلك بعد عمليات التقادم الحراري للعينات المعالجة وجاءت النتائج لعينة (B1) وكانت (٠,٩٦٠) وعينة (B2) وكانت (٠,٥٨١) حيث أحدثت تغير كلي للعينات بصورة طفيفة وغير ملحوظة مقارنة بباقي العينات والعينات القياسية ST1 و STA1، وكذلك ثبات الخواص الكيميائية لعمليات التقادم الحراري من خلال نتائج التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء FTIR والتي نتجت عنها عدم حدوث تغيرات كيميائية ملحوظة في التركيب الكيميائي للسيليلوز والهيميسيليلوز واللجنين من خلال الأطياف المميزة للمجموعات الوظيفية للتركيب الكيميائي للخشب.

٥. المراجع

- 1- Botanic Gardens Conservation International (BGCI) & IUCN SSC Global Tree Specialist Group. (2019); *Ficus sycomorus*. The IUCN Red List of Threatened Species, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, e.T146188430A146199148.<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T146188430A146199148.en>.
- 2- Kuniholm, Peter Ian, Maryanne Newton, Hend Sherbiny, and Hussein Bassir, (2014) ; Dendrochronological Dating in Egypt: Work Accomplished and Future Prospects. Radiocarbon 56(4), PP.S93-S102.
- 3- Cartwright, Caroline, Lin Rosa Spaabaek, and Marie Svoboda, (2011); Portrait Mummies from Roman Egypt: Ongoing Collaborative Research on Wood Identification. The British Museum Technical Research Bulletin 5, PP. 49-58.
- 4- Van der Veen, Marijke, Rowena Gale and Dirk Übel, (2011); Woodworking and Firewood—Resource Exploitation. In Consumption, Trade and Innovation: Exploring the Botanical Remains from the Roman and Islamic.
- 5- Zhang Q, Onstein RE, Little SA, Sauquet H.(2018.) ; Estimating divergence times and ancestral breeding system in Ficus and Moraceae. Annals of Botany 123, PP. 191–204.
- 6- Iriarte, E., Foyo, A., Sanchez, M.A., and Tomillo, C. (2009) The origin and Geochemical characterization of red ochre's, Archaeometry, Vol.51, No 2, pp.231-251.
- 7- Abdel-Ghani, M. & Mahmoud, M, (2013) ; Spectroscopic Investigation On Paint Layers Of Sabil-Kuttab Umm 'Abbas Ceiling, Mohammed Ali ERA In Cairo, Egypt: IDENTIFICATION OF UNUSUAL PIGMENT AND MEDIUM, OP CIT , pp: 95 – 105.
- 8- Traistaru AAT, Timar MC, Campean M, Croitoru C, Sandu I (2012); Paraloid

- B72 Versus Paraloid B72 with nano-ZnO additive as consolidants for wooden artifacts. *Mater Plast* 49(4):293–300.
- 9- Vinçotte, A., Beauvoit, E., Boyard, N., Guilminot, E. (2019); Effect of solvent on Paraloid ® B₇₂ and B₄₄ acrylic resins used as adhesives in conservation. *Heritage Science*, Vol. 42, No. 7, pp.1-9.
- 10- J., Leuninger, F., Tiarks, H., Wiese, B., Schuler, Wassrige Nano Komposite. *Farbe & Lack* 10/2004 S. 30 <http://www.european-coating.com>.
- ١١- عبد السلام، م. ف. ، (٢٠١٦) : دراسة مقارنة لتأثير مواد التنظيف علي التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية للأخشاب التالفة وغير التالفة مع عمل تطبيقات عملية في العلاج والصيانة علي أحد النماذج المختارة من الأخشاب الأثرية ، رسالة دكتوراه ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة ، ص-26
27 .
- 12- Ma, Z,et al. 2015. "Study on the Thermal Degradation Behaviors and Kinetics of Alkali Lignin for Production of Phenolic-Rich Bio-oil using TGA-FTIR and Py-GC/MS." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 1-13.
- 13- Bodirlau, C.A. Teaca R. 2007. "Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Thermal Analysis of Lignocellulose Fillers Treated with Organic Anhydrides." the 8th International Balkan Workshop on Applied Physics. Constanța, Romania: Rom. Journ. Phys. P98.
- 14- Abidia, N, L Cabralesa, and H Candace. (2014) ; “Changes in the Cell Wall and Cellulose Content of Developing Cotton Fibers Investigated by FTIR Spectroscopy.” *Carbohydrate Polymers* 100, 9– 16 P. 11.
- 15- Rana, R, et al. 2010. “FTIR Spectroscopy, Chemical and Histochemical Characterisation of Wood and Lignin of Five Tropical Timber Wood Species of the Family of Dipterocarpaceae.” *Wood Science and Technology* (Springer). P. 238.
- 16- Naumann, A, S Peddireddi, U Kües, and A and Polle. 2007. "Fourier Transform Infrared Microscopy in Wood Analysis." In *Wood Production, Wood Technology, and Biotechnological Impacts*, by U Kües, 179-196. Göttingen: Universitätsverlag Göttingen.. P183.
- 17- Zhao, J, et al. 2014. "Thermal Degradation of Softwood Lignin and Hardwood Lignin by TG FTIR." *Polymer Degradation and Stability* 108, 133-138.
- 18- B S. British Standard, Institutions. 1956. *British Standard Institutions, British Standard Methods for Testing Small Clear Specimens of timber*, No. 373. London.
- 19- ISO, 3133. 1975. *Wood – Determination of ultimate strength in static*

bending.

- 20- Iriarte, E., Foyo, A., Sanchez, M.A., and Tomillo, C. (2009) The origin and Geochemical characterization of red ochre's, *Archaeometry*, Vol.51, No 2, pp.231-251.
- 21- Arias, T. E, et al. 2013. "Conservation of Historic Book Bindings by Means of Facsimile Reproduction: The Torres Notarial Register (1382–1400) in the Archive of the Royal Chancellery of Granada, Spain." *Science and Technology for the Conservation of Cultural Heritage* 227-230.
- 22- Mohamed Moustafa Ibrahim , Wael Sabry Mohamed, and Hamdy Mohamed Mohamed, (2021); Experimental Study For Evalutaion Of Paraloid® B72 And Its Nano Composite With Nano TiO2 And Nano ZnO Fof Consolidation Of Pottery Samples, *Scientific Culture*, Vol. 7, No. 2, pp. 101-111.
- 23- Mostafa Samir Abo El-Hassan, Mohamed Marouf, Wael Sabry , (2021) ; Utilization of Paraloid / Titanium dioxide nano composite in the Consolidation of Archaeological Bone, *International Journal Of Multidisciplinary Studies In Architecture And Cultural Heritage* Volume 4, Issue 2, pp. 99 – 122.
- 24- Sundqvist, P. 2004. Color Change and Acid Formation in Wood During Heating. Skelleftea Sweden: Doctoral Thesis Lulea University of Technology. P24.
- 25- CIE Standard 15 . 2004. Technical Report: Colorimetry, 3rd edition. Technical Report, Washington. USA: International Commission on Illumination. P28.
- 26- Kubovský, I. 2013. "Changes of the Wood Surface Colour Induced CO2 Laser and its Durability After the Xenon Lamp Exposure." *Wood Research* 58 (4), 581-590.
- 27- Ospitali F, Smith DC, Lorblanchet M, (2006) ; Preliminary investigations by Raman microscopy of prehistoric pigments in the wall-painted cave at Roucadour, Quercy, France. *J Raman Spectrosc* , 37, pp. 1063–1071.
- 28- Van der Marel, H. W., Beutelspacher, H. (1976) *Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and their Admixtures*, Elsevier Scientific Publishing Company, Oxford.