مجلة "دراسات في الاقتصاد والتجارة والمالية"
مخبر الصناعات التقليدية - جامعة الجزائر3 المجلد 11 (العدد 01) - سنة 2022
Laboratory of Traditional Industries - University of Algiers 3
ص ص 117-138 *Studies in economics and commerce and finance Review*
ISSN: 2392-5388 EISSN: 2600-6774 **vol. 11 (n° 01) - 2022**

صيانة وترميم خشب المباني التراثية التاريخية
- قصبة مدينة الجزائر نموذجا -

Maintenance and restoration of wood for historical heritage buildings - Casbah of Algeries as a model -

Entretien et restauration du bois pour les bâtiments du patrimoine historique - Casbah d'Alger comme modèle -

جيلالي بوكرادينى* & حمزة محمد شريف**
djilali.boukradini@univ-alger2.dz *med.cherif.hamza@univ-alger2.dz*

تاريخ استلام المقال:2020-10-23 **تاريخ قبول النشر:2022-11-30**

Abstract:

Historic buildings that depend on wood should be preserved by examining and analyzing them to identify their components and characteristics, among the milestones intended for them as archaeological sites. This requires identifying the causes of the damage that led to the deterioration of the wooden archaeological material. This is what we look at through the Casbah of Algiers as a model.

Key words: **W**ood, historical buildings, **T**hermal decomposition, **C**olor change, **R**esistance to pressure, **S**hrinkage, **C**asbah of **A**lgiers as a model.

* جامعة الجزائر 2 (الجزائر) - طالب دكتوراه علوم
jalabouk@gmail.com (المؤلف المرسل)
** جامعة الجزائر 2 (الجزائر) - أستاذ التعليم العالي
mch.hamza@gmail.com

Résumé:

Les bâtiments historiques qui dépendent du bois doivent être préservés en les examinant et en les analysant pour identifier leurs composants et leurs caractéristiques, parmi les jalons qui leur sont destinés en tant que sites archéologiques. Cela nécessite d'identifier les causes des dommages qui ont conduit à la détérioration du matériel archéologique en bois. C'est ce que nous regardons à travers la Casbah d'Alger comme modèle.

Mots clés: **B**ois, **B**âtiments historiques, **D**écomposition thermique, **C**hangement de couleur, **R**ésistance à la pression, **R**étrécissement, **C**asbah d'**A**lger comme modèle.

ملخص:

وجب الحفاظ على المبانى التاريخية التى تعتمد على مادة الخشب، بالقيام بفحصها وتحليلها للتعرف على مكوناتها وخصائصها من الخطوات المهمة التى تهدف عليها كمواقع أثرية. مما يتطلب التعرف على مسببات التلف التى أدت إلى تدهور المادة الأثرية الخشبية. وهو ما نبحث فيه من خلال قصبة مدينة الجزائر نموذجا.

الكلمات المفتاحية: الخشب، المباني التاريخية، التحلل الحراري، التغير اللوني، مقاومة الضغط، الانكماش، قصبة مدينة الجزائر نموذجا.

مخطط المقال:

مقدمة
1) المادة الخشبية وبنيتها التكوينية
1-1) الخشب وأنواعه
1-2) البنية التكوينية للأخشاب
2) ترميم خشب المباني الأثرية - حالة مباني القصبة
2-1) حالة المادة الخشبية فى مبانى القصبة
2-2) منهجية ترميم الأخشاب الأثرية في مباني القصبة
خاتمة

مقدمة:

تعتبر عملية تشخيص مواد البناء الأساسية فى المبانى التاريخية التى تعتمد على مادة الخشب، والقيام بفحصها وتحليلها للتعرف على مكوناتها وخصائصها من الخطوات المهمة التى تهدف على الحفاظ على المواقع الأثرية، كما تعتبر أفضل وسيلة للتعرف على المبنى بشكل جيد، والتى من خلالها يمكن إعداد خطة الصيانة والترميم، كما أن النتائج التى يتم الحصول عليها بفضل الأساليب المختلفة فى الفحص والتحليل، تساعد كثيرا فى توجيه عملية الحفاظ على المسار الصحيح للمبنى، كما تساعد فى التعرف على مسببات التلف التى أدت إلى تدهور المادة الأثرية الخشبية ومن أهم العوامل المؤثرة على تغيرات الخواص الميكانيكية للأخشاب هى درجات الحرارة وأشعة الشمس، الرطوبة، الرياح والضوء بمصادره أما النوع الآخر فهو الراجع إلى التركيب البنائى للأخشاب والعيوب الطبيعية للمادة الخشبية كالعقد وميل الألياف.

وتتمحور إشكالية البحث فى السؤال: **ما هو واقع صيانة وترميم خشب المباني التراثية التاريخية -بالإسقاط على قصبة الجزائر نموذجا-؟**

1) المادة الخشبية وبنيتها التكوينية:

الخشب* في البناء مرتبط باستخدام أجود الأنواع، سواء كان بناء منزل أو أي منشأة، حيث يمكن الاعتماد على أنواع معينة من الخشب التي تتميز بالمتانة والعمر الافتراضي الطويل نسبيًا بما يمكنها من تحمل الأوزان الثقيلة التي يحتويها المنزل، وهذا كان شائعا قديمًا، ولكن مع بعض التطورات التي تجعله حقًا صالح للبناء[1]. ويعود استخدام الخشب من قبل البشر إلى فجر التاريخ. مواد وفيرة ومتوفرة ومتجددة وسهلة التحويل، رافقت البشرية في جميع مراحل تطورها الرئيسية[2].

1-1) الخشب وأنواعه:

الخشب هو مادة صلبة ملتحمة ليفية عضوية من أصل نباتي، تتكون عمومًا من الساق والفرع والجذر*، ويكون الخشب الجزء الأكبر من الشجرة وهو مادة منظمة غير متجانسة مكونة من خلايا مجهرية مستديرة الشكل تتميز بالقدرة على التكاثر أثناء نمو الشّجرة[3]، ولكل شجرة نظام غذائي في دورة كاملة حيث تجمع الشجرة عن طريق الجذور الماء والأملاح المعدنية والمواد الغذائية فيما يعرف باسم العصارة ثم تمتصها لأعلى بفضل عدد كثير من الأنابيب والأوعية الممتدة طوليًا بطول الساق ومن خلال عملية البناء الضوئي، تحول العصارة سكريات ونشويات تستفيد منها الشجرة في عملية النمو[4].

يمكن تعريف الخشب على أنها مادة ليفية ذات جدران خلوية ومادة عضوية مسامية قابلة للاسترطاب يمكن تشكيلها، أي أنها ستتخذ أوضاعًا مختلفة وفقًا للتأثيرات الخارجية أثناء عملية النمو، ويتم الحصول عليها من النباتات الخشبية، وخاصة الأشجار والشجيرات والخشب[5]. وقد كان للخشب استخدامات عديدة على مر العصور من الأدوات الأولى إلى الأسلحة اللازمة للصيد، مرورًا بحرقه (تسخين وطهي الطعام) واستخدامه في موطن الشعوب الرحل والمستقرة. لعبت دورًا رائدًا في البناء حتى نهاية العصور الوسطى. إذا انخفض

---

* جمع "خشب" هو أخشاب، خُشْبَان، خُشُب، وخُشْب.
ارجع إلى:
معجم المعاني الجامع (2021)، «تعريف ومعنى الخشب»، على الخط،
https://www.almaany.com/ar/dict/ar-ar/الخشب/

استخدامه فى البناء لصالح الفولاذ، ثم الخرسانة مع الثورات الصناعية، فإنه لا يزال يحتل مكانًا مهمًا حتى بداية القرن[6].

تنقسم المادة الخشبية وفق تصنيفات متعددة ترتبط بموطنها، إذ توجد أخشاب فى مناطق ولا توجد فى مناطق أخرى، ويتنوع تنوع مظهرها وصلابتها[7]. ويمكن تجميعها حسب خصائصها إلى مجموعتين رئيسيتين[8]:

1. الخشب اللين:

وهو الخشب الحديث الموجود تحت القشرة مباشرة، ويكون فاتح اللون وخفيف الوزن وتكون الحلقات السنوية واضحة في الخشب الرخو أكثر من الخشب الصميمي، وقليلة المقاومة للرطوبة، كما تكون خفيفة الوزن وفاتحة اللّون وتتميز بوجود كمية لا بأس بها من الراتنج مما يعطيها قوة تحمّل ومتانة ولكن معظم الأخشاب الطويلة لا تقاوم الرطوبة، والخشب الرخو أكثر عرضة للإصابة بالكائنات الدقيقة والحشرات وذلك لتوفر المواد الغذائية ونسبة المياه الكبيرة به، كما يقوم الخشب الرخو بوظائف التدعيم وتخزين المواد الغذائية، وبعض أنواع الخشب الرخو تكون ذات أهمية لبعض الأغراض الصناعية كصناعة لب الخشب لأنه خالي من الأصماغ والمواد الملونة أي أنه خشب قابل للتلوين، ويتحول الخشب الرخو تدريجيًا إلى صميمي بتقدم عمر الشجرة، ويكون مجال استعمالها غالبًا في أعمال الأثاث البسيط وأعمال الديكور، والنحت، وأعمال الخرط نظرًا لخصائصها ورخص ثمنها نسبيًا للأخشاب الصلبة، كما تزرع في الغابات البيئية بالمناطق الباردة وتتراوح أعمار الأشجار الصالحة للاستخدام ما بين 35 و40 سنة.

2. الخشب الصلب:

وهو الجزء المركزي من الاسطوانة الخشبية في سوق النباتات والتي طرأت عليه تغيرات أدت إلى توقف عناصره عن أداء وظيفة التوصيل، إلا أنها في نفس الوقت تزيد من قيمته ووظيفته التدعيمية حيث يصبح التدعيم هو وظيفته الوحيدة، وتمتلئ عناصر الخشب الصميمي عادة بمواد مختلفة وداكنة اللون كالراتنج التي تسبب دكانة في لون الخشب، وتتميز هذه الأخشاب بصلابتها وتماسك واندماج أليافها، كما تتميز بقلة امتصاصها للرطوبة وقلة تأثرها بالعوامل الجوية عن الأخشاب اللينة ومعظمها يستخدم في صناعة الأثاث وفي الأشغال الخشبية المختلفة، وهذه الأخشاب الصلبة تحتاج إلى مهارة فنية عالية في التشغيل نظرًا لصعوبة تشكيلها وارتفاع ثمنها، فهي أغلى في الثمن من الأخشاب اللينة ومن أهم هذه الأخشاب الصلبة: خشب الزان، خشب الماهوجني، خشب القرو، خشب البلوط، خشب الجوز.

1-2) البنية التكوينية للأخشاب:

يتكون الخشب أساسًا من السليلوز والهيميسليلوز واللجنين، ويتكون باقي وزنه بشكل أساسي من المواد المتبقية في هيكل الخلية، مما يؤثر على امتصاص الرطوبة وطول العمر، مما يجعله يُستخدم لصنع كل ما تحتاجه البشرية، نظرا للخصائص العديدة التي تختلف عن المواد الأخرى[9].

السليلوز Cellulose:

يعتبر السليلوز من أكثر المواد العضوية تواجدًا في المملكة النباتية فهو المكون الرئيسي لجدار الخلايا النباتية، وأن جزيء السيليلوز يتركب من العديد من الوحدات تتجمع مع بعضها بطريقة لا نهائية في صورة خيطية على شكل سلاسل طولية تتصل وحداتها بروابط كيميائية، وبالتحليل العنصري للسلليلوز نجد أن تركيبه هو $(C_6H_{12}O_6)_n$ حيث يتراوح عدد وحدات الجلوكوز في الجزء السيلولوزي للخشب من (8000-10000) ويتواجد السليلوز في صورة لويفات وكذلك ينتج من تجمع اللويفات في أعداد كبيرة تكون الألياف، ويكون مسؤول بشكل عام عن تقوية الخشب، ويوجد في هيئة ألياف دقيقة صغيرة عادة ما يكون مربع في القطاع العرضي ولكن ليس لها طول محدّد، وتعد وظيفة الألياف الدقيقة للسليلوز منح القوة لجدار الخلية[10].

الهيمسيليلوز Hemicellulose:

يعد الهيمسيليلوز المكون الثاني بعد السيليلوز حيث تتراوح كمية وجوده في جدر الخلايا الخشبية بين 25-40%، وتختلف كميات الهيمسيليوز الموجودة في الجدر الخلوية للأخشاب الصلبة واللينة، فالأخشاب اللينة تحتوي على كميات أقل من الهيمسيليولوز مقارنة بالأخشاب الصلبة وهو مادة عديدة التسكر غير سيليلوزية قابلة للذوبان في القلويات والأحماض المخففة الدافئة، والهيمسيليلوز يشبه السيليلوز في التركيب من الناحية الكيميائية ويرتبط به ارتباطا وثيقا، فهو يتركب من المواد الكربوهيدراتية القابلة للذوبان في القلويات ويتكون من سلسلة روابط كما في السيليلوز ولكن درجة بلمرته أقل من السيليلوز حيث يتركب الجزيء من 200 وحدة فقط، ويعمل الهيمسيلولوز على ربط آليات السيليلوز بعضها ببعض بجانب اللجنين[11].

اللجنين:

يعد اللجنين المكون الثالث فى تركيب خلايا الخشب حيث تتفاوت نسبة وجوده فى أنواع الخشب المختلفة، ففى الخشب الصلب تتراوح بين 19–25% وفى الخشب اللين 25–30%. وهو المادة الداعمة (القوية أو الرابطة) فى الخشب وهو عبارة عن بوليمر متفرع بعكس السيليلوز الذى يعتبر بوليمرا خيطيًا، وتمثل عملية اللجننة (أى ترسيب مادة اللجنيين) المرحلة النهائية من مراحل تكوين جدار الخلية الخشبية، وينتج اللجنيين البروتوبلازم، والجدير بالملاحظة هو ملازمة وجود السيليلوز مع اللجنيين (أى أنه لا يوجد اللجنيين منفصل عن السيليلوز اطلاقًا) فى حين قد يوجد السيليلوز نقيًا تقريبًا فى حالته الطبيعية كما هو الحال فى القطن، ويعتبر المادة المدعمة القوية والرابطة الرئيسية التى تجمع خلايا الخشب مع بعضها والتى تعطيه قوة تماسكه وصلابته[12].

المواد البكتينية:

بالإضافة للمكونات السابقة، هناك نسبة قليلة من المواد البكتينية وهى أيضًا مواد كربوهيدراتية أو مركبات قريبة لها، وتشير بعض الأبحاث العلمية إلى أنه لا توجد هذه المواد فى الخشب القديم (حيث أنها قد تحولت إلى مكونات تشبه اللجنين)، ولكن الرأى السائد هو وجودها بنسب قليلة وبصورة أساسية فى الصحيفة الوسطى والجدار الأولى للخلية النباتية، كما ان المركبات البكتينية مواد غروية، غير متبلورة، مرنة، وهيدروفيلية وهى تدخل فى تركيب المادة البينخلوية التى تربط الجدر الخلوية الفردية، وتوجد المواد البكتينية مرتبطة بالسليلوز فى الطبقات المكونة للجدر الخلوية، وتتميز كذلك بذوبانها فى الماء المعتدل.
وبالإضافة إلى المكونات الكيميائية فى الخشب يوجد مركبات أخرى تسمى المستخلصات الخشبية، وهى عبارة عن ترسيبات فى جدران وتجاويف الخلايا الخشبية التى تشتمل على المركبات ذات التركيب الجزيئى المنخفض، وسميت هذه المستخلصات بهذا الاسم اعتمادًا على إمكانية استخلاصها من الخشب بواسطة الماء البارد أو الساخن أو بواسطة المذيبات العضوية، وهى المسئولة عن لون ورائحة وطعم الخشب، ومقاومته الطبيعية للتحلل بواسطة الفطريات والحشرات، وهذه المواد أيضًا تؤثر على كثافة الخشب وثبات أبعاده ضد التغيرات فى الرطوبة المحيطة به (الانكماش والانتفاخ) كما تؤثر فى نفاذية ومسامية وسرعة عملية تجفيف الأخشاب[13].

2) ترميم خشب المباني الأثرية - حالة مباني القصبة:

شهدت قصبة الجزائر تنوعا فنيا فى هيكلة مبانيها على غرار الأسواق والحدائق والطرق، لتعبر عن تمازج الثقافات والحضارات وانفتاحها على الثقافات الأخرى، ولعل مبانيها وزخرفتها والتى تعتمد أساسا على الخشب فى البناء[14].

2-1) حالة المادة الخشبية في مباني القصبة:

إن استعمال الأسقف الخشبية شائع الاستعمال كون أن مادة الخشب تنفرد بخصائص كسهولة استعماله وخفة وزنه كما تساهم فى عزل الحرارة وتدعيم لبناء فى شكل عوارض وروافد المادة الخشبية بصفتها مادة استرطابية فهى تتأثر بعوامل مختلفة نساهم فى الاقلال من خواصها الميكانيكية والفيزيائية[15]. وبما أن مدينة الجزائر تنتمى لمناخ البحر الأبيض المتوسط الذي يتميز باعتدال الطقس، نلاحظ فيه فصلين متباينين، الأول مطير ودافئ وطويل وهو الشتاء، والثانى جاف وحار وقصير وهو الصيف، والمدى الحرارى بت ضئيل عمومًا[16]، وبالتالى نلاحظ أن الخواص الميكانيكية للخشب تتأثر نتيجة لعوامل التلف المختلفة المحيطة بت كالحرارة والضوء والرطوبة بصفتها حلقة وصل بين هذه العوامل من جهة والعيوب الداخلية فى المادة الخشبية نفسها كالعقد والانحناء والانكماش من جهة، وتتمثل فى عوامل عدة.

الرطوبة:

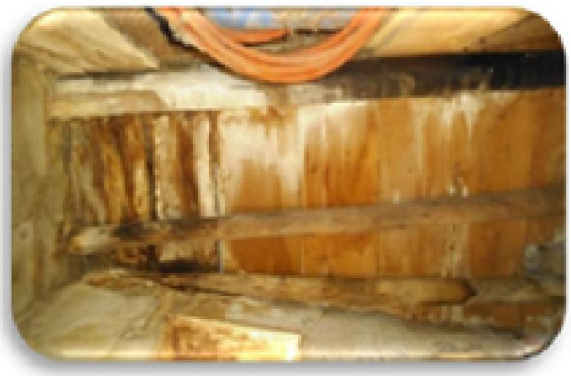
إن موقع القصبة بمحاذاة البحر يجعلها معرضة لتغيرات معدل الرطوبة الذي يؤثر على الأخشاب المستعملة فى مختلف بنياتها تؤثر الرطوبة النسبية على درجة تشبع الخشب بالماء، وبتوقف هذا المحتوى على كمية الرطوبة الفعلية الموجودة فى مقدار معين من الهواء وكذلك درجة حرارة الهواء المحيط، وتقدر الرطوبة النسبية فى الهواء بنسبة بخار الماء فى حجم معين من الهواء على وزن بخار الماء فى نفس هذا الحجم عند درجة التشبع. وعلى ذلك، فإن الخشب يمتص الرطوبة من الهواء، ويفقدها بناء على التغير فى الرطوبة النسبية مما يؤدي إلى زيادة أو نقص الماء الحر بالخشب وبالتالى إلى انتفاخ الخشب وانكماشه علاوة على سريان ذلك الماء على هيئة ماء فى تجاويف الخلية مما يسمح للألياف بالانزلاق الواحدة فوق الأخرى، هذه الظاهرة تفسر عن طريق اكتساب زيادة فى المرونة، وعندما يحدث ارتفاع فى الحرارة فإن الماء الحر المحتوى داخل الخشب يتبخر وينتج عن ذلك جفاف ويتضح ذلك في

تقارب الألياف مع بعضها البعض، هذه الظاهرة تتصف بفقدان مرونة الأنسجة ويصبح الخشب غير طبيعي وقابل للتشققات،

الصورة 01

رطوبة على الجدران وفي الأخشاب نتيجة تسرب مياه الأمطار أو مياه الرشح مع حدوث انتفاخ وتمدد في أبعاد الخشب

الصورة 02



طبقة من الاتساخ تغطي الخشب بتأثير التلوث الجوي الذي يساهم مع الرطوبة في ظاهرة التعفن

وتبدو من خلال مظاهر التلف على المادة الخشبية أن نسب الرطوبة تؤثر تأثيرا متفاوية حيث تؤثر الرطوبة المرتفعة (أكثر من 75%) على المادة الخشبية بواسطة امتصاصها لكميات كبيرة من الرطوبة مما يؤدي إلى انتفاخ الخشب وزيادة وزنه وتمدده، كما تتسبب فى تكثيف قطرات من الماء على السطح والذى بدوره يدعم الرابطة بين جزيئات التلوث وسطح الأثر مسببة اتساخه بالإضافة إلى أنها تعمل على إذابة الغازات الملوثة للهواء وتكوين الأحماض المتلفة للأثر وهذا ما يساعد نمو الكائنات الحية الدقيقة سواء فطريات أو بكتيريا التى تتغذى على السيليلوز المكون لخلايا الخشب، أما تأثير الرطوبة المنخفضة (أقل من 35%) فيظهر جليا من خلال انكماش المادة الخشبية بفعل فقدها للماء حيث تظهر تشوهات الالتواء والتشققات وانفصال وشروخ، أما التغيرات المفاجئة فى نسب الرطوبة فتؤدى إلى حالة عدم الاستقرار والاتزان من خلا ظاهرة انتفاخ الخشب بفعل امتصاص الرطوبة وارتفاع نسبتها فى الهواء المحيط، وانكماش بفعل فقد هذه الرطوبة عند انخفاضها فى الهواء المحيط. وينتج عن ذلك التأثيرات، حدوث تغيرات فى أبعاد الخشب ويفقده القوى الميكانيكية، بالإضافة إلى تشوهات الالتواء (الانحناء، الالتواء، الالتفاف، والتقوس)، كما تظهر تغيرات فى أبعاد الخشب إلى تشقق وانفصال الأجزاء انفصالا جزئيا أو انفصال كامل فى صورة قشور حيث تظهر مظاهر التلف وتأثير هذا العامل في العناصر الخشبية المستعملة فى التسقيف الداخلى بالقصبة خاصة عند تسرب مياه الأمطار[17].

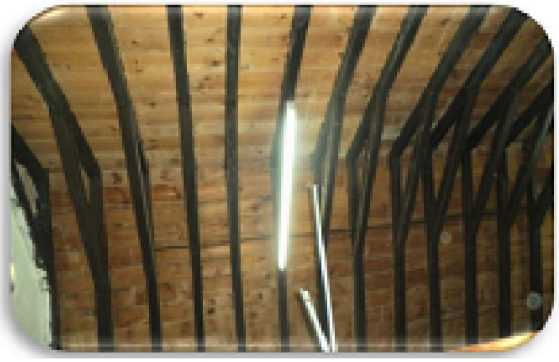
الضوء:

يتضمن التأثير الإتلافي للضوء على الأخشاب ما يلي[18]:
-يؤدي إلى اصفرار الأخشاب وضعفها وتقصفها، ويعود ذلك إلى تأثير الأشعة فوق البنفسجية والتي تحلل الألياف ضوئيا مما يؤدي إلى تكسير جزيئات السيليولوز. كما أن الأخشاب الفاتحة اللون عند تعرضها لأشعة الشمس لمدة طويلة وفي ظروف جوية جافة يتغير لونها إلى اللون البني القاتم، في حين يتحول إلى اللون الرمادي في ظروف جوية رطبة، ويرجع هذا التحول إلى عملية الأكسدة للأشعة فوق البنفسجية والتي تؤكسد اللجنين كما أن تحول اللون إلى اللون الرمادي يعود إلى طرد منتجات اللجنين الذائبة أو القابلة للذوبان إلى خارج الخشب، ويلاحظ تعرض بعض أنواع الخشب للضوء المرئي وللأشعة فوق البنفسجية القريبة إلى ظاهرة التبييض -أي يكون الخشب أكثر بياضا- ويرجع ذلك إلى ظاهرة الوهن الضوئي، وبالرغم من أن الطاقة المتولدة عن هذه الموجات غير كافية لكسر الروابط بين ذرات الجزيئات الكبيرة المكونة للألياف إلا أن التلف يستمر بصفة غير مباشرة نتيجة للتعرض المستمر للضوء مما يؤدي إلى ظاهرة التبيض وما يصاحبه من تهتك للجزيئات.

الصورة 03

ظاهرة التغير اللوني بسبب الضوء الطبيعي الذي أدى إلى اصفرار الخشب وضعفه بسبب تحلل الألياف الناتج عن تأثير الأشعة فوق البنفسجية

الصورة 04



تأثير الضوء الاصطناعي على السطح الداخلي لعوارض التسقيف

كما تؤثر الأشعة تحت الحمراء في رفع درجة حرارة الجو المحيط بالأثر لما تحتويه من طاقة حرارية مما يؤدي إلى تلف الأثر بفعل الحرارة المتولدة، أما الأشعة فوق البنفسجية والموجات القصيرة في الضوء المرئي وخاصة في وجود الرطوبة فهي تساهم تغير اللون مسببة بهتان أو

اضمحلال أو زوال بعض الألوان الحساسة للضوء نتيجة لعملية الأكسدة الضوئية وهو تلف غير استرجاعي. ويساهم الضوء بصفة عامة في تلف المواد البروتينية (كالغراء) المستخدم كوسيط لوني وكذلك في لصق مادة التذهيب وذلك في وجود الرطوبة وتتسبب الأشعة تحت الحمراء في حالة الإضاءة الصناعية والتي لها تأثير حراري فعال إلى انفصال وتقشر لأجزاء من طبقة التلوين ويطلق على هذه العملية مصطلح التقشير ويؤثر هذا العامل في الأجزاء الداخلية من خلال استعمال سكان القصبة للمصابيح بالقرب من عناصر السقف الخشبية أو عامل أشعة الشمس خارجيا.

التأثير الإتلافي للحرارة:

تلعب درجة الحرارة المحيطة بالآثار الخشبية دورا هاما في تلفها وذلك لحساسية الأخشاب الشديدة للتغيرات في درجة الحرارة نتيجة لخاصيتها الهيجروسكوبية، حيث ترتبط درجة الحرارة ارتباطا وثيقا بعامل الرطوبة النسبية، ويتوقف تأثير كل منهما على الآخر حيث أننا نجد أنه في حالة ارتفاع الرطوبة النسبية تنخفض الحرارة والعكس صحيح، ويمكن تناول التأثير الإتلافي للحرارة على خشب تسقيف بنايات القصبة كما يلي[19]:

- يتسبب ارتفاع درجة الحرارة المحيطة بالآثار الخشبية في تبخر جزء من محتواه المائي مما يؤدي إلى حدوث جفاف لجدران الخلايا وبالتالي يحدث الانكماش في الخشب مما ينتج عنه تغير في أبعاده وحدوث التشققات أو تشوهات الالتواء كما لوحظ أن متانة الخشب تنخفض مع ارتفاع الحرارة وتزيد مع البرودة؛
- كما أن التحلل الحراري البطيء أو الانحلال الحراري الذي يحدث من خلال استمرار التعرض لدرجات الحرارة العالية وبمرور الزمن إلى تحلل الخشب حيث يفقد جزء من الماء الذي يدخل في تركيبه مسببا حدوث نقص في وزنه (يتم ذلك في وجود أو عدم وجود الأكسجين وان كان يتم بمعدل أبطأ في عدم وجود الأكسجين)، ويتحكم في حدوث التحلل الحراري البطيء للخشب عاملان يتناسبان معا طرديا وهما عامل الزمن وعامل الحرارة التي يتعرض لها الخشب، أو كلما ارتفعت درجة الحرارة وزادت وطالت الفترة الزمنية زاد تأثير التحلل البطيء للخشب، والخشب القديم يكون أكثر تعرضا للتحلل الحراري البطيء وفقدان جزء من الماء الداخلي في تركيبه وذلك بمرور الزمن عليه عند درجة الحرارة العادية، وتعد الرطوبة عاملا مساعدا على سرعة التحلل الحراري البطيء في درجات الحرارة العادية لأن عملية التحلل المائي لمكونات الخشب والتي تحدث بفعل الرطوبة تتماشى مع عمليات التحلل الحراري البطيء، حيث يصبح تأثير التحلل مزدوج، مما يساعد على زيادة نسبة التلف في الخشب، ومن آليات التلف الشائعة بسبب التحلل الحراري ظاهرة تمزق الهيمسليولوز والسيليولوز ثم اللجنين مما ينتج عنه تآكل الخشب وضعفه وهشاشيته، حيث يمكن أن تنفصل ألياف كاملة منه عند تعرضه للاحتكاك

فيكون قليل المقاومة سهل الخدش والكسر، وتظهر بعض الألياف نافرة على سطحه حيث تنفصل بسهولة، كما تتسبب الحرارة فى توفير الطاقة اللازمة لنشاط الكائنات الحية الدقيقة ولنمو الحشرات المتلفة للآثار، مما يؤدي إلى الزيادة فى تلف المادة الخشبية.

الصورة 05

شروخ وانفصالات منها ما هو متسع عميق والبعض دقيق سطحي على طول الرافدة الخشبية بسبب تأثير التعرض لدرجات الحرارة لفترة طويلة

التلوث الجوي:

يعرف التلوث الجوي بصفة عامة بأنه كل تغير كمى أو كيفى فى مكونات البيئة الحية وغير الحية والذى لا تقدر الأنظمة البيئية على استيعابه دون أن يختل اتزانها، والتغير الكمى يمكن أن يكون بزيادة نسبة المكونات الطبيعية أما التغير الكيفى فيكون بإضافة مركبات غريبة عن الأنظمة البيئية الطبيعية حيث تعرف هذه المركبات فى هذه الحالة باسم الملوثات والتى تؤدي إلى نتائج ضارة بالأثر، ويزداد التلوث الجوي بسبب التقدم الصناعى نظرا لارتفاع نسبة النفايات والمخلفات الناتجة عن المصانع والسيارات مما يزيد نسبة الأدخنة والغبار المتطاير فى الهواء والذي يؤدي بدوره إلى زيادة تأثير التلف على الآثار، ومن أهم عناصر التلوث الجوي تأثيرا على الآثار العضوية وخاصة الأخشاب نجد الهيدروكربونات الغازية المنبعثة من الاشتعال غير الكامل لمواد الوقود وأهمها غاز ثانى أكسيد الكبريت، وغاز كبريتيد الهيدروجين، وأكاسيد النيتروجين، وغاز الأوزون[20].

وفيما يلي تناول أهم هذه الملوثات وتأثيرها الإتلافي على الأخشاب، ومن غازات التلوث الجوي[21]:

- غاز ثاني اكسيد الكبريت So2:

المصادر الرئيسة لوجود ثاني أكسيد الكبريت في الهواء هي حرق الوقود سواء في المصادر الصناعية وبالإضافة إلى الكثافة المرورية بالمنطقة، يؤثر هذا الحمض على الأخشاب حيث يسبب تلف الخشب وتآكله وانفصال أليافه ويؤدي إلى تلف سطحه وتنافر أليافه وتحوله إلى الشكل المعروف باسم مظهر الصوف، ويتفاعل حمض الكبريتيك مع مادة كربونات الكالسيوم المتواجدة في الجو إلى كبريتات الكالسيوم على سطح الأثر وفقا للمعادلة التالية:

$$H_2SO_4+CaCO_3+H_2O \longrightarrow CaCO4+2H_2O+CO_2$$

حيث ينشط هذا التفاعل في وجود آثار من أكسيد الحديد في درجة حرارة عالية أو في وجود ضوء مما يزيد من معدل التلف، وتؤثر عملية تحلل غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 إلى حمض الكبريتيك بمساعدة الأتربة المتواجدة على الأثر (أكاسيد الحديد أو النحاس) إلى ضعف أو تبقع وتهتك وتحلل السليولوز واعطائه مظهر الهشاشية للألياف، وكذلك يعطى لون الاصفرار للخشب نتيجة هذا التحلل ويؤدي أيضا إلى قصر الألوان.

- غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2:

تبلغ نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون حوالي 15%في الطبيعة وهو ينتج من الاحتراق غير الكامل للوقود وكذلك يتولد من المصادر الطبيعية لتنفس الإنسان، ومن أكسدة أول أكسيد الكربون، ويزيد المعدل السنوي لغاز ثاني أكسيد الكربون نتيجة للتقدم الصناعي وهو يقوم كعامل متلف حيث يؤدي إلى تلف الآثار بتأثير الحرارة العالية حيث أن غاز ثاني أكسيد الكربون يسبب رفع درجة حرارة الجو.

- غاز ثاني أكسيد النيتروجين NO_2:

إن هذا الغاز مع وجود الرطوبة يكون خليط من حمض النيتريك وحمض النيتروز حيث ينحل هذا الأخير إلى حمض النيتريك وأكسيد النيتريك والماء وفقا للمعادلات الآتية:

$$2NO_2+H_2O \rightarrow HNO_3 \text{ حمض النيتريك} + HNO_2 \text{ حمض النيتروز}$$

$3HNO_2 \rightarrow HNO_3+2NO+H_2$ حيث يقوم الحمض كعامل متلف على النحو التالي:ويحلل الحمض السليولوز تحليلا مائيا يتضمن كسر الروابط الجلوكيزيدية في سلاسل السيليولوز حيث ينتج سلاسل أصغر ذات وزن جزئي أقل هي الهيدروسليولوز وبالتحلل المائي الكامل تنتج في النهاية وحدات الجلوكوز 1، حسب المعادلة التالية:

$$(C_6H_{10}O_5)_n+NH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6$$

العيوب الطبيعية للخشب:

تنشا العقد الخشبية من توالد الفروع من الساق الأم حيث تكون قاعدة الفرع مغمورة داخل النسيج الخشبى، وعند عمل قطاع طولى [وهو اللوح الخشب المنشور] فى هذه المنطقة، تظهر فيه العقدة من خلال اتصالها بالنسيج الخشبي، حيث تعد فى هذه الحالة قطاع عرضى للفرع مغمور داخل القطاع الطولى للساق، وهناك أنواع مختلفة من العقد منها العقد المحاطة بالنسيج الخشبى والعقد المتداخلة مع الألياف، وهى تنحصر فى نوعين أساسيين هما[22]:

1. العقد الحية: هى اثأر من فروع مدفونة داخل جذع الشجرة إثناء عملية النمو. وتظهر على شكل دوائر آو أشكال بيضاوية لونها أغمق من لون الخشب نفسه. ولا ينتج عنها مشاكل كبيرة رغم أنها عيب بالخشب وتكون ملتصقة بشدة بألياف الخشب المحيطة بها حيث يحتوي على نسبة عالية من المواد الصمغية؛
2. العقد الميتة:تتكون نتيجة وجود فرع جاف ميت وتحيط به ألياف الجذع. ويعد هذا العيب احد العيوب الخطيرة ليس فقط من ناحية الشكل ولكن من الناحية الإنشائية فان هذا يؤدي إلى ضعف الخشب بحيث لا يعتمد عليه كخامة إنشائية كما أنها تعيق تصنيع الخشب حيث تنفصل منه عند عملية المسح آو الشق ويميل لونها إلى الأسود وتقل نسبة المواد الصمغية فيها.

الصورة 06

تآكل للعقد بسبب ظاهرة التسوس والإصابات الحشرية

الصورة 07

عقد خشبية من النوع شبه منفصل من السهل انفصالها عن الألياف بسبب خلخلتها عند تعرضها لعامل الحرارة والجفاف

الانكماش:

إن الخشب ليس من المواد المتجانسة، وبالتالى فانه من خلال عملية التجفيف ينكمش بمعدلات مختلفة تبعا لاتجاه الألياف ومن المعروف انه كذلك مادة هجروسكوبية محبة للماء نظرا لوجود مجاميع الهيدروكسيل الحرة وسلاسل السليلوز والهيميسيليلوز واللجنين والتى لها القدرة على تكوين روابط هيدروجينية مع الماء، إذا امتص الخشب الماء أو بخاره من الوسط المحيط به فانه ينتفخ واذا فقد الماء نتيجة لعمليات التجفيف فانه ينكمش (الصورة 09).

الصورة 08

ظاهرة الالتواء بخشب تسقيف متعرض لضغط موازي للألياف

الصورة 09

ظاهرة انكماش روافد تسقيف نتيجة جفاف الخشب

2-2) منهجية ترميم الأخشاب الأثرية في مباني القصبة:

يعتبر الخشب مادة بناء ثانوية فى المبانى التاريخية، فيما عدا المنشئات المقامة أساسا على مادة الخشب يتواجد الخشب فى المبانى التاريخية إما فى النوافذ أو الأبواب أو الأسقف أو كعوارض خشبية داخل الجدران، كما تستخدم فى بعض الأعمال الزخرفية مثل المشربيات. ومسببات تلف العناصر الخشبية فى المبانى هى الرطوبة والضوء والحشرات والكائنات الحية الدقيقة، حيث تؤدى هذه المسببات أو العوامل إلى إضعاف بنية الخشب وفقده لوظيفته فى المبنى سواء الإنشائية أو تشويهه وتغير لونه وبالتالى فقده لقيمته الجمالية.

يعتمد نوع التدخل في صيانة العناصر الخشبية على نوع الإصابة البيولوجية ودرجة التلف التى تلحق الخشب[23]:

- التنظيف:

تبدأ عملية التنظيف أولا بأعمال التنظيف الميكانيكى باستخدام الفرش الناعمة والخشنة مع مراعاة عدم التأثير على سطح الخشب، لإزالة الأتربة والعوالق المتراكمة على سطح الخشب، وفى حالة عدم جدوى التنظيف الميكانيكى يتم اللجوء إلى التنظيف الكيميائى باستخدام خليط من الماء والكحول بنسبة 2:1 لضمان سرعة تبخر الماء.

- العلاج ضد التلف البيولوجى:

يتعرض الخشب للتلف بفعل عوامل تلف بيولوجية مختلفة مثل العفن البنى والعفن الأبيض والعفن الجاف وبعض أنواع الحشرات، وبناء على نوع التلف البيولوجى يتم تحديد طريقة التدخل من حيث اختيار المواد المناسبة لمكافحتها وعلاجها وينبغى أن تتوافر فى المواد المستخدمة فى مكافحة التلف الناتج عن الكائنات الحية الدقيقة والحشرات بعض المواصفات أهمها أن تكون غير ضارة بالإنسان وقليلة التكلفة وقادرة على القضاء على الفطريات والحشرات بجميع أطوار حياتها وكذلك سهلة التطبيق، ومن المواد الممكن استخدامها فى تعقيم الأخشاب هو محلول السيديال بنسبة 3%، حيث يتم التطبيق على جرعتين والفاصل الزمنى بين كل منهما 3 أسابيع ويمكن استخدام محلول البنتاكلوروفينول كمضاد فطري بنسبة 3% مذاب فى الكحول، ويتم التطبيق بالفرشاة عن طريق الدهن.

- التقوية والعزل:

بعد الانتهاء من تنظيف سطح الخشب وعلاجه ضد التلف البيولوجى يتم تقويته وعزله عند الحاجة لزيادة قوته واعادة ربط أليافه المنفصلة وينبغى فى مواد التقوية أن تتوافر بها بعض المواصفات كأن تتميز بقدرة عالية على التغلغل بداخل الخشب ولا تتكمش عند جفافها وتصلبها، كما يجب أن تكون لها القدرة على ربط ألياف الخشب مع قابلتها للاسترجاع، بالإضافة إلى ثباتها مع الزمن ولا يتغير لونها أو تؤثر بشكل سلبى على الخشب، ومن المواد الممكن استخدامها فى عملية التقوية والعزل، زيت الكتان المذاب فى الماء بنسبة 5%، ويُستخدم البارالويد 72 فى تقوية الأخشاب الجافة.

- الإصلاح:

يتم فى هذه العملية بعض الأعمال مثل استكمال أو استبدال أجزاء تالفة من العناصر الخشبية أو تقويتها ميكانيكيا أو أعمال ملء للشروخ والفجوات فى الخشب. ويتم علاج الشروخ والفجوات عبر الخطوات التالية:

- ✓ تنظيف الشرخ أو الفجوة بالفرشاة ومن ثم بالماء والكحول؛
- ✓ معالجة المكان التالف بأحد المبيدات الفطرية والحشرية لعدة مرات يوميا؛

- ✓ وملء الشرخ بعجينة مالئة مثل نشارة الخشب المطحونة والمخلوطة مع مادة لاصقة أو باستخدام احد العجائن المالئة للأخشاب المتوافرة في الأسواق بألوان مختلفة وذلك بعد تجربتها والتأكد من عدم إضرارها بالخشب.

- استكمال أو استبدال أجزاء تالفة أو مفقودة:

تتم هذه العملية عندما يكون هناك جزء تالف فى الخشب ولا يمكن تقويته أو أن يكون هناك جزء مفقود ويحتاج إلى استكمال. وعند استكمال أو استبدال أجزاء من الخشب لابد من الوضع في الاعتبار الأمور التالية:

- ✓ نوع الخشب: يفضل عند الاستكمال استخدام خشب من نفس نوع الخشب القديم، وينبغي الانتباه إلى ضرورة الابتعاد عن استخدام أخشاب صلبة في استكمال أجزاء ناقصة من أخشاب لينة؛
- ✓ التنظيف الميكانيكي بالفرشاة ومن ثم بالماء والكحول؛
- ✓ المعالجة بمبيد فطري وحشري بالتشبيع بالفرشاة لعدة مرات على عدة أيام؛
- ✓ لصق القطعة الخشبية البديلة بواسطة لاصق أو غراء من أصل حيواني أو نباتي؛
- ✓ وبعد جفاف اللاصق، يتم عزل سطح الخشب بأحد العوازل مثل زيت الكتان لعدة طبقات قد تصل إلى ثلاث طبقات، ويتم التطبيق بعد جفف كل طبقة.

- علاج مشكلة النمل الأبيض:

إن السبب الوحيد لوجود النمل الأبيض فى المبانى هو البحث عن الطعام والمتمثل فى السيليولوز الموجود فى الأخشاب والقطن والأوراق الموجودة فى المبنى. وجود النمل الأبيض ومهاجمته لهذه العناصر ممكن أن يؤدى إلى إضعاف المبنى والقضاء على مكوناته. وللتحكم في النمل الأبيض يمكن اتخاذ التدخلات التالية:

- ✓ الفحص الدوري: من المهم جدا ضمن الفحص الدوري للمباني التاريخية أن يتم الكشف عن الإصابة بالنمل الأبيض، بغرض التعرف على وجودها ونشاطها قبل أن تتسبب بتلفيات خطيرة للمبنى؛
- ✓ القضاء على المستعمرة:للقضاء على مستعمرة النمل الأبيض المسؤول عن تدمير يمكن استخدام مواد معينة، ويستلزم قبل اتخاذ خطوة العلاج السابقة أن يتم التحقق أولا من الأماكن النشطة بالنمل الأبيض، وأن يتم تطبيقها بأقل قدر من الاضطراب لهذه الخلايا النشطة. مع مهارة عالية في التطبيق؛
- ✓ واجراءات الوقاية الكيميائية: للحماية من هجوم النمل الأبيض يمكن تطبيق حواجز كيميائية في التربة، بحيث يتم معالجة التربة أسفل أساسات المباني لمنع دخول النمل للمبنى.

وتعتبر الميزة الحاسمة فى المادة الخشبية باعتبارها مادة أساسية فى بناء الأسقف هى سعة الوزن والمقاومة للأحمال والمتمثلة فى مقاومة إجهاد الضغط والشد والصدمات، وقد لوحظ أن هذه المادة بصفتها مادة عضوية غير متجانسة تتعرض لكثير من العوامل التى تؤثر عليها وتتلفها، حيث تختلف هذه العوامل فى أسلوب وطريقة إحداث هذا التلف، فقد تكون موجودة داخل المادة الخشبية بذاتها كالعقد وعدم انتظام الجذع حيث تمثل العقد نقط ضعف وتشويه خاصة عند انفصالها عن موضعها تاركة فجوة خلفها مما يؤدي إلى نقص الوزن فيزيائيا وضعف البنية ميكانيكيا وبالتالى التقليل من مقاومة الضغط الموازي أو العمودي على الألياف فى اتجاه أماكن هذه العقد، أو قد تكون عوامل خارجية فيزيوكيميائية كالحرارة الرطوبة والضوء حيث تؤدي هذه العوامل مجتمعة خلال مدة زمنية معينة إلى التأثير على مقاومة الأخشاب وضعف خواصها الميكانيكية بالإضافة إلى التغير فى الشكل والتركيب الداخلى لها، فالرطوبة ومن خلال أشكالها المختلفة تساهم فى إنقاص الخواص الميكانيكية حيث يزداد تأثيرها بمساعدة العوامل الأخرى كالحرارة والضوء وهذا ما يؤدي إلى نتائج كتآكل وضعف العوارض الخشبية خاصة عند التقائها مع الجدران بالإضافة إلى هشاشة وضعف فى سطح المادة الخشبية مع ظهور شقوق وانفصال فى روافد وعوارض التسقيف حدوث تقوس فى الخشب وانفصال القشرة مع قابلية للإصابة بالكائنات الحية.

خاتمة:

تعتبر الميزة الحاسمة فى المادة الخشبية باعتبارها مادة أساسية فى بناء الأسقف، هى سعة الوزن والمقاومة للأحمال والمتمثلة فى مقاومة إجهاد الضغط والشد والصدمات، وقد لوحظ أن هذه المادة بصفتها مادة عضوية غير متجانسة تتعرض وتتلف نتيجة عوامل (موجودة أصلا داخل المادة الخشبية بذاتها أو خارجها فيزيوكيميائية كالحرارة والرطوبة والضوء. ومن خلال عملية التشخيص الميدانى لحالة الأسقف الخشبية بقصبة الجزائر لاحظنا أن العناصر الخشبية المكونة للسقف تعتبر عنصرا هام للمقاومة الميكانيكية كونها حاملة للضغوطات الخارجية ومختلف القوى والاجهادات الواقعة عليها.

توصلنا تشخيص مظاهر التلف والعوامل المسببة لها، والتى يمكننا إعداد برنامج صيانة وترميم، ومن **النتائج:**

- تآكل وضعف العوارض الخشبية القديمة خاصة عند التقائها مع الجدران، وبسبب الأملاح المعدنية الناتجة عن الطبقات الإسمنتية بعد تفاعلها مع الرطوبة ومياه الأمطار؛
- وجود عوارض خشبية منحنية وأخرى مكسورة نتيجة الثقل الواقع عليها؛
- يلاحظ أن أجزاء السقف الممتدة إلى الخارج أكثر تلفا من الأجزاء الموجودة بالفضاء الداخلى؛
- الأمطار هى من أهم مصادر الرطوبة التى تسقط على الأسقف الخشبية؛
- المادة الخشبية مادة عضوية هيجروسكوبية تتأثر بعامل الرطوبة النسبية حيث تمتص وتفقد الرطوبة فى الجو الرطب والجو الجاف على التوالى، وبالتالى تنكمش وتتمدد تبعا لذلك مسببة تلف الأسقف؛
- وهشاشة وضعف فى سطح الخشب نظرا لوجود عيوب طبيعية مثل العقد التى تأثر بانفصالها أو تعفنها.

وبناء على نتائج التحليل، هناك بعض **التوصيات:**

- ضرورة بذل الجهود فى سبيل علاج وصيانة العناصر الخشبية التى تعتبر جزء مهما من التراث المعماري؛
- إصدار قوانين وتشريعات تنظم عمليات وممارسة الترميم ووضع منهج وقاية من التلف كهدف لحماية المواقع الأثرية والصد للتدخلات العشوائية وأخطاء الترميم؛
- إجراء فحص وصيانة لعناصر السقف بشكل دوري ومستمر، وبعد كل تساقط للأمطار؛
- إصلاح وسد الشقوق والثقوب الموجودة فى السطوح؛
- وقد يكون اللجوء إلى عملية استبدال الأخشاب التالفة خيارا مطروحا ولازما، وينبغى أن تتم عملية الاستبدال في أضيق الحدود.

الهوامش والمراجع:

1 مقال (2020)، «أجود أنواع الخشب المستخدم في البناء»، 2020/07/30، الاطلاع 2020/09/17، *https://gmengoffice. com/construction-wood/*

2 France Bois Forêt (2021), «Questions réponses - Le Bois dans la construction», France Bois Forêt, Paris, p. 5. *https://franceboisforet. fr/wp-content/uploads/2020/09/final_Brochure_le_bois_dans-la-construction. pdf*

3 Yona Arnaud Maxime CHEUMANI (2009). «Étude de la microstructure des composites bois/ciment par relaxométrie RMN du proton», Thèse de doctorat en Electronique, Université bordeaux 1, p. 30.

4 Jean CAMPREDON (1975), «Le bois», col. Que sais-je? n° 382, PUF, Paris, p. 8.

5 علاء الدين-كوم (2021)، «الخشب ما هو؟ أقسام، مصادر استخدام، أنواع»، على الخط، الاطلاع في 2020/09/20، *https://alalddin. com/الخشب-ماهو-؟-اقسام-مصادر-استخدام-انواع/*

6 France Bois Forêt (2021), op. cit. p. 5.

7 Comité National pour le développement du bois –France – CNDB (2020), «Guide d'utilisation du bois», CNDB, Villeneuve d'Ascq (France), p. 18, *https://www. bois-et-vous. fr/images/Guide_utilisation_bois_3849e. pdf*

8 ارجع إلى:

- حنان علي (2010)، «معالجة الأخشاب باستخدام المواد الطبيعية تطبيقا على العناصر المعمارية الخشبية في احد المباني التراثية في قرية سحم»، رسالة ماجستير، جامعة اليرموك، إربد، ص 38؛
- Parvis NAVI & Dick SANDBERG (2012), «Thermo-Hydro-Mechanical Wood Processing (Engineering Sciences - Materials)», EPFL Press (École polytechnique fédérale de Lausanne), Lausanne, p. 66.

9 علاء الدين-كوم، مرجع سبق ذكره.

10 ارجع إلى:

- John C.F. WALKER (1993), «Primary wood processing primary wood processing principles and practice», Chapman & Hall, London, p. 23;
- Mohamed JEBRANE (2009), «Fonctionnalisation chimique du bois par transesterification des esters d'enol», thèse de Doctorat, Université bordeaux1, p. 14.

11 Mohamed JEBRANE, op. cit, p.15.

12 Marie-Claude BERDUCOU (2002)، «الحفظ في علم الآثار، ترجمة، المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية، القاهرة، ص 317.

13 Marie-Christine TROUY (2015)**,** «Anatomie du bois Formation, fonctions et identification», édition Quae, Versailles, pp. 22-23.

14 بدر الدين بلقاضي & مصطفى بن حموش (2007)، «تاريخ وعمران قصبة الجزائر من خلال مخطوط ألبير ديفولكس»، دار موفم للنشر، الجزائر، ص ص 227-233 (بتصرف).

15 عبد الحق معزوز (2011)، «العمارة الصحراوية التقليدية بمدينة تندوف»، المؤسسة الوطنية للفنون المطبعية، الجزائر، ص 131.

16 محمد الهادي لعروق (2009)، «أطلس الجزائر والعالم»، دار الهدى، عين مليلة، ص 18.

17 ارجع إلى:

- هزاز عمران (1997)، «المباني الأثرية، ترميمها، صيانتها، والحفاظ عليها»، المديرية العامة للآثار والمتاحف، دمشق، ص 72؛
- Marie-Claude BERDUCOU، مرجع سبق ذكره، ص 221.
- وائل جمال حسام الدين (2020)، «عوامل ومظاهر التلف المؤثرة على المخطوطات الورقية وكيفية العلاج والصيانة»، 2020/07/24، الاطلاع 2020/09/17،

http://engwaelgamal.blogspot.com/

18 ارجع إلى:

- J.-M. CRONYN (1990), «The Elements Of Archaeological Conservation», Routledge, London, p. 37;
- Garry THOMSON (1986), «The Mussem environment Butterworth Heinemann», Routledge, London, pp. 10-16.

19 Alfred J. STAMM (1970), «Wood deterioration and its preventionPreprints of the contributions to the New York Conference on Conservation of Stone and Wooden Objects», International Institute for Conservation, London, 7-13 June 1970, pp. 1-12.

20 أرجع إلى:

- رشيد الحمد (1979)، «البيئة ومشكلاتها»، سلسلة "عالم المعرفة"، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب (الطبعة الثانية)، الكويت، ص 155؛
- Garry THOMSON, op. cit., p. 130.

21 ارجع إلى:
- بهاد الدين محمد حسانين (2002)، «دراسة صيانة مقتنيات المتاحف وإحدى المناطق الأثرية من تأثيرات الملوثات البيئية، دكتوراه، كلية الآثار، جامعة القاهرة، ص 412؛
- حسام الدين عبد الحميد (1991)، «الآثار والمؤثرات البيئية»، ندوة المؤتمر الثقافي، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
- زين الدين عبد المقصود (1976)، «أبحاث في مشاكل البيئة»، منشأة المعارف، الإسكندرية، ص 81.

22 Jean-Pierre BARETTE (2013), «Mémotech bois et matériaux associés», Delagrave édition, Paris, p. 36.

23 ارجع إلى:
- صفا عبد القادر محمد حامد (2009)، «دراسة علمية لفحص التغيرات في التركيب التشريحي لبعض أنواع الأخ .شاب الأثرية الناتجة عن عوامل التلف المختلفة وطرق العلاج المناسبة تطبيقا على بعض النماذج المختارة»، أطروحة دكتوراه، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة ص ص 66-67 & ص 289؛
- Martin WEAVER (1997), «Conserving buildings, a manual of Technologies and Materials», Preservation Press, St. Lafayette, USA, p. 47;
- T. TAYLOR (2000), «Termites as a threat to buildings and the current physical and chemical methods for their control», In seminar material evidence, Conserving Historic Building Fabric, April 13-14, 2000, Sydney.