تطوير ورفع كفاءة وحدات عرض الآثار الخشبية وفق الاتجاهات الحديثة فى العمارة الداخلية الخضراء بالمتاحف (تطبيقاً على وحدة عرض بالمتحف المصرى بالتحرير)

Developing and Improving the Efficacy of Wooden Artifact Display Cases According to Modern Trends in Green Interior Architecture of Museums (Applied to a showcase in the Egyptian Museum in Tahrir)

أريج محمود المغربى[1]، أ.د نسرين محمد نبيل الحديدي[2].

متحف عواصم مصر – مدينة الفنون والثقافة - وزارة السياحة والآثار[1]
قسم ترميم الآثار العضوية - كلية الآثار- جامعة القاهرة[2]
nelhadidi@cu.edu.eg [2] - Arigalmaghrby@gmail.com[1]

الملخص:
مع تزايد الاعتراف بالتداعيات البيئية المرتبطة بالعمارة الداخلية بالمتاحف، يتم تدريجياً تفعيل استراتيجيات رائدة تهدف إلى التخفيف من الضرر البيئى مع تعزيز العرض المتحفي. لقد توسع الخطاب المحيط بالعمارة الداخلية الخضراء بالمتاحف الآن ليشمل عددًا كبيرًا من الاعتبارات، بما في ذلك اختيار المواد والتقنيات الموفرة للطاقة والعناصر الحيوية وممارسات إعادة الاستخدام من خلال توظيف المواد المستدامة مثل الأخشاب والطلاءات منخفضة أو منعدمة المركبات العضوية المتطايرة، بحيث لا يحافظ المصممون على الموارد فحسب، بل يعززون أيضًا البيئات الداخلية المحيطة بالقطع الأثرية. علاوة على ذلك، فإن دمج مبادئ التصميم الأخضر بالمتاحف، وبالتزامن مع منهجيات التصميم المستدام، برز دمج الأنظمة الذكية كجانب تحويلي في مجال العمارة الداخلية للمتاحف، وتعمل التطورات في إنترنت الأشياء (IoT) وتقنيات الاستشعار على تمكين المصممين من تنفيذ حلول ذكية لإدارة الطاقة والتحكم في الإضاءة وتنظيم درجة الحرارة وتحسين البيئة الداخلية، بحيث تعمل هذه الأنظمة من خلال تحليل البيانات في الوقت الفعلي وتفعيل قيم الضبط التكيفية المستهدفة، على تمكين المباني من الاستجابة الديناميكية لاحتياجات القطع الأثرية المعروضة مع زيادة كفاءة الموارد والفعالية التشغيلية، كذلك تحسين أداء مواد البناء التقليدية، سواء المواد الإنشائية أو المواد الأخرى المستخدمة في بناء وحدات العرض مثل (الزجاج والأخشاب والطلاء....) ولا تزال التحديات العالمية المتمثلة في تغير المناخ، والسيطرة البيئية، والحفاظ على الطاقة مستمرة في المباني المتحفية، ويعتبر مواجهة هذا التحدي أمراً بارزاً لتحقيق استدامة تراثنا الثقافي.
تهدف الدراسة إلى توضيح العلاقة بين الاستدامة والتكنولوجيا والتصميم في تشكيل المشهد المستقبلي للعمارة الداخلية الخضراء بالمتاحف والاستفادة من التقنيات الحديثة والنانوية الخضراء لتحسين الأداء البيئي الداخلي وتحقيق مبادئ الصيانة الوقائية بالعرض المتحفي بهدف تحقيق الاستدامة ودعم التكنولوجيا الخضراء.
الكلمات الدالة: الحفظ الوقائي، وحدات العرض، المتاحف الخضراء، الاستدامة، الانبعاثات والمواد المتطايرة

Abstract:

As the environmental implications associated with museum interior architecture become increasingly recognized, pioneering strategies aimed at mitigating environmental damage are gradually being activated. These strategies also aim to enhance museum displays. The discourse surrounding green interior architecture in museums has expanded to include numerous considerations, such as the selection of energy-saving materials and technologies, the use of vital elements, and the adoption of reuse practices through sustainable materials like wood and low-VOC coatings, enabling designers to conserve resources while enhancing the museum's overall sustainability. Moreover, the integration of green design principles into museums, in conjunction with sustainable design methodologies, has become a key element of museum interior architecture. Developments on the Internet of Things (IoT) and sensor technologies enable designers to implement intelligent solutions for energy management, lighting control, temperature regulation, and the enhancement of indoor environmental quality. By analyzing real-time data and adjusting adaptive control parameters, these systems allow buildings to dynamically respond to the needs of the exhibited artifacts while increasing resource efficiency and operational effectiveness.

Additionally, these advancements enhance the performance of traditional building materials, such as glass, wood, and paint, used in both general construction and display units. Global challenges of climate change, environmental control, and energy conservation persist in museum buildings, making it crucial to achieve the sustainability of our cultural heritage.
This paper illustrates the relationship between sustainability, technology, and design in shaping the future landscape of green interior architecture in museums. It highlights the benefits of modern technologies, including green nanotechnologies, in improving indoor environmental performance and implementing preventive maintenance in museum displays to promote sustainability.
Keywords: Preventive Conservation, Showcases, Green Museums, Sustainability, Emissions and Volatile organic compounds (VOCs).

المقدمة

تتوافق آليات الصيانة الوقائية مع المتاحف الخضراء والمواد الصديقة للبيئة حيث تعمل على توفير الظروف البيئية الملائمة وكذلك طرق ومواد العرض والتخزين الآمنة للمجموعات المتحفية والمقتنيات الأثرية بالمتاحف، ومن ثم تعمل على الحفاظ عليها وصيانتها وتقليل معدلات التلف، وكذلك الحد من التدخل المباشر مع المقتنيات الأثرية بإجراء ترميم لها باستخدام مواد وأدوات قد تضر بالبيئة، مما يؤدي إلى توفير الموارد المستهلكة وتحسين الإمكانيات الاقتصادية وتقليل التلوث وغيرها.

وتعد الصيانة الوقائية واحدة من أهم الخطوات التي يجب أن يلتزم بها القائمون بصيانة الآثار؛ إذ إنها تجنبنا الكثير من المشاكل المتعلقة بعوامل تدهور القطع الأثرية. فلا يجب بأي حال من الأحوال أن ننتظر حدوث تدهور في المادة الأثرية ثم التحرك للعلاج، فمن الأفضل أن نتخذ الإجراءات العلمية التي يمكن من خلالها تجنب حدوث التدهور من الأساس، وذلك باتباع إجراءات معينة فيما يعرف بمصطلح **"الصيانة الوقائية"** حيث يعني وضع الأثر في ظروف آمنة من كل العوامل والظروف البيئية التي يمكن أن تعرضه للتدهور سواء من حيث درجات الحرارة، الرطوبة النسبية، التلوث، الضوء بمكوناته المختلفة، الإصابات الميكروبيولوجية أو الحشرية، حيث يمكن أن يكون التفاعل بين عوامل التلف المختلفة معقداً داخل وحدات العرض، ويجب مراقبة تأثير أي تغييرات.

وتتمثل بعض التحديات أن هناك العديد من المتاحف، والتي تضم قطعاً أثرية قيمة تحتاج إلى عناية كبيرة فيما يتعلق بالظروف البيئية، ولكن ليست كل هذه المتاحف مبنية لتناسب هذه الوظيفة، وقد تفتقر إلى نظام مراقبة وتحكم بيئي مناسب لدرجات الحرارة والرطوبة الداخلية والضوء وجودة الهواء، أو توفير التقنيات الحديثة، وقد يعود هذا إلى نقص الموارد؛ لذلك من الضروري دراسة التحديات الحالية التي تواجه المتاحف المصرية لتحقيق استدامة تراثنا، ومما إذا كان يتم تطبيق أي من إجراءات الرقابة البيئية للتحكم في المناخ المحلي للبيئات الداخلية؛ ومن هنا كان الإدراك والتوجه لتطوير آلية عمل المتاحف عن طريق رفع كفاءة العرض المتحفي وتجهيزاته وتطبيق بروتوكولات التحكم البيئي للقطع الأثرية الموجودة في المتاحف، والذي من شأنه يتطلب بذل جهود هائلة من أجل تلبية متطلبات الحفاظ عليها. [1]

الممارسة التطبيقية:

إن الغرض الرئيسي من وحدة العرض ليس فقط التقديم، ولكن أيضا للحفاظ على الأثر الموجود بداخله وحمايته. لذلك يجب أن تجمع وحدات العرض بين الجودة الهيكلية والشكل الجمالي، مع تلبية أعلى معايير الحفظ. كذلك يمكن استخدام تقنيات التحكم في المناخ السلبية أو النشطة للحصول على أفضل بيئة دقيقة للقطع الأثرية، اعتمادا على متطلبات الحفظ، وإيجاد الحلول المناسبة.

1 -Bertolin C. *Preservation of Cultural Heritage and Resources Threatened by Climate Change*. Geosciences, 2019, p250. http://refhub.elsevier.com/S2090-4479(21)00280-X/h0030.

يمكن تحسين العديد من جوانب أداء وحدات العرض من خلال: إعادة التجهيز؛ وضبط معدلات الرطوبة النسبية، الإضاءة، ومعدل التلف أو التآكل الناتج عن التلوث، ويجب اختيار طرق التعديل التحديثي بعناية، وقد تكون هناك فائدة اقتصادية كبيرة أيضاً للاحتفاظ بالأداء البيئي لوحدة العرض القديمة أو تحسينه.
يتم في بعض المتاحف استخدام وحدات عرض حديثة بمواصفات قادرة على تحقيق البيئات المطلوبة لحماية القطع الأثرية المتنوعة، والحفاظ على بيئة مناسبة باستخدام التحكم البيئي السلبي ومع ذلك، في مساحات معينة، قد لا يكون مظهر هذه الوحدات الحديثة مناسباً؛ أو عند التعامل مع وحدات عرض تاريخية، فإن أهمية بعض الوحدات تتطلب التعديل، حتى لو كان ذلك أكثر تكلفة من استبدالها بوحدات عرض جديدة ذات أداء أعلى. على الرغم من أن الدافع سيكون في البداية هو تحسين أداء الحفظ، إلا أن الاحتفاظ بعنصر من مظهر أو أصالة وحدة العرض الأصلية قد يكون له أهمية متساوية مع مبادئ الحفظ الوقائي؛ وسيناقش هذا البحث بعض التدابير التي يمكن تطبيقها بوحدات العرض الخشبية القديمة لتحسين ظروف العرض وحماية القطع الأثرية بداخلها وتحسين خصائص المواد المستخدمة بوحدات العرض المتحفي وكذلك تقليل الانبعاثات الضارة الناتجة عنها، والتي تؤدي إلى تلف الآثار المعروضة بداخلها، بالإضافة إلى التحكم في مصادر التلف من رطوبة وغيرها. وسوف يتم التحدث عن عناصر ومكونات وحدات العرض المتحفية، كما سيتم عرض إحدى دراسات الحالة التي توضح السلبيات المختلفة وأساليب رفع الكفاءة، ويُقَيَّم نجاحها من خلال مراقبة المعايير البيئية.

أولاً: العمارة الداخلية الخضراء بالمتاحف وتحقيق الاستدامة:

المتاحف الخضراء هي نهج معماري شامل لذلك لابد أن تبدأ من المرحلة الأولى للبناء، أما المباني المستدامة فهي ممارسة وتطبيق للوصول لديمومة البناء يمكن أن تبدأ من مرحلة معينة، وقد تبدأ من الصفر، وهي منظومة عالية الكفاءة تتوافق مع محيطها الحيوي بأقل أضرار جانبية، فهي دعوة إلى التعامل مع البيئة بشكل أفضل يتكامل مع محدداتها، تسد أوجه نقصها، أو تصلح عيبها، أو تستفيد من ظواهر هذا المحيط البيئي ومصادره، حتى يصل إلى مرحلة الاستقرار، ومن هذه الناحية بالذات اقترن اسم العمارة الخضراء بمرادف آخر وهو التصميم المستدام Sustainable Design [2]، والمتحف الأخضرGreen Museum : هو المتحف الذي يدمج مفهوم الاستدامة في أنشطته وبرامجه وموارده البشرية ومقتنياته الفنية وعملياته، وهو المتحف الذي يضع البيئة من حوله في عين الاعتبار، ويعتبرها جزء لا يتجزأ من كينونته، لذلك لابد أن يكون المتحف صديقاً للبيئة ووجوده لا يؤثر بالسلب عليها حتى نضمن الاستدامة لهذا المتحف بكل موارده المادية والبشرية، وإنتاج معارض خضراء، وتعد المتاحف الخضراء ظواهر جديدة نسبياً حيث بدأت المناقشات حول الاستدامة البيئية داخل المتاحف في التسعينات، واستمر نموها حتى يومنا هذا. تلقى المتاحف الخضراء حالياً اهتماماً كبيراً من الأوساط الأكاديمية وكذلك المتاحف الذكية[3].

من خلال ما سبق يتضح أن البناء الأخضر هي فكرة صورها متعددة، ولكنها تتفق في أنها منظومة عالية الكفاءة تتوافق مع المحيط الحيوي بأقل أضرار، ويمثل تحديث وحدات عرض المتاحف تقاطعاً حاسماً بين الحفاظ على التراث الثقافي ومبادئ التصميم المستدام. حيث يشمل هذا التطور ما يلي:

- تنفيذ أنظمة ذكية للتحكم في المناخ للحفاظ على القطع الأثرية ومستشعرات ذكية للمراقبة في الوقت الفعلي.
- استخدام مواد مستدامة وقابلة لإعادة التدوير في بناء وحدات عرض الآثار.
- دمج استراتيجيات التصميم السلبي للتهوية الطبيعية والإضاءة وإدارة الطاقة الذكية ودمج أنظمة الإضاءة الموفرة للطاقة وتطبيق الزجاج الذكي وتقنيات الحماية من الأشعة فوق البنفسجية وتطبيق نظم الإدارة المتكاملة للآفات.
- تطوير أنظمة عرض معيارية قابلة للتكيف ودمج التقنيات الرقمية التفاعلية مع الحد الأدنى من استهلاك الطاقة.

2 - لورانس الطحان، *تطبيق معايير العمارة الخضراء على الأبنية القائمة من عام 1950 إلى عام 1970م*، رسالة ماجيستير، جامعة دمشق، كلية الهندسة المعمارية، قسم علوم البناء والتنفيذ، سوريا.2014ص 11.
3 - هشام محمد محمد حسين & عصام محمد موسى محمد ، *أثر التقنيات الحديثة على تطوير المتاحف في مصر*، مجلة العلوم الهندسية،مجلد 41، ع.2، 2013م ، ص 645.

- ضمان توافر ظروف الحفظ المناسبة للقطع الأثرية المعروضة للحد من الأثر البيئي وتحسين استهلاك الطاقة.
- استخدام مواد مستدامة منخفضة أو منعدمة الانبعاثات VOCs والمواد المتجددة وتنفيذ استراتيجيات الحد من التلوث.
- زيادة كفاءة العرض المتحفي إلى أقصى الحدود وتعزيز تجربة الزوار.

ثانياً: العمارة الداخلية بالمتاحف والعوامل المؤثرة على عرض القطع الأثرية وحمايتها:

تعتبر العمارة الداخلية للمتاحف من العوامل الأساسية التي تؤثر على عرض القطع الأثرية وحمايتها. تشمل هذه العوامل تصميم قاعات العرض، واختيار المواد المستخدمة في البناء، والإضاءة، والتحكم في المناخ الداخلي.

1- **عنـاصـر العرض المتحفـي:**

تعرف أيضا بوسائل العرض المتحفي، وهي. أما وسائل عرض أساسية، ويقصد بها خزائن ووحدات العرض بأنواعها وأشكالها المختلفة، والنوع الثاني يطلق عليه الوسائل المساعدة في العرض المتحفي وتشمل لوحات الجرافيك والبطاقات الشارحة والصور المكبرة، ووسائل العرض السمعية والبصرية وكذلك الحوامل التي تثبت عليها القطع.

- **وحدات العرض المتحفي:Museum Display Cases**

بعد تأسيس البنية التحتية للمتحف من مبنى المتحف وقاعات العرض، والممرات وغيرها، والانتهاء من تجهيز الأرضيات والطلاءات؛ التي يشترط ألا تضر بالقطع الأثرية المعروضة، وأن تأخذ وقتاً كافيا لجفافها واستقرار معدلات الانبعاثات، تأتي مرحلة وحدات العرض وذلك في حالة العرض داخل وحدات العرض المتحفية [4]، والقواعد والحواجز والخلفيات للقطع الأثرية المقترح استخدامها بطريقة العرض الحر.

- **مكونات وحدات العرض المتحفي (مواد وحدات العرض المتحفي الخشبية التاريخية):**

تتكون وحدات العرض المتحفي من عدة مواد كلا منها له خواص وسمات خاصة به، وبمرور الوقت وبالتقادم قد تكون لها أضرار متباينة على الآثار، ومن تلك المواد:

أ-الخشب: المكون الرئيسي لوحدات العرض المتحفية الخشبية باختلاف أنواعها (حائطية- رأسية- أفقية...)، حيث استخدم الخشب بشكل رئيسي في إعداد الوحدات المتحفية؛ نظراً لتوفره وكذلك قيمته الاقتصادية غير المكلفة، كما أنه يمكن إعداده محلياً بواسطة الفنيين؛ وبذلك لا يتطلب إجراءات وتكلفة، ولذلك ما يزال يستخدم في العرض المتحفي، ولكن في خلال فترة السبعينات من القرن الماضي (1970م) تم رصد انبعاثات وملوثات ناتجة عنها أدت إلى تآكل وتلف القطع الأثرية خاصة بسبب حمض النمليك (الفورميك) وحمض الخليك (الأسيتيك)، وتوجد عدة أنواع من الأخشاب المستخدمة في إعداد وحدات العرض المتحفي وينتج عن بعضها عوامل ضارة تساهم في تلف الآثار المعروضة [5] و تم رصد ذلك فى إحدى الفتارين القديمة بالمتحف المصرى و التى كانت تحتوى على بعض القطع من مقبرة توت عنخ أمون[6].

4 - Schieweck, A., & Salthammer, T.و *Emissions from Construction and Decoration Materials for Museum Showcases*, Studies in Conservation, 2009, 54 (4), p. 218

5 - Chiantore, O.; Poli, T. *Indoor Air Quality in Museum Display Cases: Volatile Emissions*, Materials Contributions, Impacts, Atmosphere 2021, *12*, 364. https://doi.org/10.3390/atmos120303646.

6- Elmarazky, A. and Kamal, H., *Impact of previous chemical treatments and environmental storage conditions on miniature agricultural implements from Tutankhamun's tomb*. In Transcending Boundaries: Integrated Approaches to Conservation. ICOM-CC 19th Triennial Conference Preprints, Beijing, 17–21 May 2021, ed. J. Bridgland. Paris: International Council of Museums, 2021

ب-الزجاج: يتواجد الزجاج في العرض المتحفي كمادة أساسية أيضا في إعداد وحدات العرض المتحفي التاريخية، حيث يتميز بالعديد من الخصائص التي تتفق مع وظيفته الجمالية كالشفافية [7]، ونجد أن الزجاج مع التقادم والتلف يحدث تغير في خصائصه ووظائفه البصرية والكيميائية.

ج-النسيج: يستخدم النسيج في تبطين وحدات العرض ويُوضَع أسفل القطع الأثرية، وقد استخدم بكثرة في العرض المتحفي في خلفيات القطع وتبطين القواعد والحوامل، وفي العرض الحائطي أيضا، وقد انتشر استخدام نسيج الكتان غالبا بالمتاحف المصرية التاريخية، وما زال يستخدم على نطاق واسع حيث يرتبط الكتان بالعقيدة عند المصري القديم، وبالتالي هو عنصر دعم في العرض الذي قد يحتوي على درجة الحموضة التي قد تتفاعل بالاتصال المباشر بالأثر.

ج-المسامير والأجزاء المعدنية والسلك: تستخدم في تثبيت القطع الأثرية بقاعدة الوحدة، وكذلك حوامل القطع المستخدمة لعرض القطع عليها، وكذلك في ربط أجزاء مكونات الوحدة المستخدمة لحفظ الآثار الخشبية.

د-**الكاوتشوك والمطاط:** استخدمت تلك المواد في إحكام غلق وحدات العرض، وتثبيت القطع الأثرية بها[8].

هـ-**الأكريليك والبوليمرات:** يتم تصنيعها وأعدادها بأشكال مختلفة، وذلك لعمل قواعد لتثبيت القطع الأثرية Mountingوحمل القطع الأثرية بها، مثال على ذلك قواعد البلكسى جلاس[9].

و-الورق والكرتون خالي الحموضة: يُستَخْدَم في عمل بطاقات التعريف Labeling (بمقاسات مختلفة والخاصة بالقطع الأثرية المعروضة بوحدة العرض والتي تحتوي على بيانات توضيحية متعلقة بالمعروضات المتحفية)[10]، وقد استخدم ورق مقوى غير معالج ببعض وحدات العرض التاريخية، فالأوراق التي يمكن إدراجها في عملية الحفظ الوقائي بالمتحف هو الأوراق الخالية الأحماض، وأفضلها استعمالاً هى الأوراق المصنوعة من الخرق أو ألفا السيليلوز التي تزيد الورق مقاومة، ومنه تصبح صالحة للاستعمال بالقرب من معظم المقتنيات[11].

ي-الطلاءات: تستخدم لمعالجة وتغطية الأخشاب المستخدمة في وحدات العرض وكذلك القواعد، واستخدمت عدة طرق في الطلاءات لوحدات العرض وفقا للدراسة الميدانية طلاء (أكاسيد لونية – الشيلاك)، ويستخدم الطلاء والورنيش كمادة تمنع تسرب الأبخرة الحمضية الموجودة في الخشب [12]، ومع ذلك بعض الدهانات والطلاءات هي نفسها تنتج كميات كبيرة من المركبات الضارة للمجموعات المتحفية المعروضة [13] ، فالطلاء الذي يحتوي على مادة الأكريليك عادة ما يكون مستقراً، في حين الدهانات الزيتية التي يدخل في تركيبها النفط، أو الذي مصدره

---

7 - ياسر سعيد بنداري ، *اعتبارات تصميم وحدات العرض الزجاجية الفعالة لرفع كفاءة الأداء الوظيفي وتأكيد القيمة الفنية لأساليب العرض والحفظ - تطبيقاً علي المنشآت التراثية الإسلامية*، مجلة العمارة والفنون ، العدد الثانى 2017 ص 10.

8- ICE Scotland Museum Collection Management Policy "*Selecting Materials for Storage and Display Introduction to storage and display materials*",2022, https://ice-museum-scotland.hw.ac.uk/wp-content/uploads/Collection_Management_Policy.

9 - إمام عبد الله إمام، رسالة ماجيستير "*العرض المتحفي المتوافق مع أسس الصيانة - تطبيقاً على نماذج مختارة*" 2018 ص 141.

10 - فيليب أدامز وآخرون ترجمة محمد حسن عبد الرحمن "*دليل تنظيم المتاحف(إرشادات علمية)* " الطبعة الأولى ، القاهرة ، الهيئة المصرية العامة للكتاب – 1993 ص 95.

11- Hanus, J. *Some Properties of Permanent Paper Made in Slovakia. Alkaline Paper Advocate* vol. 9 (1), 1996 https://cool.culturalheritage.org/byorg/abbey/ap/ap09/ap09-1/ap09-108.html .

12-Tétreault, J. *Coatings for Display and Storage in Museums*, Canadian Conservation Institute, Technical bulletin, no. 21,1999, p12.

13- Scottish Museums Council, *The Effects of Storage And Display Materials On Museum Objects*, 2009, p4.

Urethane راتنجات الالكيد، والورنيش الناجم من السيليلوز، و يوريتان النفط المعدل، فهي تصدر كميات كبيرة من الغازات الحمضية [14] ، مع مراعاة اختبار كافة المواد المفترض استخدامها بالعرض أولاً[15].

2- تأثير الظروف البيئية غير المناسبة:

إن فهم كيفية تأثير البيئة على القطع الأثرية وكيفية مراقبة عوامل التدهور والسيطرة عليها هو الجزء الأكثر أهمية في برنامج الحفظ الوقائي، حيث تتدهور القطع الأثرية بسرعة بسبب بعض العوامل الرئيسية والتأثيرات البيئية الضارة مثل درجة الحرارة والرطوبة النسبية والتلوث والضوء والآفات التي تسبب فقدانها. ويمكن تسريعه عن طريق الاستخدام والعرض غير المناسب أيضاً.

والمواد العضوية هي مواد هيجروسكوبية تمتص الرطوبة، وتطلقها في الهواء، وتحدد نسبة الرطوبة النسبية للهواء المحيط كمية الماء في المواد العضوية، وعند زيادة الرطوبة النسبية فى الجو RH، فإنها تمتص المزيد من الماء. وعندما تقل فإنها تطلق الرطوبة للوصول إلى التوازن مع البيئة المحيطة.

تؤدي الرطوبة المرتفعة إلى انخفاض في قوة الشد والمتانة للخشب[16]، ولا يقتصر الأمر على ذلك، بل يتسبب الماء الممتص داخل الخشب إلى إجهادات داخلية وبعض التشوهات لتركيب الخشب وهي غير مسترجعة، وقد ينتج عنها تساقط للطبقات اللونية.

أما في حالة معدلات الرطوبة المنخفضة في الجو المحيط يتعرض الخشب والطبقة الحاملة للجفاف وفقد المحتوى المائي، ويحدث للخشب عملية انكماش؛ مما يسبب التفاف واعوجاج الخشب. كما تؤثر الرطوبة المنخفضة على الخواص الميكانيكية للأخشاب نتيجة قوتين متضادتين (شد وضغط) مما يؤدي إلى حدوث انفصال مستمر وشديد مؤدي إلى ظهور الشقوق وانفصالات واتساع الفجوات بين ألواح الخشب وطبقة الألوان كما يؤدي إلى انفصال الوصلات[17]، بالإضافة إلى حدوث تلف في الأوعية الخشبية[18].

كما تعمل درجات الحرارة العالية أيضا على تحلل الخشب كيميائيا حيث تحدث الأخشاب تغيرات غير مسترجعة في خواصه وتحلل حراري لمكونات الخشب الكيميائية؛ مما يضعف الخواص الميكانيكية للأخشاب، كما أنها تؤثر بشكل غير مباشر؛ حيث إنها تلعب دوراً محفزاً في تفاعل المادة الملونة مع غازات التلوث الجوي، كما أن لها دوراً رئيسي في عمليات تبلور الأملاح، إضافة إلى ذلك فإن درجة الحرارة والرطوبة النسبية المرتفعة تؤدي إلى نمو الكائنات الحية الدقيقة والتلف البيولوجي [19].

---

14 -براهيمى فائزة ، *التحف المعدنية بمتاحف الغرب الجزائري -دراسة لوسط الحفظ*، أطروحة لنيل الدكتوراه في العلوم 2014، ص 74.

15- -Green, L. R., & Thickett, D. *Testing materials for use in the storage and display of antiquities—a revised methodology*. Studies in Conservation, 1995, 40(3), https://doi.org/10.1179/sic.1995.40.3.145, p. 148.

16- Singley, K,. *The Conservation of Archaeological Artifacts From Freshwater Environments. South Haven, MI.*: Lake Michigan Maritime Museum, 1988p. 62

17- نسرين الحديدي، *دراسة بعض التغيرات فيزيائية و الميكانيكية و الكميائية للأخشاب الأثرية التالفة و طرق تقويتها مع التطبيق مع التطبيق على بعض القطع الخشبية بالمتحف الإسلامى بالكلية* - رساله دكتوراه، قسم ترميم الاثار، كلية الاثار، جامعة القاهرة 2002 ، ص 93.

18 - مراد فوزي، *دراسة فى العلاقة بين تمدد وانكماش الخشب ومركباته الكيمائية مع عمل تطبيقات عملية فى العلاج والصيانة على نماذج مختارة من الاخشاب الحاملة للطبقة اللونية*، رسالة ماجيستير، كلية الاثار، جامعة القاهرة 2010 ص145.

19 - مراد فوزي، مرجع سابق ص 146

أما في حالة التغيرات المفاجئة في درجات الحرارة والرطوبة النسبية، فيتعرض الخشب لعمليات التمدد والانكماش السريع؛ مما يتسبب في حدوث حركة بالأخشاب وباستمرار تعرض الأخشاب لتلك الحركات يؤدي إلى العديد من مظاهر التلف من انفصال في الألياف والتعرض للالتفاف والتشقق الطولي والاجهادي، والتقعر أو التحدب، بالإضافة إلى تساقط الطبقات اللونية وانفصال الوصلات.

يمكن أن يؤدي انبعاث الملوثات الغازية من مواد وحدات العرض إلى حدوث تفاعلات داخلية [20]، وكذلك الضوء قد يُحدث ضرراً كبيراً عن طريق التسبب في تفاعلات كيميائية في المواد الملونة، أو في الخشب، ما يسبب تغيرات غير مرغوب فيها، وقد يؤدي الضوء إلى تغير أو بهتان الألوان خاصة الضوء الطبيعي والأشعة فوق البنفسجية، حيث يمكن أن يتسبب في تلاشي الألوان الزاهية للأخشاب، وقد يؤدي إلى تدهور القطع الأثرية على مدى فترة طويلة[21].

لذلك يهتم المتخصصون في صيانة وحفظ المقتنيات بوضع أجهزة حديثة للتحكم في معدلات الحرارة والرطوبة من أجل ضبط معدلات البيئة الداخلية داخل قاعات العرض والتخزين؛ حيث إن ثبات البيئة داخل القاعات بشكل كلي من شأنه أن يوقف كل أشكال التلف، ويمكن القول أن أجهزة التحكم في معدلات الحرارة والرطوبة قد تطورت في الآونة الأخيرة إلى حد بعيد، وأصبح الآن من الممكن التحكم بها عن بُعد، من أجل تحديد معدلات الحرارة والرطوبة التي تتناسب مع طبيعة المعروضات، دون أن تتعرض للتلف والتي تهيئ في نفس الوقت الظروف البيئية المناسبة لراحة الزائرين.
ولذلك تتطلب أخذ تدابير وقرارات مدروسة لحماية القطع الأثرية من خطر التدهور وعمل تقييماً مستمراً ودورياً، حيث أن الصيانة الوقائية بالعرض المتحفي تتعلق بـ (موقع المتحف – أسلوب وطريقة العرض – الظروف البيئية المحيطة).

3- تأثير المواد المستخدمة في وحدات العرض المتحفي داخل المتاحف:

أثبتت الدراسات الحديثة في مجال صيانة الآثار أن المواد المستخدمة في تجهيزات العرض المتحفي مثل: وحدات العرض والقواعد وغيرها من المواد المختلفة المستخدمة، والتي تحيط أو تلامس القطع الأثرية؛ من الممكن أن تحدث سلسلة من التأثيرات المتلفة للمجموعات المتحفية المعروضة أو المحفوظة بداخلها، فمن الممكن أن تسبب حدوث تلف للأخشاب الحاملة للطبقات اللونية وبهتان للألوان وتدهور حالة حفظ المقتنيات العضوية الحساسة وجميع هذه العوامل تصبح أكثر تأثيراً في وجود الحرارة المناسبة والرطوبة النسبية المرتفعة.

وبالبحث والدراسة وجد أن مواد وحدات العرض المتحفي التي تعد خط الدفاع الأول عن القطع الأثرية الخشبية الحاملة للطبقات اللونية المعروضة بداخلها تلعب دوراً رئيسياً في تلف القطع الأثرية، خاصة مع حدوث تقادم لمواد الوحدات، حيث أثبتت الأبحاث أن بعض المواد المستخدمة في تصنيع وحدات العرض تؤدي إلى انبعاث مواد متطايرة مثل الفورمالدهيد وحمض الخليك وحمض الفورميك وأكسيد النتروجين وأكسيد الكربون وأكسيد الكبريت والأوزون وغاز الأمونيا، وفي وجود الحرارة المناسبة ودرجة الرطوبة النسبية المرتفعة تتكون الأحماض الضارة بالآثار المسببة لتدهورها [22].

20- Uhde, E, and Salthammer,T., *Impact of Reaction Products from Building Materials and Furnishings on Indoor Air Quality - A Review of Recent Advances in Indoor Chemistry*, Atmospheric Environment, 2007, 41(15), 3111-3128.
21 - Feller, R.L. and Schaeffer, T, *Effect of Light on Materials in Collections*, Journal of the American Institute for Conservation, 2002, pp. 185-187.
22- Chiantore, O.; Poli, T. op. cit. p.7

- مصادر الانبعاثات والمواد المتطايرة والأحماض الضارة بوحدات العرض المتحفي:

- بعض أنواع الأخشاب المستخدمة في تصنيع وحدات العرض والخزانات والأرفف مثل خشب البلوط والأخشاب المصنعة والمضغوطة (نتيجة اللواصق المستخدمة في التصنيع).
- الراتنجات واللواصق الصناعية.
- بعض الدهانات والطلاءات.
- بعض أقمشة التبطين (الصوف-النسيج الصناعي والمصبوغ).
- المواد المانعة للتسرب
- الكاوتش.
- المعادن ومواد التعليق والدعم للمعروضات (كالأسلاك والدبابيس).
- الفوم (البولي يوريثان-إسفنج البوليمر منخفض الوزن- البولي استر).
- المضادات الحشرية والبكتيرية.

جدول رقم (1) المواد التي يجب تجنبها في وحدات العرض المتحفي والملوثات الناتجة عنها

المواد التي يجب تجنبها	الملوثات الناتجة عنها
الأخشاب: (البلوط - الكستناء الحلو - الصنوبر الأصفر-الماهوجني الأحمر- الساج-الأرز الأحمر الغربي- الفلين). **الأخشاب المصنعة: (الخشب الرقائقي- الخشب المضغوط- الأبلكاش المصنع بلاصق يوريا فورمالدهيد).**	**حمض الخليك وحمض الفورميك، البيروكسيدات العضوية.** **الأحماض العضوية، البيروكسيدات، الكبريت[23]**
البلاستيك: (كلوريد البولي فينيل- كلوريد البولي فينليدين- نترات السليلوز- خلات السليلوز- السليلوز ثنائي وثلاثي الأسيتات).	**كلوريد الهيدروجين، كلوريد البولي فينيل، حمض النيتريك، مجموعة الخلات التي تتحول إلى حمض الخليك.**
المطاط الطبيعي	**الكبريت[24]**
الفوم: (البولي يوريثان- إسفنج البوليمر منخفض الوزن- البولي إستر)	**أحماض عضوية، أسيتات.**
الدهانات: (الزيت- الزيت المعدل - الألكيد، زيت التانج، زيت الصنوبر) **الراتنج في النفط المعدني- الراتنجات الزيتية.** **اللاتكس (ستايرين بوتادين، خلات البولي فينيل، مستحلب الفينيل الأكريلي مع صباغ الليكوبين).**	**أحماض دهنية، كبريت، فوق أكسيد الهيدروجين، ألدهيدات، أمونيا، كبريتيد الهيدروجين، الأحماض العضوية، حمض الأسيتيك، الفورميك[25].**
الشموع والبلاستيسين	**أحماض عضوية، كبريت.**
اللواصق: (الغراء البروتيني- اللواصق المطاطية- نترات السليلوز- بولي فينيل أسيتات- بولي فينيل كلوريد- لواصق اليوريا فورمالدهيد).	**الكبريت، حمض النيتريك، حمض الخليك، كلوريد الهيدروجين، حمض الفورميك. [26]**
الألياف: (الصوف- النايلون- الألياف المقاومة للحريق-الشبك المانع للحشرات-الألياف المصبوغة بأصباغ الكبريت- الجلود شبه المدبوغة- الألياف المفرودة والمقاومة للكرمشة - فراء الحيوانات).	**الكبريت، كبريتيد الهيدروجين، الفورمالدهيد[27].**

23 - Chiantore, O.; Poli, T. op. cit. p.11

24 - Scottish Museums Council, *Introduction to storage and display materials*, March 2024, https://www.museumsgalleriesscotland.org.uk/advice-article/introduction-to-storage-and-display-materials/.

25 - Dremetsika, A. V., Siskos, P. A. and Bakeas, E. B., *Determination of formic and acetic acid in the interior atmosphere of display cases and cabinets in Athens museums by reverse phase high performance liquid chromatography*. Indoor and Built Environment, vol. 14, 2005, p55.

26 - Paolin, E. and Strli, M., *Volatile Organic Compounds (VOCs) in Heritage Environments and Their Analysis*, Applied Sciences Journal, 14 (11), 2024, https://doi.org/10.3390/app14114620 - p.13

27 - Grzywacz, C.M., *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2006, p 98.

4- عوامل تلف تتعلق بطريقة العرض المستخدمة:

تتمثل في عوامل التلف الناجمة عن العرض غير المناسب للآثار الخشبية بصفة عامة والحاملة للطبقات اللونية بشكل خاص، وهو يتمثل في:

- طرق العرض غير الملائمة من (تكدس المعروضات بوحدة العرض وتلاصقها في بعض الحالات، وعرض أكثر من مادة أثر معا مما قد ينتج عن ذلك تفاعلها وتلفها مثل عرض المعادن مع الأخشاب).
- عدم اتباع آليات الصيانة الوقائية من افتقاد الصيانة والتنظيف الدوري للمقتنيات ومتابعة الظروف البيئية المحيطة بالقطعة الأثرية، فينتج عن ذلك تراكم الأتربة والعوالق السطحية، ويؤدي إلى تداخلها مع القطع الأثرية، وتكون إتساخات وجذب التلف الحشري والبيولوجي بصورة كبيرة.
- تكدس المقتنيات المعروضة بوحدة العرض المتحفي مما يؤدي إلى حدوث تلف وخاصة مع توافر ظروف الرطوبة النسبية المرتفعة، بالإضافة إلى افتقاد القيم الجمالية والفنية للقطع الأثرية المعروضة.
- استخدام وسائل الإضاءة التى ينبعث عنها الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء بدون استخدام مرشحات ضوئية؛ مما ينتج عنه تأثير حراري وكيميائي ضوئي للمعروضات خاصة القطع الأثرية الملونة.[28]
- ارتفاع درجات الحرارة ومعدلات الرطوبة النسبية؛ مما يؤدي إلى حدوث التكاثف وتلف القطع وكذلك نمو الكائنات الحية الدقيقة، وتدهور حالة القطع الأثرية المعروضة[29].
- استخدام لواصق ومواد غير مناسبة كوسائل مساعدة بالعرض المتحفي مما يؤدي إلى نمو التلف الحشري والبيولوجي التي تتغذى على المواد العضوية وتلف تلك القطع خاصة مع الظروف البيئية غير الملائمة.
- العرض في وحدات متحفية غير مجهزة مسبقاً على نحو دقيق وغير محكمة الغلق؛ مما يؤدي إلى التأثر البالغ بالظروف الجوية البيئية المتغيرة وتلف القطع الأثرية وتآكل مكوناتها[30].
- استخدام وسائل عرض معدنية مساعدة غير معالجة قابلة للتآكل والتلف مثل الدبابيس وحلقات التعليق؛ مما ينتج عنه تلف وسائل العرض وانتقال التلف إلى القطع الأثرية المعروضة.

ثالثاً: توظيف التقنيات الحديثة لتحسين العرض المتحفي وحماية القطع الأثرية تطبيقاً على وحدة عرض بالمتحف المصري

يمكن استغلال التقنيات الحديثة من مواد وأجهزة في تحسين تجربة العرض المتحفي وتوفير الظروف البيئية المثالية للقطع الأثرية، وتحسين كفاءة الفراغات الداخلية باستخدام تقنيات خضراء مع مواد التصميم الداخلي مثل تقنية النانو حيث تساعد على تنقية الهواء الداخلي، وجودة الإضاءة، الحماية من الإصابات البيولوجية، مقاومة الحريق، حيث يتم الاستفادة من تقنية النانو وتوفيرها لزيادة كفاءة الطاقة والاستدامة في الفراغات الداخلية مما سيساعد على تحسن المناخ واستدامة البيئة، وتصبح المتاحف المكان الذي يلتقي فيه التراث بالتقنيات الخضراء. ويمكن أن يؤدي ذلك إلى تعزيز التأثيرات البيئية للمتاحف، والحفظ الوقائي، وتجربة الزوار من خلال إعدادات عرض مبتكرة ومستدامة. ونجد أن هناك أهدافاً يُرجى تحقيقها من خلال استخدام التقنيات الحديثة لتحقيق التنمية المستدامة بالمتاحف ومنها:

- تحسين الأداء البيئي والاقتصادي؛ حيث إنها صديقة للبيئة.
- تحسين خصائص مكونات العرض المتحفي.

28- Templeton, R. H., *Effect of Light on Artefacts- Damage, Prevention and Control*, National Centre for The Arts, 2012 p 14. 10.13140/RG.2.2.19882.62406.

29 - NPS Museum Handbook, Part I, *Museum Collections Environment*, 2016, p 7

30- أحمد إبراهيم عطية وعبد الحميد الكفافي ، "*حماية و صيانة التراث الأثري*" ، القاهرة، دار الفجر2003ص98.

- تقليل متطلبات الطاقة (توفير الطاقة بكافة مصادرها) [31].
- زيادة راحة الإنسان داخل الفراغات الداخلية من خلال الوصول لدرجات الحرارة والرطوبة المُثلى بترشيد استهلاك الطاقة، مع الحصول على سطح يتحكم في درجات الحرارة والرطوبة حسب الظروف المناخية.
- المحافظة على سلامة القطع الأثرية والنظام البيئي من خلال التقليل من كمية الانبعاثات الضارة والملوثات.
- الحصول على سطح خفيف الوزن وأكثر قوة ومتانة، ويقاوم التصدعات والتشققات والأضرار، ويعمل على إصلاحها ذاتياً [32].

تقييم إحدى وحدات العرض بالمتحف المصري بالتحرير:

تضمن الجانب التطبيقي دراسة وحدة عرض محتوية على مجموعة من التوابيت الخشبية الحاملة للطبقات اللونية، باعتبارها خط الدفاع الأول عن القطع الأثرية والمسؤولة عن حمايتها. كما تم تقييم مدى قدرتها على أداء وظيفتها بشكل فعال وتطبيق آليات الصيانة الوقائية في المتاحف.

توجد وحدة العرض داخل **المتحف المصري بالتحرير** (متحف الآثار المصرية في القاهرة)، الذي صُمِّم على الطراز الكلاسيكي الجديد من قبل المهندس المعماري الفرنسي **مارسيل دورنون** (1897م)، وكانت تعتبر القبة الخرسانية المسلحة ونظام التهوية والمؤثرات الخاصة داخل المتحف التي أُنْشِئَت باستخدام الإضاءة الكثيفة مبتكرة للغاية في ذلك الوقت، وقد تأسس المتحف المصري في البداية عام 1858 في بولاق، ثم انتقل إلى ملحق بقصر الخديوي "إسماعيل باشا" في الجيزة – ثم انتقل إلى موقعه الحالي في عام 1897- 1902م، ويُعد العرض بالمتحف المصري فريدًا من نوعه، حيث يبرز نماذج تُمثل تاريخ الحضارة المصرية بكل جوانبه كما يضم مجموعة من الآثار القيمة التي تعتبر الأبرز من نوعها عالميًا، وتُعبر عن مختلف مراحل التاريخ المصري القديم [33].

- **توثيق وتسجيل القطع الأثرية داخل وحدة العرض المختارة:**

- الوصف الأثري والتاريخي: مجموعة توابيت ديربو Dirpu (***dy-rpw***) ومن ألقابها "سيدة المنزل" و"مغنية أو منشدة آمون-رع ملك الآلهة" ترجع إلى الأسرة الحادية والعشرين – عصر الإنتقال الثالث؛ تم إكتشافها فى خبيئة باب الجسس – الدير البحري بطيبة في عام 1891م.
- تنتمي هذه التوابيت إلى مجموعة التوابيت التي يطلق عليها "التوابيت الصفراء"، نظرًا لتقليدها للتوابيت الملكية المصنوعة من الذهب الخالص أو الخشب المذهب، وهي عبارة عن تابوتين أحدهما خارجي، والآخر داخلي فضلًا عن لوح مومياء. يصور التابوتان الخارجي والداخلي، إلى جانب لوح المومياء، المتوفاة مرتدية باروكة مميزة، وقد رتبت أطراف شعرها المستعار بأشرطة من الخرز، وزين الجزء العلوي من رأسها بشريط مصنوع من أزهار اللوتس وبتلاتها، وترتدي أقراطًا مستديرة، وقلادة عريضة. كما زينت هذه المجموعة بمشاهد دينية من كتاب الموتى، ومناظر لصاحبة التابوت وهي تتعبد لآلهة متعددة، ورموز عديدة تهدف إلى حماية المتوفاة أثناء رحلتها إلى الحياة الآخرى.
- توابيت ديربو هي مجموعة من التوابيت الشهيرة التي تبرز الفنون الجنائزية في الماضي
- أرقام القطع و نوعها: توابيت من الخشب الحامل للطبقات اللونية مكونة من 5 قطع عبارة عن تابوتين بغطائهما وغطاء المومياء، سجل عام JE 29669 – التابوت الخارجي: سجل خاص القسم السابع SR19732 (1،2)، كتالوج 6117 – 6118 – التابوت الداخلي: سجل خاص القسم السابع

31- Gammampila, R., Mendis, P., Ngo, T., Aye, L., Jayalath, A. and Rupasinghe, R.A.M. *Application of nanomaterials in the sustainable built environment*. Int. Conf. Sustain. Built Environ. (2010). (ICSBE-2010) Kandy, 13-14 December. 20-27.

32- Elvin, G. *Building Green with Nanotechnology*, Cleantech Conference and Trade Show Cleantech, 2007. p167.

33 -Encyclopedia Britannica, http://www.britannica.com/EBchecked/topic/180750/ Egyptian-Museum.

SR19732(4،3)، كتالوج 6083 – 6084؛ لوح المومياء: سجل خاص القسم السابع SR19732(5)، كتالوج 6085.

- مكان القطعة: متواجدة بالعرض المتحفي جنوب 48- علوى - وحدة A – المتحف المصري بالتحرير- القاهرة.

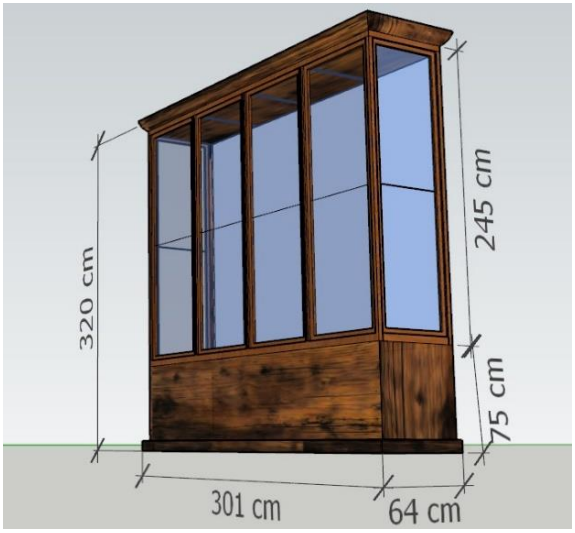
- **التحليل التقني والفني لوحدة العرض:**
  - رقم وحدة العرض: (A).
  - نوع وحدة العرض: وحدة عرض خشبية.
  - تاريخ وحدة العرض: من خلال أرشيف المتحف المصري والسجلات ثبت أنها من وحدات المتحف القديمة الأصلية التي تعود إلى عهد إنشاء المتحف.
  - الوصف الفني (التقني): وحدة العرض من نوع وحدات التي لا تحتوي (الباهات) وهو مكان بوحدة العرض، بالجزء السفلي مخصص لتخزين وحفظ قطع إضافية غير معروضة بجانب القطع المتواجدة بالعرض بالجزء العلوي؛ وبالتالي فتلك الوحدة لا تحتوي على مكان مجهز لوضع مواد للتحكم البيئي أو المواد الماصة للرطوبة (صورة رقم 1).

صورة رقم (1) وحدة العرض موضع الدراسة المتواجد بها توابيت ديربو Dirpu الخشبية الحاملة للطبقات اللونية

لُوحظ عدم تطبيق إجراءات الصيانة الوقائية اللازمة في بيئة العرض، حيث تفتقر القاعات إلى التكييف المركزي أو وحدات التحكم البيئي المتنقلة، بالإضافة إلى غياب المواد الماصة للرطوبة وغيرها من أساليب الصيانة الوقائية المستخدمة في التحكم البيئي. وقد تبين أن المتحف المصري قد بدأ مشروعًا لتطوير قاعات العرض بالتعاون مع الاتحاد الأوروبي، نظرًا لعدم تحديث المتحف لفترة طويلة لمواكبة التغيرات البيئية، بما في ذلك ظاهرة التغير المناخي التي أثرت بالفعل على بعض القطع الأثرية. ومع ذلك، يتم حاليًا تطوير نظام العرض في المتحف بما يتناسب مع حالة القطع المعروضة، مع تحسين وحدات العرض لتوفير بيئة ملائمة. كما أوصت الجهات المعنية

بالحفاظ على كافة وسائل العرض القديمة، مثل وحدات وأدوات العرض الأخرى والمبنى نفسه، حيث أصبحت جزءًا لا يتجزأ من الأثر، ولا يمكن الاستغناء عنها، بل يجب تحسين خصائصها لتتناسب مع المتطلبات الحالية.

الأبعاد والمقاسات: الطول 3.00 متر، العرض 0.64 متر، الارتفاع 3.20 متر (يشمل قاعدة 0.75 متر وواجهة عرض من الخشب والزجاج بارتفاع 2.45 متر)، كما هو موضح بشكل رقم (1).



شكل رقم (1) رسم ثلاثي الأبعاد لوحدة العرض موضع الدراسة المراد إعادة عرض التوابيت الخشبية بها (يوضح الأبعاد).

- **مظاهر التلف:**

- بالنسبة للخشب وجد الآتي:

- قد تبين من خلال الفحص لعينات خشبية خاصة بوحدة العرض المتحفي أن الأخشاب المستخدمة هي الصنوبر Pine (الموسكي) والخشب الرقائقي Plywood.
- تقشر في طبقة الطلاء بالعديد من الأماكن والمواضع بوحدة العرض المتحفي (ناتج عن استخدام الماء في تنظيف الأرضيات.
- تباين لون وحدة العرض- غير موحد ودرجات لونية متفاوتة من بني فاتح وغامق؛ وبالتالي شكل غير منسجم وتشوه بصري، بالإضافة إلى عدم انتظام في توزيع الطلاء.
- إنتشار أتربة وإتساخات سطحية ملتصقة بسطح وحدة العرض.
- لوحظ أن الأخشاب المكونة لوحدات العرض تحمل إصابات بيولوجية وخاصة في الأجزاء السفلى والقواعد؛ نظرا لاستخدام المياه الجارية في تنظيف الأرضيات؛ مما يؤدي إلى توافر مصدر الرطوبة ومن ثم إصابتها بيولوجياً.
- فقد جزئي للألواح الخشبية ببعض المناطق بوحدة العرض المتحفية وبالتالي قد يؤدي ذلك إلى ضعف عام.
- عدم وجود رقم وحدة العرض بشكل واضح، لذلك ينصح بعمل قاعدة بيانات كاملة رقمية تشمل كافة البيانات الخاصة بوحدة العرض والاهتمام بها والنظر إليها حيث تعد جزءاً لا يتجزأ من الأثر كما سبق الذكر.

- الزجاج:

- الزجاج عبارة عن زجاج 4 مم، مكون من أكثر من جزء وبه فراغات وأجزاء مكسورة وبالتالي يوجد فواصل وأماكن تسريب؛ مما ينتج عنه عدم إحكام غلق وحدة العرض ووجود أماكن تسريب للهواء والأتربة والملوثات. وتتعذر رؤية الأثر بوضوح دون وجود أي انعكاسات أو تموجات، وغير مقاوم للخدش أو معالج لمنع نفاذ الأشعة فوق البنفسجية التي تسبب أضرار بالغة للآثار العضوية الحساسة وكذلك الأشعة تحت الحمراء و المسئولة عن التراكم الحراري.
- انتشار بصمات الأصابع وأتربة وإتساخات سطحية بشكل واضح بعدة أماكن على سطح الزجاج.
- تواجد المادة اللاصقة المستخدمة بشكل واضح على السطح.

- انتشار الانعكاسات بشكل لافت للنظر؛ مما يؤدي إلى صعوبة الرؤية الواضحة بالنسبة للزائر.

- النسيج:

وجد النسيج المستخدم في حالة متهالكة وبه تبقع، واصفرار شديد للغاية ومتهالك، بالإضافة إلى قدمه لذلك ينصح باستبداله نظراً لصعوبة معالجته، بالإضافة إلى تدهور حالته ومظهره غير الملائم.

- بطاقة التعريف:

تبين أن بطاقة التعريف المستخدمة (Label) قديمة جدًا وتعاني من الاصفرار والحموضة الشديدة. لذلك، يُنصح باستبدالها وتغيير مكان وضعها، حيث إنها تغطي النقوش والكتابات أسفلها، بالإضافة إلى تأثيرها الحمضي الضار.

صورة رقم (2) بطاقة التعريف المستخدمة Label بالقطع موضع الدراسة وكذلك انتشار الأتربة الكثيفة نتيجة عدم احكام غلق وحدة العرض.

- وضع القطع الأثرية بطريقة غير ملائمة:

الاتصال المباشر بين الأثر والقماش القديم المتهالك، ووضع الأثر مباشرة على النسيج المستخدم دون وجود حامل مناسب، بالإضافة إلى الأجزاء الخشبية المستخدمة في تدعيم القطع الأثرية المعروضة (صورة رقم 3)، قد يؤدي إلى إنتاج كميات كبيرة من الرطوبة والأحماض الضارة، فضلاً عن احتمال وجود إصابات حشرية. كما يمكن أن تتصاعد أبخرة أو غازات تساهم في تكسير الروابط في المواد السليولوزية والبروتينات، مما يؤدي إلى تغير بعض الألوان وإعادة تبلور الأملاح على الآثار. كما أن الفورمالدهيد أو حمض الأسيتيك قد يتكون بسبب أنواع الأخشاب المختلفة المستخدمة فى صناعة وحدة العرض أو أخشاب الأثر نفسه.

صورة رقم (3) الأجزاء الخشبية المستخدمة في تدعيم القطع الأثرية المعروضة والدبابيس المعدنية المستخدمة في تثبيت القماش

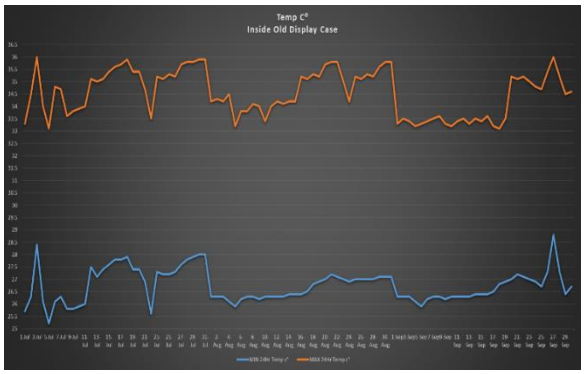
تثبيت التوابيت الخشبية داخل وحدة العرض بطريقة غير جيدة حيث إنها مثبتة (من الرأس) من خلال مسمار من الصلب وسلك معدني (صورة رقم 4)؛ مما يؤدي إلى تلف وتشوه الأثر. واستخدام وسائل عرض مساعدة معدنية غير معالجة قابلة للتآكل والتلف مثل الدبابيس وحلقات التعليق؛ مما ينتج عنه تلف القطع الأثرية المعروضة.

صورة رقم (4) تثبيت التوابيت الخشبية داخل وحدة العرض (من الرأس) من خلال مسمار من الصلب وسلك معدني

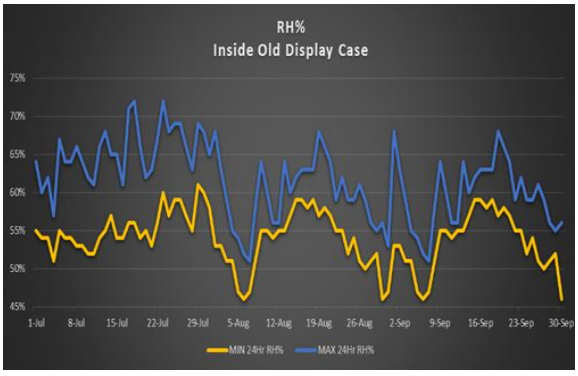
صورة رقم (5) أثناء وضع مسجل البيانات لمراقبة الظروف الفعلية المحيطة بالقطع الأثرية المعروضة

- <u>ضعف تجهيزات وحدة العرض:</u>

تعاني وحدة العرض من قصور في عدم اتباع القواعد المتعارف عليها عالمياً لمواصفات وحدات العرض الحديثة سواء من حيث التصميم، أو من حيث تهيئة الظروف الداخلية المناسبة لحفظ الآثار المعروضة بها.
كما أنها تخلو من الأجهزة الحديثة لقياس الحرارة والرطوبة، وقد تمت مراقبة المناخ الداخلي لوحدة العرض موضع الدراسة التي تحتوي على مجموعة من التوابيت الحاملة للطبقات اللونية لمدة ثلاثة أشهر، وقد تم إجراء الرصد البيئي لشهور (يوليو – أغسطس - سبتمبر)، وتم عمل نموذج للرصد البيئي للتأكد من استقرار تلك العوامل من عدمه، وتشير البيانات الموضحة بالشكل رقم (2) و (3) و (4) إلى أن الظروف أقل من مثالية للمجموعة الأثرية التي تحتوي عليها؛ وذلك من خلال استخدام جهاز استشعار ومسجل بيانات إلكتروني Xiaomi Mi لمراقبة الظروف المحيطة بالقطع الأثرية المعروضة مزوداً بأجهزة إستشعار إلكترونية لرصد وتسجيل درجة الحرارة وقيم الرطوبة النسبية، والتي تفي احتياجات المتحف العادية، حيث يعطي قراءات مستمرة ويعمل بشكل أوتوماتيكي، حيث إنه كلما كانت القراءات منتظمة ودورية ومستمرة على مدار اليوم كلما كانت النتائج واقعية ودقيقة حيث يتم الاعتماد على متوسط تلك القراءات.
وقد وُضِعَت أدوات القياس بمواضع يتوافر بها الشروط الآتية:
- بالقرب من الأثر لرصد البيئة المحيطة به بدقة (داخل وحدة العرض) - بعيدا عن العامة.
- سهولة الوصول إلى البيانات وأخذ القراءات حيث تم تفريغ البيانات من أجهزة التسجيل دون الحاجة إلى التعامل معها فعليًا. وهذا يعني أنه يمكن مراقبة الظروف داخل وحدة العرض، دون الحاجة إلى فتحها من خلال شبكة Wi-Fi أو Bluetooth، أو تقنيات أخرى لاسلكية لنقل المعلومات البيئية من خلال تطبيقات على الهواتف الذكية، كما أن بعض مسجلات البيانات تتيح تخزين البيانات على خوادم سحابية، ويمكن الوصول إلى هذه البيانات عبر الإنترنت من أي مكان.



شكل رقم (2) الرصد البيئي (لدرجات الحرارة) داخل وحدة العرض موضع الدراسة (وحدة عرض لمجموعة توابيت حاملة للطبقات اللونية).



شكل رقم (3) الرصد البيئي (لنسب الرطوبة) داخل وحدة العرض موضع الدراسة (وحدة عرض لمجموعة توابيت حاملة للطبقات اللونية).

وقد أشارت مراقبة البيئة باستخدام جهاز استشعار ومسجل بيانات الحرارة والرطوبة Xiaomi Mi إلى أن وحدة العرض شهدت مستويات مرتفعة من الرطوبة النسبية وتذبذبات كبيرة في درجات الحرارة؛ بسبب عدم وجود نظام تحكم مركزي. كما لوحظ تسرب كبير للهواء من خلال هيكل الوحدة، سواء من أماكن غير محكمة الغلق، أو من خلال وصلات الزجاج أو الأماكن المكسورة فيها.

مما سبق يتضح أن مراقبة العوامل والظروف البيئية المحيطة بالقطع الأثرية أوضحت وجود تفاوت شديد في درجات الحرارة ونسب الرطوبة وعدم تناسب تلك الدرجات والنسب مع طبيعة القطع الأثرية المعروضة؛ وبالتالي فهي إحدى أهم العوامل التي تساهم في تلف التوابيت الخشبية الحاملة للطبقات اللونية الموجودة ببيئة العرض المتحفي، حيث تُظهر الدراسات السابقة أن مستوى الرطوبة النسبية أعلى من 65% سيساهم في نمو الكائنات الحية الدقيقة Micro Organism والنمو البيولوجي ، في حين أن مستوى الرطوبة النسبية المنخفضة يمكن أن يؤدي إلى الهشاشة والتمزق. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تؤدي التقلبات في درجات الحرارة والترددات في الرطوبة النسبية إلى تغييرات في الأبعاد والتشوه والإجهاد الميكانيكي[34].

جدول رقم (2) نتائج رصد معدلات ودرجات التغير والتفاوت الشديد فى درجات الحرارة و نسب الرطوبة على مدار اليوم خلال الفترة من شهر يوليو إلى شهر سبتمبر 2024م - داخل وحدة العرض موضع الدراسة (وحدة عرض لمجموعة توابيت حاملة للطبقات اللونية)

Conclusion of Temp C° and RH %		
Date	**Display Area- Inside Display-case**	
From July To September	**Min C°**	25.2 C°
	Max C°	33.6C°
	Max. 24 Hr. temp Fluctuation	8.1 C°
	Min RH	46%
	Max RH	72%
	Max. 24 Hr. RH Fluctuation	16%

34- Paşcu, P. and Simion, I., *Study on Microclimate in Museum Display Cases*, U.P.B. Sci. Bull., Series D, 84 (2), 2022, p.62.

- نظام الحماية والأقفال:

وحدة العرض موضع الدراسة لا يوجد بها أي نظام حماية أو أقفال ولفتح الوحدة يتم استخدام طرق بسيطة بإزالة جزء كامل من الواجهة الزجاجية وكذلك باقي وحدات المتواجدة بالمتحف المماثلة لها، مما يجعل هناك صعوبة لفتح وحدة العرض للتعامل مع الآثار المتواجدة بداخلها أو لوضع أجهزة ومواد رصد أو تحكم بيئي، بالإضافة إلى أن هذه الطرق قد تسبب احتكاكاً أو ارتطاماً بالأثر أثناء عملية الفتح أو الغلق وتعرض وحدة العرض نفسها إلى خطر الكسر والسرقة.

صورة رقم (6) طريقة فتح وحدة العرض موضع الدراسة والوحدات المماثلة لها.

- الإضاءة:

تبين أن الإضاءة في العرض المتحفي غير متناسبة مع القطع المعروضة، مما يؤدي إلى حدوث انعكاسات على الزجاج ويعيق الرؤية. بالإضافة إلى ذلك، تحتوي الإضاءة على أشعة فوق بنفسجية ضارة، ويتم الاعتماد على الإضاءة الطبيعية دون استخدام مرشحات، مما يعرض القطع للأشعة الضارة.

صورة (7) الإضاءة المستخدمة بالعرض المتحفى، وتظهر الإعتماد على الإضاءة الطبيعية المستخدمة نهاراً

- **مراحل تجديد وإعادة تأهيل وحدة العرض تمهيدًا لإعادة عرض التوابيت الخشبية الحاملة للطبقات اللونية في المتحف المصري بالتحرير:**

تم إعادة تأهيل وحدة عرض مماثلة للوحدة المعروض بداخلها مجموعة التوابيت الحاملة للطبقات اللونية (ديربو Dirpu) تطبيق بها الآليات المثلى للوصول إلى الظروف الآمنة التي تضمن الحفاظ على الآثار المعروضة بداخلها من كل العوامل التي يمكن أن تعرضها للتدهور سواء من حيث درجات الحرارة أو الرطوبة أو التلوث أو الضوء

بمكوناته المختلفة أو الإصابات الميكروبيولوجية أو الحشرية. مع عمل تصميم مبدئي للتعديلات المراد إجراؤها على وحدة العرض شكل رقم (4). و تم نقل وحدة العرض من مكانها الأصلى إلى المكان الجديد شمال 46 علوى.

شكل رقم (4) تصميم مبدئي ثلاثي الأبعاد للتعديلات التي ستتم على وحدة العرض استعداداً لبدء التنفيذ على الطبيعة

تم رفع كفاءة وحدة العرض من خلال المراحل التالية:

1- الهيكل الخشبى:

تم تجديد الهيكل الخشبي المكون لوحدة العرض حيث تم تعقيم كافة الأخشاب المستخدمة في فترينة العرض كإحدى مراحل إعادة التأهيل، بالإضافة لما سبق فقد تم إزالة مواد الطلاء والدهانات القديمة حتى الوصول لسطح الخشب بدون الدهانات القديمة، وقد تم معالجة الخشب المتهالك والتالف وإعادة طلائه بمادة SurfaPore W وهو سائل نانوي قائم على الماء صديق للبيئة وفعال من حيث التكلفة تم تطويره ليصبح طارداً للماء والزيت على الأسطح، ولتعديل خصائص الأخشاب.

صورة رقم (9)، (10) أثناء مراحل العمل المختلفة لإعادة تأهيل وحدة العرض تمهيداً لإعادة عرض القطع الأثرية بها

2- الدهانات أو الطلاء:

تم إعادة دهان وطلاء وحدة العرض بمادة SurfaPore W، ويتكون هذا المركب النانوي من جزيئات قائمة على ثاني أكسيد التيتانيوم وأكسيد الزنك؛ وهو مركب ذات أساس قائم على الماء (water base) يعتمد على تقنية النانو التي تحقق مقاومة فعالة للماء؛ مما يوفر حماية أعلى ضد الرطوبة وحماية من التلف ويجعله مقاومًا للتلف البيولوجي، وتتضمن فوائد تطبيق تقنية النانو في معالجة الأخشاب قدرة المركبات على اختراق الخشب بدرجة أكبر

بكثير. وقد تم اختباره على عينات من الخشب تم طلاؤها بالمركب عن طريق اختبار Oddy للتأكد من عدم وجود اى مركبات عضوية متطايرة(VOCs)[35].

جدول رقم (3) الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمادة SurfaPore W :

اللون Color	أبيض شفاف
الرقم الهيدروجينيpH	6.5
كثافة Density	0.98 g/cm^3
اللزوجة Viscosity	20 mPa s
محتوى المركبات العضوية المتطايرة VOCs content	<1جرام/لتر
تقليل الامتصاص الكلي للماء والرطوبة	[36] 26.5% at saturation

صورة رقم (8) المظهرالمميز لسطح الخشب المعالج بالنانو المقاوم للماء (نقلاً عن NanoPhos SA، اليونان)

3- الزجاج:

تم تغيير زجاج وحدة العرض القديم المكون من أكثر من جزء وغير مقاوم للانعكاس أو معالج لمنع نفاذ الأشعة فوق البنفسجية إلى زجاج مقسى أحادي الطبقة مقاوماً للأشعة فوق البنفسجية يحتوي على طلاء ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2) ومركبات واقية من الأشعة فوق البنفسجية متكاملة أثناء التقسية-المعالجة السطحية معززة بتقنية النانو، وتتم عملية الطلاء في مرحلة تصنيع الزجاج.

الغرض الرئيسي من تطبيق طبقة شفافة غير مرئية عليه هو تقليل كمية الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء التي تدخل عبر الزجاج مع الحفاظ على انتقال الضوء المرئي .

مما قد يساعد في حماية الآثار المعروضة من البهتان والأضرار الناجمة بسبب التعرض لأشعة الشمس والأشعة فوق البنفسجية.

جدول رقم (4) يوضح خصائص الزجاج الجديد المستخدم لرفع كفاءة وحدة العرض موضع الدراسة

المواصفات الفنية	الخصائص
• معدل الحماية من الأشعة فوق البنفسجية: 99% • انتقال الضوء: 85-90% • نسبة الانعكاس: 6 - 8% • السُمك: 10 مم • مقاومة الصدمات: 4-5 مرات أقوى من الزجاج العادي.	• حماية من الأشعة فوق البنفسجية الضارة. • يحافظ على سلامة ألوان القطع الأثرية • يقلل من انتقال الحرارة • مقاومة التحطم والتآكل وتعزيز المتانة والسلامة والأمان. • خصائص مضادة للانعكاس ومقاوم للخدش. • شفاف منخفض الحديد؛ مما يُعطي مظهر واضح. • سهولة الصيانة.

تعتبر من مميزات هذا الزجاج هو مقاومته للأحماض والمركبات الكيميائية والعضوية، حيث يتم استخدام مادة ثاني أكسيد التيتانيوم (TiO_2)، لطلاء الزجاج لمقاومة التلوث، وعليه يتم التخلص من المواد العضوية المتطايرة (إن

35 - Schiro, M. *Oddy Test Protocols*, Accessed February 6, 2012 http://www.conservationwiki.com/index.php?title=Oddy_Test_Protocols&oldid=4830

36- Papadopoulos, A.N. and Mantanis, G.I., *Surface treatment technologies applied to wood surfaces - Solid Wood and Panel Technology*, Journal FDM Asia, June issue, 2011, p6.

وجدت)، والأغشية البكتيرية مما يمكنها من الحد من الملوثات المحمولة جواً، وتضيف خاصية التنظيف الذاتي للأسطح.

4- النسيج:

تم استخدام نسيج من الكتان الطبيعي غير المغزول صناعياً والمصنوع من صبغات طبيعية[37]، حتى لا تحدث تلك المواد أي تأثيرات على المدى البعيد للقطع الأثرية الملامسة لها والموضوعة والمثبتة عليها؛ وبالتالي القيام بدورها الوظيفي كأحد مكونات وحدة العرض في حماية القطع الأثرية، وكذلك المحافظة على المظهر الجمالي لوحدة العرض كأحد أهم وظائفها، والدرجة اللونية المدرجة من المتحف المصري وفقاً للحقبة الزمنية الخاصة بالقطع الأثرية المعروضة.

5- مواد إحكام الغلق:

تم إجراء عدد من التعديلات لتحسين أدائها، حيث تم إدخال مواد مانعة لتسرب الهواء أو الملوثات والأتربة من الخارج إلى داخل الوحدة بين الزجاج والإطارات لضمان الضغط وإحكام الغلق، حيث أن وحدات العرض تحتوي على فتحات وأماكن، غالباً ما تكون واجهات العرض تحتوي على عدد كبير من الثقوب للتركيب المحتمل للإضاءة الأقفال وما إلى ذلك. تم سد الثقوب بشريط ومانع تسرب السيليكون 3M شفاف مع زوايا لاصقة حساسة للضغط خالياً من الانبعاثات ومختبرة للحفظ بواسطة اختبار Oddy. [38]

6- التحكم في نسبة الرطوبة داخل وحدة العرض (في الأجواء الصغيرة Microclimates)

تعتبر الرطوبة النسبية من العوامل الأساسية في تلف الآثار الخشبية الحاملة للطبقة اللونية حيث تلعب دوراً هاماً في عملية التلف عند ارتفاعها وتوافرها لذلك ينبغي التحكم في الرطوبة النسبية بحيث لا تزيد نسبة الرطوبة النسبية عن 45% في حالة الآثار المستقرة، ونجد أنه تتعدد الطرق المستخدمة وفقا للإمكانيات المادية المتاحة، وحالة القطعة وطبيعة مجموع القطع، ومساحة المكان المعروض فيه القطعة ومطابقته للمواصفات، وحالة المبنى حيث أن بعض المباني ضاربة القدم لا تستوعب حدوث تعديلات لها، ويحدث ضرر للبنية الأساسية والتحتية لها، وبذلك لابد من تحقيق الهدف وهو التحكم في معدلات الرطوبة لوقف التفاعل والتلف بغض النظر عن الطريقة شريطة ألا تؤثر على القطعة الأثرية.

لذلك من الضروري الحفاظ على وحدة العرض في مستوى رطوبة مناسب لطبيعة القطع الأثرية المعروضة، والذي يختلف عن متوسط الرطوبة النسبية بالمتحف، عن طريق إحكام غلق وحدة العرض وتزويدها بمادة للتحكم في الرطوبة. حيث يمكن تحقيق مناخ دقيق سلبي عن طريق إحكام غلق وحدة العرض؛ فكلما كانت الوحدة محكمة الغلق، كلما انخفضت الحاجة إلى خامات مرشحة، وتعتبر السيلكا جيل من مواد التحكم السلبي للتخلص بسهولة من الرطوبة في العرض بالمتاحف غير المجهزة للتحكم الكلى في نطاق المبنى بوحدات تحكم إيجابية، وتقرر محاولة تقليل الرطوبة النسبية عن طريق إضافة السيلكا جيل Silica gel من نوع Pro-sorb وتحسين إغلاق وحدة العرض.

تم وضعها في درج معدل أسفل المكان المعد لوضع القطع الأثرية (صورة رقم 12) ، حيث يتيح الدرج الموجود في قاعدة وحدة العرض المعدلة (والتي يمكن الوصول إليها من الخارج) إمكانية استبدالها أو تجديدها دون الحاجة إلى فتح وحدة العرض نفسها.

37- Scottish Museums Council, op. cit. p2

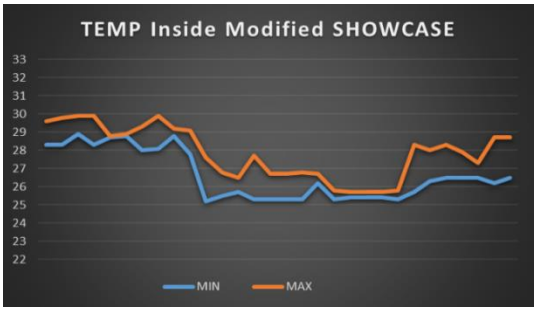
38 - Pretzel, B., *Standard materials for corrosiveness testing*, Conservation Journal, Issue 43, Spring 2003 http://www.vam.ac.uk/content/journals/conservation-journal/issue-43/standard-materials-for-corrosiveness-testing/ .

والسيلكا چيل Silica gel هي سيلكا نقية ذات بناء حُبيبى مكون من شبكة واسعة من المسام، تلك المسامية هي التي تكسب المادة خصائصها الماصة، وهي مادة تناسب المقتنيات الثقافية، **لأنها تجمع بين الخصائص الآتية:**

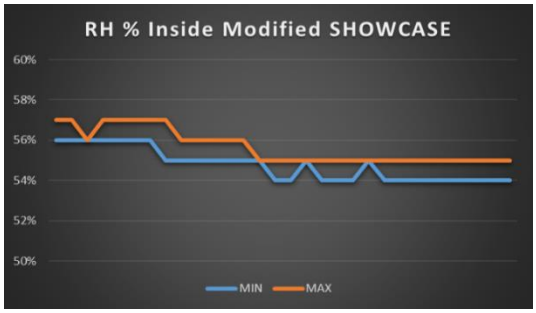
- كونها خاملة كيميائياً.
- لا تتميع في وجود الرطوبة وتبقى جافة الملمس حتى عند القيم العالية جداً.
- تستجيب سريعاً للتذبذب الحاصل في الهواء المحيط.
- تتكيف بشكل سهل مع جميع قيم الرطوبة النسبية.
- لا تتأثر بهجوم الكائنات الحية الدقيقة[39].

ولكي تعمل السيليكا جل بصورة جيدة، فإن وحدة العرض يجب أن تغلق بإحكام قدر الإمكان.

وقد أدت إضافة Prosorb إلى وحدة العرض إلى تقليل الرطوبة النسبية والترددات بشكل عام، مما يوفر بيئة أكثر ملاءمة واستقراراً.



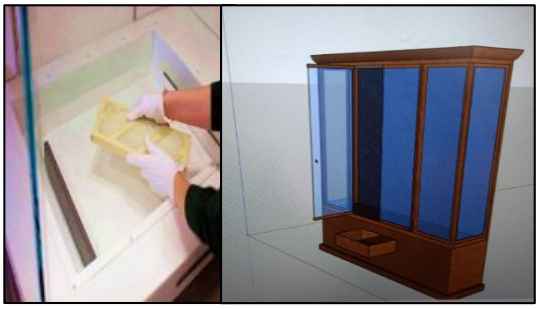
شكل رقم (5) يوضح الرصد البيئي (لدرجات الحرارة) داخل وحدة العرض موضع الدراسة (بعد التطوير).



شكل رقم (6) يوضح الرصد البيئي (لنسب الرطوبة) داخل وحدة العرض موضع الدراسة (بعد التطوير).

جدول رقم (5) يوضح نتائج رصد درجات الحرارة ونسب الرطوبة على مدار اليوم

Conclusion of Temp C° and RH %		
Date	Display Area- Inside Display-case	
From July To September	Min C°	25.2 C°
	Max C°	29.9 C°
	Max. 24 Hr. temp Fluctuation	2.6 C°
	Min RH	54%
	Max RH	57%
	Max. 24 Hr. RH Fluctuation	2%



صورة رقم (11،12) تعديل وحدة العرض لتوفير درج لوضع مواد التحكم البيئي أسفل المكان المعد لوضع القطع الأثرية، والذي يتيح امكانية الوصول إليها من الخارج

7- الإضاءة:

تعتبر الإضاءة عنصرًا أساسيًا في تصميم المتاحف والمعارض، حيث لا تقتصر على كونها مجرد عنصر جمالي، بل تُعد أداة هامة في إدارة المخاطر المتعلقة بالحفاظ الوقائي. فهي تؤدي دورًا حيويًا في الحفاظ على القطع الأثرية، ويجب استخدامها بدقة لتقليل الأضرار المحتملة. تم اختيار الإضاءة بناءً على استراتيجيات توازن بين العرض والحماية، وتم إجراء تقييم شامل استنادًا إلى الإدراك البصري، والعناية المطلوبة للحفاظ على التراث الثقافي، بالإضافة إلى الأداء البيئي لأنظمة وتقنيات الإضاءة داخل وحدة العرض، مع مراعاة الظروف المثلى لعرض التوابيت الخشبية الحاملة للطبقات اللونية.

39 مارى ك. برديكو ؛ ترجمة محمد احمد الشاعر.- الحفظ فى علم الآثار : *الطرق و الاساليب العملية لحفظ و ترميم المقتنيات الاثرية* المعهد العلمى الفرنسى للآثار الشرقية، 2002 ص569

- مميزات الألياف البصرية لإضاءة القطع الأثرية العضوية (الأخشاب):

توفر أنظمة إضاءة الألياف الضوئية العديد من الفوائد، وتزيل العديد من المشاكل التي تواجه أنظمة الإضاءة التقليدية حيث إنها:

- لا تتطلب إضاءة الألياف الضوئية أي جهد عند التركيب.
- ليست لها أية مخاطر كهربية فهي لا تنتج أي قدر من الكهرباء داخل الموقع.
- لا تنتج الألياف البصرية الأشعة فوق البنفسجية لذلك يفضل استخدامها في المتاحف والمعارض حيث أنها تظهر المعروضات بألوانها الطبيعية، ولا تؤثر عليها.
- تقوم أنظمة الألياف الضوئية بتصفية الأطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية الثانوية غير المرغوب فيها، مما يزيل الأثر الضار للأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء. وهذا يعني أنها آمنة تماما، وليست مصدراً لأي حرارة، لذلك فهي مفضلة في حالة المعروضات الموجودة داخل وحدات عرض.
- إمكانية تثبيتها في أماكن شديدة الصعوبة، كما أنها لا تعطي أي بريق شاذ على الحواف المضاءة أو المناطق شديدة السطوع[40].
- بُعد مصدر الضوء عن المكان المراد إضاءته؛ مما يجعله أسهل في الصيانة دون التأثير على الجسم المعروض، كما يساعد على التحكم في لون وكثافة الضوء بسهولة أو عمل أي تأثيرات أخرى.
- صغيرة الحجم وخفيفة الوزن، ولا تشغل حيزاً، ويسهل التعامل معها.

- العوامل التي تمت مراعاتها عند اختيار مصدر الضوء:

1- ألا يشكل الضوء سبباً جوهرياً للتلف (وخاصة عند عرض الآثار العضوية شديدة التأثر بالضوء). فعند تصميم الإضاءة يجب الأخذ في الاعتبار-الضوء كأحد عوامل التدهور" Light as a Degradation " Factor. ولإضاءة المتحف يجب التركيز على شرط واحد أساسي إلى جانب جودة إضاءة المواد وإضاءة الغرف وكفاءة الإضاءة، وهو الحفاظ على مواد المتحف عن طريق التحكم في الإشعاع الضوئي الضار، إلا أن عمليات التدهور الضوئي الكيميائية تؤثر وبشكل واضح بالتكوين الطيفي للإشعاع (حيث تزداد إمكانية التدهور مع انخفاض طول الموجة) وكثافته ومدة بقائه [41]، بالإضافة إلى ذلك، تختلف الاستجابة الطيفية النسبية للمواد المستقبلة وفقًا لمصادر الضوء المختلفة، مما يؤدي إلى تغير ملحوظ في الألوان مع مرور الوقت عند تعرض المواد للإشعاع الضار.
2- يجب أن يكون الضوء كافياً لإظهار اللون، وإبراز النقوش، والخامة بدقة.
3- الاختيار الجيد لوحدات الإضاءة المستخدمة، مع التوزيع المناسب لها.
4- توفير وسيلة سهلة لصيانة وحدات الإضاءة بحيث لا تؤثر على المعروضات.[42]
5- تحديد مستويات الإضاءة Illuminance Levels

وتعتمد اللجنة الدولية للإضاءة International Commission of Illumination CIE معايير الإضاءة المتحفية على تصنيف القطع الأثرية إلى مجموعات حسب استجابتها المادية للضوء المرئي الخالي من الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية، وتخصيص الإضاءة وزمن التعرض حسب هذه المجموعات:

40 -احمد عبد الحليم السيد: *أساليب العرض الخارجى في المتاحف*، رسالة دكتوراة، كلية فنون جميلة، قسم الديكور، جامعة حلوان، ٢٠٠٦، ص410

41 - De Graaf, T. and Dessouky, M. and Muller, H. F.O. – *Renewable Energy – Sustainable Lighting of museum buildings* – Elsevier Journal Ltd., 2014 – Issue 67.

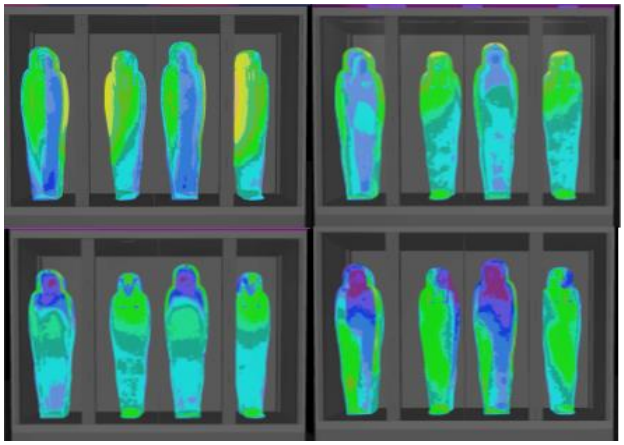
42 - مروة محمد عبد العزيز، *" الطراز الاغريقى والاستفادة منه في التصميم الداخلى لمتحف معاصر "*، رسالة ماجيستير، كلية فنون تطبيقية، قسم التصميم الداخلى والاثاث، جامعة حلوان، 2009 ، ص249

جدول رقم (6) يوضح حدود التعرض السنوية للإضاءة حسب حساسيات المواد المختلفة.[43]

تصنيف المواد Materials classification	حد التعرض السنوي للإضاءة Annual luminous exposure
شديدة الحساسية High sensitivity	15,000(LX h/y)
متوسطة الحساسية Medium sensitivity	150,000 (LX h/y)
منخفضة الحساسية Low sensitivity	600,000(LX h/y)
غير حساسة No Sensitivity	-

كذلك تمت محاكاة طريقة الإضاءة، حتى نتمكن من استخدام مستويات مختلفة من النصوع المحيط والقيم اللونية المختلفة وشدة الضوء واتجاه الإضاءة، وقد أظهرت التجربة أن تغيير التكوين المحيط واتجاه الإضاءة ودون أي تغيير ملحوظ في نصوع الإضاءة، يؤدي إلى تغيير كبير في المعلومات المدركة للقطع الأثرية المعروضة، مما يعزز إدراك الزائر. شكل رقم (7، 8).

شكل رقم (7) إختبار التأثيرات الضوئية وزاوية الميل المناسبة للتوابيت الأثرية موضع الدراسة و كيفية ظهورها بأنظمة الإضاءة المختلفة.



شكل رقم (8) يمثل "False colors" توزيع الإضاءة و النصوع للصورة السابقة- مؤشر التجسيد اللوني "Color Rendering Index

وقد تم اختيار سيناريو الإضاءة وفقاً للدراسة السابقة على أن يتم تثبيتها في جانبي وحده العرض مع إضافة مصادر إضاءة لإنارة التوابيت من الداخل لإظهار النقوش الموجودة على أن يتم تركيبها في الجزء السفلي من وحدة العرض، وتشتمل عناصر التحكم في الإضاءة على نظام متكامل يؤدي وظيفتين أساسيتين:

1- كشف الإشغال، من خلال كاشفات الحركة Motion detectors.
2- التحكم في شدة الضوء من خلال المخفتات Dimmers.

43 - Ezrati, J.-J. et.al, *Museum and Exhibition Lighting*. – Handbook of Advanced Lighting Technology –Springer International Publishing Switzerland, 2017.p 730.

صورة رقم (13)، (14) اثناء إختبار سيناريو الإضاءة المناسب

8- بطاقة التعريف:

تم استخدام مادة الأكريليك Acrylic لبطاقة التعريف الخاصة بالقطع الأثرية، وهي مادة قوية ومستقرة يمكن استخدامها في إعدادات المتاحف لأغراض مختلفة[44]، بما في ذلك بطاقات تعريف القطع الأثرية بالعرض المتحفي، وخاملة كيميائياً، مما يعني أنها لا تتفاعل مع المواد الأخرى، ولا ينتج عنها مواد كيميائية ضارة بمرور الوقت، وهي مقاومة للخدش ووضعها في مكان مناسب يسهل على الزائر رؤيتها ومائلة بزاوية 45° .

9- نظام الحماية والأقفال:

تم تزويد وحدة العرض بنظام قفل مزدوج (نظام قفل قوي) لمزيد من الأمان والحماية.

10- تثبيت وتدعيم القطع الأثرية وتجهيزها للعرض:

تم استخدام مادة البلكسى جلاس (Plexiglass) التي لا تتفاعل مع مادة الأثر، ولا تضره لتدعيم يسمح بثبات القطع الأثرية ويوفر الحماية الفيزيائية، ويكون آمناً لا يعرضها للتحرك أو السقوط، وقد تم تجهيزه بمقاسات تتناسب مع أبعاد القطع الأثرية، وتم مراعاة توفير رؤية القطعة بشكل جيد وملائم ليفي بأهداف العرض المتحفي.

- **إعادة عرض القطعة الأثرية المُختارة Re-display of Selected Object**

تأتي مرحلة إعادة عرض مجموعة التوابيت الحاملة للطبقات اللونية،(صورة رقم 15 ،16) وذلك بعد الانتهاء من الخطوات السابقة التي تم الإشارة إليها لرفع كفاءة وحدة العرض، وإحكام غلقها، وتوفير زجاج يوفر حماية من الأشعة فوق البنفسجية الضارة، واختبار استقرار مجموعة من عينات مواد بناء وحدة العرض والأقمشة والمواد اللاصقة والطلاءات؛ وتزويد وحدة العرض بالمواد الخاصة بالتحكم السلبي بالرطوبة النسبية، وتوفير جهاز استشعار ومسجل بيانات الحرارة والرطوبة بوحدة العرض لرصد درجات الحرارة والرطوبة النسبية لقياس التغيرات التي تطرأ عليها داخل وحدة العرض واتخاذ اللازم نحو ذلك؛ حيث إنها شديدة الحساسية للتأثر بالتلف، كما أنها تحتاج ظروفاً دقيقة للعرض.

نتائج البحث:

أظهرت الدراسة أن الحفاظ على القطع الأثرية وعرضها عملية معقدة تتطلب مزيجاً من التخطيط الدقيق والبحث، وتعتبر الخطوة الأولى في الحفاظ على القطع الأثرية وعرضها هي إجراء بحث حول هذا العنصر، حيث يتضمن هذا البحث معلومات عن تاريخ القطعة الأثرية ومنشئها واستخدامها والبيئات السابقة المتواجد بها. الخطوة التالية

44- Scottish Museums Council, op. cit., p2

هي وضع خطة للحفاظ على القطعة الأثرية أثناء عرضها، وفهم الاحتياجات الفريدة لكل قطعة أثرية التي تلبي احتياجات السلامة والحفظ من أجل الوصول إلى أفضل الوسائل لعرض وحماية المقتنيات الأثرية، ودراسة كافة المحاور التي تتطلبها عملية العرض بدءاً من تصميم قاعات العرض والوحدات واختيار أفضل الخامات التي لا تضر بالأثر وأساليب الإضاءة، ودراسة المناخ المناسب لعرض تلك القطع الأثرية للحفاظ عليها ومنع تدهورها. وأيضا المراقبة الدائمة والتحكم الصارم في الظروف البيئية المحيطة من أجل منع أو تقليل التدهور والأضرار المستقبلية المحتملة.

تتجه المتاحف نحو تقليل تأثيرها البيئي وإدارتها بشكل أكثر كفاءة، في حين أن الهدف المتمثل في توفير البيئة المُثلى لعرض القطع الأثرية لا يزال يُمثل الاهتمام الرئيسي، ولتحقيق الحفاظ على التراث المستدام، أصبح للحفظ الوقائي الأسبقية تدريجياً حيث أن هناك فرصاً للمتاحف لتحسين أدائها في كافة الجوانب لتحقيق أهداف الاستدامة، ومن خلال استخدام المواد النانوية الصديقة للبيئة، يمكن للمتاحف أن تصبح المكان الذي يلتقي فيه التراث بالتقنيات الخضراء، ويمكن أن يؤدي ذلك إلى تعزيز التأثيرات البيئية للمتاحف والحفظ الوقائي.

صورة رقم (15)، (16) التجهيز النهائي و إعادة عرض القطع الأثرية داخل وحدة العرض المُطورة

التوصيات:

- هناك اتجاه مبتكر وهو دمج الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) في وحدات العرض حيث تتيح هذه التقنيات مراقبة الظروف البيئية في الوقت الفعلي، ويمكنها ضبط درجة الحرارة والرطوبة والإضاءة تلقائيًا للحفاظ على الظروف المثالية. يمكن لخوارزميات الذكاء الاصطناعي تحليل اتجاهات البيانات والتنبؤ بالمشكلات المحتملة، مما يتيح الصيانة والتدخل الاستباقي[45]. لذا يمكن تطبيق آلية التحكم في وحدة العرض من خلال تطبيقات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء IoT عن طريق وجود منظومة متكاملة لإدارة المتحف فيما تعرف ب BMS Building Management System، وهو نظام تحكم كامل التشغيل لأنظمة المتحف، ويمكن من خلاله التحكم في بيئة المتحف الداخلية ومراقبتها سواء للمعروضات بالعرض الحر أو داخل وحدات العرض بالمتحف، وتسمح بمعالجة البيانات للإجراءات السريعة والاستجابة للمواقف الحرجة، وكذلك تخزين البيانات وتحليلها عن بُعد من خلال السحابات الإلكترونية Cloud، وهو ما لا يمكن تحقيقه في الظروف الحالية؛ نظراً لعدم توافر المنظومة بالمتحف، وتشمل الأجهزة الخاضعة للرقابة أنظمة الاستشعار وأنظمة تكييف الهواء (HVAC) لقياس درجة الحرارة والرطوبة النسبية وتدفق الهواء وثاني أكسيد الكربون، والتحكم بالإضاءة

45 - Abdel Qader, M., *Modern Trends in Green Interior Architecture Applications with Smart Systems*, International Journal of Modern Agriculture and Environment, 3 (1), 2023, p58.

وأنظمة المراقبة والأمان وإدارة الطاقة، وهو ما سيوفر القدرة على التشخيص الدقيق للجوانب الرئيسية التي تؤثر على القطع الأثرية بالمتحف، والتحكم بها إذا تمت مراقبة هذه الظروف.

- ضرورة تطبيق آليات الصيانة الوقائية بالمتاحف المصرية، واستخدام أجهزة رصد بيئي حديثة لرصد القياسات والظروف البيئية المحيطة بالقطع الأثرية سواء المعروضة أو المخزونة، استخدام أجهزة تحكم بيئي موضعية للتحكم في درجات الحرارة والرطوبة النسبية وتثبيت المعدلات قدر المستطاع؛ حيث إن مبنى المتحف في حد ذاته أثر، وقد يصعب إحداث تعديلات عليه وكذلك يمكن تصميم وحدة عرض تعتمد على استبدال الهواء بغاز خامل يبطئ من عمليات التلف التي يتسبب فيها الأكسجين الموجود في الهواء مثل غاز النيتروجين، وتكون هذه الوحدة محكمة بشكل ممتاز، وخاصة في وحدات عرض الآثار العضوية شديدة الحساسية.

- استخدام مرشحات لكل من الضوء والملوثات عند الشبابيك وفتحات النوافذ والأبواب ومصادر الإضاءة وتوزيعها بشكل كاف والبدء في استخدام الطاقة النظيفة في الإضاءة والتشغيل الكلى للمتحف باستخدام الطاقة الشمسية والطرق الحديثة الآمنة والحفاظ على الطاقة.

- تطبيق الطلاءات الوقائية النانوية بشكل واسع على وحدات العرض والأثاث والحوائط والأرضيات إن أمكن للحصول على بيئة آمنة Nano Coating خالية من الملوثات والمركبات العضوية المتطايرة الضارة VOCs، ولتحسين خواص المواد، كذلك لتنقية الهواء وزيادة جودة الهواء الداخلي ورفع كفاءة وحدات العرض، والتأكد أن كافة مواد البناء والتشطيبات آمنة مع القطع الأثرية، ومستقرة كيميائياً لتجنب خطر إطلاق الملوثات.

- التوسع في تطبيق التكنولوجيا الخضراء في المتاحف في كافة النواحي سواء (الصيانة الوقائية - المعالجة البيولوجية والحشرية – الترميم والصيانة)، واستحداث مواد تعتمد على المصادر الطبيعية والمتاحف الخضراء والترميم الأخضر المعتمد على استخدام المواد الطبيعية والتقليل من المعالجات الكيميائية وإهدار المواد والإمكانيات الاقتصادية، وهذا ما يتفق مع آليات الصيانة الوقائية وأهدافها.

- إعادة تنظيم القطع تنظيماً مثالياً، ويتمثل في اتباع الطرق المتعارف عليها في العرض بالوحدات من عدم تكدس القطع بوحدات العرض وعرضها وفقا للمادة الأثرية بحيث يعتمد على وحدة النوع، وتوفير أقفال حديثة لوحدات العرض وأجهزة إنذار حديثة وكذلك أنظمة الأمان والإطفاء.

- عمل خطة متكاملة بالمتاحف كل متحف وفقا لمعطياتها هو حالة خاصة (طبيعة المواد التي تتكون منها القطع الأثرية- نوع البيئة المتواجد بها المتحف- الظروف والإمكانيات الاقتصادية- القوة البشرية الكفء المدربة) وذلك للتحكم في كافة العوامل المُضرة، وذلك بتضافر وتعاون كافة المتخصصين والعاملين في المؤسسة المتحفية.

قائمة المصادر والمراجع

أولا: المراجع العربية:

1) أحمد إبراهيم عطية وعبد الحميد الكفافي، *حماية وصيانة التراث الأثري*، القاهرة، دار الفجر 2003م.
2) عبد الحكيم مصطفى ميمون، *طرق ووسائل وأساليب العرض المتحفي*، مجلة البحوث الأكاديمية العلوم الإنسانية، العدد 26- 2023م.
3) فيليب آدامز وآخرون ترجمة محمد حسن عبد الرحمن، *دليل تنظيم المتاحف (إرشادات علمية)*، الطبعة الأولى، القاهرة، الهيئة المصرية العامة للكتاب – 1993م.
4) ماري ك. برديكو؛ ترجمة محمد أحمد الشاعر، *الحفظ في علم الآثار (الطرق والأساليب العملية لحفظ وترميم المقتنيات الأثرية)* ، المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية، 2002م.
5) هشام محمد محمد حسين & عصام محمد موسى محمد، *أثر التقنيات الحديثة على تطوير المتاحف في مصر*، مجلة العلوم الهندسية، مجلة 41، العدد 2، 2013م.

6) ياسر سعيد بنداري، *اعتبارات تصميم وحدات العرض الزجاجية الفعالة لرفع كفاءة الأداء الوظيفي وتأكيد القيمة الفنية لأساليب العرض والحفظ (تطبيقاً على المنشآت التراثية الإسلامية)* - مجلة العمارة والفنون، العدد الثاني 2017 م.

ثانياً: الرسائل العلمية:

1) أحمد عبد الحليم السيد، *أساليب العرض الخارجي في المتاحف*، رسالة دكتوراه، كلية فنون جميلة، قسم الديكور، جامعة حلوان، ٢٠٠٦م.
2) إمام عبد الله إمام، *العرض المتحفي المتوافق مع أسس الصيانة - تطبيقاً على نماذج مختارة*، رسالة ماجيستير، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة 2018م
3) براهيمي فائزة، *التحف المعدنية بمتاحف الغرب الجزائري -دراسة لوسط الحفظ* ، أطروحة لنيل الدكتوراه في العلوم التحف المعدنية بمتاحف الغرب الجزائري 2014م.
4) لورانس الطحان، تطبيق معايير العمارة الخضراء على الأبنية القائمة من عام 1950 إلى عام 1970م، رسالة ماجيستير، جامعة دمشق، كلية الهندسة المعمارية، قسم علوم البناء والتنفيذ، سوريا 2014م.
5) مراد فوزي، *دراسة في العلاقة بين تمدد وانكماش الخشب ومركباته الكيمائية مع عمل تطبيقات عملية في العلاج والصيانة على نماذج مختارة من الأخشاب الحاملة للطبقة اللونية*، رسالة ماجيستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة2010م.
6) مروة محمد عبد العزيز، الطراز الأغريقى والاستفادة منه في التصميم الداخلي لمتحف معاصر، رسالة ماجيستير، كلية فنون تطبيقية، قسم التصميم الداخلي والأثاث، جامعة حلوان، 2009م.
7) نسرين الحديدي، *دراسة بعض التغيرات فيزيائية والميكانيكية والكيمائية للأخشاب الأثرية التالفة وطرق تقويتها مع* التطبيق على بعض القطع الخشبية بالمتحف الإسلامى بالكلية - رسالة دكتوراه، كلية الآثار، جامعة القاهرة 2002م.

ثالثاً: المراجع الأجنبية

1) Abdel Qader, M., *Modern Trends in Green Interior Architecture Applications with Smart Systems*, International Journal of Modern Agriculture and Environment, 3 (1), 2023, pp.58-70
2) Bertolin, C., *Preservation of Cultural Heritage and Resources Threatened by Climate Change*, Geosciences, 2019, 9 (6), 250. http://refhub.elsevier.com/S2090-4479(21)00280-X/h0030.
3) Chiantore, O. and Poli, T., *Indoor Air Quality in Museum Display Cases: Volatile Emissions, Materials Contributions*, Impacts, Atmosphere, 12 (3), 2021, 364. https://doi.org/10.3390/atmos12030364.
4) De Graaf, T. and Dessouky, M. and Muller, H. F.O., *Sustainable Lighting of museum buildings*, Renewable Energy. 67. 2014, pp. 30-34.
5) Dremetsika, A. V., Siskos, P. A. and Bakeas, E. B. *Determination of formic and acetic acid in the interior atmosphere of display cases and cabinets in Athens museums by reverse phase high performance liquid chromatography*. Indoor and Built Environment, vol. 14, 2005, pp.51-58.
6) Elmarazky, A. and H. Kamal. *Impact of previous chemical treatments and environmental storage conditions on miniature agricultural implements from Tutankhamun's tomb*. *In Transcending Boundaries: Integrated Approaches to Conservation*. ICOM-CC 19th Triennial Conference Preprints, Beijing, 17–21 May 2021, ed. J. Bridgland. Paris: International Council of Museums, 2021
7) Elvin, G. *Building Green with Nanotechnology*. Cleantech Conference and Trade Show Cleantech 2007.
8) Ezrati, J.-J. et.al, *Museum and Exhibition Lighting* – Handbook of Advanced Lighting Technology –Springer International Publishing Switzerland, 2017.
9) Feller, R.L. and Schaeffer, T, *Effect of Light on Materials in Collections*, Journal of the American Institute for Conservation, 2002, pp. 185-187.
10) Gammampila, R., Mendis, P., Ngo, T., Aye, L., Jayalath, A. & Rupasinghe, R.A.M. *Application of nanomaterials in the sustainable built environment*. Int. Conf. Sustain. Built Environ. 2010, (ICSBE-2010) Kandy, 13-14 December. 20-27.

11) Green, L. R., & Thickett, D., *Testing materials for use in the storage and display of antiquities—a revised methodology*. Studies in Conservation, 40(3), 1995, pp. 145–152. https://doi.org/10.1179/sic.1995.40.3.145
12) Grzywacz, C.M., *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environment*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2006.
13) Hanus, J., *Some Properties of Permanent Paper Made in Slovakia*. Alkaline Paper Advocate vol. 9 (1), 1996 https://cool.Culturalheritage.org/byorg/abbey/ap/ap09/ap09-1/ap09-108.html
14) Paolin, E. and Strli, M., *Volatile Organic Compounds (VOCs) in Heritage Environments and Their Analysis*, Applied Sciences Journal, 14 (11), 4620, 2024, https://doi.org/10.3390/app14114620 .
15) Papadopoulos, A.N. and Mantanis, G.I., *Surface treatment technologies applied to wood surfaces - Solid Wood and Panel Technology*, Journal FDM Asia, June issue, 2011, pp. 36-39
16) Paşcu, P. and Simion, I., *Study on Microclimate in Museum Display Cases*, U.P.B. Sci. Bull., Series D, 84 (2), 2022, pp.55-68
17) Pouryousefzadeh, S., Akbarzadeh, R. *Internet of Things (IoT) systems in future cultural heritage*, 3rd International Conference on Internet of Things and Applications (IoT), 2019.
18) Pretzel, B., *Standard materials for corrosiveness testing*, Conservation Journal, Issue 43, Spring 2003 http://www.vam.ac.uk/content/journals/conservation-journal/issue-43/standard-materials-for-corrosiveness-testing/ .
19) Robert L. Feller, Terry Schaeffer, *Effect of Light on Materials in Collections*, Journal of the American Institute for Conservation, 2002, pp. 185-187.
20) Schieweck, A., & Salthammer, T. (2009). *Emissions from Construction and Decoration Materials for Museum Showcases*, Studies in Conservation, 54 (4), pp. 218–235. https://doi.org/10.1179/sic.2009.54.4.218.
21) Schiro, M, *Oddy Test Protocols*, Accessed February 6, 2012 http://www.conservationwiki.com/index.php?title=Oddy_Test_Protocols&oldid=4830
22) Singley, K,. *The Conservation of Archaeological Artifacts From Freshwater Environments. South Haven, MI*.: Lake Michigan Maritime Museum, 1988
23) Templeton, R. H. *Effect of Light on Artifacts- Damage, Prevention and Control, National Centre for The Arts*, 2012. 10.13140/RG.2.2.19882.62406.
24) Tétreault, J , *Coatings for Display and Storage in Museums*, Canadian Conservation Institute, Technical bulletin, no. 21, 1999, p12.
25) Uhde, E, and Salthammer,T., *Impact of Reaction Products from Building Materials and Furnishings on Indoor Air Quality - A Review of Recent Advances in Indoor Chemistry*, Atmospheric Environment, 2007, 41(15), 3111-3128.

Museum Handbooks

1) NPS Museum Handbook, Part I, *Museum Collections Environment*, 2016.
2) Scottish Museums Council, *Selecting Materials for Storage and Display Introduction to storage and display materials*, 2022.
3) Scottish Museums Council, *The Effects of Storage and Display Materials on Museum Objects*, 2009.
4) Scottish Museums Council, *Introduction to storage and display materials*, March 2024.
5) ICE Scotland Museum Collection Management Policy, *Selecting Materials for Storage and Display Introduction to storage and display materials*, 2022, https://ice-museum-scotland.hw.ac.uk/wp-content/uploads/Collection_Management_Policy_2022.pdf.