

تقييم تأثير ضوء الشمس الطبيعي على خشب الصنوبر مقارنة بالتقادم الصناعي المعجل
Comparison between the effects of natural and accelerated light ageing on
pine wood

بدور الجنائني، نسرين الحديدي، مراد فوزي

قسم ترميم الآثار- كلية الآثار- جامعة القاهرة
Bedourelganiny@gmail.com

الملخص:

يعتبر ضوء الشمس مزيجاً من أشعة مختلفة، يوجد بينها الأشعة فوق البنفسجية التي تقوم بدور الوسيط في بعض التفاعلات الكيميائية، وهذه التفاعلات تتسبب في تلف شديد للأعمال الفنية، مما يؤدي إلى تغيرات عديدة ومنها تغير اللون حيث يؤدي تعرض الخشب لضوء الشمس فترة كبيرة إلى اصفرار الخشب، ويمكن أن يصبح الخشب أكثر بياضاً، وقد يظهر في بعض الأنواع غمقان في اللون إلى حد كبير، وذلك لنفاذ الأشعة فوق البنفسجية الموجودة في ضوء الشمس جزئياً داخل الخشب.

تم قطع 12 مكعباً من خشب الصنوبر وتم تقسيمهم إلى ثلاث مجموعات، كل مجموعة تضم 4 مكعبات، تم عمل تقادم ضوئي طبيعي في فصل الصيف في منطقة الهرم بمحافظة الجيزة للمجموعة (1)، والمجموعة (2) كانت في فصل الشتاء في الوادي الجديد، بينما تم التقادم الضوئي المعجل في المعهد القومي للقياس والمعايرة للمجموعة (3).

تم تصوير جميع عينات المجموعات الثلاثة قبل وبعد التقادم الضوئي بواسطة الميكروسكوب الرقمي، وتم تقييم التغيرات اللونية الحادثة للعينات بعد التقادم الضوئي، وتم تقييم درجة تلف الأخشاب، وأثبتت النتائج عند قياس درجة التغير اللوني حدوث غمقان في جميع عينات التقادم الضوئي الطبيعي في فصلي الصيف والشتاء والتغير اللوني ملحوظ بالعين المجردة، أما عن عينات التقادم الضوئي المعجل حدث لها غمقان أيضاً ولكن غير ملحوظ بالعين المجردة، وأثبت التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء إلى وجود نقص في المحتوى المائي للخشب وزيادة نسبة الهيميسليلوز وعدم تأثر نسبة اللجنين وحدث نقص في نسبة السليلوز.

الكلمات الدالة: خشب الصنوبر، الضوء، الأشعة فوق البنفسجية، التغير اللوني، اللجنين.

Abstract:

Sun light is composed of many rays, such as the ultraviolet rays which play a major role in some chemical interactions, which lead to important changes such as color change when the wood is exposed to sun light for an extended period of time. Wood can become yellowish or whiter or darker when exposed to sunlight for a longer period, because ultraviolet rays in sunlight partially penetrate into the wood.

12 pine blocks were cut and divided into three groups; every group was composed of four blocks. Group (1) was exposed to natural light aging that was carried out during summer in Al Haram area in Giza Governorate, group (2) was exposed in the winter in New Valley Governorate, and group (3) was exposed to artificial aging was carried out at the National Institute of Standards (NIS).

All samples of the groups were photographed before and after the artificial light aging by USB Digital Microscope. The color changes of the samples were evaluated after light aging. The

degradation of wood damage was evaluated, and the color change measurements showed a darkening in all samples that had been exposed to natural light aging during summer and winter, which was also noticeable to the naked eye. As for the artificial light aging samples darkening occurred, but this was not noticeable to the naked eye. Infrared spectroscopy showed that there was a decrease in the water content of wood, an increase in the percentage of hemicellulose, and no effect on the percentage of lignin and a decrease in the percentage of cellulose.

Key Words: pine wood, sun light, ultraviolet rays, degradation, color change, lignin.

1. المقدمة:

تكمن الأسباب الرئيسية في تلف الثروات الثقافية، ولا سيما الأخشاب، وتكمن في أسباب طبيعية ومنها الضوء¹، والخشب كمادة عضوية يتأثر بعدة عوامل تؤثر كلها على السطح الخارجي للخشب، ومنها الإشعاعات الضوئية وتأثير درجة الحرارة²، والإشعاعات الضوئية تأتي من ضوء الشمس، والذي هو عبارة عن مزيج من أشعة مختلفة ومن بينها الأشعة فوق البنفسجية التي تقوم بدور الوسيط في بعض التفاعلات الكيميائية³. إن عملية التجوية هي عملية معقدة وطويلة تتكون من تفاعلات كيميائية ضوئية وظواهر فيزيائية، وغالبا تكون بسبب التغيرات في درجة الحرارة والرطوبة⁴، وقد أوضحت إحدى الدراسات⁵ أن بعض الأخشاب عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية فإنها تصدر وهجا، وذكرت دراسة أخرى⁶ أنه عقب الكشف الأثري للأخشاب الملونة تتعرض القطع الأثرية لأشعة الشمس المباشرة أو غير المباشرة مؤديا إلى ارتفاع درجة الحرارة، والتي تساعد على سرعة التفاعلات الكيميائية وكذلك تساعد على نمو الكائنات الحية الدقيقة والحشرات. الأخشاب تتأثر على المدى البعيد بعد تعرضها للإضاءة⁷، والضوء يؤثر على الآثار الخشبية حتى عند التخزين⁸، وكذلك عند تعرض الخشب الأثري لضوء الشمس في الهواء وبزيادة النشاط البيولوجي يؤدي ذلك إلى الإسراع من تلف اللجنين والسليلوز⁹، ويحدث تغير الألوان على سطح الخشب وعمقه مع مرور الوقت أثناء تعرضه للضوء الطبيعي¹⁰.

¹ ببيونيه، دني، ترجمة يسري الكجك، حفظ الأخشاب المتعددة الألوان وترميمها، المعهد العلمي الفرنسي للدراسات العربية دمشق، 1989، ص49.

² Feist, W. and Sell, J. *U.S. and European finishes for weather exposed wood a comparison*. Forest Products Journal, vol. 36, no.4, 1986, p.39.

³ ببيونيه، حفظ الأخشاب، ص49.

⁴ Feist, W. and Sell, J. *U.S. and European finishes for weather*, p.39.

⁵ عبدالحميد، حسام الدين، المنهج العلمي لعلاج وصيانة المخطوطات والأخشاب والمنسوجات الأثرية، مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1984، ص82.

⁶ عبيد، أميمة على عطية، دراسة لتقييم التلف الناتج عن التخزين غير المناسب للأخشاب الحاملة للطبقة اللونية، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2013، ص132.

⁷ Arnold, V. and Radman, K. *Spectral sensitivity in the photodegradation of fir wood (Abies alba Mill.) surfaces: colour changes in natural weathering*, vol. 48, Issue 2, March 2014, p.241.

⁸ عبيد، دراسة لتقييم التلف الناتج عن التخزين غير المناسب للأخشاب، ص132.

⁹ High, K. *Understanding accelerated decay of organic remains at Star Carr*. New York: Department of Chemistry, June 2014, P.46.

¹⁰ Arnold, V. and Radman, K. *Spectral sensitivity in the photodegradation*, p.241.

تقييم تأثير ضوء الشمس الطبيعي على خشب الصنوبر مقارنة بالتقادم الصناعي المعجل

يعتبر أحد أسباب جفاف المواد العضوية، والخشب خاصة، هو وجود مصادر الإضاءة في فتارين العرض¹¹، فالإضاءة داخل الفتارين تعمل على هشاشة الأخشاب وفقدان ليونتها¹²، كما أن الإشعاعات الضوئية ودرجة الحرارة يقومون بتغيير حجم الخشب وشكله وتغير في أبعاد الخشب، كما تؤدي إلى حدوث شروخ وتبييض الخشب بفعل التحلل المائي والتحلل الضوئي كيميائي¹³.

إنّ الضوء يؤثر على الأخشاب من خلال عملية التجوية على الهيميسليلوز واللجنين¹⁴، وتعرض الخشب لضوء الشمس يؤدي إلى اصفرار الخشب، وبعض الأخشاب تصبح أكثر بياضا بتعرضها لأشعة الشمس كثير¹⁵، كما أن الخشب المعرض لضوء الشمس في الهواء الخارجي يتعرض للتلف فيصبح ذو لون رمادي وذلك بسبب التدهور البطيء وتأثر اللجنين¹⁶، مع العلم أن محتوى الخشب من اللجنين والكربوهيدرات يختلف باختلاف نوع التلف¹⁷.

يتم استخدام التقادم الضوئي بواسطة مستوى إضاءة موضعي لكل من الضوء المرئي والضوء فوق البنفسجي¹⁸، فعلى سبيل المثال فإن لمبة الزينون قادرة على محاكاة ضوء الشمس أثناء التجوية، وذلك بعد فترة طويلة من التعرض لها لعدة مرات، ومصباح الزئبق يستخدم كباعث قوي للأشعة فوق البنفسجية حيث أنها مناسبة لدراسة التلف الضوئي، ولكنها غير قادرة على محاكاة تأثير ضوء الشمس¹⁹، وعند عمل تقادم ضوئي باستخدام لمبة الزئبق، فإن لمبة الزئبق تسببت في تغيير شديد في اللون، وفي مطياف الأشعة تحت الحمراء في خشب الحور والزان²⁰، وأثبت استخدام لمبات الفلورسنت " Graphic A 47 Philips " أنها تعطي انبعاثات مقارنة لضوء الشمس النافذ من الزجاج²².

هناك إمكانية لمعرفة التغيرات الحادثة في اللجنين والسليلوز عن طريق إجراء عمليات التحليل والفحص المختلفة كالتحليل الكيميائي، FTIR²³، فالفحوصات التي تتم على أنواع مختلفة من سطح الخشب بتحليل FTIR تسمح بالتعرف على التقادم والتلف²⁴، وتقع أهمية استخدام تحليل FTIR حيث يقوم بالتعرف على عمليات التقادم الضوئي،

¹¹ عقل، يوسف محمد محمد، دراسة في التطبيقات المستخدمة في الوصلات الخشبية والمواد اللاصقة وأثرها على تلف الأخشاب الأثرية وطرق العلاج المناسبة تطبيقاً على أحد النماذج المختارة، القاهرة، رسالة دكتوراة، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2017، ص154.

¹² محرم، سامح، علاج وصيانة الأبواب الخشبية المصفحة بالبرونز، القاهرة، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2000، ص79.

¹³ Feist, W. and Sell, J. *U.S. and European finishes for weather*, P.39.

¹⁴ عبد الحميد، المنهج العلمي لعلاج وصيانة المخطوطات والأخشاب والمنسوجات الأثرية، ص82.

¹⁵ Unger, A., Schienwind, A., and Unger, W. *Conservation of wood artifacts*, Berlin, New York, Springer, 2001, P.4.

¹⁶ Feist, W. and Sell, J. *U.S. and European finishes for weather*, p.39.

¹⁷ El Hadidi, N. *Decay of softwood in archaeological wooden artifacts, Studies in Conservation*, 2017, vol. 62, no. 2, p.85.

¹⁸ لقمة، نادية، علاج وترميم مجموعة التماثيل التي عثر عليها بمصطبة "كاعبر"، وزارة الثقافة المجلس الأعلى للآثار، القاهرة، 2005، ص107.

¹⁹ Tolvaj, L. and Varga, D. *Photodegradation of Timber of Three Hardwood Species Caused by Different Light Sources*, Acta Silv. Lign. Hung, Vol. 8, 2012, p.147.

²⁰ عبد السلام، مراد فوزي محمد، دراسة مقارنة لتأثير مواد التنظيف على التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية للأخشاب التالفة وغير التالفة مع عمل تطبيقات عملية في العلاج والصيانة على أحد النماذج المختارة، القاهرة، رسالة دكتوراة، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2016، ص85.

²¹ Tolvaj, L. and Varga, D. *Photodegradation of Timber*, P.147.

²² لقمة، علاج وترميم مجموعة التماثيل، ص107.

²³ High, K. *Understanding accelerated decay of organic remains at Star Carr*, New York: Department of Chemistry, 2014, p.46.

²⁴ El Hadidi, N. *Decay of softwood*, p.85.

ومعرفة التركيب الكيميائي للمواد العضوية²⁵، ويمكن ملاحظة التلف الذي يحدثه الضوء عن طريق التحليل بواسطة الأشعة تحت الحمراء²⁶، فمثلاً بعمل تحليل طيفي بالأشعة تحت الحمراء للعينات الخشبية قبل التقادم الضوئي وبعد 120 ساعة متواصلة من التقادم الضوئي، وبعد 240 ساعة متواصلة من التقادم الضوئي أمكن معرفة التغيرات الكيميائية للأخشاب²⁷، وأمکن معرفة تأثير اللجنين بسبب التلف الضوئي²⁸، علمًا بأنه يجب أخذ عينة التحليل قبل وبعد التقادم الضوئي من نفس السطح ونفس المكان، وذلك لمعرفة التركيب الكيميائي للخشب وفهم طبيعته ومدى تلفه²⁹، ويمكن التعرف على عدم وجود لجنين أو سليولوز بطريقة التحليل بالأشعة تحت الحمراء³⁰، وتم تفسير زيادة نسبة اللجنين عن النسبة الطبيعية في الخشب الأثري إلى أن يوجد خسارة في نسبة السليولوز في الخشب نتيجة التلف³¹. يؤكد High على أهمية إجراء عمليات تقييم للظروف المحيطة بالخشب الأثري على مساحة كبيرة وجيدة حتى يمكن إجراء عمليات العلاج والصيانة المناسبة له، وليس الحل في غياب الضوء للحفاظ على الأخشاب من التلف، حيث أن في حالة غيابه إذا توافرت درجة حرارة مرتفعة فإن ذلك يساعد على هجمات الكائنات الحية الدقيقة، وذكر بيونيه أن الطريقة الوحيدة للوقاية من هذه التأثيرات تقوم على محاولة منع نفاذ الأشعة فوق البنفسجية بنظام المرشحات التي يمكن أن توضع على زجاج المستودعات، وقاعات العرض في المتاحف³²، واقترح³³ أنه يمكن إزالة الطبقات السطحية المسحوقة الناتجة عن التلف من الألياف المتحللة من الخشب بسهولة، وذلك عن طريق ليزر الأشعة فوق البنفسجية، مما يساعد على تحسين تطبيق مواد العلاج والتقوية.

2. المواد والأجهزة والطرق:

1.2. المواد:

خشب الصنوبر: تم قطع خشب الصنوبر بعدد 12 مكعب بأبعاد 4×4×4 سم، وتم عمل تقادم ضوئي طبيعي في فصل الصيف في شهري أغسطس وسبتمبر في منطقة الهرم بمحافظة الجيزة، وفي فصل الشتاء في الفترة من منتصف شهر يناير وحتى منتصف شهر مارس في الخارجة بمحافظة الوادي الجديد، وتم سحب عينة كل أسبوعين من العينات ليصبح تقادم العينتان رقم (PW2، PS2) أسبوعين، والعينتان رقم (PW4، PS4) يكون تقادمهما 4 أسابيع، والعينتان رقم (PW6، PS6) يكون تقادمهما 6 أسابيع، والعينتان رقم (PW8، PS8) يكون تقادمهما 8 أسابيع، والتقادم الضوئي المعجل تم في المعهد القومي للقياس والمعايرة بواسطة فرن التقادم الضوئي عن طريق سحب كل عينة كل ساعة ليصبح تقادم العينة رقم (PA1) ساعة، والعينة رقم (PA2) يكون تقادمها ساعتين، والعينة رقم (PA3) يكون تقادمها 3 ساعات، والعينة رقم (PA4) يكون تقادمها 4 ساعات، وكانت الرموز السابقة للعينات تشير لنوع التقادم وعدد الأسابيع التي تم تعريض العينات فيها مقسمة كالتالي:

²⁵ Müller, G., Bartholme, M., Kharazipour, A., and Polle, A. *FTIR-ATR Spectroscopic analysis of changes in fiber properties during insulating fiberboard manufacture of beech wood*, Georg-August-University Göttingen, Germany, vol. 40, 2008, p.534.

²⁶ Unger, A., Schienwind, A. and Unger, W. *Conservation of wood artifacts*, p.4.

²⁷ عبد السلام، مراد، دراسة مقارنة لتأثير مواد التنظيف على التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية للأخشاب، ص 85.

²⁸ Arnold, V., and Radman, K. *Spectral sensitivity in the photodegradation of fir wood*, P.241.

²⁹ عبد السلام، دراسة مقارنة لتأثير مواد التنظيف على التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية للأخشاب، ص 85.

³⁰ Anderson, E.L., Pawlak, Z., Owen, N.L and Feist, W. *Infrared Studies of Wood Weathering*. Part I: Softwoods, Applied Spectroscopy, vol. 45, 1991, p.642.

³¹ High, K. *Understanding accelerated decay of organic remains at Star Carr*, PhD Thesis, University of York, 2014, p.46.

³² بيونيه، حفظ الأخشاب، ص 49.

³³ Brebu, M. Vasile, C., *Thermal degradation of lignin a review*, in proceedings Thermaldo, 2010, p.353.

- تقادم طبيعي في فصل الشتاء ورمزها: (عدد الأسابيع)PW
- تقادم طبيعي في فصل الصيف ورمزها: (عدد الأسابيع)PS
- تقادم صناعي ورمزها: (عدد الساعات)PA

2. 2. الأجهزة:

2. 2. 2 1. اسم الجهاز: جهاز التعريض للضوء.

المكان: المعهد القومي للقياس والمعايرة.

الغرض من الجهاز: الحصول في وقت قصير على التأثير الناتج على الخشب في فترة طويلة من التقادم الطبيعي.

نوع اللبنة: مصباح زئبق ARC.

2. 2. 2 جهاز Mini Scan EZ. Hunter Lab:

الغرض من الجهاز: دراسة تقييم التغيرات اللونية الحادثة للعينات بعد التقادم الضوئي.

طريقة التقييم المستخدمة: تم قياس التغير اللوني باستخدام نظام (CIE lab) لجميع عينات المجموعات الثلاثة قبل التقادم الضوئي وبعده.

هذا النظام دولي يعتمد على الرموز ($L^* - a^* - b^* - \Delta E$)، حيث دلالة هذه الرموز كالتالي:

L^* : تعبر عن درجة الإضاءة فكلما زادت القيمة العددية زادت درجة التشبع باللون الأبيض أي حدوث (بهتان)، وكلما انخفضت القيمة العددية زادت درجة التشبع باللون الأسود أي حدوث (غمقان).

a^* : تعبر عن درجة التغير اللوني من اللون الأحمر إلى اللون الأخضر، فكلما زادت القيمة العددية الموجبة زادت درجة التشبع باللون الأحمر، وكلما انخفضت القيمة العددية زادت درجة التشبع باللون الأخضر.

b^* : تعبر عن درجة التغير اللوني من اللون الأصفر إلى اللون الأزرق، فكلما زادت القيمة العددية الموجبة زادت درجة التشبع باللون الأصفر، وكلما انخفضت القيمة العددية زادت درجة التشبع باللون الأزرق.

ΔE : تعبر عن قيمة التغير اللوني الكامل للعينات وتعبر فيه القيم عن مدى التغير اللوني الحادث للعينات، فكلما زادت القيمة العددية زادت درجة التغير اللوني، وتعبر القيم الأقل من (3) على تغير لوني غير ملحوظ بالعين

المجردة، وتعبر القيم العددية الواقعة بين (3:6) على تغير لوني طفيف وملحوظ للعين المجردة، وتعبر القيم الأعلى من (6) على تغير لوني كبير وملحوظ للعين المجردة³⁴.

2. 2. 3 الميكروسكوب الرقمي USB Digital Microscope:

تم تصوير جميع عينات المجموعات الثلاثة قبل التقادم الضوئي وبعده.

2. 2. 4 جهاز التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء من نوع (Nicolet 380 FTIR).

المكان: المعهد القومي للقياس والمعايرة.

نوع برنامج التحليل: Essential FTIR 2015 باستخدام طريقة (Superimpose) في البرنامج لعمل المقارنات بين أطياف الأمتصاص المختلفة.

الغرض من التحليل: دراسة التغيرات الكيميائية للمجموعات الوظيفية لكل من السليلوز والهيميسليلوز واللجنين من خلال مقارنة شدة ومناطق الأمتصاص للمجموعات الوظيفية المميزة لكلاً منهم في العينات القياسية والعينات المعالجة.

ظروف التشغيل: تم التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء للعينات القياسية والعينات المعالجة في الطول الموجي (400-4000 سم⁻¹).

طريقة تجهيز العينة للتحليل: بطريقة الأقراص الصلبة عن طريق مزج العينة (المأخوذة من القطعة الخشبية بسلاح المشروط في الاتجاه الطولي للألياف) في بروميد البوتاسيوم KBr وتم عمل قرص صلب منها.

³⁴ عبد السلام، دراسة مقارنة لتأثير مواد التنظيف على التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية للأخشاب، ص76.

تم عمل تحليل العينة القياسية (ST) بدون أي تقادم، وتم مقارنتها بجميع تحاليل العينات الأخرى التي تم عليها التقادم الطبيعي والتقادم الضوئي المعجل.

3. 2. الطرق:

2. 3. 1 التغير اللوني و الميكروسكوب الرقمي:

2. 3. 1. 1 جدول رقم (1) عينات التقادم الطبيعي في فصل الصيف:

Before	After	ΔE	B	A	L	العينة
		4.41	20.67	10.46	61.84	Before
			24.00	12.97	57.44	After
انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وزادت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأصفر، وكانت $\Delta E < 3$. الصورة توضح تغير لوني طفيف وملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة بسيطة في لون الخشب بعد التعرض لضوء الشمس لمدة أسبوعين.						
		ΔE	B	A	L	
		17.80	20.96	7.36	68.23	Before
انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وانخفضت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأزرق، وكانت $\Delta E < 6$. الصورة توضح حدوث تغير لوني كبير جدا وملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة متوسطة في لون الخشب بعد التعرض لضوء الشمس في فصل الصيف لمدة 4 أسابيع.						
		ΔE	B	A	L	
		24.98	19.01	7.42	61.72	Before
انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وانخفضت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأزرق، وكانت $\Delta E < 6$. الصورة توضح حدوث تغير لوني كبير جدا وملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة كبيرة في لون الخشب بعد التعرض لضوء الشمس في فصل الصيف لمدة 6 أسابيع.						
		ΔE	B	A	L	
		18.24	18.93	9.26	61.43	Before
انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وانخفضت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأخضر، وزادت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأصفر، وكانت $\Delta E < 3$. الصورة توضح حدوث تغير لوني كبير جدا وملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة كبيرة في لون الخشب بعد التعرض لضوء الشمس في فصل الصيف لمدة 8 أسابيع.						

تقييم تأثير ضوء الشمس الطبيعي على خشب الصنوبر مقارنة بالتقادم الصناعي المعجل

2. 1. 3. 2. جدول رقم (2) عينات التقادم الطبيعي في فصل الشتاء

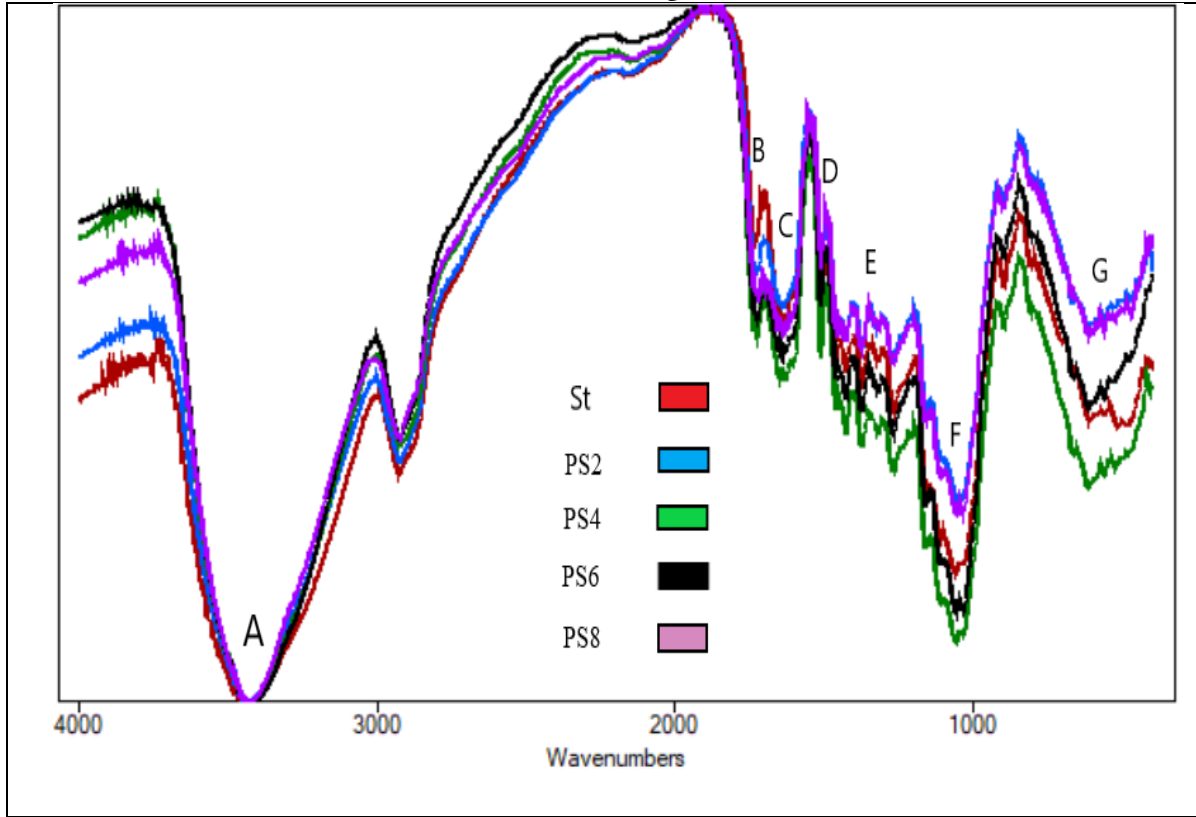
Before	After	ΔE	B	A	L		العينة
		4.46	20.13	9.86	61.31	Before	PW2
			23.42	13.00	57.13	After	
<p>انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وزادت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأصفر، وكانت $\Delta E < 3$.</p> <p>الصورة توضح حدوث تغير لوني طفيف وملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة كبيرة في لون الخشب بعد التعرض لضوء الشمس لمدة أسبوعين.</p>							
		ΔE	B	A	L		PW4
		9.35	20.9	8.69	67.55	Before	
<p>انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وزادت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأصفر، وكانت $\Delta E < 6$.</p> <p>الصورة توضح حدوث تغير لوني كبير وملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة كبيرة في لون الخشب بعد التعرض لضوء الشمس في فصل الشتاء لمدة 4 أسابيع.</p>							
		ΔE	B	A	L		PW6
		2.73	17.52	12.70	53.49	Before	
<p>انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وزادت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأصفر، وكانت $\Delta E > 3$.</p> <p>الصورة توضح حدوث تغير لوني غير ملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة كبيرة في لون الخشب بعد التعرض لضوء الشمس في فصل الشتاء لمدة 6 أسابيع.</p>							
		ΔE	B	A	L		PW8
		12.22	41.96	13.64	59.52	Before	
<p>انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وانخفضت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأزرق، وكانت $\Delta E < 3$.</p> <p>الصورة توضح حدوث تغير لوني كبير جدا وملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة كبيرة في لون الخشب بعد التعرض لضوء الشمس في فصل الشتاء لمدة 8 أسابيع.</p>							

2. 3. 1. 3 جدول رقم (3) عينات التقادم الضوئي المعجل:

Before	After	ΔE	B	A	L		العينة
		0.95	20.26	7.47	65.51	Before	PA1
			21.45	7.80	64.64	After	
<p>انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وزادت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأصفر، وكانت $\Delta E > 3$.</p> <p>الصورة توضح حدوث تغير لوني غير ملحوظ للعين المجردة وغمقان بسيط في لون الخشب بعد التقادم الضوئي المعجل لمدة ساعة.</p>							
		ΔE	B	A	L		
		1.24	20.54	7.89	68.60	Before	PA2
	20.74	8.14	67.06	After			
<p>انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وزادت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأصفر، وكانت $\Delta E > 3$.</p> <p>الصورة توضح حدوث تغير لوني غير ملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة بسيطة في لون الخشب بعد التقادم الضوئي المعجل لمدة ساعتين.</p>							
		ΔE	B	A	L		
		2.82	19.49	7.83	70.15	Before	PA3
	20.49	8.68	66.71	After			
<p>انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث غمقان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وزادت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأصفر، وكانت $\Delta E > 3$.</p> <p>الصورة توضح حدوث تغير لوني غير ملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة بسيطة في لون الخشب بعد التقادم الضوئي المعجل لمدة ثلاث ساعات.</p>							
		ΔE	B	A	L		
		2.77	19.80	9.07	64.48	Before	PA4
	21.87	9.90	61.48	After			
<p>انخفضت القيمة العددية في (L) مما يدل على حدوث بهتان للعينة، وزادت القيمة العددية في (A) مما يدل على زيادة التشبع باللون الأحمر، وزادت القيمة العددية في (B) مما يدل على التشبع باللون الأصفر، وكانت $\Delta E > 3$.</p> <p>الصورة توضح حدوث تغير لوني غير ملحوظ للعين المجردة وغمقان بنسبة متوسطة في لون الخشب بعد التقادم الضوئي المعجل لمدة أربع ساعات.</p>							

تقييم تأثير ضوء الشمس الطبيعي على خشب الصنوبر مقارنة بالتقادم الصناعي المعجل

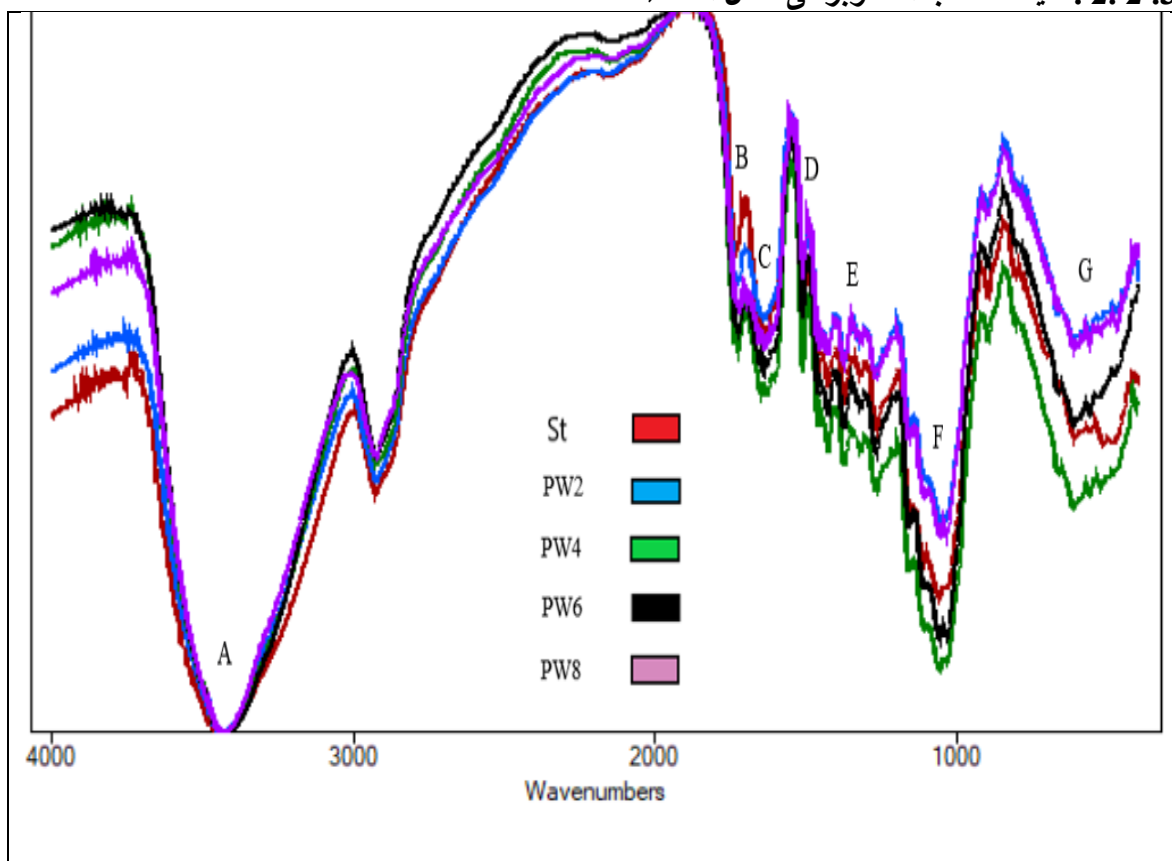
2.3.2. التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء:-
2.3.2.1. عينات خشب الصنوبر في فصل الصيف



شكل رقم (1) التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء لتقادم عينات خشب الصنوبر في فصل الصيف

PS8	PS6	PS4	PS2		
نقص طفيف	لم يحدث اختلاف	نقص طفيف	نقص طفيف	(3400:3300)	A
				مد (OH) سليولوز	
زيادة متوسطة	زيادة متوسطة	زيادة متوسطة	لم يحدث اختلاف	(1740:1730)	B
				مد (C=O) هيميسليولوز	
زيادة متوسطة	زيادة متوسطة	زيادة بسيطة	نقص طفيف	(1680:1650)	C
				مد (C=O) أكسدة سليولوز	
لم يحدث اختلاف	لم يحدث اختلاف	لم يحدث اختلاف	نقص طفيف	(1515:1505)	D
				مد (C=C) اللجنين	
زيادة بسيطة	زيادة بسيطة	زيادة بسيطة	نقص متوسط	(1430:1425)	E
				إنحاء CH تبلور السليولوز	
زيادة بسيطة	زيادة طفيفة	زيادة بسيطة	نقص متوسط	(1200:1000)	F
				مد (C-O) بلمرة السليولوز	
زيادة بسيطة	لم يحدث اختلاف	لم يحدث اختلاف	نقص متوسط	900:700	G
				مد (C-O) سليولوز	

2. 3. 2. عينات خشب الصنوبر في فصل الشتاء

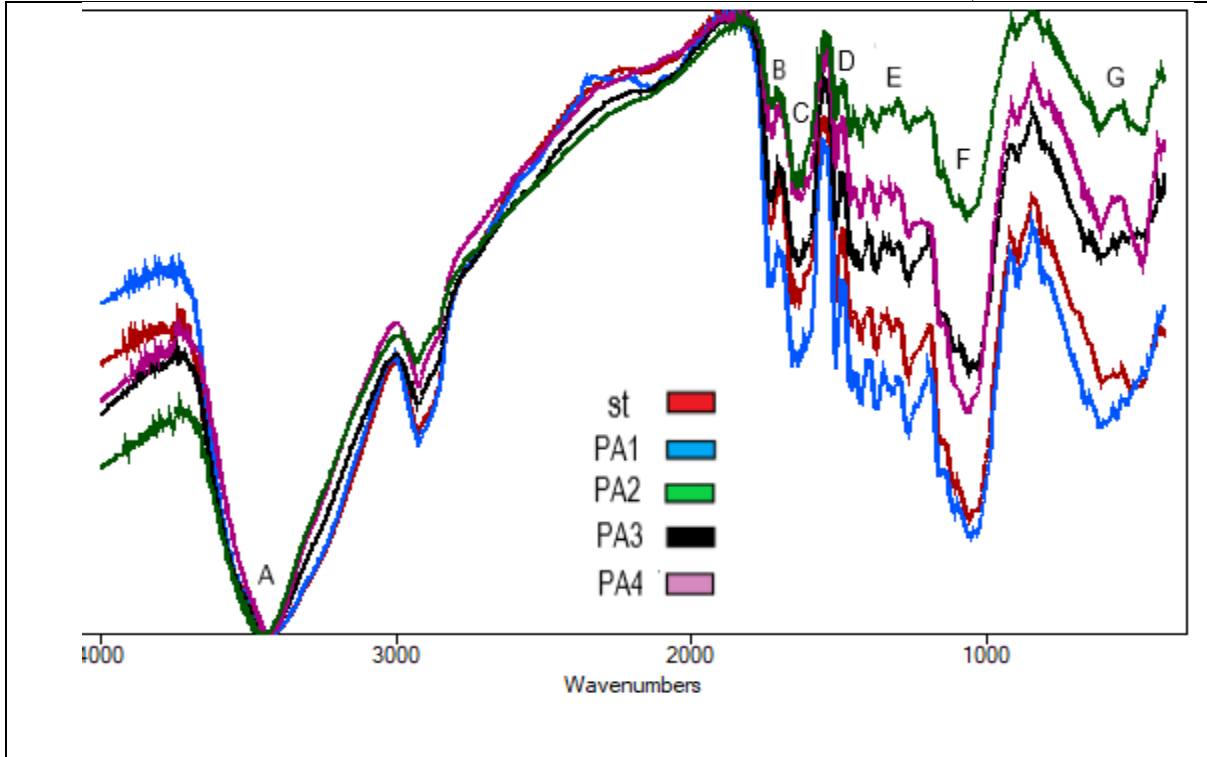


شكل رقم (2) التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء لتقادم عينات خشب الصنوبر في فصل الشتاء

PW8	PW6	PW4	PW2		
نقص طفيف	نقص طفيف	نقص طفيف	نقص طفيف	(3400:3300)	A
				مد (OH) سليلوز	
زيادة بسيطة	زيادة متوسطة	زيادة متوسطة	زيادة بسيطة	(1740:1730)	B
				مد (C=O) هيميسليلوز	
لم يحدث اختلاف	زيادة طفيفة	زيادة بسيطة	نقص طفيف	(1680:1650)	C
				مد (C=O) أكسدة سليلوز	
نقص طفيف	لم يحدث اختلاف	زيادة طفيفة	نقص طفيف	(1515:1505)	D
				مد (C=C) اللجنين	
نقص طفيف	زيادة طفيفة	زيادة بسيطة	نقص طفيف	(1430:1425)	E
				إنحاء CH تبلور السليلوز	
نقص بسيط	زيادة طفيفة	زيادة بسيطة	نقص بسيط	(1200:1000)	F
				مد (C-O) بلمرة السليلوز	
نقص متوسط	نقص بسيط	زيادة بسيطة	نقص متوسط	900:700	G
				مد (C-O) سليلوز	

تقييم تأثير ضوء الشمس الطبيعي على خشب الصنوبر مقارنة بالتقادم الصناعي المعجل

2. 3. 3. 2. التقادم الضوئي المعجل لعينات خشب الصنوبر



شكل (3) يوضح التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء للتقادم الضوئي المعجل لعينات خشب الصنوبر

PA4	PA3	PA2	PA1		
نقص بسيط	نقص طفيف	نقص طفيف	لم يحدث اختلاف	(3400:3300)	A
				مد (OH) سليولوز	
نقص متوسط	نقص طفيف	لم يحدث اختلاف	زيادة متوسطة	(1740:1730)	B
				مد (C=O) هيميسليولوز	
نقص متوسط	نقص بسيط	لم يحدث اختلاف	زيادة متوسطة	(1680:1650)	C
				مد (C=O) أكسدة سليولوز	
نقص متوسط	نقص طفيف	لم يحدث اختلاف	زيادة بسيطة	(1515:1505)	D
				مد (C=C) اللجنين	
نقص كبير	نقص متوسط	نقص طفيف	زيادة بسيطة	(1430 :1425)	E
				إنحاء CH تبلور السليولوز	
نقص متوسط	نقص متوسط	نقص بسيط	زيادة طفيفة	(1200:1000)	F
				مد (C-O) بلمرة السليولوز	
نقص كبير	نقص متوسط	نقص متوسط	زيادة بسيطة	900:700	G
				مد (C-O) سليولوز	

3. الأستنتاج:

يؤثر الضوء على الخشب تأثيراً ضاراً على المدى البعيد، ويرجع ذلك إلى حدوث التفاعلات الكيميائية التي تكون السبب الرئيسي فيها الأشعة فوق البنفسجية، والتي تؤثر على تغير لون الطبقة الخارجية للخشب، ومن مظاهر التلف الحادثة: اصفرار الخشب ومع مرور الوقت يحدث ظاهرة ابيضاض الخشب لنفاذ كمية كبيرة من الأشعة داخلها، وظاهرة سفح

الشمس، وعمقان الخشب، وهشاشية الخشب من الداخل وجعل منه بيئة صالحة لنمو الحشرات، واتضح أن العينات المعرضة للتقادم الطبيعي أكثر تأثرًا من العينات المعرضة للتقادم المعجل، حيث كان التغيير اللوني للعينات تحت تأثير التقادم الطبيعي كبير جدًا مقارنةً بعينات التقادم المعجل، في حين أن التغييرات في التركيب الكيميائي للأخشاب كانت واضحة في عينات التقادم المعجل خاصة الهيميسليلوز والسليولوز (كربوهيدرات الأخشاب).

4. الخاتمة ونتائج البحث:

1. 4. التغيير اللوني و الميكروسكوب الرقمي:

- 1- النتيجة تتفق مع البحث³⁵ من حيث أن النتائج أظهرت عند قياس درجة التغيير اللوني حدوث عمقان للعينات في فصل الصيف الجدول رقم(1) بدرجة أكبر من درجة الغمقان الحادث في فصل الشتاء الجدول رقم (2) حتى في التعرض للشمس لنفس المدة .
- 2- أثبتت الدراسة أن عينات الخشب في الجدول رقم (1) كان سطحها أكثر خشونة من عينات الجدول رقم (2) وعينات الجدول رقم (3).
- 3- النتيجة تتفق مع البحث³⁶ حيث أن تبين من خلال الفحص بالميكروسكوب الضوئي الرقمي أنه كلما زادت مدة تعرض العينات للشمس كلما كانت درجة الغمقان بالمقارنة بالدرجة اللونية للقطع قبل التعريض سواء في فصل الشتاء أو في فصل الصيف.
- 4- النتيجة تتفق مع البحث³⁷ حيث أن الميكروسكوب الضوئي الرقمي أثبت أن كلما زاد عدد ساعات تعرض العينات للتقادم الضوئي المعجل كلما زادت درجة الغمقان كما هو موضح في العينة PA3 وزادت في العينة PA4.
- 5- النتيجة تتفق مع البحث³⁸ في أن أكبر تغيير لوني حدث كان في فصل الصيف وذلك لتعامد أشعة الشمس على الأرض في فصل الصيف وبالتالي تتعرض إلى مقدار أعلى من أشعة الشمس، وتزداد شدة هذه الأشعة خلال فترة الظهيرة في الفترة بين الساعة العاشرة صباحاً والرابعة من بعد الظهر.

2. 4. التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء:

- 1- النتيجة تتفق مع البحث³⁹ حيث أوضح تحليل FTIR في عينات فصل الصيف إلى وجود نقص طفيف في المحتوى المائي للخشب، وزيادة متوسطة في نسبة الهيميسليلوز التي تزداد بزيادة مدة التعرض لضوء الشمس، وعدم تأثر نسبة اللجنين ونسبة السليولوز.
- 2- النتيجة تتفق مع البحث⁴⁰ حيث أن تحليل FTIR أثبت أن يوجد في عينات فصل الشتاء نقص طفيف في المحتوى المائي للخشب، وزيادة بسيطة في نسبة الهيميسليلوز، ونقص طفيف في نسبة اللجنين، وحدث نقص بسيط في نسبة السليولوز، والنقص يزيد بزيادة مدة التعرض للشمس.
- 3- النتيجة تتفق مع البحث⁴¹ حيث أثبت تحليل FTIR في عينات التقادم الضوئي المعجل إلى وجود نقص بسيط في المحتوى المائي للخشب ويزداد نقص نسبة الهيميسليلوز ونسبة اللجنين ونسبة السليولوز بزيادة ساعات التعرض للتقادم الضوئي المعجل.

³⁵ خير الله، غادة جمال هاشم، دراسة التأثير المتلف لبعض مواد وتطبيقات التقوية القديمة على الخواص الفيزيائية والتركيب الكيميائي للآثار الخشبية وطرق علاجها تطبيقًا على أحد النماذج المختارة، القاهرة، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2021، ص35.

³⁶ Hashem, G. El Hadidi, N. Abdel-Monem, H. Fawzy, M. *Retreatment and Conservation of a Wooden Panel Previously Treated With Bees Wax. Advanced Research in Conservation Science*, Vol. 1, Issue 2,2020, p. 51.

³⁷ عبد السلام، دراسة مقارنة لتأثير مواد التنظيف على التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية للأخشاب، ص76:79.

³⁸ Hashem, G. *Retreatment and Conservation of a Wooden Panel*, p.51.

³⁹ خير الله، دراسة التأثير المتلف لبعض مواد وتطبيقات التقوية، ص35.

⁴⁰ Hashem, G. *Retreatment and Conservation of a Wooden Panel*, p.51.

⁴¹ عبد السلام، دراسة مقارنة لتأثير مواد التنظيف على التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية للأخشاب، ص89:92.

5. المراجع:

1.5 . المراجع العربية:

- عبيد، أميمة على عطية، دراسة لتقييم التلف الناتج عن التخزين غير المناسب للأخشاب الحاملة للطبقة اللونية، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2013.
- عبد الحميد، حسام الدين، المنهج العلمي لعلاج وصيانة المخطوطات والأخشاب والمنسوجات الأثرية، مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1984.
- ببيونيه، دني، ترجمة يسري الكجك، حفظ الأخشاب المتعددة الألوان وترميمها، المعهد العلمي الفرنسي للدراسات العربية، دمشق، 1989.
- محرم، سامح، علاج وصيانة الأبواب الخشبية المصنفة بالبرونز، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2000.
- خير الله، غادة جمال هاشم، دراسة التأثير المتلف لبعض مواد وتطبيقات التقوية القديمة على الخواص الفيزيائية والتركيب الكيميائي للآثار الخشبية وطرق علاجها تطبيقاً على أحد النماذج المختارة، القاهرة، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2021.
- عبد السلام، مراد فوزي محمد، دراسة مقارنة لتأثير مواد التنظيف على التركيب الكيميائي والخواص الميكانيكية للأخشاب التالفة وغير التالفة مع عمل تطبيقات عملية في العلاج والصيانة على أحد النماذج المختارة، رسالة دكتوراة، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2016.
- لقمة، نادية، علاج وترميم مجموعة التماثيل التي عثر عليها بمصطبة "كاعبر"، وزارة الثقافة، المجلس الأعلى للآثار، القاهرة، 2005.
- عقل، يوسف محمد محمد، دراسة في علاج وصيانة الأبواب الخشبية في العصر العثماني، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2008.

2.5 . المراجع الأجنبية:

- Anderson, E.L., Pawlak, Z., Owen, N.L and Feist, W. *Infrared Studies of Wood Weathering*. Part I: Softwoods, Applied Spectroscopy, vol. 45, 1991, pp.641:647
- Arnold, V. and Radman, K. *Spectral sensitivity in the photodegradation of fir wood (Abies alba Mill.) surfaces: Color changes in natural weathering*, vol. 48, Issue 2, March, 2014, pp.239:252.
- Brebu, M. Vasile, C., *Thermal degradation of lignin a review*, in proceedings Thermaldo, 2010, pp.353:363.
- El Hadidi, N.M.N. *Decay of softwood in archaeological wooden artifacts*. Studies in Conservation, vol. 62, no. 2, 2017, pp.83-95.
- Evans, J. *Plantation Forestry in the tropics*, Oxford: Clarendon, 1992, pp.304:322.
- Feist, W. and Sell, J. *U.S. and European finishes for weather exposed wood- a comparison*. Forest Products Journal, vol.36, no.4. 1986, pp.38:41.
- Hashem, G. El Hadidi, N. Abdel-Monem, H. Fawzy, M. *Retreatment and Conservation of a Wooden Panel Previously Treated with Bees Wax*. Advanced Research in Conservation Science, Vol.1, Issue 2,2020, pp.48:65.
- High, K. *Understanding accelerated decay of organic remains at Star Carr*, PhD Thesis, University of York, 2014.
- Müller, G., Bartholme, M., Kharazi, A., & Polle, A. *FTIR-ATR Spectroscopic analysis of changes in fiber properties during insulating fiberboard manufacture of beech wood*, Georg-August-University Göttingen, Germany, vol. 40, 2008, pp.532:543.
- Tolvaj, L. and Varga, D. *Photodegradation of timber of three hardwood species caused by different light sources*, Acta Silv, Lign, Hung, Vol. 8, 2012, pp.145:155.
- Unger, A., Schienwind, A., and Unger, W. *Conservation of wood artifacts*, Berlin, New York, Springer, 2001.