



كلية الآثار

أبيدوس ( Abydos )



جامعة سوهاج

العدد الأول ( ٢٠١٩ م )، ص: ١٣١ - ١٤٢

## تقييم البيئة المتحفية وتأثيرها في الآثار المعدنية في متحف كلية الآثار جامعة سوهاج\*

Assessment of the environmental conditions and its effects on the metallic artefacts in the museum of the faculty of Archaeology, Sohag University, Egypt

أحمد محمود مصطفى السيد حميد. قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة سوهاج

إيما أنجيليني. قسم العلوم التطبيقية، جامعة تورينو التقنية

سابرينا جراسيني. قسم العلوم التطبيقية، جامعة تورينو التقنية

Ahmed Elsayed, Department of Conservation, Faculty of Archaeology, Sohag University, Sohag, Egypt.

Emma Angelini, Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino University, Torino, Italy.

Sabrina Grassini, Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino University, Torino, Italy.

### المخلص:

يتناول البحث مقترحاً لتقييم البيئة المتحفية، وقياس للرطوبة النسبية والحرارة داخل وخارج فتارين العرض، وذلك من خلال تطوير نظام مراقبة ذكي ومستشعرات عالية الدقة. يعتمد النظام على شبكة لاسلكية مكونة من أجهزة استشعار صغيرة (Small Sensors)، مصممة لتلبية متطلبات الاستخدام في مجال حماية التراث الثقافي. وهي عبارة عن أجهزة قائمة بذاتها قادرة على قياس هذه المتغيرات لفترات طويلة، متصلة لاسلكياً بمستقبل بيانات متصل بشبكة الانترنت؛ لاستقبال القراءات ورفع البيانات إلى نظام تخزين محدد (Cloud system).

هذا و يمكن الوصول إلى البيانات المخزنة من أي مكان في العالم في الوقت الفعلي والحقيقي (Real -Time Monitoring) من خلال تطبيق على الهواتف الذكية لقراءة ومتابعة تسجيلات الحرارة والرطوبة النسبية داخل وخارج فتارين العرض. كما يشمل هذا النظام المقترح أيضاً مجموعة من العينات المرجعية المغطاة بطبقة رقيقة من النحاس ذات بنية نانومترية (Cu nanostructured films) والمرسبة معملياً على شرائح من النحاس باستخدام البلازما منخفضة الضغط (Low-pressure Plasma) والتي يتم وضعها بالقرب من أجهزة الاستشعار لتقييم حجم عدوانية الظروف الجوية ومدى تأثيرها في الآثار المحفوظة داخل المتحف عامة والآثار المعدنية خاصة. وقد اختير متحف كلية الآثار بجامعة سوهاج لدراسة هذا النظام وتجريبه، واستمرت عملية رصد البيئة المتحفية وتقييمها وتسجيل البيانات لمدة عام ودلت النتائج على استقرار الحرارة والرطوبة داخل فتارين العرض عنها في غرفة العرض كما برهنت

\* بحث مستل من رسالة دكتوراه.

علي الحساسية الشديدة للعينات المرجعية تجاه الظروف البيئية للمتحف من خلال تكون مركبات الأكاسيد والكبريت علي اسطح هذه العينات كما عرضت بعض النتائج في مؤتمر<sup>١</sup>:  
(IEEE International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, October 22, 2018 – October 24, 2018, University of Cassino, Italy)

الكلمات المفتاحية: الرطوبة، الحرارة، مستشعرات ذكية، بيئة المتحف، البلازما

## Abstract

The current paper describes a suitable solution that could be used to assess and monitor the environmental conditions and the atmospheric aggressiveness agents affecting the museums and Heritage buildings. This monitoring system is based on a wireless network composed of small sensors with dimensions of 2.5 cm x 1.5 cm which are capable of acquiring temperature and relative humidity for interval in excess of one year. The system designed to satisfy the requirements for their employment in the Cultural Heritage field. The sensors are stand-alone devices able to measure temperature and relative humidity for long times, connected through a wireless link to a small receiver for routing data to a cloud system. Data from all sensors is available on the curator's smart phones in real time so that the museum conditions can be monitored from everywhere and easily downloaded for further analyses. The proposed system also contains a set of reference specimens coated with a Cu nanostructured films deposited by plasma sputtering located close to the sensors to assess the atmosphere aggressiveness. The results of a monitoring campaign lasted for one year in the museum of the Faculty of Archaeology of Sohag University in Egypt, are discussed.

Keywords; Relative Humidity, Temperature, Environmental monitoring, smart sensors, plasma.

<sup>1</sup> **Grassini, E. Angelini, A. Elsayed, S. Corbellini, L. Lombardo, M. Parvis** “Cloud Infrastructure for Museum Environmental Monitoring” IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC 2017, Politecnico di Torino, Torino, Italy.; **A. Elsayed, L. Lombardo, E. Angelini, M. Parvis, S. Grassini** “The Environmental Monitoring Campaign of the Museum of the Faculty of Archaeology of the Sohag University (Egypt), IEEE International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage, 2018, University of Cassino, Cassino, Italy.

## المقدمة:

تستعرض هذه الورقة البحثية نتائج حملة الرصد البيئي المنفذة في متحف كلية الآثار بجامعة سوهاج في مصر، يعتبر هذا المتحف هو الثاني في محافظة سوهاج الواقعة جنوب مصر بعد متحف سوهاج القومي، يعرض المتحف مجموعة خاصة أهداها الدكتور هنري أمين عوض عام ١٩٧٩م، إلى جامعة سوهاج، الذي رغب في إنشاء متحف تعليمي للطلاب داخل الجامعة، وفي عام ٢٠٠٥م تم افتتاح المتحف رسمياً للطلاب والجمهور.

تتألف هذه المجموعة المتحفية من قطع أثرية من مواد مختلفة وعصور مختلفة (العصر الفرعوني، العصر اليوناني والروماني والعصر الإسلامي)، يتم عرض القطع الأثرية في عدة



صورة رقم (١)  
متحف كلية الآثار  
جامعة سوهاج وتشير  
الأرقام إلي أجهزة  
قياس الرطوبة  
والحرارة وأماكن  
توزيعها داخل  
الفتارين محل الدراسة  
وفي غرفة المتحف.

فتارين عرض مصنوعة  
من الخشب والزجاج  
في قاعة عرض  
متحفه (٨.٥ X  
١٣.٢٥ متر) تحتوي  
علي نظام تبريد ملائم  
(صورة رقم ١).

**موقع مدينة سوهاج:** تقع مدينة سوهاج في جنوب مصر وتتأثر بتغيرات درجات الحرارة الموسمية، طقسها حار صيفاً، حيث يتراوح متوسط درجات الحرارة بين ٤٠-٤٣ درجة مئوية، وبارد شتاءً مع متوسط درجات حرارة تتراوح بين ١٢-١٥ درجة مئوية وقد تصل في بعض الأحيان إلى ( ٥ ) درجات مئوية وقد تصل أحياناً إلى تحت الصفر.

هذا؛ وتتطلب هذه التغيرات وتردداتها اليومية مراقبة مستمرة لمناخ المتحف كاستراتيجية وقائية لضمان الحفاظ على الآثار المعروضة به لأطول مدة زمنية ممكنة ١، مع إيلاء اهتمام خاص للمواد العضوية والمصنوعات المعدنية التي يتأثر تدهورها بشكل كبير بالظروف البيئية والمناخية داخل المتحف.

<sup>1-</sup> C. M. Grzywacz, "Monitoring for gaseous pollutants in museum environments", Getty Publications, 2006. P.P 2-10.; Washington, DC: National Park Service "The Museum Handbook Part I: Museum Collections" available at <https://www.nps.gov/museum/publications/MHI/CHAPTER4.pdf>, last checked on 04-06-2018.

وفقاً للمعيار القياسي العالمي (ISO 11844-3/ 2006)، يمكن تقييم تآكل المعادن والسبائك وصدئها داخل بيئة المتحف عن طريق قياس درجة الحرارة (T) والرطوبة النسبية (RH) من جانب، الملوثات الجوية الأخرى، مثل الغازات والجزيئات المعلقة (gaseous and air pollutants)<sup>1</sup>. ومن جانب آخر؛ تعتمد منهجية المراقبة البيئية التي تم تصميمها واستخدامها في تقييم المتحف محل الدراسة على نقطتين:

- توزيع أجهزة استشعار قادرة على تسجيل درجة الحرارة والرطوبة النسبية بالقرب من القطع الأثرية.
- توزيع بعض عينات النحاس المعالجة بفيلم رقيق من حبيبات النحاس النانومترية لتقييم عدوانية الظروف الجوية داخل فتارين العرض وخارجها.

وقد بدأت عملية المراقبة المناخية وتوزيع المستشعرات والعينات المرجعية داخل المتحف في أغسطس ٢٠١٦ واستمرت لمدة عام تقريباً مما سمح بالحصول على معلومات عن عناصر المناخ في أوقات مختلفة (ليلاً ونهاراً وفي أثناء التقلبات الموسمية) داخل المتحف إضافة إلى التعرف على مقدار عدوانية الظروف الجوية تجاه الآثار المحفوظة داخل فتارين العرض بالمتحف.

#### المواد والطرق المستخدمة في عملية المراقبة والتقييم:

تتوافر العديد من أجهزة قياس الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة في الوقت الحالي خلاف أجهزة الثيرموهيجرومتر لمراقبة الظروف البيئية داخل المتاحف وأيضاً أجهزة قياس الغازات والملوثات الجوية في البيئات الداخلية، ومع ذلك فإن معظم هذه الأجهزة لا تلبى الاحتياجات المناسبة لاستخدامها في مجال التراث الثقافي، وغالباً لا تتمتع بالحساسية الكافية لاكتشاف النسب والقراءات المنخفضة للغاية من تغيرات للرطوبة والحرارة والملوثات الغازية في الهواء<sup>٢</sup>.

علاوة على ذلك، فإن استخدام أجهزة قياس الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة المتمركزة بالقرب من الآثار المحفوظة ومن العينات المعدنية المرجعية تسمح بتسجيل البيانات وتقييم الظروف المناخية للمتحف وتقييم تأثير الملوثات الجوية العدوانية في تدهور الآثار المعدنية في وقت قصير<sup>٣</sup>.

<sup>1</sup> ISO 11844-3 Corrosion of metals and alloys - Classification of low corrosivity of indoor atmospheres, Part 3: Measurement of environmental parameters affecting indoor corrosivity, 1st, 2006.

<sup>2</sup> Z. Guo, P. Chen, H. Zhang, M. Jiang, C. Li, IMA: an integrated monitoring architecture with sensor networks, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 61(5), pp. 1287-1295, 2012.; J. Schmalzel, F. Figueroa, J. Morris, S. Mandayam, R. Polikar, "An architecture for intelligent systems based on smart sensors", IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 54 (4), pp. 1612-1616, 2005.; C. Grzywacz, "Monitoring for gaseous pollutants in museum environments", Getty Publications, 2006. Pp. 2-10.; T. Prosek, M. Kouril, M. Dubus, M. Taube, V. Hubert, B. Scheffel, Y. Degres, M. Jouannic, D. Thierry, "Real-time monitoring of indoor air corrosivity in cultural heritage institutions with metallic electrical resistance sensors", Studies in Conservation, vol. 58(2), pp. 117-128, 2013.

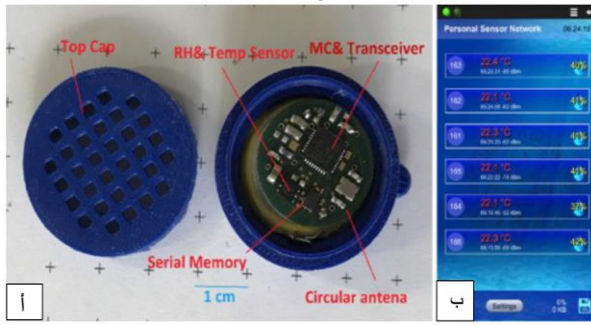
<sup>3</sup> E. Angelini, F. Civita, S. Corbellini, D. Fulginiti, A. Giovagnoli, S. Grassini, M. Parvis, "Innovative monitoring campaign of the environmental conditions of the Stibbert museum in Florence", Applied Physics A, vol 122(2), pp. 1-12, 2016.

## ١- المستشعرات الذكية Smart Sensors:

استخدام نظام مراقبة متعدد النقاط (Multi Points) يعتمد على شبكة من أجهزة استشعار صغيرة (Small Sensors)، وقد صمم هذا النظام القائم على نظام تخزين البيانات عبر الانترنت (Cloud-based System) وطوره باحثون في قسم الإلكترونيات والاتصالات في جامعة تورينو التقنية بإيطاليا Politecnico di Torino لتناسب بيئة المتاحف<sup>١</sup>.

ويعتمد النظام على شبكة من المستشعرات الصغيرة دائرية الشكل قطرها ٣٥ مم متصلة لاسلكياً بمستقبل بيانات صغير الحجم. وتم برمجة أجهزة الاستشعار لقياس الحرارة والرطوبة النسبية كل ١٥ دقيقة وإرسال القياسات إلى مستقبل البيانات (Data Receiver) ليقوم بتحميل كافة هذه البيانات ورفعها إلى نظام التخزين الإلكتروني (Cloud System)، وبمجرد رفعها يمكن الوصول إليها في الوقت الحقيقي (Real-Time) من أي مكان عبر الهواتف الذكية أو من خلال الموقع الإلكتروني المصمم خصيصاً لهذا النظام، كما يمكن تنزيلها بسهولة لمزيد من التحليلات وتظل متاحة بعد رفعها ومراجعتها في أي وقت شكل رقم ٢.

تستخدم شريحة استشعار من نوع Sensirion SHT21 في الجهاز، والتي تقيس درجة الحرارة بدقة عالية جداً مع نسبة خطأ نموذجية من  $\pm 0.3$  درجة مئوية للحرارة و مع نسبة خطأ نموذجية  $\pm 2\%$  للرطوبة النسبية.



وقد وضعت خمسة أجهزة قياس في خمس فتارين عرض تم اختيارها لتغطي

جميع أجزاء قاعة العرض وتحمل الرموز (S161, S162, S163, S165, S166) وتحتوي على آثار معدنية مختلفة (نحاسية، وبرونزية، وفضية) كما هو مبين في الصورة رقم. وقد وُضع جهاز قياس واحد (S164) في قاعة العرض خارج الفتارين لمقارنة الظروف المناخية داخل وخارج فتارين العرض.

<sup>1</sup>- S. Corbellini, E. Di Francia, S. Grassini, L. Iannucci, L. Lombardo, M. Parvis, "Cloud based sensor network for environmental monitoring", Measurement, vol. 118, pp.354-361, 2018.; L. Lombardo, S. Corbellini, M. Parvis, A. Elsayed, E. Angelini, S. Grassini "Wireless Sensor Network for Distributed Environmental Monitoring", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 67(5), pp. 1214 – 1222, 2017.

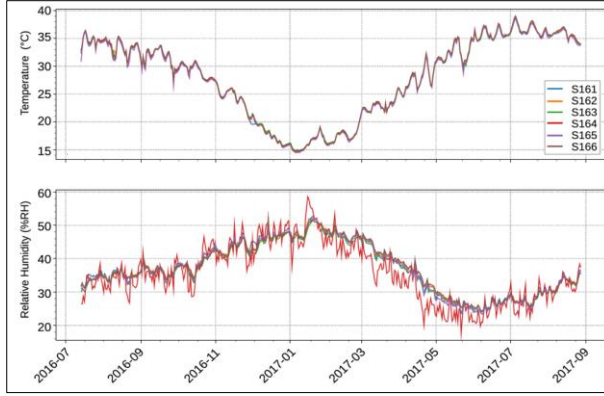
## ٢- عينات النحاس المرجعية Cu reference specimens:

تتميز طبقة الفيلم الرقيقة النانوية من النحاس بحساسيتها الشديدة جداً للتآكل نظراً لتأثرها بالظروف الجوية لذلك يمكن استخدامها لتقييم مقدار عدوانية المناخ الداخلي للمتحف في أوقات قصيرة. حيث تعطي البنية النانوية للفيلم المرسب فوق سطح العينات المرجعية مساحة سطح ذات قدرة عالية على التفاعل وتسمح باكتشاف وجود نواتج الصدأ والتآكل في مقياس النانو. وتمثل العينات المرجعية شرائح من النحاس النقي (نقاء ٩٩.٩٦ %) بحجم ٣٠ × ٣٠ × ٠.٤٥ ملم. تم تسوية سطحها وتنعيمه، ثم تنظيفها بكحول إيثيلي في حمام موجات فوق الصوتية (Ultrasonic Bath) لمدة خمس دقائق وتجفيفها باستخدام الأسيتون. تم ترسيب طبقة رقيقة من حبيبات النحاس النانوية على أسطح هذه العينات المرجعية بسمك حوالي ٢٠٠ نانومتر خلال تقنية بلازما الضغط المنخفض Low-Pressure Plasma لترسيب هذه الطبقة الرقيقة النانوية فوق أسطح العينات. وقد أُجريت عمليات الترسيب في غرفة (Vacuum Chamber) من الإستنلس مع استخدام كاثود من النحاس Cu (نقاء ٩٩.٩٩ %) واستخدم غاز الأرجون Ar (نقاء ٩٩.٩٩ %) لتمام عملية الترسيب مع وجود مصدر طاقة Radio Frequency RF 13.56 MHz. وقد روعي قبل إجراء عملية ترسيب طبقات النانو تفرغ وحدة العينات وتنظيفها تحت ضغط يتراوح بين ١.٥ × ١٠<sup>-٧</sup> mbar لتجنب أي تلوث قد يحدث للعينات في أثناء عملية الترسيب، مع تنظيف الكاثود Cu المعايير السابقة نفسها لمدة ١٥ دقيقة تقريباً عند ٥٠ وات في درجة حرارة الغرفة. (Tf < 70oC)، مع ضغط Ar عند ١.٣ × ١٠<sup>-٢</sup> mbar وقدرة دخل ٣٠٠ وات. وقد استخدم ال FESEM لإجراء عملية الفحص الكيميائي والمورفولوجي للعينات المرجعية من نوع (Merlin Zeiss) المجهز بمسبار SSD كمي من نوع (Oxford x-act)، وذلك لتقييم تأثير الظروف الجوية داخل المتحف في العينات.

**النتائج:**

يوضح الشكل رقم (١) قياسات درجات الحرارة والرطوبة داخل المتحف التي رُصدت خلال عملية التقييم والمراقبة لمدة عام، بواسطة أجهزة القياس المصممة والمتمركزة داخل وخارج فتارين العرض داخل المتحف، مع ملاحظة التغيرات في الظروف المناخية بين الصيف والشتاء. وكما هو متوقع سجل تردد عالٍ في الرطوبة النسبية في غرفة المتحف خارج فتارين العرض بواسطة الحساس (S164) الموضوع في الغرفة، حيث وصلت في بعض الأحيان إلى ٦٠٪ خلال

فصل الشتاء، في حين كانت الظروف المناخية أكثر استقرارًا داخل فتارين العرض.



شكل رقم (١)  
يوضح قياسات  
درجات الحرارة  
والرطوبة داخل  
المتحف والتي  
رُصدت بواسطة  
أجهزة الرصد  
والمرافقة لمدة عام.

أما بالنسبة لدرجة الحرارة فقد انخفضت من متوسط ٣٥ درجة مئوية في فصل الصيف، إلى متوسط لا يقل عن ١٥ درجة مئوية خلال فصل الشتاء. وفي الوقت نفسه،

زادت الرطوبة النسبية من ٣٥٪ إلى حوالي ٥٠٪.

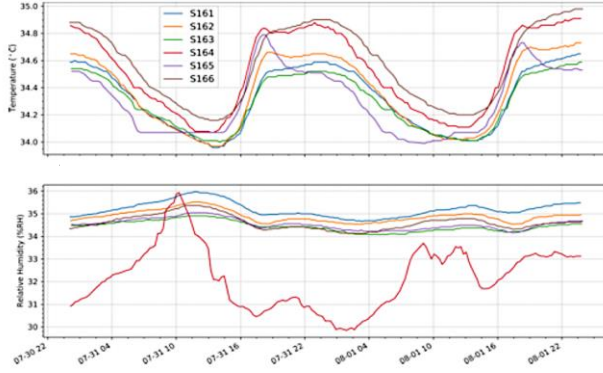
وقد وضع مجلس مجموعات التراث الأسترالي المبادئ التوجيهية والمعايير والضوابط البيئية في أماكن التراث الثقافي والمتاحف Australian Heritage Collections Council، كما شددوا على الحاجة إلى تقييم الظروف المناخية المحلية واعتماد ما هو مناسب لفتارين العرض المتحف، مما قد يقلل من الاعتماد على تكييف الهواء وأنظمة التهوية داخل المتاحف بشكل كامل، ثم وضع استراتيجيات ملائمة لحفظ الآثار داخل المتاحف. ووفقًا لهذه المعايير، قُسمت الظروف المناخية إلى ثلاث فئات كدالة لقيم الحرارة والرطوبة على أساس يومي إلى:

- (١) المناخات الرطبة الساخنة: ٢٢-٢٨ درجة مئوية، ٥٥-٧٠٪ رطوبة نسبية.
- (٢) المناخات الحارة الجافة: ٢٢-٢٨ درجة مئوية، ٤٠-٦٠٪ رطوبة نسبية.
- (٣) المناخ المعتدل: ١٨-٢٤ درجة مئوية، ٤٥-٦٥٪ رطوبة نسبية<sup>١</sup>.

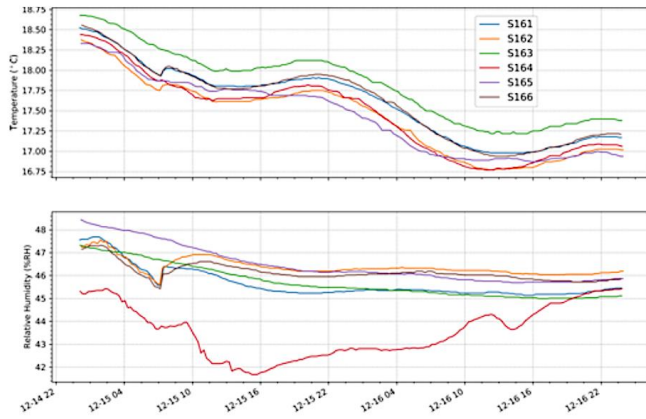
وطبقًا لهذا التصنيف، يمكن اعتبار مصر دولة ذات مناخ جاف حار، وبالتالي فإن الظروف البيئية داخل متحف كلية الآثار بجامعة سوهاج يقع ضمن النطاق المناسب للحفاظ على الآثار، مع انخفاض قيم الرطوبة النسبية. ويمكن اعتبار المناخ المحلي داخل المعارض آمنًا تمامًا للحفاظ على الآثار المعرضة في المتحف لفترة طويلة. ويبين الشكلان ٢ و ٣ تقلبات T و RH النموذجية ليلاً ونهاراً التي تم تسجيلها في الصيف والشتاء، على التوالي، يمكن اعتبار البيانات الموضحة ممثلة لسلوك الحرارة والرطوبة T و RH خلال موسمي الصيف والشتاء. ويوضح الشكل (٤) متوسط التغير في درجة الحرارة، الذي سجل أقل من ١ درجة مئوية، خلال

<sup>1</sup> S. Brown, I. Cole, V. Daniel, S. King, C. Pearsonet, "Guidelines for environmental control in cultural institutions", heritage Collection Council, 2002, p 16.

الدورة اليومية التي يتم تسجيلها بواسطة أجهزة الاستشعار مع نتائج مماثلة سجلتها



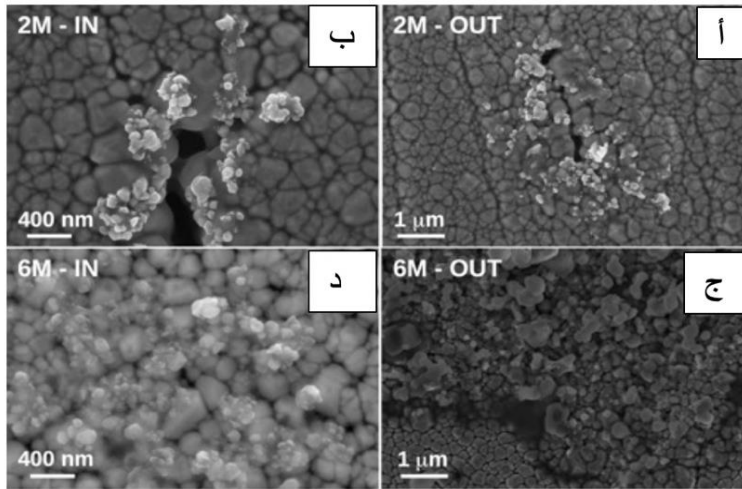
الأجهزة الموجودة داخل الفترين وخارجها. شكل رقم (٢) يوضح قياسات الحرارة والرطوبة خلال يومين في فصل الصيف عملية الفحص السطحي لعينات



النحاس المرجعية على أن الظروف المناخية المصاحبة للعرض مناسبة للحفاظ على مجموعة المتحف. كما يمكن ملاحظة هجمات التآكل الطفيفة على المستوى شكل رقم (٣) يوضح قياسات الحرارة والرطوبة خلال يومين في فصل الشتاء

المجهري على أفلام النحاس ذات البنية النانومترية الموجودة داخل الفترين كما هو موضح في صور FESEM (صورة رقم ٣).

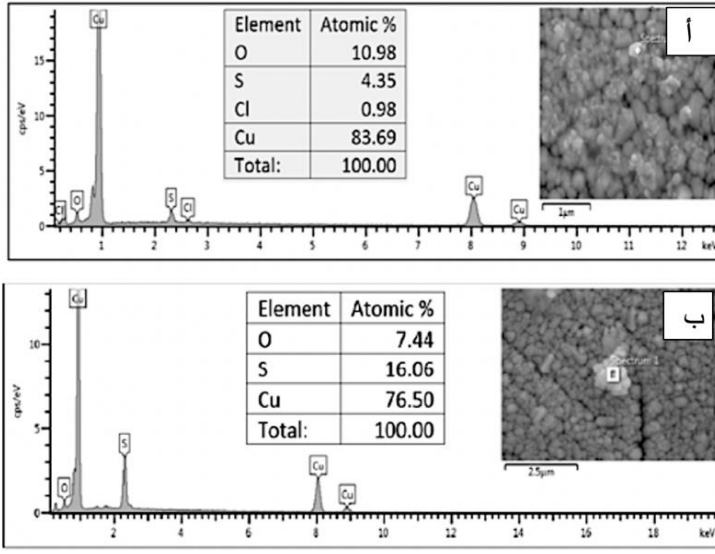
كما أن تدهور طبقات النحاس النانومترية يستمر ببطء في الصيف عنه في الشتاء، وقد تم اكتشاف عدد قليل فقط من منتجات التآكل على سطح العينة المرجعية بعد مرور أول شهرين من عملية المراقبة (أغسطس - سبتمبر ٢٠١٦). كما هو موضح في صورة رقم (٣).



صورة رقم (٣) توضح العينات المرجعية تحت الميكروسكوب الإلكتروني، (أ، ب) صور العينات خارج فترين العرض وداخلها بعد مرور شهرين ويظهر بها تكون مركبات الصدأ فوق سطح العينات. (ج، د) صور العينات خارج الفترين وداخلها بعد مرور ٦ أشهر ويظهر بها أيضاً تكون مركبات الصدأ فوق سطح العينات.



يكشف التحليل الكيميائي الذي تم باستخدام EDS لمنتجات التآكل على سطح العينات المرجعية أنه يتألف بشكل أساسي من كبريتيد النحاس وأكسيد النحاس كما بالشكل رقم ٤.



شكل رقم (٤) يوضح تحليل ال EDS للعينات المرجعية، (أ) بعد مرور شهرين و (ب) وتظهر التحليل زيادة نسبة الكبريت في العينات أربع أضعاف النسبة بعد مرور ٦ أشهر

## الناقشة

تتأثر البيئة المتحفية بعدة عوامل فيزيائية وكيميائية مختلفة مثل الضوء، الحرارة، الرطوبة النسبية والملوثات الجوية الأخرى والتي تؤثر سلباً على الآثار المعرضة في المتحف، كما أن هذه العوامل لا تعمل منفردة مما يؤدي إلى سرعة و زيادة معدل التلف<sup>١</sup>، وترتبط درجة الحرارة والرطوبة النسبية ارتباطاً وثيقاً بالمساحة الداخلية مثل حجم المبنى أو المتحف وكذلك تؤدي الزيادة في درجة الحرارة إلى انخفاض في الرطوبة النسبية والعكس، وتعد قيم الحرارة والرطوبة النسبية المثالية والمقبولة عامة؛ للحفاظ على الآثار المحفوظة في بيئة المتحف الداخلية هي درجة الحرارة  $20 \pm 2$  درجة مئوية وللرطوبة النسبية  $50 \pm 3\%$ ، على أساس يومي، علاوة على ذلك، يجب مراعاة الظروف المناخية لبلد المتحف، وكذلك تقلبات الحرارة والرطوبة المفاجئة بالإضافة إلى مراعاة عدد الزوار في كل مناطق العرض والتخزين داخل المتحف حيث أنه قد ينتج عن الشخص الواحد حرارة تساوي نفس حرارة مصباح قدرته ٦٠ واط وما يوازي كأس من الماء مما قد يزيد من معدل تدهور القطع الأثرية<sup>٢</sup>.

يدل تباين درجة الحرارة الكبير في غرفة العرض عنه في الفترتين والذي سجله S164 Sensor إلى عدم وجود مرشحات هواء في المتحف، كما يظهر اتجاه الرطوبة النسبية المسجل

<sup>1</sup> **Bacci, Mauro, et al.** "Innovative sensors for environmental monitoring in museums." *Sensors* 8.3 (2008): 1984-2005.

<sup>2</sup> **Museums and Galleries Commission**, "Standards in the Museum 8: Care of Costume and Textile Collections." (1998).

في نفس الأيام سلوكًا مختلفًا تمامًا داخل الفترين، فسُجِّلت تغييرات ضئيلة (من ٣٤.٥ ٪ إلى ٣٦ ٪) و بتردد حوالي  $\pm ٥$  ٪ في غرفة العرض، الأمر الذي يُرجح كون هذا الاختلاف الملحوظ مرتبطًا بنظام تكييف الهواء داخل المتحف، والذي لا يؤثر في المناخ داخل فترين العرض بشكل كبير الأمر الذي يدل على أنها محكمة الغلق مما يسمح باستقرار الرطوبة والحرارة داخلها. وفي المقابل يؤدي نظام تكييف الهواء وعدم وجود مرشحات للملوثات الجوية إلى زيادة نسبة أكاسيد النيتروجين وأكاسيد الكبريت<sup>١</sup>.

انخفضت درجة الحرارة خلال فصل الشتاء، كما هو موضح في الشكل ٣ بمتوسط قيمة ١٨-٢٠ درجة مئوية مع وجود تباين ضئيل بين الليل والنهار، كما أن درجة الحرارة أقل قليلاً خلال النهار بسبب نظام تكييف الهواء الذي لا يعمل في أثناء الليل، كما هو الحال في فصل الصيف، أما الرطوبة النسبية، فقد كانت أعلى مع متوسط قيم حوالي ٤٦-٤٨ ٪، وأكثر ثباتًا داخل الفترين منها في قاعة العرض. ومع ذلك، لا تزال قيم الرطوبة النسبية داخل النطاق المطلوب طبقاً للإرشادات الخاصة بالحفاظ على القطع الأثرية متعددة المواد في البيئات الداخلية. علاوة على ذلك، يؤكد استقرار RH أن فترين العرض محكمة الغلق وبالتالي فإن الرطوبة النسبية في الداخل يمكن أن تعزى إلى أن عملية فتح مسئولو المتحف فترين العرض وغلقها قليل جدًا، ويتم بشكل جيد مما يؤدي إلى استقرار الرطوبة داخل الفترين الأمر الذي أكدته القراءات التي سُجِّلت من خلال المستشعران S163 و S166.

تؤدي الملوثات الجوية مثل O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> وكذلك الأبخرة العضوية إلى زيادة تلف المعروضات كما تزيد من معدل تآكل الآثار المعدنية المعروضة داخل المتحف<sup>٢</sup>، توضح صور الـ FESEM (صورة رقم ٣) وتحليل الـ EDS (شكل رقم ٤) التي تمت للعينات وجود كميات كبيرة جدًا من مركبات الكبريت مثل كبريتيد النحاس وأكسيد النحاس في منتجات التآكل والمرجح أن سبب حدوثها هو وجود ملوثات الهواء المحتوية على الكبريت في جو المتحف. كما يمكن أن يكون ذلك ناتجًا عن استخدام المنسوجات المخملية (القطيفة) لعرض القطع الأثرية. وتزداد نسبة الكبريت المكتشفة في منتجات التآكل أربع مرات بعد ستة أشهر خاصة في العينات المعروضة خارج الفترين نتيجة للتعرض على المدى الطويل وتغيرات مناخ المتحف من الصيف إلى الشتاء، مما يؤكد استمرار انخفاض درجة الحرارة.

<sup>1-</sup> Camuffo, Dario, et al. "Environmental monitoring in four European museums." Atmospheric Environment 35 (2001): S127-S140.

<sup>2-</sup> Bacci, Mauro, et al. "Innovative sensors for environmental monitoring in museums." Sensors 8.3 (2008): 1984-2005.

وخلال فصل الشتاء، يستمر التدهور ببطء شديد داخل الفتارين ولكن لم يكن التآكل المسجل بعد ستة أشهر من التعرض لجو الفتارين كبيراً؛ وذلك بسبب التباين القليل للظروف المناخية عامة؛ ولتقلبات الرطوبة خاصة، بينما يستمر التدهور بشكل أسرع في العينات النحاسية المرجعية المكشوفة في غرفة المتحف خارج الفتارين (الشكل ٣).

### الخلاصة

سمحت حملة المراقبة البيئية التي نُفذت لمدة عام في متحف كلية الآثار جامعة سوهاج بتقييم جدوى النهج المقترح وكذلك سمحت بالتحقق من صحة شبكة الاستشعار القائمة على الحوسبة السحابية المطورة في جامعة تورينو التقنية Politecnico di Torino. وتعد مشاركة المسؤولين بالمتاحف وآراؤهم مهمة للغاية؛ الأمر الذي يساعد في تصميم نظام المراقبة الملائم لمتطلبات حفظ الآثار داخل المتاحف وكذلك في تطوير استراتيجيات الحفظ المستقبلية التي سيتم تصميمها لضمان الحفاظ على مجموعات المتحف على المدى الطويل.

أما النتائج التجريبية، فتدل على أن الآثار المعروضة في ذلك المتحف معروضة في ظروف آمنة تماماً داخل فتارين العرض محكمة الغلق وأن عدم فتح فتارين العرض بشكل متكرر ومستمر يؤدي إلى استقرار الحرارة والرطوبة داخلها. كما أن الرطوبة النسبية هي العامل الذي يؤثر إلى حد كبير في حالة الحفاظ على القطع الأثرية، لذلك يجب اتخاذ احتياطات خاصة في أثناء فتح الفتارين. علاوة على ذلك، وبغض النظر عن التآكل الطفيف للعينات المرجعية، ولاستمرار الحفاظ بشكل كبير على الآثار المعروضة بالمتحف وتجنب تكون مركبات الكبريت علي أسطح الآثار المعدنية داخل فتارين العرض يُنصح بتركيب نظام فلترة لموثات الهواء واستخدام مواد أكثر ثباتاً لعرض القطع الأثرية بدلاً من النسيج المخملي (القطيفة) المستخدم.

### المراجع

- **C. M. Grzywacz**, “Monitoring for gaseous pollutants in museum environments”, Getty Publications, 2006.
- **Washington, DC: National Park Service** “The Museum Handbook Part I: Museum Collections” available at
- <https://www.nps.gov/museum/publications/MHI/CHAPTER4.pdf>, last checked on 04-06-2018.
- **ISO 11844-3** Corrosion of metals and alloys - Classification of low corrosivity of indoor atmospheres, Part 3: Measurement of environmental parameters affecting indoor corrosivity, 1st, 2006.
- **Z. Guo, P. Chen, H. Zhang, M. Jiang, C. Li**, IMA: an integrated monitoring architecture with sensor networks, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 61(5), 2012.

- **J. Schmalzel, F. Figueroa, J. Morris, S. Mandayam, R. Polikar**, “An architecture for intelligent systems based on smart sensors”, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 54 (4), 2005.
- **C. Grzywacz**, “Monitoring for gaseous pollutants in museum environments”, Getty Publications, 2006.
- **T. Prosek, M. Kouril, M. Dubus, M. Taube, V. Hubert, B. Scheffel, Y. Degres, M. Jouannic, D. Thierry**, “Real-time monitoring of indoor air corrosivity in cultural heritage institutions with metallic electrical resistance sensors”, Studies in Conservation, vol. 58(2), 2013.
- **E. Angelini, F. Civita, S. Corbellini, D. Fulginiti, A. Giovagnoli, S. Grassini, M. Parvis**, “Innovative monitoring campaign of the environmental conditions of the Stibbert museum in Florence”, Applied Physics A, vol 122(2), 2016.
- **S. Corbellini, E. Di Francia, S. Grassini, L. Iannucci, L. Lombardo, M. Parvis**, “Cloud based sensor network for environmental monitoring”, Measurement, vol. 118, 2018.
- **L. Lombardo, S. Corbellini, M. Parvis, A. Elsayed, E. Angelini, S. Grassini** "Wireless Sensor Network for Distributed Environmental Monitoring", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 67(5), 2017.
- **S. Brown, I. Cole, V. Daniel, S. King, C. Pearsonet**, “Guidelines for environmental control in cultural institutions”, heritage Collection Council, 2002.
- **Bacci, Mauro, Costanza Cucci, Andrea Azelio Mencaglia, and Anna Grazia Mignani**. "Innovative sensors for environmental monitoring in museums." Sensors 8, no. 3 (2008): 1984-2005.
- **Museums and Galleries Commission**. "Standards in the Museum 8: Care of Costume and Textile Collections." (1998).
- **Camuffo, Dario, et al**. "Environmental monitoring in four European museums." Atmospheric Environment 35 (2001): S127-S140.