مجلة الدراسات الأثرية ISSN: 1111-7699
المجلد: 23 / العدد: 01 /2025 / ص ص 95-113 EISSN : 2600-6499

تأثير الرطوبة النسبية على الآثار الخشبية المرتبطة بالحديد

Effect of relative humidity on iron-bound wood artifacts

حليمة معمري [1*]، أرزقي بوخنوف[2]
[1] جامعة الجزائر 2 - halima.mammeri@univ-alger2.dz
[2] جامعة الجزائر 2 – arezki.boukhenouf@univ-alger2.dz

تاريخ الاستلام 2025/07/20 تاريخ القبول 2025/12/01 تاريخ النشر 2025/12/31

الملخص:

سنلقي في هذه الدراسة الضوء على تأثير الرطوبة النسبية على الاثار الخشبية المرتبطة بالحديد، بحيث تؤدي تغيرات نسب رطوبة للوسط المتواجدة فيها هذه الاثار، الى ظهور تشوهات مختلفة، فالرطوبة المرتفعة تؤدي الى نمو جراثيم الفطريات وظهور العفن على الخشب، كما تؤدي الى ظهور الصدأ على الحديد الاثري نتيجة وجود الاوكسجين في الوسط وحدوث تفاعلات الاكسدة والارجاع، كما ان انخفاض الرطوبة النسبية في الوسط التي يتواجد فيه هذا النوع من الاثار، يؤدي الى تقلص الخشب نتيجة فقده لمحتواه المائي، وباستمرار تغيرات معدلات الرطوبة والحرارة للوسط يحدث تكرار لعمليتي التمدد والتقلص لخشب هذه الاثار، مما يؤدي ذلك الى تشقق هذه المادة وانفصال في منطقة الاتصال بين هاتين المادتين، وبما ان هذه الاخيرة مختلفتان كيميائيا فهما يؤثران على بعضهما البعض، ومن هنا يأتي هدف هذه الدراسة، وهو معرفة كيفية حدوث هذا التأثير، وكذلك تحديد درجة الحرارة المناسبة لكلتا المادتان، و بالإضافة الى ذلك ومن خلال هذه الدراسة سنساعد القائمين على عمليات الحفظ في وضع استراتيجية وقائية لهذه النوعية من الاثار.

الكلمات المفتاحية: الرطوبة، الخشب، الحديد، العفن، الصدأ.

Abstract

In this study, we will shed light on the effect of relative humidity on iron-bound wooden artifacts, as variations in the humidity levels of the environment in which these artifacts are located lead to the appearance of various deformations. In fact, high humidity leads to the growth of fungal spores and the appearance of mold on the wood**,** It also leads to the appearance of rust on the iron artifacts due to the presence of oxygen and the occurrence of oxidation and reduction reactions. On the other hand, a low level of relative humidity causes a shrinkage of the wood as a result of losing its water content, and with the continuous changes in the humidity and temperature levels of the environment, the processes of expansion and contraction of the wood of these effects occur repeatedly, which leads to cracking of this material and separation in the area of contact between these two materials, and since the latter are chemically different, they affect each other. Hence, the goal of this study is to understand how this effects occur, as well as to determine the appropriate temperature for both materials. In addition, through this study, we will help all staff and specialists in charge of preservation operations to develop a preventative strategy for this type of artifact.

Keywords: Humidity, Wood, Iron, Mold, Rust.

* المؤلف المرسل

1. مقدمة:

تعتبر التحف الأثرية من بين أهم البقايا التي خلفها الإنسان، وأهمها الأدوات التي صنعها في زمانه أنا ذاك، لتساعده على إنجاز عمله وقضاء احتياجاته اليومية، ولقد تنوعت استخداماتها فكانت تستعمل في الطبخ والطب والزراعة والدفاع وغير ذلك، ونظرا لتعدد استخدمتها فقد تفنن صانعها في تشكيلها وإتقانها واستخدام المواد المناسبة لها، وتعتبر مادتي الخشب والحديد من بين أهم تلك المواد التي استخدمت بكثرة في صناعة تلك الأدوات، وهذا راجع لوفرتها في الطبيعة، كما أن الحاجة فرضت على الإنسان استخدام المادتين معا في تشكيل أدوات نوعية توّفي أغراضه، ولقد قطعت هذه الصناعة أشواطا طويلة في مقاومة عوامل التلف المختلفة، والتي تصل إلى أوساطها الجديدة في حالة حفظ متفاوتة.

ويعتبر مناخ المتاحف من بين أهم العوامل وأكثرها خطورة على التحف ثنائية المادة(خشب–حديد)، ونقصد هنا الرطوبة النسبية وتغيراتها المستمرة خلال فصول السنة، فأمام غياب شروط الحفظ الملائمة وعدم التحكم الجيد في هذا العامل تؤول حالة هذه القطع الاثرية الى الاسوأ، بحيث يؤثر هذا العامل على موادها الأثرية، وينتج عن ذلك حدوث تغيرات فيزيائية وكيميائية على مستوى هذه المواد التي تنعكس في أشكال تلف مختلفة كالعفن على الخشب والصدأ على الحديد، وتساهم هذه الأخيرة أيضا في إحداث سلسلة من التشوهات لهذه القطع، ومن هنا نطرح الاشكال كيف يتم التأثير المتبادلة بين هاتان المادتان؟

إن الهدف من هذه الدراسة هو توضيح مدى خطورة تغير معدلات الرطوبة النسبية للوسط الذي تتواجد فيه هذه المواد المرتبطة، وكذلك ضبط الرطوبة المناسبة لهاتان المادتان من خلال وضع استراتيجية للتحكم في نسبها ودرجات الحرارة التي لها علاقة بهذه التغيرات، وذلك من أجل تفادي حدوث التفاعلات الكيميائية بين مكونات الوسط ومكونات هذا الأثر، وبالتالي حفظ ما تبقى منه، ولقد اتبعنا في هذه الدراسة المنهج التحليلي لفهم الموضوع والقاء الضوء على بعض جوانبه الغامضة.

2. تأثير تغيرات الرطوبة النسبية على القطع الخشبية المرتبطة بالحديد:

إن التغيرات المستمرة في نسب الرطوبة لبيئتي العرض والمخزن، يؤثر سلباً على المواد العضوية المكونة للاثار في هذه الاوساط، ونذكر منها مادة الخشب التي تعتبر من المواد المستطربة (hygroscopique)، كما ان هذه التغيرات تمس أيضا المواد المعدنية الحساسة للرطوبة كالحديد، وهذا ما سنوضحه في دراستنا اللاحقه.

1.2 . تأثير النسبية المرتفعة في الوسط:

تسبب الرطوبة الجوية المرتفعة تلف للمواد الأثرية ويزيد من نسبة تلفها هذا كيميائيا أو فيزيائيا، فهي المسؤولة عن حمل ونقل وتوزيع المحاليل الملحية في مادة الاثرية، وهي المسؤولة عن تحول غازات التلوث الجوي إلى أحماض خطيرة

تتسبب في تلف مواد الاثر، كما أنها تعمل على توفير الوسط الرطب الملائم لنمو بعض الكائنات الحية، وبصفة عامة تعتبر الرطوبة هي العامل المشترك والمساعد لمعظم عوامل التلف.[1]

ومما سبق يمكن القول، ان تعرض القطع الخشبية المرتبطة بالحديد للرطوبة النسبية المرتفعة، يُسبب لها أضرار بالغة الخطورة تتمثل في التصاق الاتربة عليها، وحدوث تفاعلات كيميائية بين مكونات الوسط وموادها الاثرية، بالإضافة الى نمو الكائنات الحية كالكائنات الدقيقة والحشرات على المادة العضوية التي تشكلها، وكما ذكرنا سابقا، فان المواد المعدنية (الحديد) هي اول من تستجيب لارتفاع نسبة الرطوبة ثم تليه المواد العضوية (الخشب)، لذا سنبدأ في هذه الدراسة بالتفاعلات الكيميائية الحاصلة بين مكونات الوسط والمواد الاثرية المكونة (خشب، حديد) كالتفاعل الكهروكيميائي وأكسدة الغازات الحمضية للوسط، بحيث تلعب الرطوبة هنا دور الوسيط الكيميائي لهذه التفاعلات.

1.1.2 حدوث التفاعلات الكيميائية:

تحدث اغلب التفاعلات الكيميائية بمساعدة الرطوبة النسبية المتوفرة في وسط التفاعل، ويتضاعف تأثيرها على المادة الأثرية بوجد عنلصر كيميائية أخرى، و ينتج عن التفاعلات الكيميائية تشوهات تظهر على القطع الأثرية كصدأ الحديد الناتج عن تفاعلات الاكسدة والارجاع، وتلون المادة العضوية (الخشب) نتيجة تكون أكاسيد معدنية، فعند ارتفاع نسبة رطوبة الوسط يحدث تفاعل بين المواد المشكلة للقطعة الاثرية ومكونات الوسط كالغازات المنحلة في الماء، مما ينتج عن ذلك تشكل احماض وأملاح، وسنوضح ذلك من خلال شرح التفاعلات الكيميائية فيما يلي:

1.1.1.2 التفاعل الكهروكيميائي:

يُلقب الحديد بالمعدن الدنيء نتيجة قابليته الكبيرة للتآكل بالمقارنة مع أنواع المعادن الأخرى[2]، فهو يتأثر سلباً بارتفاع رطوبة الوسط، حيث تلعب دوراً مهماً في عمليات الأكسدة والإرجاع ويتمثل هذا الدور في أنها الوسيط والمحفز الكيميائي لهذه التفاعلات[3]، فعند تماس سطح الحديد مع بخار الماء ينتج عن ذلك تآكل يدعى "بالتآكل الكهروكيميائي"[4]،كما يعرف أيضا بتفاعل الأقطاب (القطب الكاثود مع القطب الانود).[5]

1.1.1.1.2. آلية التفاعل الكهروكيميائي:

ان تفاعل معدن الحديد مع بخار الماء في الوسط الذي يكون فيه، ستكون على شكل تفاعلات (أكسدة_ إرجاع)، وهذا نتيجة لتركيبة معدن الحديد القابلة للأكسدة، وطبيعة عناصر المركبة للوسط القابلة للإرجاع وفي مقدمتها الأكسجين،

[1]- المحاري سليمان، حفظ المباني الأثرية، حكومة الشارقة، الامارات العربية المتحدة، ص 113.

[2]- عبد المعز شاهين، طرق صيانة وترميم الآثار والمقتنيات الفنية، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1993، ص145.

[3]- برخينيا ياخة ديل بوثو ، علم الآثار وصيانة الأدوات والمواقع الأثرية وترميمها، تر: خالد غنيم، بيروت، 2002، ص41.

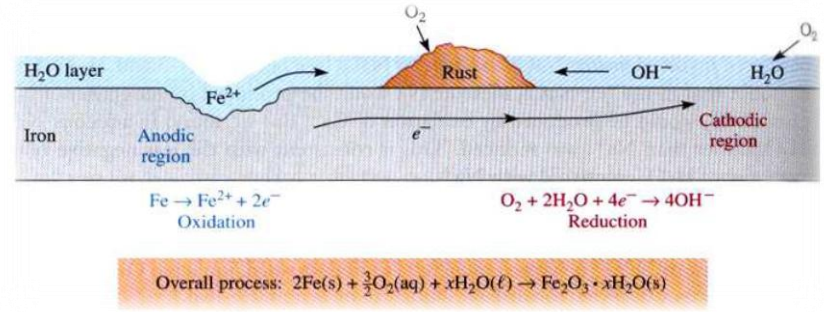
[4]- باهر عبد الستار أحمد القيسي، معالجة وصيانة الآثار، المؤسسة العامة للآثار والتراث، بغداد، 1981، ص52.

[5]- POURBAIX (M) ; Atlas d'équilibre électrochimique، Édition، Masson, Paris, 1963,P 34.

وباعتبار خاصية الناقلية الكهربائية للحديد، فإن تفاعلات (أكسدة – إرجاع) ستكون ذات طابع كهروكيميائي، بحضور أيونات H_2O على الحالة السائلة[6]، بحيث تؤلف سطح قطرة ماء مع سطح مادة الحديد الاثرية خلية جلفانية صغيرة، بحيث يكون في سطح المعدن مناطق مختلفة منها تعمل كمصعد (انود) وأخرى تعمل كمهبط (كاثود)، بينما يعمل المحلول الشاردي كإلكتروليت، وهذا ما يجعل الحديد يتأكسد بسرعة في بعض المناطق (مناطق المصعد) عنه في مناطق أخرى (مناطق المهبط)، ويعود سبب ذلك الى ان تركيب المعدن الى حد ما غير متجانس والسطح غير منتظم [7]، وان سهولة عملية أكسدة الحديد في منطقة معينة من المعدن تتدخل فيها عوامل مثل شوائب الحديد والحدود الطورية والضغوط الميكانيكية.[8]

وتجدر الإشارة، الى أن الخلية الجلفانية تتكون عند اتصال معدنين مختلفان عن بعضهما البعض اتصالا كهربائيا، وهذا بعد اتصالهما اليكترولتيا، بحيث يشكل الخلية الجلفانية قطبين موجب وسالب، يمثل القطب السالب (المصعد) فيها معدن الحديد الذي كمونه منخفض في هذه الخلية، والذي ينحل الى شوارد التي تترسب على القطب الموجب (المهبط) مشكلة طبقة واقية، في حين تسري الالكترونات المحررة في موصل كهربائي متمثل في المعدن المتآكل نفسه.

وترجع هذه الالكترونات من طرف الأصناف الأيونية المختلفة للوسط، ونتيجة لذلك تفقد ذرات الحديد تماسكها بالبنية المعدنية لتحولها لأيونات الحديد، وبفضل قوة الكهروستاتية للمعدن تبقى هذه الأيونات المنفصلة بمحاذاته على مستوى السطح البيني (حديد، وسط) ، مشكلة طبقة واقية تتمثل في أيونات في الحديدوز (Fe^{+2})، التي تتأكسد فيما بعد إلى أيونات الحديديك (Fe^{+3})، فهذه التفاعلات هي ذات طابع كهروكيميائي والشكل رقم (01) يوضح كيفية حدوث تفاعلات التآكل الكهروكيميائي للحديد الأثري.



الشكل رقم (01): تفاعلات التآكل الكهروكيميائي للحديد الأثري، عن: عمر بن عبد الله الهزازي

[6]– مروان معمر بساطة، الصيانة الوقائية للقى الآثرية الحديدية المستخرجة من الحفرية الارضية، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماجستير في علم الآثار، معهد الآثار جامعة الجزائر، 2007_2008، ص14.

[7]- عبد الله الهزازي عمر، الكيمياء الكهربية: التآكل، ص785.

[8]- نفسه، ص785.

عموما، لكي يحدث تآكل الحديد ويتشكل الصدأ، لابد من توفر عنصر الأوكسجين، ووسط التفاعل يتمثل في الرطوبة، والتي لابد من احتوائها على عدة أنواع شاردية (الكتروليت)، بالإضافة الى تواجد منطقتين في المعدن نفسه تلعب دور القطبين، بحيث يفقد الحديد الاثري الكتروناته في المنطقة الآنودية، وتستهلك في المنطقة الكاثودية.

2.1.1.1.2. نواتج التفاعل الكهروكيميائي :

عند حدوث تآكل لمعدن الحديد بفعل وجود بخار الماء والأكسجين، تتشكل طبقة ذات لون مميز (أحمر برتقالي)، والتي تتكون من هيدروكسيد الحديديك المائي $Fe(OH)_3$ المختلطة بالأملاح والكربونات، تعرف هذه الطبقة "بالصدأ"، ويمكن أن تتسبب هذه الطبقة في تآكل سطح الحديد من جديد من خلال تشققها أو تكسر قطعة المعدن إلى قشور رقيقة.[9]

وللأهمية تجدير الاشارة، أن الكربونات تترسب وتختلط مع هيدروكسيد الحديد فتتكون طبقة الصدأ المحافظة على الحديد الأثري، وتعمل طبقة الكربونات في صدأ الحديد كطبقة واقية لمعدن الحديد، فيما إذا كانت قيمة (PH) عالية، لأنها تمنع انتشار الصدأ في معدن الحديد باستمرار، لهذا تكون مكونات الصدأ جامدة غير متحركة، والمعدن الأصلي للأثر يكون محفوظ بهذا الصدأ.

2.1.1.2. تفاعل أكسدة ثاني أكسيد الكبريت (So_2):

تمتص ألياف الخشب ثاني أكسيد الكبريت (So_2) المنتشر في الهواء[10]، والذي يتولد عن أكسدة واحتراق المركبات الكبريتية، التي تتواجد على صورة شوائب في الفحم ووقود السيارات والغاز الطبيعي للأفران الصناعية[11]، فهو أكثر الغازات ضررا للمكونات الكيميائية للخشب فعند وجود الرطوبة المرتفعة في الهواء يتحد ثاني أكسيد الكبريت (So_2) مع بخار الماء ويتكون حمض الكبريتوز، الذي يتحول بدوره إلى حمض الكبريتيك المدمر للألياف والمعادلتين التاليتان تمثلان كيفية تشكل حمضي الكبريتوز والكبريتيك[12]:

$$So_2 + H_2O \longrightarrow H_2So_3$$

ثاني أكسيد الكبريت + الماء ⟶ حمض الكبريتوز

$$2\,H_2So_3 + O_2 \longrightarrow 2H_2\,So_4$$

حمض الكبريتوز + الأكسجين ⟶ حمض الكبريتيك

[9]- PHILILPE (P) , La conservation des antiquités et des œuvres d'arts, édition Exyrolle, Paris, 1966 .P. 299 .

[10]– صيانة المخطوطات علماً وعملاً، عالم الكتاب، ط2، القاهرة، ص 43.

[11]– قسم الترميم، وسائل صيانة وترميم المخطوطات والمطبوعات، مكتبة الأسد، دمشق، ص08.

[12]– مصطفى السيد يوسف، المرجع السابق، ص 43.

كما يتأثر االحديد بغاز الكبريت(S_2)، فتفاعل غاز الكبريت مع الحديد ينتج عنه سولفات الحديد(البريت) ($Fe\ S_2$)، وهذا التفاعل تمثله في المعادلة الآتية [13] :

$$Fe + S_2 \longrightarrow Fe\ S_2$$

3.1.1.2. أكسدة أكسيد النيتروجين (No):

يعتبر أكسيد النيتروجين (No) مصدر آخر للحموضة في الخشب، بحيث يتأكسد هذا المركب إلى أكسيد ثاني النيتروجين الذي يتحول بدوره إلى حمض النتريك (NHo_3) الذي له آثار ضارة على الخشب ، كما تنطلق ذرة الأكسجين التي تتحد مع أكسجين الهواء فينتج غاز الأوزون (O_3) [14]، الناتج عن تفاعل غاز ثاني أكسيد النيتروجين المتولد من احتراق وقود السيارات مع أشعة الشمس، بحيث يؤثر غاز الأوزون على مركبات العضوية للقطع الاثرية (الخشب)، والذي يقوم بكسر وتحطيم الروابط التي تكون بين ذرات الكربون (C-C)، وبالتالي تفقد الألياف العضوية متانتها[15]، ويصبح الخشب هش غير مقاوم للعوامل الميكانيكية مما يسهل فقدان أجزاء منه.

4.1.1.2. تفاعل ثاني أكسيد الكبريت (So_2) وغاز النشادر (NH_3):

نظرًا لتواجد ثاني أكسيد الكبريت (So_2) في الهواء والذي سيمتص من طرف الألياف الخشبية، فإن غاز النشادر(NH_3) الناتج من الإفرازات الإنسان، والتي تعتبر مادة ضارة للسليلوز المكون لألياف الخشب، ستمتص أيضا من طرف هذه الألياف من أجل التقليل من حموضتها، مما يتفاعل هذان الغازان ليكونان ملح سلفات الألمونيوم الذي يظهر في صورة ترسبات ملحية على سطح المواد العضوية المكونة للقطع الاثرية.

2.1.2. نمو الكائنات الحية:

ان زيادة المحتوى المائي للخشب الاثري نتيجة ارتفاع رطوبة الوسط، يؤدي الى نمو كائنات حية مختلفة تتمثل في الكائنات المجهرية كالبكتيريا والفطريات وكذلك الحشرات الخشبية، وسنتطرق إلى هذه الكائنات بالتفصيل فيما يلي:

[13]- GOS (A) et Arribet (G), Initiation a la métallurgie en Afrique occidentale, Edition errance, Nigeria, 1983, p39.

[14]– مصطفى السيد يوسف، المرجع سابق، ص 46.

[15]- قسم الترميم، المرجع السابق، ص08.

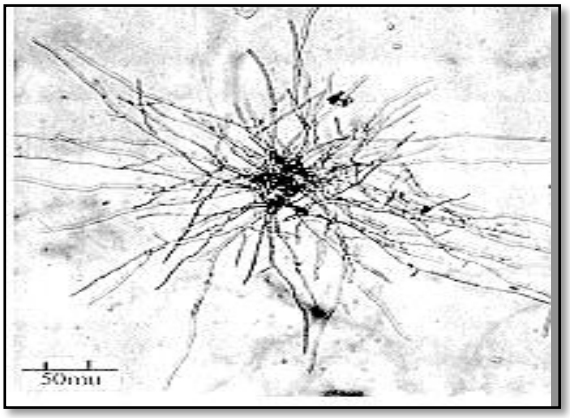
1.2.1.2. الكائنات الدقيقة:

نقصد بالكائنات الدقيقة، مجموعة من الميكروبات الصغيرة جدا لا يمكن رؤيتها إلا بالميكروسكوب، ولكنها ذات قدرة على إحداث الكثير من مظاهر المرئية للعين تدل على وجودها، وتتمثل هذه الكائنات في الفطريات والبكتيريا[16]، كما يصطلح عليها الكائنات التعايشية[17]، نظراً لالتصاقها بأجسام أخرى.

1.1.2.1.2. الفطريات:

تعتبر الفطريات حقيقية النواة، معظمها عديدة الخلايا في صورة كتل من الخيوط أو الغزل الفطري[18]، يتشكل هذا الاخير من نمو الجراثيم التي تكون ملتصة في المادة العضوية[19]، بحيث تنمو على شكل خيوط رفيعة جدا تعرف "بالهيفا" يبلغ قطرها حوالي(1–5) ميكرون، والتي تنتشر ويتشابك بعضها البعض مكونة الغزل الفطري أو الميسيليوم.[20]

تكون بعض الخيوط الفطرية مقسمة إلى خلايا بواسطة حواجز داخلية والبعض الأخر غير مقسم أي يفتقد تلك الحواجز ويعرف بالدمج الخلوي، حيث يعتبر الخيط الفطري كخلية واحدة تحتوي على العديد من الأنوية والسيتوبلازم.[21]



صورة رقم(01): الغزل الفطري (الميسيليوم) تحت المجهر، عن: (ML Florian)

[16]- مصطفى السيد يوسف، المرجع السابق، ص61.

[17]- Dajoz (R) , La digestion du bois par les insectes xylophages, l'année biologique, Edition Eyrond, paris, 1968, p.21.

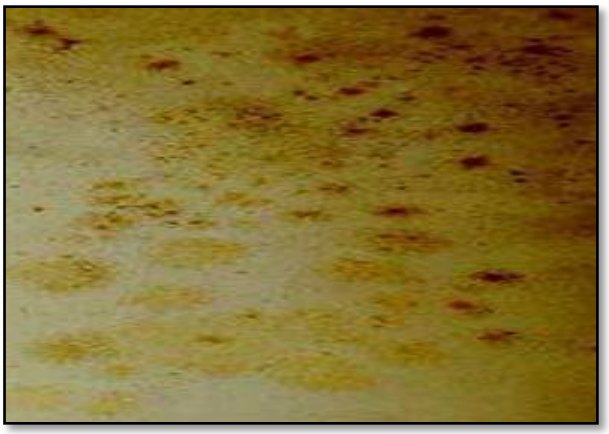
[18]- ليث حميدي عبد الله، تصنيف نظري الثالث احياء: "مملكة الفطريات"، جامعة الموصل، القاهرة، ص 48.

[19]- Jacquoit (C) , Etudes anatomique des lésions caractéristiques de la maladie de bois, Masson édit, 1951, p.56.

[20]– مصطفى السيد يوسف، المرجع السابق، ص62.

[21]– ليث حميدي عبد الله، المرجع السابق، ص 48.

يتغلغل جزء من الغزل الفطري في المادة الغذائية، ويسمى الجزء الذي يعلو الوسط الغذائي "المسيليوم الهوائي"، الذي يحمل في نهايته أبواغ تحتوي على جراثيم التكاثر، والتي يتوقف عليها لون العفن الفطري النامي، يتفاوت هذا اللون بين الأسود (ergillus Asp Niger) والأخضر المصفر (Aspergillus Flavus) و البيج (Fusarium) والأخضر بدرجاته المختلفة (Penicillium).[22]



صورة رقم(02): فطريات أسبرجيلوس (Aspergillus)، عن:(Dégradation biologique Avril 2009)

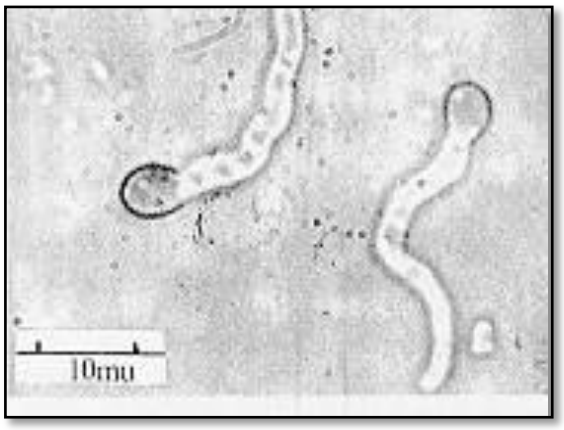


صورة رقم(03): فطريات البنسيليوم (Penicillium)، عن: (Saïd Bouterfa)

[22]– مصطفى السيد يوسف، المرجع السابق، ص ص60-61.

2.1.2.1.2. البكتيريا:

البكتيريا هي نباتات أولية تتركب من خلية واحدة صغيرة جدا لا ترى إلا بالمجهر يتراوح قطرها 0,5 ميكرون[23]، وبعض هذه الكائنات الدقيقة خالية من مادة الكلوروفيل، والتي تتبع في ذلك النباتات الدنيئة (الثالوفينا) كالفطريات، وتتميز البكتيريا بسرعة انقسامها وتكاثرها، حيث تنقسم الخلية إلى خليتين و الخليتان إلى أربع وهكذا، والبكتيريا لها القدرة أيضا على التجرثم لمقاومة حالة الجفاف وارتفاع درجة الحرارة، وبالتالي تفادي الظروف الغير المناسبة، وسرعان ما تنبت هذه الجراثيم مكونة خلية جديدة، تنقسم بدورها إذا توفرت ظروف النمو المثالية مرة أخرى من حرارة و رطوبة، ويختلف شكل الخلية البكترية بين العصوية والكروية والأسطوانية.[24]



صورة رقم(04): بكتيريا عصوية، عن: (ML Florian)

والجدير بالذكر أن دور البكتيريا في إتلاف المادة العضوية (الخشب) أقل من دور الفطريات، لاحتياجها إلى نسبة رطوبة مرتفعة تزيد عن 90%، ولدرجة حرارة أعلى من الفطريات تصل إلى 30م°، لذلك فإن خطورة البكتيريا في تحليل السيليلوز، لا تظهر إلا في حالة ارتفاع نسبة الرطوبة، كتسرب قطرات المطر إلى هذه المادة من خلال أسقف المخازن، أو شقوق الجدران، أو في حالة حدوث سيول مباشرة تؤدي إلى بلل أو غرق هذه التحف[25]، فالنشاط البكتيري يظهر فقط في الخشب الاثري الذي غمره أو بلله الماء المباشر، وفي هذه الحالة تظهر البكتيريا في صورة عفن على الخشب[26]،

[23]- مصطفى السيد يوسف، المرجع السابق، ص14.
[24]- نفسه، ص ص64-65.
[25]- مصطفى السيد يوسف، المرجع السابق، ص66.
[26]- قسم الترميم، المرجع السابق، ص14.

وتصنف البكتيريا بشكل عام إلى نوعين: بكتيريا هوائية (Bactéries aérobies)، وبكتيريا اللاهوائية (Bactéries anaérobies)، فالبكتريا الهوائية تتغذى على مادة الخشب بينما تتغذى البكتيريا اللاهوائية من اختزال مادة الحديد. [27]

2.2.1.2. الحشرات الخشبية النامية:

تتعدد وتتنوع الحشرات الخشبية التي تنمو بفعل ارتفاع نسبة الرطوبة في الخشب[28]، بحيث تحتاج لوسط جاف نسبيا واكسجيني لتعيش، كما انها تنمو في وسط دافئ بدورة حياة تبدأ بتفقص البيض ليصبح حشرة كاملة، بحيث يتحول البيض بعد فقصه إلى يرقة ثم تنمو لتصبح خادرة، والتي تتطور لتصبح حشرة كاملة.[29]

تستهلك هذه الحشرات مكونات الخشب الفيزيائية كالنشارة أو الكيميائية كالسيليلوز، كما انها تستطيع أن تستفيد في تغذيتها من بعض الفطريات و البكتيريا التي تجدها في طريقها [30]، بحيث تمتلك هذه الحشرات جهاز هضم (Appareil de digestion)، الذي يمتاز بتنوع شكله، على حسب أنواع الحشرات وتناسبه مع الاحتياجات الغذائية، ومن الصعب اكتشاف مبادئه الفيزيولوجية العامة وإفرازاته خاصة الإنزيمية منها[31]، بحيث يوجد نوعان أساسيان من الإنزيمات تساعد الحشرات في الحصول على العناصر الغذائية الضرورية لنموها ، بحيث يمكن لهذه الانزيمات التدخل معا أو كل بمفرده في هضم الخشب و مختلف مكونات، وهما: الإنزيمات الهاضمة الخفية التي توجد في الحشرة نفسها، و الإنزيمات التي تنتجها الأجسام المتكافلة (Organismes symbiotiques) ، وتسمى الإنزيمات المتكافلة (Ectosymbiotes) أو(Endosmotique) ، وهي الانزيمات التي تنتجها كائنات حية أخرى كالفطريات، بحيث تعمل على تحليل المادة العضوية الى مركبات بسيطة من أجل استهلاكها من طرف الحشرات، ومن بين الإنزيمات التي تنتجها الحشرات نجد إنزيم اللجيناز (Lagninase) ، الذي يساعدها في عملية هضمها للخشب.[32]

تندرج هذه الحشرات ضمن فصائل مختلفة عن بعضها البعض أخذت تسميتها من أوصافها وخصائصه الفزيولوجية، وتحتوي الفصيلة على عدة عائلات التي تحتوي على عدد كبير من الأنواع، ويمكن حصر هذه الحشرات بحسب الأهمية ضمن أربعة فصائل وهي: غمديات الأجنحة (Coléoptère)، غشائيات الأجنحة (Hyménoptère)، مزدوجة الأجنحة (Diptère)، وحرشفيات الأجنحة (Lépidoptère).[33]

---

[27]- كرونين (ج أ م)، وروبنسون (و و س)، أساسيات ترميم الآثار، تر: عبد الناصر عبد الرحمان الزهراني، جامعة الملك سعود، الرياض، 2006، ص24.

[28]- اعمر ربعين، تأثير عوامل التلف البيولوجية على المادة الخشبية الأثرية، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماجستير في علم الآثار، معهد الاثار جامعة الجزائر، 2007_2008، ص88.

[29]- كرونين (ج أ م)، وروبنسون (و و س)، المرجع السابق، ص ص 360- 361.

[30] Wiggles (W.B) , trad. L. Chopard, Physiologie des insectes, DUNOD, Paris,1959 , p 45.

[31]-Ibid , p43.

[32]- Dajoz (R) , Op. Cit, p.21.

[33] Roger(D) , Ecologie des insectes forestiers, Gouthier - Villars, paris, 1980, p. 296.

نستنتج مما سبق، أن ارتفاع نسبة رطوبة في الخشب الاثري، يؤدي الي ظهور نوعان من التلف فزيائي على الخشب كتغير أطواله، ونمو الكائنات الحية، وتلف كيميائي على الحديد يتمثل في تشكل أكاسيد ومحاليل ملحية والاحماض الناتجة من الغازات الحمضية العالقة في الهواء.

3.2.1.2. التأثيرات المتبادلة بين الخشب والحديد للقطعة الأثرية

1.3.2.1.2. تأثير الخشب على الحديد المرتبط به:

يساهم الخشب التالف المصاب بالتلف المكروبيولوجي في تشوه الحديد، بحيث تقوم الكائنات الحية النامية في الخشب إضافة لأنشطتها الفزيولوجية المذكورة سابقا، بتشيكل غاز كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وتقتصر خطورة هذا الغاز في تفاعله مع فلزات الحديد الداخلة في تركيب القطع الأثرية مكونا كبريتيدات هذه الفلزات ذات اللون الأسود[34]، بحيث يساهم النشاط الحيوي للبكتيريا في تآكل مادة الحديد، من خلال إفرازها لإنزيمات كأحماض الفلزية والعضوية، وتظهر هذه الكائنات في شكل طبقات سوداء على المعادن، بحيث تتغذى البكتيريا اللاهوائية (Bactéries anaérobies) من اختزال المواد المعدنية كالكبريت وثاني أكسيد الكربون والمغنزيوم والحديد و تقوم البكتيريا الهوائية بأكسدة الكبريت المتواجد في الوسط وتحوله إلى حمض الكبريت في حضور الأكسجين وأيونات (H^+) المحررة، وإن حمض الكبريت المنتج من طرف هذه البكتيريا سيتحد مع شوارد (Fe^{+2}) المحررة، لتشكل نواتج جديدة متمثلة في كبريتات الحديدوز والحديديك(Fe S, Fe S_2)، وهي نواتج تدل عادة على وجود المادة العضوية أثناء تشخيص القطع الأثرية، بينما تقوم البكتيريا اللاهوائية باختزال الكبريت وتحويله إلى كبريتيت، فيتحد هذا الأخير مع الهيدروجين المحرر عن تآكل الحديد لإنتاج حمض الكبريت (H_2S).[35]

كما يلعب التلف المكروبيولوجي وخاصة فطريات التلف Decay fungi دورا رئيسياً في صدأ الحديد، ومن أمثلة هذه الفطريات بعض أنواع من الاسبيرجيلوس Aspergillius و البسيليوم Penicillium، تهاجم هذه الفطريات الاخشاب الصلبة مثل البلوط و البوتولا بتوفر درجة حرارة 20 م° و رطوبة نسبية من 60 – 70%، والتي تنتج العديد من الأحماض العضوية مثل حمض الخليك والفورميك Formic Acid والسيتريك Cetric Acid[36]، حيث أثبتت الدراسات ان اختلاف تركيز هذه الاحماض المنبعثة من الخشب المتحلل من طرف تلك الفطريات، تكون حسب نوع الخشب ودرجة تحلله ونسبة

[34]- عبد المعز شاهين، محمد عبد الهادي، المرجع السابق، ص07.
[35]- مروان معمر بساطة، المرجع السابق، ص35.
[36]- سعد شحاتة المراغي، مقدمة في علم الفطريات، جامعة عمر المختار، ليبيا، 1994، ص 239.

الرطوبة وتأثير عوامل أخرى[37]، والجدول التالي يوضح بعض الاخشاب التي تنطلق منها أبخرة حمضية تتسبب في صدأ معدن الحديد الاثري مع القيم الأس الهيدروجيني لها (PH value) :

نوع الخشب	قيم الأس الهيدروجيني (PH value)	الصدأ الناتجة عن الابخرة الحمضية
البلوط	3,4، 3,45، 3,35	عالية
الكستاء	3,45، 3,65، 3,4	عالية
التنوب الامريكي	4,45 ، 4,15، 3,55، 3,45	عالية
البتولا	5,35، 5,5، 4,65	متوسطة
الأرز	3,45	متوسطة
الجوز	5,02 ، 4,55 ، 4 ، 4	منخفضة
الدردار	6,45 ، 7,15	منخفضة

جدول رقم (01): قيم الاس الهدروجيني للأبخرة الحمضية لبعض الاخشاب

يلعب الخشب دورا رئيسياً في توفير الوسط الرطب اللازم لقيام خلايا الصدأ الكهربية والمؤدية إلى صدأ الحديد، وذلك بامتصاصه الرطوبة النسبية من الوسط المحيط والاحتفاظ بها، كما وجد أن معدل الصدأ يزداد مع زيادة تحلل الخشب، وذلك في وجود الرطوبة العالية التي تكون أكثر من 70%، كما أن اختلاف معدلات التمدد والانكماش بين الخشب والحديد المرتبط به، يُفقد هذا الأخير قدرته على التثبيت بالخشب، مما يؤدي الى انفصال القطعة المعدنية عن الجسم الخشبي.[38] وهذا بسبب التغيرات في الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة التي لها دور فعَال في عملية التمدد والتقلص التي تتعرض لها المادة العضوية المكونة للقطعة الاثرية.[39]

2.3.2.1.2. تأثير الحديد على الخشب المرتبط به:

ان تعرض الخشب لمركبات الحديد لفترات طويلة فان هذا يؤدي الى حدوث ضعف موضعي ونقص في قوة الخشب في مناطق تواجد الحديد، وقد اتضح من الدراسات ان الخشب المرتبط بالحديد تحت ظروف رطبة في وجود

[37] -Tetreoult(J) and Stamatopoulous (E) , détermination of concentration of Acetic Acid emitted from wood in enclosures, stu , in con ,vol 42, N3, 1997, p p147-151.
[38] - Cronyn (A. M) , the elements of Archaeological Conservation, Fourth Edition, New York, 1996, PP 216-217.
[39]- Gob (A), Brougert (N), La muséologie, Histoire développement et enjuex actuel, Arnaud coloud 2004, P141.

الاكسجين ولفترات طويلة يصبح ضعيفا وتقل قوى الشد[40]، حيث قام الباحث Pinion عام 1970 م بدراسة تأثير مركبات صدأ الحديد على الأخشاب، وأوضح أن تلك المركبات ذات التأثير القلوي يمكنها أن تعمل على إذابة الهيميسيليلوز وتحلل اللَجنين والتانين في الخشب محولة إياها إلى مركبات قابلة للذوبان في الماء، أما السيليلوز فلا تتأثر حتى ولو مع التركيزات القلوية العالية، حيث يظهر الخشب في المنطقة التي يتصل فيها مع الحديد بلون بني ومتفتت.[41]

وتجدر الاشارة، الى ان تحلل الخشب قد ينتج عن تعرض الخشب لنواتج صدأ الحديد، حيث أنها تضعف الخشب وتغير في تركيب الجدار الخلوي، وتعتبر الايونات المعدنية عوامل مساعدة نشطة تؤدي الى حدوث تفاعلات كيميائية غير بيولوجية في الجدار الخلوي فتحلله في وجود الرطوبة، وتؤجل الكلوريدات الذائبة عمليات صدأ الحديد وتلف الخشب، وفي بعض الحالات يكوّن الحديد ما يعرف باسم"pseudo-morphes" لتصبح نسخة من الجدار الخلوي للخشب.[42]

2.2. تأثير الرطوبة النسبية المنخفضة في الوسط :

ان الرطوبة الجوية المنخفضة تشكل خطراً على المواد الآثرية ، ذلك أن كل مادة تحتوي على نسبة رطوبة معينة، فاذا فقدت هذه المادة ما بها من نسبة رطوبة فسوف يؤثر هذا على قوتها وصالبتها[43]، بمعنى أن انخفاض الرطوبة يعني الجفاف، وهذا الجفاف يفقد المادة العضوية (الخشب) محتواها المائي[44]، ويتم ذلك عن طريق عملية التبخر، فيؤدي ذلك إلى تغيير في الرطوبة الداخلية للمادة وهذا بحسب الرطوبة النسبية الموجودة في الوسط نفسه، ويترتب عن هذا التبخر تغيرات في حجم الخشب(انكماش)، كما يحدث توترات داخلية تكون منشأ لتشققات وتشوهات[45]، وإن تكرار هذه العملية موسميا يؤدي إلى إضعاف مادة الخشب والطبقات الزخرفية أو اللونية الموجودة عليها.[46]

في الاخير يمكن القول إن التغيرات المستمرة في نسبة الرطوبة المحيطة بالخشب، تؤدي إلى حدوث حالة من عدم الاستقرار للخشب، مما يؤدي إلى تغيير أبعاده نتيجة عمليات التمدد والانكماش[47]، بينما معدن الحديد يساعده الوسط عندما يكون جاف نسبياً [48] ، فهو لا يتأثر بانخفاض درجة الحرارة.[49]

---

[40]- إبراهيم عبد القادر، وسائل وأساليب الترميم وصيانة الاثار ومقتنيات المتاحف الفنية، عمارة شؤون الكتاب جامعة الرياض، الرياض، 1997م، ص 197.

[41]- Pinion, (LC), the degradation of wood by métals ans fitting, timber lab, paper, Forest Products, Research Lab, Risborough, 1970, PP 18-20.

[42]- إبراهيم عبد القادر، المرجع السابق، ص 197.

[43]- عبد المعز شاهين، المرجع السابق ،ص178.

[44]- مصطفى السيد يوسف، المرجع السابق، ص54.

[45]- ديني بيبوني، حفظ الأخشاب المتعددة الألوان وترميمها، تر: يسرى الحجك، المعهد العلمي الفرنسي للدراسات العربية، دمشق، 1979، ص 42.

[46] - Cronyn. (J.M), Op.cit. , P 248.

[47]- يوسف عقل، دراسة في عالج وصيانة الأبواب الخشبية في العصر العثماني مع عمل تطبيقات على باب الدخول لسبيل وكتاب ومسجد الشيخ المطهر، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2008، ص88.

[48]– علي حملاوي، علم المتاحف، جامعة الجزائر، الجزائر، 1990، ص41.

[49]- Plenderleith, (H.J), and Organ (R.M), The Decay ans Conservation of Museum Objects made ofTin, In : Studies in Conservation, Vol1, 1952 ,PP67-68.

3. متطلبات الرطوبة النسبية للقطعة الخشبية الملرتبطة بالحديد عند درجة حرارة 20م°:

لاستقرار المجموعات المتحفية، لابد من توفير متطلباتها البيئية خاصة الرطوبة النسبية والحرارة، مع العلم ان المجموعات المتحفية تختلف في المادة، لذا يجب توفير رطوبة ودرجة حرارة مختلفة وتتناسب مع تكوينها، فمعايير التخزين من درجة حرارة والرطوبة هي كما يلي:

المادة	الحد الادنى	الحد الاقصى	تغيرات الرطوبة النسبية وأخطارها
معدن الحديد	%15	%40	الصدأ الغير واقية
الخشب	%45	%60	وتفتت الخشب

جدول رقم(02): نسب الرطوبة اللازمة لمادتي الحديد والخشب.

4. التحكم في تغيرات الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة:

يهتم المختصون في صيانة وحفظ المقتنيات الاثرية، بوضع أجهزة حديثة للتحكم في معدلات الحرارة والرطوبة وضبطها داخل المتحف، حتى لا تتسبب تغيراتهما المستمرة في تلف المجموعات المتحفية.

ان تثبيت الرطوبة داخل المتاحف بشكل كلي من شأنه ان يوقف كل اشكال التلف، ويعتبر التكييف الكامل ونقاء وتجانس الهواء داخل قاعات المتاحف، هو الهدف المثالي يجب تحقيقه بما توفره التقنية الحديثة من أجهزة ومعدات متطورة. [50]

ان الرطوبة النسبية التي يوصى بها للمجموعات المتحفية هي 55% ودرجة حرارة 20 م°[51]، ومن الصعب الحفاظ على هذه النسبة وكذلك درجة الحرارة، اذا لم يتم استخدام تكييف مركزي متحكم فيه[52]، فمعظم المواد الاثرية تحفظ في الرطوبة النسبية تتراوح 40-60% وبإنقاص وزيادة 5% عن هذا المعدل للأثار الحساسة للرطوبة[53]، ولهذا يوصى بأن يكون معدل الرطوبة النسبية في بيئتي العرض والتخزين لكل المواد الاثرية من 45-65%، وفي حالة القطع الاثرية المصنوعة من أكثر من نوع من المواد كأن تكون قطعة معدنية(حديد) متصلة بمادة عضوية كالخشب، فإن معدل الرطوبة النسبية يجب أن يتمشى مع أكثر المكونات حساسية للرطوبة[54]، وهي المواد المعدنية كما ذكرنا سابقاً لأنها هي من تتأثر بارتفاع الرطوبة اولا.

ولكي يمكن التحكم في درجات الحرارة ونسبة الرطوبة داخل المتاحف، لابد أولا من القيام بقياسهما بصفة مستمرة حتى يمكن التحكم فيهما سواء بالزيادة أو النقصان، وتستخدم في ذلك أجهزة عديدة والتي ذكرناها سابقا مثل الثرمو

[50]- محمد عبد الهادي، دراسات علمية في ترميم وصيانة الآثار غير العضوية، مكتبة زهراء الشرق، القاهرة، ص202.
[51] Jones,(D. A), Principles and preservation of Corrosion, Prentice Hall, USA, 1996, P.39.
[52] Gilroy, (D),and Godfrey (I,M),), préventive conservation, In: A Practical Guide to the conservation and Care of Collections, Western Australian M useum,1998, P5.
[53] MichalskiK ,(S), Relative Humidity: a Discussion of correct / Incorrect Values, In : ICOM Committee for conservation , Washington DC,1993,pp.624-629.
[54] Gilroy ,(D), and Godfrey ,(IM), Op. Cit, P.5.

هيجروميتر لقياس درجة الحرارة والرطوبة النسبية، فالترموميتر لقياس درجة الحرارة وحدها، والهيجرومتر لقياس الرطوبة وحدها.[55]

ان تثبيت المناخ في بيئتي العرض والتخزين بشكل كلي من شأنه أن يوقف كل أشكال التلف التي تحدثها تغيراته، والمبنى المتحفي وخزانات العرض، وصناديق وأدراج التخزين تعتبر في حد ذاتها من العوامل المساعدة في توفير ظروف ثابتة من نسب الرطوبة ودرجات الحرارة في بيئتي العرض والتخزين.[56]

يعتبر التكييف المركزي المتحكم فيه ليلا ونهارا هو الطريقة الوحيدة المضمونة للتحكم في معدلات الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة في أجواء المتاحف وفي بيئة التخزين[57]، ويقصد بالتكييف المركزي للهواء تلطيف أجواء المتحف، والتحكم في معدلات الرطوبة والحرارة، وتنقية الهواء من الملوثات الصلبة والسائلة والغازية العالقة فيه، التي تشكل أضرار بالغة الخطورة على المواد الاثرية المشكلة للمجموعات المتحفية.[58]

وفي حالة عدم وجود تكييف مركزي متحكم فيه، وفي حالة انخفاض نسبة الرطوبة في وسط تواجد القطع الاثرية، تستخدم أجهزة الترطيب لرفع معدلات الرطوبة المناسبة، ومن بينها الأجهزة الموضعية الرافعة للرطوبة في الأجواء الجافة، حيث تنشر رذاذا من الماء النقي الخالي من الأملاح [59]، أو يتم ذلك بتعريض مسطحات مائية أو تبليل أقمشة بالماء للتبخر تدريجيا بخاصية التبخر الطبيعية.[60]

أما في حالة زيادة نسبة الرطوبة عن معدلها المسموح به (65%) في بيئتي العرض والتخزين، فان الامر يتطلب أجهزة موضعية تخفض الرطوبة، وهذه الأجهزة عبارة عن أواني تحتوي على مواد كيميائية ماصة للرطوبة مثل مادة السيليكا جل (Silica gel) [61]، و الزيولايت (Zeolite) .[62]

وتجدر الإشارة، ان اجهزة التحكم في معدلات الحرارة والرطوبة قد تطورت في الآونة الاخيرة الى حد بعيد وأصبحت مزودة بأجهزة الكمبيوتر من أجل تحديد معدلات الحرارة والرطوبة التي تتناسب مع طبيعة مكونات الآثر، دون ان تتعرض للتلف.[63]

[55] Appelbaum, (B), Guid to Environmental Protection, Sound View press, Boston, USA, 1991, PP28-32.
[56] Gilroy ,(D), and Godfrey ,(IM), Op. Cit, P.6.
[57] Thomson, G, STabilization of RH in Exhibition cases : Hygrometric Half-Time, Studies in Conservation, 1977, P 85.
[58] محمد عبد الهادي، المرجع السابق، ص 202.
[59] Appelbaum, (B), Op. Cit, PP28-32.
[60] حسام الدين عبد الهادي، المنهج العلمي لعلاج وصيانة المخطوطات والاخشاب والمنسوجات الاثرية، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1984، ص 177.
[61] Piechota, (D), 1992, Humidity Control in cases: Buffered silica Gel versus saturated salt solution, waac newsletter, Volume 15, Number 1, PP 19-21.
[62] Appelbaum, (B), Op. Cit , P48.
[63] ـ محمد عبد الهادي، المرجع السابق، ص202.

وللأهمية فان الجدير بالذكر، أن الارتفاع العالي لنسب الرطوبة أو درجات الحرارة في بيئتي العرض والتخزين، تكون موضعية وتؤثر فقط على القليل من القطع الاثرية القريبة من مصدر هذان العاملان، فالشائع للرطوبة العالية في المتاحف وخاصة في بيئة التخزين، هو تسرب رطوبة من الجدران والاسقف، مما يلزم ابعاد القطع الاثرية المركبة عن مثل هذه الأماكن، كما ان درجات الحرارة العالية التي تصاحبها نسب رطوبة منخفضة يمكن ان يسببها سقوط ضوء الشمس المباشر على القطع الاثرية أو بسبب لمبات الإضاءة المركزة القريبة من هذه القطع أو وجود مدفأة بالقرب من الأثر، لذا يجب القيام بإجراءات الصيانة الوقائية تمنع أو تجنب الارتفاع العالي للرطوبة ودرجة الحرارة، ويراعى الا تزيد درجة الحرارة في أجواء المتحف عن 20 م°.[64]

5. خاتمة:

تعتبر الرطوبة النسبية أحد أهم العوامل المناخية التي تشكل خطورة على القطع الاثرية الخشبية المرتبطة بالحديد، نظرا لما تخلفه من تشوهات نتيجة تغير نسبها في الوسط، فتأثير ارتفاعها في بيئتي العرض أو التخزين يكون مشترك لكلا المادتان، بحيث ينتج عن ذلك حدوث تفاعلات كيميائية بين مكونات الوسط ومكونات هذه القطع الاثرية، كتفاعل الكهروكيميائي لمعدن الحديد والذي ينتج عنه تشكل طبقة صدأ على سطحه، بالإضافة الى تفاعل الغازات الملوثة المترسبة على المواد الاثرية لهذه القطع وتشكل أحماض وأملاح، وينتج عن ارتفاع الرطوبة النسبية كذلك نمو الكائنات الحية والمتمثلة في الفطريات والبكتيريا والحشرات على مادة الخشب التي تعتبرها مصدر غذاء لها.

إن أول من يتأثر بارتفاع الرطوبة هو معدن الحديد ثم يله الخشب في القطع الاثرية المركبة، وينتج عن ذلك تلون الخشب بصدأ الحديد كما يلعب الخشب المرتبط بالحديد دور في اكسدته من خلال محتواه المائي والبكتريا الهوائية النامية عليه.

اذن ارتفاع الرطوبة النسبية للوسط المتواجدة فيه الاثار الخشبية المرتبطة بالحديد، يؤدي الى ظهور أنواع مختلفة من التلف على هذه الاثار، كالتلف البيولوجي المتمثل في نمو الكائنات الحية كالفطريات، البكتريا والحشرات، وتلف كيميائي مثل الصدأ، التصاق الغبار وتشكل الأملاح والاحماض، وتلف ميكانيكي كازدياد اطوال الخشب وتشقق المواد الاثرية، ا تحدث هذه الأنواع بدورها سلسلة من التشوهات.

أما تأثير انخفاض الرطوبة في الوسط المتواجدة فيه هذه القطع يكون على مادة الخشب فقط، بينما الحديد يساعده هذا الوسط والذي يكون جاف نسبياً.

[64] Gilroy ,(D), and Godfrey ,(IM), Op. Cit, ,P.5.

تلعب معدلات درجة الحرارة دورا رئيسياً في تغيرات الرطوبة النسبية للوسط، بحيث عند ارتفاع درجة حرارة الوسط تنخفض نسبة الرطوبة والعكس عند انخفاض درجة الحرارة ترتفع نسبة رطوبة الوسط، وينتج عن استمرار هذه التغيرات تكرار في عمليتي الانتفاخ والانكماش للخشب، مما يؤدي ذلك إلى تشققه وانفصاله في منطقة الاتصال مع المعدن.

نستنتج ان الرطوبة النسبية المناسبة للأثار الخشبية المرتبطة بالحديد هي 55% في درجة حرارة 20 م°، ويتم ضبطها من خلال التكييف المركزي فهو أفضل الطرق الوقائية.

6. المراجع البيبليوغرافية:

المراجع بالغة العربية:

1. إبراهيم عبد القادر، وسائل وأساليب الترميم وصيانة الاثار ومقتنيات المتاحف الفنية، عمارة شؤون الكتاب جامعة الرياض، الرياض، 1997.
2. إبراهيم عبد القادر، وسائل وأساليب الترميم وصيانة الاثار ومقتنيات المتاحف الفنية، عمارة شؤون الكتاب جامعة الرياض، الرياض، 1997.
3. أحمد القيسي باهر عبد الستار، معالجة وصيانة الآثار، المؤسسة العامة للآثار والتراث، بغداد، 1981.
4. برخينيا (ياخة ديل بوثو)، علم الآثار وصيانة الأدوات والمواقع الأثرية وترميمها، تر: خالد غنيم، بيروت، 2002.
5. برديكو ماري كلود، الحفظ غي علم الأثار، الطرق والأساليب العلمية لحفظ وترميم المقتنيات الآثرية، تر: محمد احمد الشاعر، المعهد الفرنسي للآثار الشرقية، القاهرة، 2002.
6. حسام الدين عبد الهادي، المنهج العلمي لعلاج وصيانة المخطوطات والاخشاب والمنسوجات الاثرية، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1984.
7. دينى (بيبوني)، حفظ الأخشاب المتعددة الألوان وترميمها، تر: يسرى الحجك، المعهد العلمي الفرنسي للدراسات العربية، دمشق، 1979.
8. سليمان المحاري، حفظ المباني الأثرية، حكومة الشارقة، الامارات العربية المتحدة.
9. شاهين عبد المعز، ترميم وصيانة المباني الأثرية والتاريخية، المجلس الأعلى للآثار، القاهرة،1994.
10. شاهين عبد المعز، طرق صيانة وترميم الآثار والمقتنيات الفنية، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1993.
11. عمر بن عبد الله الهزازي، الكيمياء الكهربية: التآكل.
12.قسم الترميم، وسائل صيانة وترميم المخطوطات والمطبوعات، مكتبة الأسد، دمشق.
13. كرونين (ج أ م)، وروبنسون (و و س)، أساسيات ترميم الآثار، تر: عبد الناصر عبد الرحمان الزهراني، جامعة الملك سعود، الرياض، 2006.
14. ليث حميدي عبد الله، تصنيف نظري الثالث احياء: "مملكة الفطريات"، جامعة الموصل، القاهرة.

15.محمد عبد الهادي، دراسات علمية في ترميم وصيانة الآثار غير العضوية، مكتبة زهراء الشرق، القاهرة، 1997.

16. مصطفى السيد يوسف، صيانة المخطوطات علماً وعملاً، عالم الكتاب، ط2، القاهرة، 2003.

17. يوسف عقل، دراسة في عالج وصيانة الأبواب الخشبية في العصر العثماني مع عمل تطبيقات على باب الدخول لسبيل وكتاب ومسجد الشيخ المطهر، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، 2008.

الاطروحات:

1. اعمر ربعين، تأثير عوامل التلف البيولوجية على المادة الخشبية الأثرية، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماجستير في علم الآثار، معهد الاثار جامعة الجزائر، 2007_2008.

2. مروان (معمر بساطة)، الصيانة الوقائية للقى الآثرية الحديدية المستخرجة من الحفرية الارضية، مذكرة تخرج لنيل شهادة الماجستير في علم الآثار، معهد الآثار جامعة الجزائر، 2007_2008.

المراجع بالغة الفرنسية:

1. ¯ Roger (D)., Ecologie des insectes forestiers, Gouthier - Villars, paris, 1980.
2. ¯. Wiggles W.B , trad. L. Chopard, Physiologie des insectes, DUNOD, Paris ,1959 .
3. ¯ Jones,(D. A), Principles ans preservation of Corrosion, Prentice Hall, USA, 1996.
4. ¯ MichalskiK ,(S), Relative Humidity: a Discussion of correct / Incorrect Values, In : ICOM Committee for conservation , Washington DC,1993.
5. ¯ Pinion, (LC), the degradation of wood by métals ans fitting, timber lab, paper, Forest Products, Research Lab, Risborough, 1970.
6. ¯ Plenderleith, (H.J), and Organ (R.M), The Decay ans Conservation of Museum Objects made ofTin, In : Studies in Conservation, Vol1, 1952.
7. ¯Appelbaum, (B), Guid to Environmental Protection, Sound View press, Boston, USA, 1991.
8. ¯Gilroy, (D),and Godfrey (I,M),), préventive conservation, In: A Practical Guide to the conservation and Care of Collections, Western Australian Museum,1998.
9. ¯Gob (A), Brougert (N), La muséologie, Histoire développement et enjuex actuel, Arnaud coloud 2004.
10. Cronyn (A. M) , the elements of Archaeological Conservation, Fourth Edition, New York, 1996.
11. Cronyn. (J.M): The Elements of Archaeological Conservation، London، 1990.
12. Dajoz (R) , La digestion du bois par les insectes xylophages, l'année biologique, Edition Eyrond, paris, 1968.

13. GOS (A) et Arribet (G), Initiation a la métallurgie en Afrique occidentale, Edition errance, Nigeria, 1983.
14. Jacquoit(C) , Etudes anatomique des lésions caractéristiques de la maladie de bois, Masson édit, 1951, p.56.
15. -PHILIBERT (J) ; Métallurgie du minerai au matériau, édition, Masson, Paris, 1998.
16. PHILILPE (P) , La conservation des antiquités et des œuvres d'arts, édition Exyrolle, Paris, 1966 .
17. Piechota, (D), 1992, Humidity Control in cases: Buffered silica Gel versus saturated salt solution, waac newsletter, Volume 15, Number 1.
18. POURBAIX (M) ; Atlas d'équilibre électrochimique، Edition , Masson , Paris, 1963.
19. Shrier, (l.l), Corrosion, Butterworthes, third Edition, Great Britian, , part 1 , 1994.
20. ¯Tetreoult(J) and Stamatopoulous (E) , détermination of concentration of Acetic Acid emitted from wood in enclosures, stu , in con ,vol 42, N3, 1997.
21. Thomson, G, STabilization of RH in Exhibition cases : Hygrometric Half-Time, Studies in Conservation, 1977.