JOURNAL of ARCHAEOLOGY & TOURISM

P-ISSN: 2812-6378 ONLINE-ISSN: 2812-6386
Journal Home Page: https://jatmust.journals.ekb.eg/

دراسة تجريبية لتقييم تأثير بعض مواد التقوية على الخواص الفيزيائية لبعض أنواع الأخشاب المحلية الأثرية

| Received January 2nd 2023 | Accepted June 4th 2023 | Available online June 16th 2023 |
| DOI 10.21608/jatmust.2023.303846 |

ريهام شفيق البطران
معيدة بقسم ترميم وصيانة الآثار، كلية الآثار والإرشاد السياحي، جامعة مصر للعلوم والتكنولوجيا.
reham.elbtran@must.edu.eg

نجلاء محمود علي حسن
أستاذ علاج وصيانة المواد العضوية، قسم ترميم الآثار، بكلية الآثار، جامعة الفيوم.
nma00@fayoum.edu.eg

إبراهيم محمد محمد بدر
أستاذ مساعد ترميم وصيانة الآثار، كلية الآثار والإرشاد السياحي، جامعة مصر للعلوم والتكنولوجيا.
ibrahim.badr@must.edu.eg

الملخص

يتناول هذا البحث خطوات الدراسة التجريبية التي أجريت علي عينات من الأخشاب المحلية المأخوذة من خشب السنط وخشب الأثل، والتى تم تقويتها باستخدام بعض مواد التقوية الحديثة، ومنها الفاكر، وميثيل سيليلوز، وميثيل تراي ميسوكسي سيلان، PF4، وغيرها من مواد التقوية المستخدمة بغرض الوصول إلى أفضل هذه المواد وأكثرها فاعلية في عملية التقوية. كما يتناول هذا البحث الأساليب المستخدمة فى تقييم واختبار العينات التجريبية المُعالجة، ومقارنة نتائجها ببعضها البعض وأيضاً بنتائج العينات القياسية. وتبين من الدراسة أن مادة Plexisol p-550 حققت أفضل النتائج في اختبار مقاومة الضغط لعينات الأثل المُعالجة، وبالنسبة لعينات خشب السنط المعالجة، فقد حققت مادة Aquazol 200-500 أفضل النتائج. وفيما يتعلق باختبار مقاومة الانحناء لعينات الأثل المعالجة، فقد حققت مادة Regalrez 1094 أفضل النتائج بينما حققت مادة Aquazol 200- 500 أفضل النتائج لعينات خشب السنط المعالجة. كما اتضح من خلال اختبارات التغير اللوني التى أجريت علي العينات القياسية والعينات المعالجة أن مادة Aquazol 200-500 تعتبر أنسب المواد من حيث عدم تاثيرها على المظهر العام للعينات المعالجة بالنسبة لخشب الأثل وخشب السنط.

الكلمات الدالة:

مقاومة الانضغاط؛ مقاومة الانحناء؛ خشب الأثل؛ خشب السنط؛ التغير اللوني؛ ميثيل سيليلوز؛ بلكسيسول.

JOURNAL of ARCHAEOLOGY & TOURISM

P-ISSN: 2812-6378 ONLINE-ISSN: 2812-6386
Journal Home Page: https://jatmust.journals.ekb.eg/

AN EXPERIMENTAL STUDY TO EVALUATE THE EFFECT OF SOME CONSOLIDANTS ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF SOME ARCHAEOLOGICAL LOCAL WOOD SPECIES

| Received January 2nd 2023 | Accepted June 4th 2023 | Available online June 16th 2023 |
| DOI 10.21608/jatmust.2023.303846 |

Reham Shafiq Al-Batran
Faculty of Archeology and Tourism Guidance - Misr University for Science and Technology
reham.elbtran@must.edu.eg

Naglaa Mahmoud Ali Hassan
Faculty of Archeology - Fayoum University
nma00@fayoum.edu.eg

Ibrahim Mohamed Badr
Faculty of Archeology and Tourism Guidance - Misr University for Science and Technology
ibrahim.badr@must.edu.eg

ABSTRACT

This research deals with the steps of the experimental study conducted on samples of local wood taken from acacia wood and tamarisk wood, which were strengthened using some modern strengthening materials, including Fakir, methyl cellulose, methyl trimethoxy silane, PF, and other strengthening materials used for the purpose of reaching the best and most effective of these materials in the strengthening process. This research also deals with the methods used in evaluating and testing the treated experimental samples and comparing their results with each other and with the results of standard samples. The study showed that Plexisol p-550 achieved the best results in the pressure resistance test for the treated acacia wood samples، and for the treated acacia wood samples, Aquazol 200-500 achieved the best results. Regarding the bending strength test for the treated acacia wood samples, Regalrez 1094 achieved the best results while Aquazol 200-500 achieved the best results for the treated acacia wood samples. As it turned out through color change tests conducted on standard and treated samples, Aquazol 200-500 is considered the most suitable material in terms of its lack of influence on the general appearance of the treated samples for tamarisk and acacia wood.

KEYWORDS:

Compressive strength; bending strength; tamarisk wood; acacia wood; discoloration; methyl cellulose; plexisol.

مقدمة:

الأخشاب أحد أهم اللقى الأثرية التى لطالما كانت عنصراً هاماً من العناصر المكونة لمفردات الحضارة وبخاصة الحضارة المصرية القديمة، فلايوجد موقع أثرى إلا وبه لقى خشبية متنوعة ومختلفة، ومن ثم فالحفاظ على تلك الأثار الخشبية هو هدف كل الباحثين والدارسين المهتمين بأعمال الحفظ والترميم الأثرى.

كثرت استخدامات الفنان المصري القديم لخامة الخشب، فشكل منها الأعمال التي تفيده في حياته الدنيوية، وما يتعلق بأغراضه الجنائزية، ويرجع كل ذلك لما تتمتع به مادة الأخشاب من خصائص جيدة، مثل سُهولة القطع والتشكيل، ونحت منها التماثيل التي تحفظه بعد موته مختلفة الأشكال والأحجام والوظائف، وصنع منها قطع الأثاث المتنوعة، والمقاصير والتوابيت والنماذج المختلفة.[1] وتعتبر النماذج الخشبية المصغرة من أهم الآثار الخشبية، حيث أنها تُعد دليلاً واضحاً وفريداً على استخدامات الأخشاب فى الأغراض الجنائزية، وقد ظهرت لأول مرة فى مقبرة "مكت–رع" من عصر الدولة الوسطى، ولم تكن موجودة قبل ذلك، وهى بديلاً للمناظر المنقوشة على جدران مقابر أفراد الدولة القديمة والتى كانت تُمثل مناظر الحياة اليومية. ومن الجدير بالذكر أن هذه النماذج تعكس التحول والتطور الكبير فى الفكر الديني لدى المصرى القديم والذى إنعكس بدوره على المدارس الفنية. حيث إنتقلت أعمال الصناعات الجنائزية من صناعة التماثيل الحجرية و الرسوم والنقوش الجدارية إلى صناعة الرؤوس البديلة فى نهاية الدولة القديمة وانتهاءاً بصناعة النماذج الخشبية فى الدولة الوسطى التى تعكس بشكل واضح ملمحاً من ملامح الحياة اليومية عند المصريين القدماء.

ويستخدم مصطلح "نموذج" بشكل عام للدلالة على "تمثال مصغر لشيء ما" أو "نموذج لشيء يمكن القيام به". ومع ذلك، عندما يستخدم علماء المصريات كلمة "نموذج" لتعريف الصور الجنائزية المصرية القديمة الصغيرة الأشياء والأشخاص من الحياة اليومية ، هذا المصطلح له دلالة مختلفة نوعاً ما. لم تكن نماذج المقابر المصرية أدوات تهدف إلى إظهار شيء ما، ولكنها كانت كائنات قوية سحرية في حد ذاتها، فيقصد بها نماذج المجموعات التي تجسد مواقف حقيقة ومهنية، ولقد اكتشف العديد من النماذج الخشبية التي كانت توضع مع المتوفي لتحقيق رغباته وذلك من الأسره السادسة حتي نهاية الدولة الوسطي. وأخذت هذه النماذج في التطور إلي أن أزدهرت في الدولة الوسطي ومن أروع الأمثلة، النماذج مكتشفات مقبرة (ماكت رع) من الأسره الحادية عشر بطيبة [2]، فحققت نماذج المقابر دوراً رمزياً هاماً في الممارسات الجنائزية المصرية القديمة ، فكان

1 محمد عبد الحفيظ هارون, القيم التشكيلية والتعبيرية للتماثيل الخشبية في النحت المصري القديم كمصدر للتشكيل النحتي, رسالة ماجستير, قسم التعبير المجسم, كلية التربية الفنية، جامعة حلوان, 2003, ص53.

2 محمد عبد الحفيظ هارون, مرجع سابق, ص 58 , 60.

لا غنى عن تضمين النماذج في مجموعات الدفن لضمان توفير مستمر لكل من الضروريات والكماليات للمتوفى في الحياة الآخرة ، كما استكملت النماذج ثلاثية الأبعاد المشاهد والنصوص على اللوحات الجنائزية، وكثيراً ما حلت محل تلك الموجودة على جدران المقابر، والتي أستوفت نفس الوظائف، وتنقسم إلي أربع مجموعات رئيسية تضم مجموعة نموذج المقبرة الأساسية الراسخة النقل المائي (القوارب)، تجهيز وإنتاج الطعام والشراب (المطابخ)، نقل الطعام والشراب والمنتجات الأخرى (عرض حاملي وحمالين)، تخزين الحبوب والفاكهة وبذور الخضروات (صوامع الغلال).[3]

ويهدف هذا البحث للدراسة التجريبية بصفه عامة للوصول إلي أفضل وأنسب مواد التقوية ومن وجهه نظر الصيانة والأشتراطات القياسية في مواد التقوية للأخشاب، التي يمكن استخدامها وتطبيقها علي الأخشاب الأثرية الضعيفة دون تعريض الأثر المعالج لأي أثار أو أضرار جانبية، حيث يمكن من خلال هذه الدراسة الوقوف علي مدي تأثير مواد التقوية علي الخصائص الميكانيكية للأخشاب المعالجة ، فضلاً عن المقارنة فيما بينها لأختيار أفضلها وأكثرها قدرة علي تقوية الأثر الخاضع لعمليات العلاج والصيانة، وذلك من خلال تجريبها أولاً علي عينات مُعده من نفس مادة الأثر، وتعرضت للعوامل الطبيعية الفيزيائية والكيميائية التي تعرض لها الأثر. فأن هذا البحث يتناول الدراسة التجريبية لأستنتاج أفضل المواد لأستخدمها في عمليات الترميم والصيانة.

2. الطرق والمواد المستخدمة في الدراسة Materials and Methods

2. 1 اختيار وإعداد العينات التجريبية:

Selection and preparation of experimental samples

تم اختيار العينات التجريبية وهما نوعين من الخشب المحلي خشب السنط، وخشب الأثل. وقد تم تجميع عينات خشبية قديمة من خشب السنط والأثل ويعاني هذا الخشب من تأثير الجفاف الشديد جداً بصورة تتشابه مع الحالة التى عليها النماذج الخشبية، وهذه العينات الخشبية التي تم استخدامها فى البحث تتقارب مع نماذج " ماكت رع " في خصائصها الفيزيائية والميكانيكية، فقد تم تقطيعها في صورة مكعبات منتظمة الشكل،لإستخدامها في اختبار مقاومة الضغط الميكانيكي، كما تم إعداد مجموعة من العينات مستطيلة الشكل لإختبار مقاومة الإنحناء، "لاستخدامها كعينات مرجعية عند فحصها ودراستها " بالميكرسكوب الإلكتروني الماسح" واختبار التغير اللونى.

2.2 مواد التقوية المستخدمة في الدراسة التجريبية

تم استخدام عدد من مواد التقوية المستخدمة فى ترميم الاخشاب بصفة عامة وتتميز بالتنوع فى الاستخدام وقد استخدمت هذه المواد بصورة قياسية والجدول رقم (1) يوضح تلك المواد بالمذيب الخاص بكل مادة من مواد التقوية.

[3] Kroenke, Karin Roberta. *The Provincial Cemeteries of Naga ed-Deir:A Comprehensive Study of Tomb Models Dating from the Late Old Kingdom to the Late Middle Kingdom*. University of California, Berkeley, 2010, pp .1. 304,309,310,311.

جدول رقم (1) مواد التقوية المستخدمة بالاضافة الى المذيب الخاص بكل مادة

رقم المادة	الرمز	مادة التقوية	المذيب
1	A	Wacker Silicate TES40 WN	–
2	B	Aquazol 200-500	Water Base
3	C	Regalrez 1094[4]	Toloin
4	D	Plexisol p-550 [5]	Ethanol Alkohol
5	E	M.T.M.O.S ميثيل تراي ميثوكسي سيلان	–
6	F	[6]Methyl cellulose	Water Base
7	G	Fanory	Water Base
8	H	PF4[7]	–

3.2 تطبيق مواد التقوية Application of consolidation materials

تم تطبيق مواد التقوية بعد تحضيرها وتجهيزها، علي مكعبات الأخشاب المُعده للدراسة التجريبية بواقع ثلاثة مكعب3x3x3 سم لكل مادة، كما تم تطبيقها علي العينات التجريبية المُعده لأرضيات التحضير والمواد الملونة، وقد تمت عملية التقوية بطريقة الإسقاء بالفرشاه في صورة دورات متتالية وذلك للحصول علي درجة التشبع الكامل، ثم تُركت العينات المعالجة في جو الغرفة لمدة شهر لإتاحة الفرصة لإتمام عملية الجفاف والبلمرة الكاملة.

صور رقم (1) :توضح عملية التقوية بطريقة التسقية بالفرشاة.

[4] مدحت عبد الله, دراسة تجريبية علي بعض المواد المستخدمة في تقوية الاخشاب الملونة تطبيقا علي بعض الاخشاب الاثرية المختارة, رسالة ماجستير , قسم الترميم, جامعة القاهرة, 2009, ص 444.

[5] مدحت عبد الله, دراسة تجريبية علي بعض المواد المستخدمة في تقوية الاخشاب الملونة تطبيقا علي بعض الاخشاب الاثرية المختارة, رسالة ماجستير , قسم الترميم, جامعة القاهرة, 2009, ص 440.

[6] Baker,C.A. "Methylcellulose and Sodium Carboxymethyl Cellulose: an evaluation for use in paper conservation through accelerated aging in" *Adhesives and Consolidants"edited by Brommelle,N. et al, the international institute for conservation of historic and artistic works*,1984,p .55.

[7] ياسر كمال حفني علي, تقييم استخدام المركبات النانوية متعددة الوظائف في حماية الأثار الجرانيتية مع التطبيق العملي علي نماذج مختارة، رسالة دكتوراه، كلية الأثار، قسم ترميم وصيانة الأثار، جامعة القاهرة، رسالة دكتوراه، 2016م، ص 89.

4.2 تعيين نسبة مادة التقوية المُتبقية بعينات الأخشاب المُعالجة:

تم تعيين نسبة مادة التقوية المُتبقية بالعينات التجريبية المُعالجة بمواد التقوية بواقع ثلاث مكعبات لكل مادة تقوية، وقد تمت هذه العملية طبقاً للمراحل التالية:

- تجفيف العينات قبل المُعالجة داخل فُرن التجفيف لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة 105 م ، ثم تركها مدة ساعتين في جو الغرفة ، ثم يتم وزنها (W1).
- تقوية العينات الخشبية وتركها مدة شهر حتي تمام العملية البلمرة وتصلب مادة التقوية .
- تجفيف العينات المُعالجة داخل فرن التجفيف 24 ساعة عند درجة حرارة 60 م .
- تسجيل أوزان المكعبات الخشبية المقواه بعد تمام عملية الجفاف (W2) .

ثم حساب نسبة المادة الصلبة المُتبقية من خلال التعويض في المعادلة الأتية:

$$\text{نسبة مادة التقوية المتبقية} = \frac{\text{الوزن بعد التقوية} - \text{الوزن قبل التقوية}}{\text{الوزن قبل التقوية}} \times ١٠٠ = \ldots..\%$$

2. 5 اختبار مقاومة الضغط Compressive strength test

اختبار مقاومة الضغط Compressive strength من أهم الأختبارات المستخدمة في دراسة الخصائص الميكانيكية للأخشاب الأثرية، تم إعداد وتجهيز عينات عدد(54) عينة من خشب السنط Acacia raddiana Savi، وخشب الأثل Tamarix nilotica (Ehrenb.) Bunge، وتم تقطيع الخشب علي هيئة مكعبات منتظمة الشكل أبعادها 3x3x3 سم^3، لاختبار مقاومة هذه الأخشاب قبل التقوية وبعد التقوية [8]، تم تقسيم العينات المعدة لهذا الاختبار إلى 8 مجموعات حسب المواد المقوية المستخدمة بالإضافة إلى العينات القياسية لكل نوع من الخشب وهي كالتالي:

- العينات القياسية NT، NA وهي تمثل عينة قياسية لكل نوع من الخشب لإختبارها بدون تقوية (للمقارنة).[9]
- حيث أن : NT :هي عينة من خشب الأثلTamarix nilotica (Ehrenb.) Bunge

NA : هي عينة من خشب السنط Acacia raddiana Savi

ولقياس الأحمال الواقعة علي العينات الخشبية مكعبة الشكل "سابقة الذكر في طريقة إعداد العينات الخاصة بهذا الاختبار" استخدم جهاز ماكينة الاختبار العامة Universal testing [10] وهذه

[8] ASHRAE. 2009. ASHRAE Handbook—fundamentals.Atlanta, GA: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, Inc.8

[9] Kleuters, W. 1964. Determining local density of wood by beta ray method. Forest Products Journal. 14(9): 414.

[10] تم إجراء هذه الإختبارات, بالمعهد القومي للقياس والمعايرة, قسم مترولوجيا القوة والمواد.

الماكينة تستخدم لاختبارات عديدة كالضغط والإنحناء والشد وتتكون هذه الماكينة من رأس ثابت خاص لموازنة الحمل وقياس قيمته (balancin) وآخر متحرك وهو المسبب للأحمال المؤثرة علي العينات المختبرة (Loading)، ومصدر القوة المحركة في هذا الجهاز يكون في أغلب الأحيان محركا كهربياً، وهو جهاز يعمل أتوماتيكياً متصل بوحدة كمبيوتر، ويعطي قراءات فورية في شكل منحنيات توضح سلوك العينة الخشبية أثناء تعرضها لقوي الضغط المقدرة بالكيلو نيوتن، تم تسجيل القراءة، عند حدوث شروخ ونهشم العينة حيث تحسب مقاومة الضغط لكل سم^2، من قيمة الإجمالي للضغط علي مساحة سطح العينة المعرضة للحمل. وذلك من خلال التعويض في القانون التالي:

$$C = \frac{W}{A} \quad Kg/Cm^2$$

حيث ان:

C = مقاومة الضغط للعينات مقدرة بالكجم / سم ٢.

W= الحمل المطبق علي العينة عند نقطة التهشم مقدراً بالنيوتن.

A = مساحة سطح الإرتكاز للعينة مقدراً ب (سم ^{2}).

(ج) (ب) (أ)

صور(2) : (أ) توضح شكل جهاز ماكينة الاختبار العامة المستخدمة في قياس قوي الضغط الميكانيكي للعينات الخشبية المستخدمة في الدراسة التجريبية، (ب) توضح شكل العينة في اختبار الضغط، (ج) يوضح مظهر تهشم عينة الخشب بين فكي ماكينة الضغط الميكانيكي.

2. 6 اختبار مقاومة الإنحناء Bending strength test

قياس قوة تحمل العينات الخشبية المُستخدمة و قياس مقدار الحمل اللازم لانهيار وكسر هذه العينات سواء العينة القياسية أو العينات المقواه بمواد التقوية المختلفة أو العينات المتقادمة، يتم في هذا الاختبار إعداد وتجهيز عدد (54) عينة من خشب السنط والأثل ، وتم تقطيع الخشب علي هيئة مستطيلات الشكل أبعادها 5،0x2x10 سم لاختبار الإنحناء ،وتحديد مدي مقاومة هذه الاخشاب للانحناء قبل التقوية وبعد التقوية لأختيار أفضل المواد لتحسين الخواص.

وتم تقسيم العينات المعدة لهذا الاختبار إلى 8 مجموعات حسب المواد المقوية المستخدمة بالإضافة إلى العينات القياسية لكل نوع من الخشب وهي كالتالي:

* العينات القياسية *NT *NA وهي تمثل عينة قياسية لكل نوع من الخشب، ولكل مادة عينة قياسية لإختبارها بدون تقوية (للمقارنة).

* حيث أن : *NT: هي عينة من خشب الأثل Tamarix nilotica (Ehrenb.) Bunge

*NA : هي عينة من خشب السنط Acacia raddiana Savi

ولقياس أقصى قوة مقاومة للكسر الناتج عن عملية الإنحناء علي العينات الخشبية استخدم جهاز ماكينة الاختبار العامة[11]، Universal testing

- **إجراء الإختبار :**

I. قياس أبعاد العينات الخشبية المستخدمة .

II. توضع العينات الخشبية الراس الثابت لمكينة الاختبار

III. يتم تسجيل أقصي قوة مقاومة الانحناء

IV. حيث يمكن حساب مقدار هذه القوي عند نقطة الانهيار من خلال التعويض في القانون التالي :

$$\text{قوة الانحناء} = \frac{3FL}{2ba^2} \quad N/mm^2$$

- حيث أن :

سمك العينة (مم) = a ، عرض العينة (مم) =b ، المسافة بين نقطتي الارتكاز لقطعة خشب المختبرة (مم) = L ، أقصى حمل (KN) =F

للحصول علي أقصي قوة مقاومة للانحناء للعينات المقواه والمُقارنة بينهما للحصول علي أفضل النتائج .

(أ) (ب)

صور(3) : (أ) توضح شكل جهاز ماكينة الاختبار المستخدمة في قياس الإنحناء للعينات الخشبية المستخدمة في الدراسة التجريبية، (ب) يوضح مظهر تهشم عينة الخشب في ماكينة الإختبار.

[11] تم إجراء هذه الاختبارات بمعمل القوه, بالمعهد القومي للمعايرة والقياس .

7.2 قياس التغير اللوني Colorimetric measurement:

أدت معظم مواد التقوية المستخدمة إلى تغير الدرجة اللونية الطبيعية للخشب المستخدمة كما أن تأثيرها علي الأخشاب ظهر بدرجات متفاوتة[12] ويمكن قياس التغير اللوني طبقاً للمعادلة التالية:

$$\Delta E = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$$

وهي عبارة عن إحداثيات تشير فيها الي أن :

ΔE:هي تُعبر عن قيمة التغير اللوني الكلي Total Chromatic Change.

(L*) :تُعبر عن درجة السطوع Brightness.

(a*) :تُعبر عن اللون الأحمر (عندما تكون قيمة اللون موجبة +)، واللون الأخضر (عندما تكون قيمة اللون سالبة –) .

(b*):تُعبر عن اللون الأصفر(عندما تكون قيمة اللون موجبة +) ، واللون الأزرق (عندما تكون قيمة اللون سالبة –) .

وقد تم قياس التغير اللوني للعينات التجريبية المُعالجة بالمركز القومي للقياس والمعايرة، بإستخدام جهاز التغير اللوني ماركة Spectrophotometer Optimatch 3100 من شركة SDL.

8.2 الفحص باستخدام الميكرسكوب الإلكتروني الماسح (S.E.M)

Examination by Scanning Electron Microscope

أُجرى الفحص بالميكرسكوب الإلكتروني الماسح لعينات الأخشاب المعالجة بمواد التقوية المختلفة، لكل نوع من الخشب (موضوع الدراسة)، وذلك لمُقارنة نتائج العلاج لدي كل مادة ومدى نجاحها في الانتشار الجيد والربط بين الحبيبات من عدمه، ولاختيار أنسبها في عملية العلاج.

3. النتائج والمناقشة Results and Discussion

1.3 اختبار نسبة مادة التقوية المتبقية

من خلال قراءة نتائج الفحوص لخشب الأثل Tamarix nilotica (Ehrenb.) Bunge يتضح لنا أن مواد التقوية المستخدمة أعطت نتائج مُتباينة من حيث نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية حسب نوع كل مادة، حيث حققت مادة Wacker Silicate TES40 WN

[12] Abdrabou A., Abdallah M., Abd El Kader M., Analytical Study and Conservation Processes of a Painted Wooden Graeco - *Roman Coffin, International Journal of Conservation Science*, 6 (4), 573-586 (2015).

أفضل النتائج وبلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها (51،9%) يليها مادة ميثيل سيليلوز حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها (96،5%)، ثم يليها مادة M.T.M.O.S حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها (66،5%)، تليها مادة Aquazol 200– 500 التي بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها (37،4%)، تليها مادة Plexisol p–550 حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها(68،3%)، تليها مادة Regalrez 1094 حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها (45،2%)، تليها مادة PF4 حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها(65،1%)، تليها مادة FANORY حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها(25،1%).

من خلال قراءة نتائج الفحوص لخشب السنط Acacia raddiana Savi، يتضح لنا أن مواد التقوية المستخدمة قد أعطت نتائج مُتباينة من حيث نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية حسب نوع كل مادة، حيث حققت مادة M.T.M.O.S أفضل النتائج وبلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها (55،6%) يليها مادة Wacker Silicate TES40 WN حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها (44،4%)، ثم يليها مادة Regalrez 1094 حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها (35،4%)، تليها مادة Plexisol p–550 والتي بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها (88،3%)، تليها مادة Aquazol 200–500 حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها(81،3%)، تليها مادة ميثيل سيليلو حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها (15،3%)، تليها مادة FANORY حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها(87،1%)، تليها مادة PF4 حيث بلغ متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها(67،1%).

جدول رقم (2) يوضح نتائج متوسط مواد التقوية فى كلاً من خشب الأثل والسنط.

خشب السنط Acacia raddiana Savi			خشب الأثل Tamarix nilotica Ehrenb Bunge		
متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية%	أسم مادة التقوية	رمز مادة التقوية	متوسط نسبة مادة التقوية المُتبقية%	أسم مادة التقوية	رمز مادة التقوية
44،4	Wacker Silicate TES40 WN	A	51،9	Wacker Silicate TES40 WN	A
81،3	Aquazol 200-500	B	37،4	Aquazol 200-500	B
35،4	Regalrez 1094	C	45،2	Regalrez 1094	C
88،3	Plexisol p-550	D	68،3	Plexisol p-550	D
55،6	M.T.M.O.S	E	66،5	M.T.M.O.S	E
15،3	ميثيل سيليلوز	F	96،5	ميثيل سيليلوز	F
87،1	Fanory	G	25،1	Fanory	G
65،1	PF4	H	67،1	PF4	H

2.3 قياس تأثير مواد التقوية على خاصية مقاومة الضغط الميكانيكي

عند قياس لمقاومة الضغط الميكانيكي للعينات التجريبية المُعالجة بمواد التقوية لخشب الاثل، ومُقارنة هذه النتائج بنتائج مقاومة الضغط قبل التقوية، يتضح أن جميع مواد التقوية قد حسنت خاصية مقاومة الضغط الميكانيكي للعينات الخشبية المُعالجة بنسب متفاوتة حسب نوع كل مادة، وبالنسبة لخشب الأثل Tamarix nilotica (Ehrenb.) Bunge، حيث حققت مادة Plexisol p-550 أفضل النتائج وبلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط للعينات التجريبية المُعالجة بها (97،47%) يليها مادة Regalrez 1094 حيث بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها (57،37%)، ثم يليها مادة Wacker Silicate TES40 WN حيث بلغ متوسط نسبة نسبة الزيادة في مقاومة الضغط للعينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها (63،36%)، تليها مادة ميثيل سيليلوز والتي بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها (11،35 %)، تليها مادة Aquazol 200-500 حيث بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها(64،33%)، تليها مادة FANORY حيث بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها (79،32%)، تليها مادة PF4 حيث بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها (19،30%)، تليها مادة M.T.M.O.S حيث بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها (87،18%).

عند قياس لمقاومة الضغط الميكانيكي للعينات التجريبية المُعالجة بمواد التقوية لخشب السنط Acacia raddiana Savi، حيث حققت مادة Aquazol 200-500 أفضل النتائج وبلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط للعينات التجريبية المُعالجة بها (87،39%) يليها مادة ميثيل سيليلوز حيث بلغ

متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها (79،36%)، ثم يليها مادة FANORYحيث بلغ متوسط نسبة نسبة الزيادة في مقاومة الضغط للعينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها (62،35%)، تليها مادة Plexisol p-550 والتي بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها (77،34%)، تليها مادة1094 Regalrez حيث بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها قيمة قدرها(04،20%)، تليها مادة M.T.M.O.S حيث بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها (91،15%)، تليها مادة PF4 حيث بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها (96،8%)، تليها مادة Wacker Silicate TES40 WN حيث بلغ متوسط نسبة الزيادة في مقاومة الضغط في العينات التجريبية المُعالجة بها (98،6%).

جدول رقم (3): يوضح النتائج النهائية لمتوسط النسب للعينات الخشبية المُعالجة لكلاً من لخشب الأثل والسنط لمقاومة الضغط.

خشب السنط Acacia raddiana Savi				خشب الأثل Tamarix nilotica (Ehrenb.) Bunge			
معدل الزيادة في نسبة الضغط الميكانيكي (%)	الضغط الميكانيكي كجم / سم^2	رمز مادة التقوية	رمز العينة	معدل الزيادة في نسبة الضغط الميكانيكي (%)	الضغط الميكانيكي كجم / سم^2	رمز مادة التقوية	رمز العينة
		NA عينة قياسية	NA			NT عينة قياسية	NT
98،6	2،183	A	1A	63،36	5،298	A	1T
87،39	83،292	B	2A	64،33	53،288	B	2T
04،20	73،226	C	3A	57،37	61،301	C	3T
77،34	83،275	D	4A	97،47	3،336	D	4T
91،15	96،212	E	5A	87،18	3،239	E	5T
79،36	56،282	F	6A	11،35	43،293	F	6T
62،35	66،278	G	7A	79،32	7،285	G	7T
96،8	8،189	H	8A	19،30	03،277	H	8T

3.3 قياس تأثير مواد التقوية على خاصية مقاومة الانحناء:

اما خاصية مقاومة الإنحناء للعينات الخشبية المُعالجة بنسب متفاوتة حسب نوع كل مادة، وبالنسبة لخشب الأثل Tamarix nilotica (Ehrenb.) Bunge ، حيث حققت مادة Regalrez 1094حيث أفضل النتائج وبلغ متوسط نسبة للعينات التجريبية المُعالجة بها 3.1 يليها مادة Plexisol p-550 بنسبة 2.95 ثم مادة ميثيل سيليلوز بنسبة 2.94 ثم يليها مادة M.T.M.O.S بنسبة 2.82 تليها مادة Wacker Silicate TES40 ومادة PF4 بنفس النسبة 2.69 ، ثم تليها مادة FANORY حيث بلغ نسبة 2.64.

اما خاصية مقاومة الإنحناء للعينات الخشبية المُعالجة بنسب متفاوتة حسب نوع كل مادة، لخشب السنط Acacia raddiana Savi، حيث حققت مادة 500 -200 Aquazol أفضل النتائج

وبلغ متوسط نسبة 2.02 يليها مادة Plexisol p-550 حيث بلغ متوسط نسبة 2.01 ثم يليها مادة M.T.M.O.S حيث بلغ متوسط نسبة 1.93 تليها مادة PF4 والتي بلغ متوسط نسبة 1.75 تليها مادة FANORY بنسبة 1.73 وتليها مادة Wacker Silicate TES40 بنسبة 1.75 ثم يليها مادة1094 Regalrez حيث بلغ النسبة 1.47 ثم مادة ميثيل سيليلوز بنسبة 1.32 .

جدول رقم (4): النتائج النهائية لمتوسط النسب بين العينات الخشبية المُعالجة لكلاً من خشب الأثل والسنط لاختبار مقاومة الإنحناء.

خشب السنط Acacia raddiana Savi			خشب الأثل Tamarix nilotica (Ehrenb.) Bunge		
مقاومة الانحناء N/mm^2	المجموعة	رمز مادة التقوية	مقاومة الانحناء N/mm^2	رمز مادة التقوية	رمز العينة
0.87	NA* عينة قياسية (بدون تقوية)	1NA*	2.63	NT* عينة قياسية (بدون تقوية)	1NT*
1.72	A	1A	2.69	A	1T
2.02	B	2A	2.68	B	2T
1.47	C	3A	3.1	C	3T
2.01	D	4A	2.95	D	4T
1.93	E	5A	2.82	E	5T
1.32	F	6A	2.94	F	6T
1.73	G	7A	2.64	G	7T
1.75	H	8A	2.69	H	8T

4.3 قياس التغير اللونى لمواد التقوية

عند قياس التغير اللوني للعينات الخشبية المُعالجة بالنسبة لخشب الأثل تبين أن مادة Aquazol 200-500، قد أعطت أفضل النتائج، حيث حققت قيمة ΔE للعينات المُعالجة بها(0.76)، تليها مادة Plexisol p-550 وقد حققت قيمة ΔE (2.72) تليها مادة M.T.M.O.S حيث بلغت قيمة ΔE لها (3.91) تليها مادة PF4 وقد حققت قيمة ΔE للعينات التجريبية المُعالجة بها (6.36) تليها مادة Fanory وقد حققت قيمة ΔE (7.23)، تليها مادة Wacker Silicate TES40 WN وقد حققت قيمة ΔE لها (8.72) تليها مادة ميثيل سيليلوز وقد حققت قيمة ΔE(9.72) مادة Regalrez 1094 حيث حققت أكبر قيمة ΔE (20.03).

عند قياس التغير اللوني للعينات الخشبية المُعالجة بالنسبة لخشب السنط تبين أن مادة Aquazol 200-500، قد أعطت أفضل النتائج، حيث حققت قيمة ΔE للعينات المُعالجة بها (3.48)، تليها مادة M.T.M.O.S وقد حققت قيمة ΔE (4.46) تليها مادة Fanory حيث بلغت قيمة ΔE لها (5.57)، وتليها مادة550 Plexisol p- وقد حققت قيمة ΔE للعينات التجريبية المُعالجة بها (6.10) تليها مادة ميثيل سيليلوز وقد حققت قيمة ΔE ((7.04)، تليها مادة PF4 وقد حققت

قيمة ΔE لها (12.04،) تليها مادة Regalrez 1094 وقد حققت قيمة ΔE (12.70) ثم مادة Wacker Silicate TES40 WN حيث حققت أكبر قيمة ΔE (20.10).

جدول رقم (5) : يوضح نتائج إختبار التغير اللونى للعينات الخشبية لكلاً من لخشب الأثل والسنط بعد التقوية.

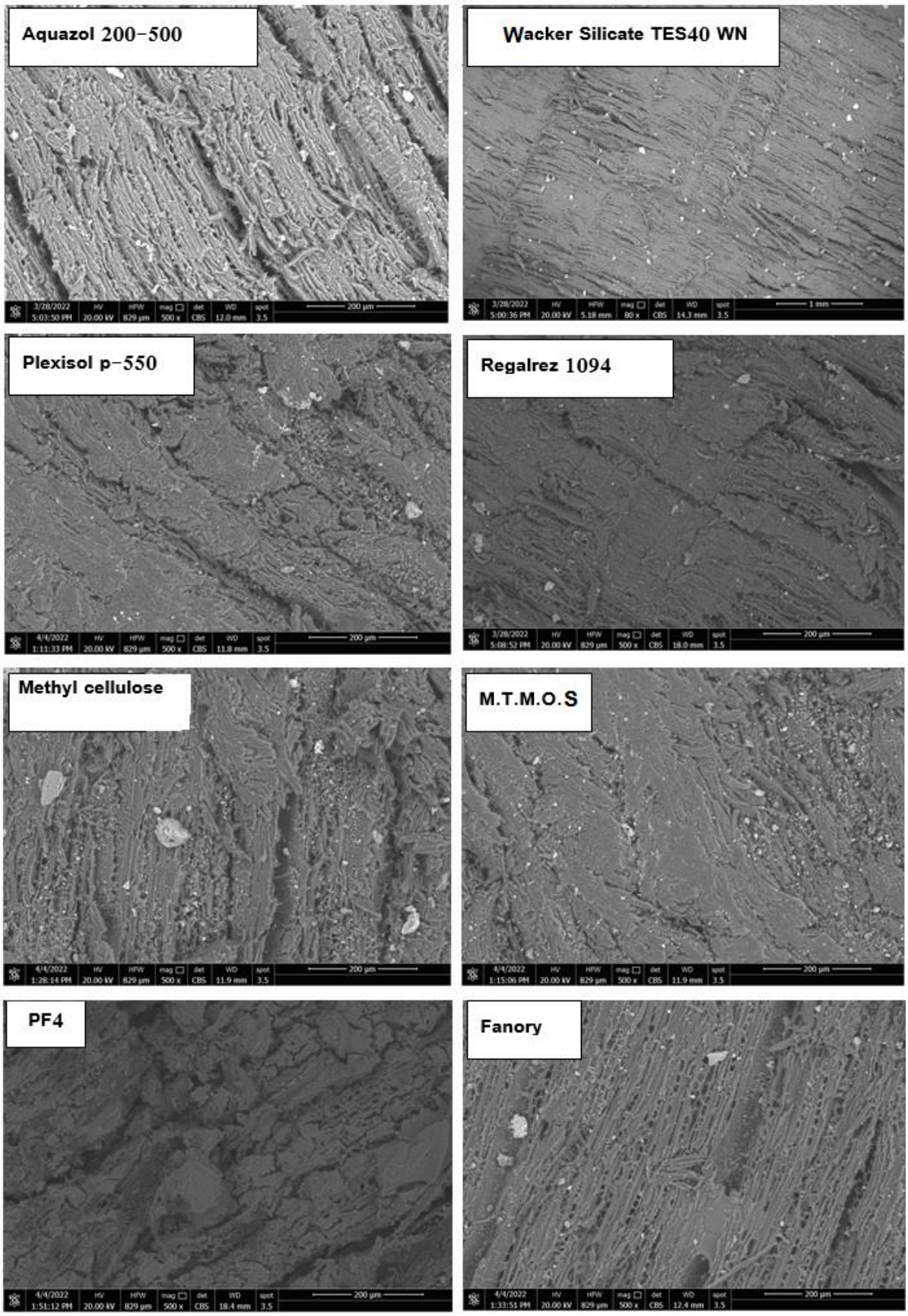
خشب السنط Acacia raddiana Savi				خشب الأثل Tamarix nilotica (Ehrenb.) Bunge			
ΔE	العينات	رمز مادة التقوية	رمز العينة	ΔE	العينات	رمز مادة التقوية	رمز العينة
20.10	After	A	1A	8.72	After	A	1T
3.48	After	B	2A	0.76	After	B	2T
12.70	After	C	3A	20.03	After	C	3T
6.10	After	D	4A	2.72	After	D	4T
4.46	After	E	5A	3.91	After	E	5T
7.04	After	F	6A	9.72	After	F	6T
5.57	After	G	7A	7.23	After	G	7T
12.04	After	H	8A	6.36	After	H	8T

5.3 الفحص باستخدام الميكرسكوب الإلكتروني الماسح (S.E.M)

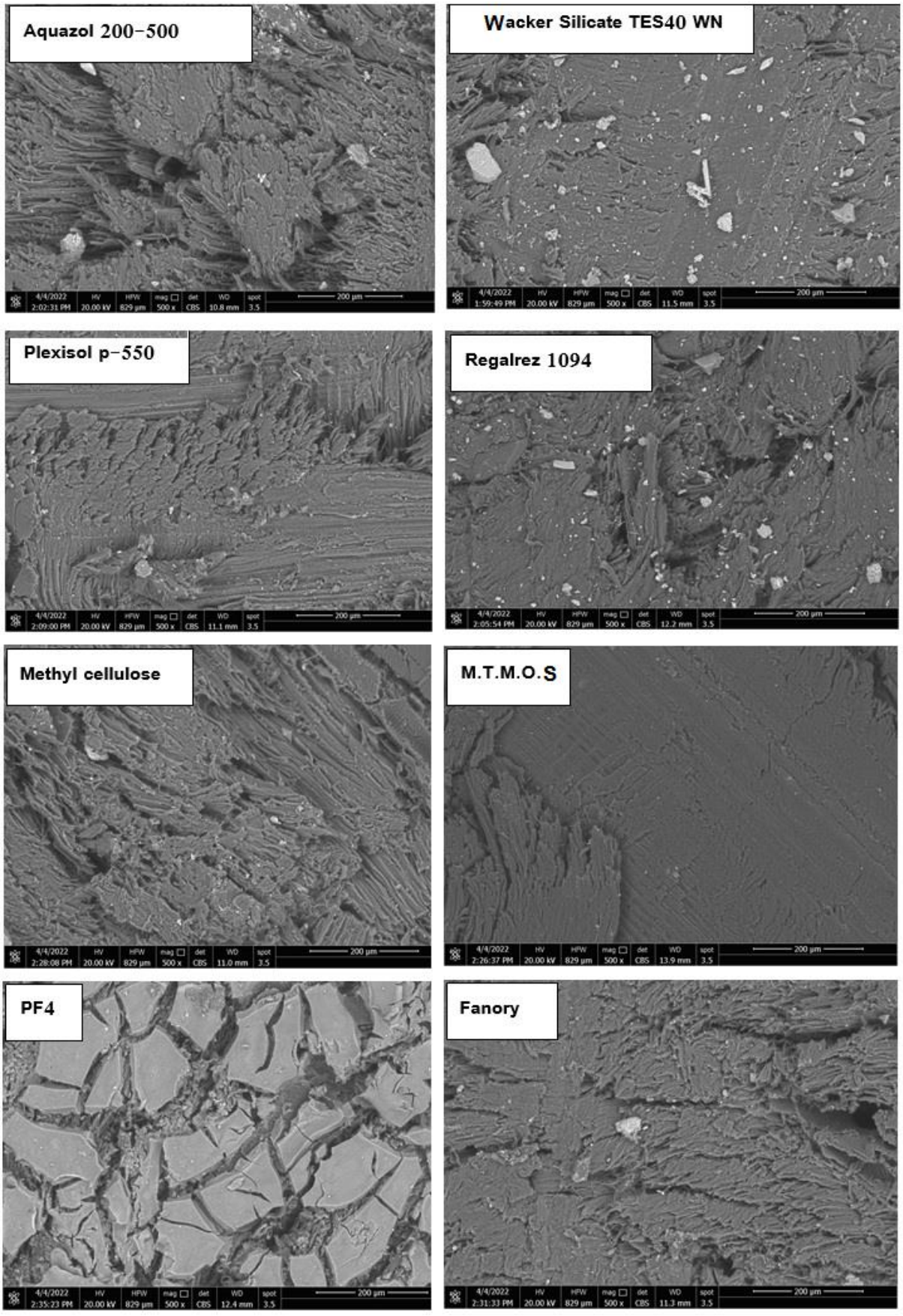
من خلال الفحص باستخدام (S.E.Mلعينات الأخشاب المعالجة بمواد التقوية المختلفة، اتضح أن مادة M.T.M.O.S، حققت أفضل النتائج؛ حيث أظهر الفحص انتشارها الجيد والمتجانس، وتغليفها للحبيبات الصغيرة والكبيرة، وربطها الجيد بين الحبيبات، وملئها للمسام الكبيرة والصغيرة دون غلق المسام، ثم جاءت في المرتبة الثانية مادة Wacker Silicate TES40 WN ؛ حيث أظهر الفحص انتشارها الجيد والمتجانس، وتغليفها للحبيبات الصغيرة والكبيرة، وربطها الجيد بين الحبيبات، وملئها للمسام الكبيرة والصغيرة دون غلق المسام، ولكن أقل كفاءة من السابقة

وبالمرتبة الثالثة تظهر فيها مادة التقوية Regalrez 1094؛ حيث تبين الانتشار غير المتجانس للمادة، وتظهر متجمعة في بعض الأماكن دون غيرها؛ وبالتالي، حققت الملء والربط الجزئي للألياف، وفي المرتبة الرابعة مادة يظهر فيها انتشار مادة Plexisol p-550 بشكل جيد، وملء المسام الدقيقة، وتغليف الألياف، والربط بينها، وعدم قدرتها أيضًا على ملء الفراغات الواسعة بين الألياف، وبالمرتبة الخامسة مادة التقوية ميثيل سيليلوز؛ حيث تبين الانتشار غير المتجانس للمادة، وتظهر متجمعة في بعض الأماكن دون غيرها؛ وبالتالي، حققت الملء والربط الجزئي للألياف. وفي المرتبة السادسة تظهر فيها مادة التقوية PF4 ؛ حيث تبين ظهورها على هيئة فيلم، أو طبقة مليئة بالتشققات، تغطي سطح العينة. وفي المرتبة السابعة مادة التقوية Funori؛ حيث تبين عدم قدرتها على ملء المسام بين الألياف؛ وبالتالي، فشلت في تحقيق الربط والتقوية.

وفي المرتبة الأخيرة فشل مادة التقوية Aquazol 200-500 في تحقيق الربط بين الألياف، وملء المسام.



صورة رقم (4): توضح العينات الخشبية المعُالجة لخشب الأثل باستخدام الميكرسكوب الإلكتروني الماسح (S.E.M)



صورة رقم (5): توضح العينات الخشبية المعُالجة لخشب السنط باستخدام الميكرسكوب الإلكتروني الماسح (S.E.M)

4. الخلاصة Conclusion

لا شك أن الأخشاب الأثرية تمثل عنصراً هاماً من العناصر المكونة لمفردات الحضارة وبخاصة الحضارة المصرية القديمة، فلا يوجد موقع أثرى إلا وبه لقى خشبية متنوعة ومختلفة، ومن ثم فالحفاظ على تلك الأثار الخشبية هو هدف كل الباحثين والدارسين المهتمين بأعمال الحفظ والترميم الأثرى. وتعتبر النماذج الخشبية المصغرة من أهم الآثار الخشبية التي تعكس التحول والتطور الكبير فى الفكر الديني لدى المصرى القديم والذى إنعكس بدوره على المدارس الفنية.

وقد تناول موضوع هذا البحث خطوات الدراسة التجريبية التي أجريت علي عينات من الأخشاب المحلية المأخوذة من خشب السنط وخشب الأثل المستخدمة في تنفيذ بعض النماذج الخشبية الأثرية المصغرة، والتى تم تقويتها باستخدام بعض مواد التقوية الحديثة، ومنها الفاكر، وميثيل سيليلوز، وميثيل تراي ميسوكسي سيلان PF4، وغيرها من مواد التقوية المستخدمة بغرض الوصول إلى أفضل هذه المواد وأكثرها فاعلية في عملية التقوية. وقد تم تقييم واختبار العينات التجريبية المُعالجة، ومقارنة نتائجها ببعضها البعض وأيضاً بنتائج العينات القياسية. وتبين من الدراسة أن مادة Plexisol p-550 حققت أفضل النتائج في اختبار مقاومة الضغط لعينات الأثل المُعالجة، وبالنسبة لعينات خشب السنط المعالجة، فقد حققت مادة Aquazol 200-500 أفضل النتائج. وفيما يتعلق باختبار مقاومة الانحناء لعينات الأثل المعالجة، فقد حققت مادة Regalrez 1094 أفضل النتائج بينما حققت مادة Aquazol 200- 500 أفضل النتائج لعينات خشب السنط المعالجة. كما اتضح من خلال اختبارات التغير اللوني التى أجريت علي العينات القياسية والعينات المعالجة أن مادة Aquazol 200-500 تعتبر أنسب المواد من حيث عدم تاثيرها على المظهر العام للعينات المعالجة بالنسبة لخشب الأثل وخشب السنط

قائمة المراجع

1. حمد عبد الحفيظ هارون, القيم التشكيلية والتعبيرية للتماثيل الخشبية في النحت المصري القديم كمصدر للتشكيل النحتي، رسالة ماجستير، قسم التعبير المجسم، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان، 2003.

2. محمود سيد محمود علي، ميكانيكية تدهور الأعتاب الخشبية بالمنشآت الأثرية المدنية بمدينة إسنا دراسة تجريبية في علاج الأخشاب الأثرية وصيانتها، رسالة ماجستير، قسم ترميم الأثار، كلية الأثار، جامعة جنوب الوادي، 2010.

3. مدحت عبد الله، دراسة تجريبية علي بعض المواد المستخدمة في تقوية الاخشاب الملونة تطبيقا علي بعض الاخشاب الاثرية المختارة, رسالة ماجستير، قسم الترميم، جامعة القاهرة، 2009.

4. مدحت عبد الله، دراسة تجريبية علي بعض المواد المستخدمة في تقوية الاخشاب الملونة تطبيقا علي بعض الاخشاب الاثرية المختارة، رسالة ماجستير، قسم الترميم، جامعة القاهرة، 2009.

5. ياسر كمال حفني علي، تقييم استخدام المركبات النانوية متعددة الوظائف في حماية الأثار الجرانيتية مع التطبيق العملي علي نماذج مختارة, رسالة دكتوراه،كلية الأثار، قسم ترميم وصيانة الأثار، جامعة القاهرة، رسالة دكتوراه، 2016.

6. Abdrabou A., Abdallah M., Abd El Kader M., Analytical Study and Conservation Processes of a Painted Wooden Graeco - Roman Coffin, International Journal of Conservation Science, 6 (4), 573-586 (2015).

7. Ashraf. 2009. Handbook-fundamentals.Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

8. Baker,C.A. "Methylcellulose and Sodium Carboxymethyl Cellulose: an evaluation for use in paper conservation through accelerated aging"in" Adhesives and Consolidants"edited by Brommelle,N. et al, the international institute for conservation of historic and artistic works, 1984.

9. Kleuters, W. 1964. Determining local density of wood by beta ray method. Forest Products Journal. 14(9): 414.

10. Kroenke, Karin Roberta. The Provincial Cemeteries of Naga ed-Deir:A Comprehensive Study of Tomb Models Dating from the Late Old Kingdom to the Late Middle Kingdom. University of California, Berkeley, 2010.