

## الصيانة الوقائية للمشغولات الأثرية المعدنية في بيئتي العرض والتخزين

د. محمد أبو الفتوح محمود غنيم♦

### ملخص البحث:

عادة ما تتعرض المشغولات الأثرية المعدنية، باستثناء الذهب، بعد عمليات العلاج للتلف في بيئتي العرض والتخزين. وهذا التلف قد يكون بطيئاً وضعيفاً يمكن تداركه أو إيقافه وقد يكون شديداً وقاسياً في الظروف السيئة. وعادة ما يرجع السبب في ذلك إلى الظروف البيئية المحيطة بالمشغولات الأثرية المعدنية في بيئتي العرض والتخزين من حرارة ورطوبة، أو مصاحبة هذه المشغولات لمواد تنبعث منها أيونات متلفة تهاجم هذه المعادن بضرارة وتسبب تلفها مثل أيونات الكلوريد والكبريتيد، هذا بالإضافة إلى الأخطار الأخرى الناتجة من الغبار والتناول الخاطيء والهجوم البيولوجي. وفي هذا البحث نحاول الإلمام بالمخاطر والأسباب التي توجد في بيئة العرض والتخزين والتي تسبب تلف الآثار المعدنية، والإجراءات اللازمة لوقاية هذه المشغولات وحمايتها من التلف والتآكل. وتشمل هذه الإجراءات التحكم في ظروف العرض والتخزين من حيث درجات الحرارة ومعدل الرطوبة النسبية، ومستويات الإضاءة، واستخدام مواد آمنة في صناعة خزانات العرض وصناديق التخزين وغيرها من الإجراءات التي تضمن حماية هذه المشغولات من التلف، وذلك لتوفير بيئة آمنة لعرض وتخزين المشغولات الأثرية المعدنية ووقايتها من التلف في إطار ما اصطلح على تسميته بالصيانة الوقائية.

♦ كلية الفنون الجميلة - جامعة المنيا - قسم الترميم.

هناك العديد من الأخطار التي تهدد المشغولات الأثرية بشكل عام ومنها المشغولات المعدنية في بيئتي العرض والتخزين. من هذه الأخطار الحرائق والسرقات والفيضانات، إلا أن العوامل البيئية المتمثلة في ارتفاع مستويات درجات الحرارة والرطوبة وتذبذبها والملوثات الجوية المختلفة هي أخطر العوامل التي تتسبب في تلف الآثار وتدميرها.

ولا شك أن أبسط الطرق وأقلها تكلفة في علاج وصيانة المشغولات الأثرية وحفظها للأجيال القادمة، هي وقايتها من التلف فيما اصطلح على تسميته بالصيانة الوقائية Preventive conservation، ويقصد بها مجموعة من الإجراءات التي تكفل وقاية الأثر وحمايته مستقبلاً من تأثيرات العوامل والظروف البيئية المتلفة أثناء استخدامها أو نقلها أو تناولها أو عند العرض والتخزين. وهي بذلك تختلف عن الصيانة العلاجية والتي يعنى بها الإجراءات التي تتخذ لعلاج الأثر مما أصابه من تلف أو تقليل تأثيرات هذا التلف على المدى البعيد.

ويسود الاعتقاد بأن الآثار المعدنية الموجودة في بيئة مفتوحة كتماثيل الميادين وغيرها تعاني من تلف وتآكل أكثر من تلك التي يتم عرضها أو تخزينها في بيئة مغلقة. كما يعتقد أن المشغولات الأثرية المعدنية بعد علاجها وصيانتها ثم عرضها متحفيًا أو تخزينها تعتبر في مأمن من الصدأ والتآكل، وهذا غير صحيح في الواقع. فبعض هذه الآثار إذا تم عرضها أو تخزينها في ظروف سيئة فإنها سوف تتعرض للتلف والتآكل والذي ربما يكون سريعاً وخطيراً، وتنتج تفاعلات الصدأ في مثل هذه الظروف من نواتج الصدأ ما لا يمكن أن يوجد عادة في الطبيعة. ومن أمثلة ذلك ما يصيب الآثار المصنوعة من الفضة عند عرضها على أقمشة مصنوعة من مواد تم معالجتها بمركبات تحتوي على الكبريت، أو حفظ الآثار المصنوعة من الرصاص في أدراج مصنوعة من خشب البلوط.

وبعض هذه الأخطار التي تهدد المشغولات الأثرية المعدنية في بيئتي العرض والتخزين يتولد من الظروف البيئية المحيطة، والتي قد تتفق مع تلك الظروف والعوامل التي تؤدي إلى تلف المعادن في الأوساط البيئية المختلفة سواء أكانت معروضة في الهواء أو مدفونة في التربة أو مغمورة في الماء، والبعض الآخر يتعلق باستخدام مواد يتولد عنها أبخرة وأحماض ضارة في عرض وتخزين الآثار المعدنية أو حفظ الآثار المصنوعة من الرصاص في أدراج مصنوعة من خشب البلوط أو من تناول أو الحمل الخاطيء.

ولوقاية الآثار المعدنية في بيئتي العرض والتخزين مما يمكن أن يصيبها من تلف، ينبغي في البداية أن نلم بعوامل وأسباب هذا التلف حتى يتسنى لنا بعد ذلك وضع استراتيجيات وإجراءات الصيانة والوقاية لها.

ويمكن القول أن هذه العوامل والأسباب الخاصة بظروف العرض والتخزين، مجتمعة أو متفرقة، والتي تؤدي إلى تلف المشغولات المعدنية، قد يتفق بعضها مع تلك العوامل والأسباب العامة التي تؤدي إلى تلف المعادن في الأوساط البيئية المختلفة مثل العواء أو الماء أو التربة، أو في البيئة المفتوحة أو البيئة المغلقة. مثل هذه الأخطار ينبغي الوقوف عليها والإلمام بها وذلك لأخذ الاحتياطات ووضع استراتيجيات وإجراءات الصيانة والوقاية اللازمة لمواجهتها. وهذا ما يهدف إليه هذا البحث.

## ٢- الأخطار البيئية

### ٢-١ ارتفاع معدلات الرطوبة النسبية وتذبذبها

عادة ما يوجد الماء في الطبيعة في ثلاث صور هي الصورة الصلبة (التلج) والسائلة والبخارية. وقد يتحول من حالة إلى أخرى كتحوله من الحالة الصلبة إلى السائلة بالذوبان ومن السائلة إلى البخارية بالتبخر ومن الحالة البخارية إلى السائلة بالتكثف. ويعتبر بخار الماء أحد مكونات الغلاف الجوي، غير أن نسبته تختلف باختلاف مناخ المنطقة والموسم من السنة ووقت اليوم نهائياً أم ليلاً<sup>١</sup>. ويعبر عن تركيز بخار الماء في الجو بمصطلح الرطوبة النسبية Relative Humidity والتي تعرف بمعدل النسبة المئوية لبخار الماء في الهواء مقارنة بالنسبة اللازمة لتشبع الهواء عند نفس الدرجة من الحرارة<sup>٢،٣</sup>.

وعمليات صدأ المعادن وتآكلها تكون أكثر شدة وسرعة في الجو الرطب لأن أغلب التفاعلات الكيميائية تحدث بمساعدة الرطوبة اللازمة لاستمرارها. ويتضاعف تأثير الرطوبة إذا وجدت أيونات أخرى كالكلوريد والكبريت والنيتروجين والكربون<sup>٤،٥</sup>. حيث تؤدي الرطوبة العالية في وجود مثل هذه الأيونات إلى تكون أحماض مثل حمض الكربونيك، وحمض الكبريتيك، وحمض النيتريك، ومركبات الكلوريدات القاعدية على أسطح المشغولات المعدنية المختلفة في البيئات المختلفة. وتقوم الرطوبة بدور المحلول

<sup>١</sup> ) Shrier, L.L. et al., Corrosion 1,2, Butterworths, Third Edition, Great Britain, 1994, part 1, p.33.

<sup>٢</sup> ) Macleod, K.L., Relative Humidity, Its Importance, Measurement and Control in Museums, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1975, p.2.

<sup>٣</sup> ) Appelbaum, B., Guide to Environmental Protection, Sound View press, Boston, USA, 1991, p.25.

<sup>٤</sup> ) Agrawal, O.P., Conservation of Metal in Humid Climate, Proceedings of the Asian Regional Seminar, held from 7-12 December, 1987, p.

<sup>٥</sup> ) Shrier, L. L. et al., Op. Cit., p. 233.

الموصل الكهربي Electrolyte اللازم لنشوء خلايا كهروكيميائية electrochemical cells يمثل المعدن فيها القطب الموجب anode بينما تمثل بعض مناطق السطح أو الطبقات الخارجية لراسب الصدأ القطب السالب cathode<sup>٦</sup>. وتسمى التفاعلات التي تحدث على المعدن بتفاعلات الأكسدة oxidation reactions وتكون مصحوبة بإذابة أو تحلل المعدن في الالكتروليت وتكوين أيونات موجبة نتيجة فقدة للالكترونات، بينما تعرف تفاعلات المهبط بتفاعلات الاختزال reduction reactions وتشمل انبعاث للهيدروجين<sup>٧،٨</sup>. ويتأثر نشاط هذه الخلايا بجهد الأقطاب وحامضية المحلول الالكتروليتي ونسبة وجود الأكسجين<sup>٩</sup>، فعندما يكون الاختلاف في الجهد بين الأقطاب عالياً فإن معدل الصدأ سيكون كبيراً، وبالمثل عندما تكون الحامضية عالية في المحلول سوف ينتج عدد كبير من أيونات الهيدروكسيل التي تسرع من معدل الصدأ على المصعد (المعدن). وأية زيادة في نسبة الأكسجين تزيد من أيونات الهيدروكسيل كما تزيد من معدل صدأ المعدن. ويعتبر الصدأ الحفرى pitting corrosion أحد مظاهر هذه الخلايا الكهربية<sup>١٠،١١</sup>. ولا يتوقف تأثير مثل هذه الخلايا على المعدن أو الفلز المفرد فقط بل يمتد تأثيرها في حالة وجود معدنين على اتصال مباشر أو في سبيكة واحدة حيث يتعرض للتآكل أكثرهما قابلية لذلك وهو المعدن الأقل في الجهد الكهربي ويقوم بدور الوقاية للمعدن الأعلى في الجهد الكهربي مثل الرصاص مع النحاس في سبيكة النحاس والرصاص أو في سبيكة البرونز<sup>١٢</sup>. وتأتي الرطوبة أو بخار الماء في بيئتي العرض والتخزين بصورة أساسية من مصدرين؛ أولهما مصدر خارجي يتمثل في ماء المطر، أو البحيرات أو الأنهار أو البحار القريبة، ومن الجدران من مواسير المياه الراشحة أو من خلال الخاصية الشعرية من الأرضية إلى الجدران. ومصدر داخلي من خلال التنفس حيث ينتج

<sup>٦</sup> Stambolov, T., The Corrosion and Conservation of Metallic Antiquities and Works of Art, Amsterdam, 1985, p. 19.

<sup>٧</sup> Khrumi, R. S., and Sedha, R. S., Material Science and Progress, S. Chand & Company LTD, New Delhi, 1991.p.408

<sup>٨</sup> Shrier, L. L. et al., Op. Cit., p. 233.

<sup>٩</sup> Cronyn, A.M., The Elements of Archaeological conservation, Routledge, London, 1990, p.167.

<sup>١٠</sup> Lucey, V. F., Development, Leading to the Present understanding of the Mechanism of Pitting Corrosion of Copper, British Corrosion Journal, 7, 1962, pp.36-41.

<sup>١١</sup> Jones, D.A., Principles and Preservation of Corrosion, Prentice Hall, USA, 1996, p.209.

<sup>١٢</sup> محمد أبو الفتوح محمود غنيم، دراسة تحليلية وتطبيقية في علاج وصيانة العملات الأثرية المكتشفة بحفائر "كيهان فارس" بالفيوم، المتحف المصري، رسالة ماجستير، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، ٢٠٠٠، ص ١١٥.

الإنسان في العادة ٥٠جم من بخار الماء كل ساعة. أو من خلال المساحات الرطبة wet mopping أو من خلال التكثف على الأسطح الباردة.<sup>١٣</sup> وتوجد كمية محددة من الرطوبة في صورة بخار ماء، في كل من بيئتي العرض والتخزين باعتبارها بيئات مغلقة، ويشار إليها على أنها الرطوبة الفعلية Absolute وهي وزن بخار الماء الفعلي الذي يحتويه حجم معين من الهواء عند درجة حرارة معينة، ويعبر عنها بالجرام لكل متر مكعب من الهواء. والعلاقة بين هذه الرطوبة ودرجة التشبع تعتمد على درجة الحرارة<sup>١٤</sup>، وبالمثل تعتمد الرطوبة النسبية على درجة الحرارة، فإذا انخفضت الحرارة داخل هذه الأجواء فإن الرطوبة النسبية سترتفع وبالعكس في حالة ارتفاع الحرارة ستخفض الرطوبة النسبية. مثل هذه التغيرات يمكن أن يسببها في بيئتي العرض والتخزين ضوء الشمس أو بقاء الضوء المركزة أو التدفئة<sup>١٥</sup>. ويمكن ملاحظة التأثيرات الخطيرة للرطوبة النسبية وعلاقتها بدرجة الحرارة في خزانة العرض إذا علمنا أن الرطوبة النسبية ٦٠% في خزانة عرض محفوظة عند درجة حرارة ٢٥°م سوف ترتفع إلى حوالي ٨٠% إذا انخفضت درجة الحرارة إلى ٢٠°م ثم الوصول إلى درجة التندية Dew point إذا انخفضت درجة الحرارة إلى ١٦°م ، وبالتالي يحدث التكثف في صور قطرات صغيرة من الماء أو فيلم رطب wet film على السطح البارد.<sup>١٦</sup> ويشكل التكثف خطورة بالغة على المجموعات المتخفية المعروضة أو المخزنة لأن قطرات الماء هذه تسبب تفاعلات كيميائية مختلفة بفعل الملوثات أو الكيماويات المختلفة أو الكائنات الحية الدقيقة مما يعجل من تعرض المشغولات الأثرية المعدنية للصدأ والتآكل.<sup>١٧</sup> والآثار المصنوعة من الفضة لا تتأثر بالأجواء الجافة أو الرطبة في بيئتي العرض والتخزين طالما كانت هذه البيئة خالية من الأوزون والأمونيا ومركبات الكبريتيد.<sup>١٨، ١٩</sup> والآثار المصنوعة من النحاس وسبائكها يكون تأثير الرطوبة عليها ملحوظاً في وجود أيونات متلفة مثل الكلوريد أو الكبريت. حيث تؤدي الرطوبة المرتفعة عن الحد المسموح به داخل أجواء المتاحف أو في بيئة التخزين وفي وجود أيون الكلوريد إلى تطور ظاهرة التآكل المعروفة بمرض البرونز Bronze disease في النحاس

<sup>13</sup>) Gaël de Guichen, Climate in museums, ICCROM, Rome, 1984, p.6.

<sup>14</sup>) Gaël de Guichen, Op. Cit., p.14.

<sup>15</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., p.4.

<sup>16</sup>) Gaël de Guichen, Op. Cit., pp.4-5.

<sup>17</sup>) Ibid., p.12.

<sup>18</sup>) Plenderleith and A.E.A., Werner, The Conservation of Antiquities and Works of Art, Revised Edition, Oxford University Press, 1971, p.239.

<sup>19</sup>) Pourbaix, M., Atlas of Electrochemical Equilibrium, Pergamon Press, Brussels, 1966, p.393.

وسبائكها، والذي يتميز بوجود بقع ذات لون أخضر فاتح في شكل حفر أو بثرات يغطيها هذا المسحوق الأخضر الفاتح.<sup>٢٠، ٢١، ٢٢</sup> وتتكون مركبات الكلوريدات المختلفة على أسطح هذه الآثار بداية من كلوريد النحاسوز (النانتوكيت) ثم كلوريدات النحاسيك القاعدية مثل الباراناكاميت والأتاكاميت<sup>٢٣</sup>. ويعتبر التحكم في الرطوبة النسبية هو الطريقة الأساسية لمنع مرض البرونز<sup>٢٤</sup>. وفي وجود أيون الكبريت تتكون على أسطح هذه الآثار كبريتيدات النحاس وكبريتاته.<sup>٢٥، ٢٦</sup> أما الآثار المصنوعة من الحديد فتتفاعل مع الأكسجين في وجود الرطوبة العالية لتكون طبقة من نواتج صدا أكاسيد الحديد القاعدية المسامية وغير المتماصة وهيدروكسيدات الحديد والحديدوز وكلوريدات الحديد في وجود أيون الكلورين  $Cl^-$ .<sup>٢٧</sup> ودورة الرطوبة النسبية سواء اليومية أو الموسمية لا تمثل مشكلة كبيرة للآثار المعدنية، وإنما التعرض المستمر للرطوبة المرتفعة هو الذي يمثل خطراً على الآثار المعدنية.<sup>٢٨</sup> وللعديد من السنوات كانت درجة الحرارة والرطوبة النسبية التي يوصى بهما للمجموعات المتحفية هما ٢٠°م و ٥٥% على التوالي<sup>٢٩، ٣٠</sup>. وهذه المعدلات من الصعب الحفاظ عليها إذا لم يتم استخدام تكييف مركزي متحكم فيه، ويمكن ألا يكون ذلك ممكناً أو مرغوباً فيه في بعض المناطق مثل المناطق الاستوائية حيث أن المتوسط السنوي للرطوبة النسبية في هذه المناطق حوالي ٦٥% وهذا هو المستوى الأعلى

<sup>20</sup> ) Scott, D., Bronze Disease: A Review of Some Chemical Problems and The Role of Relative Humidity, JAIC, 1990, Volume 29, 7, p. 193.

<sup>21</sup> ) Garcia, S.R., Gilroy, D. and MacLeod, I.D., Metals, In: A Practical Guide to the Conservation and Care of Collections, Western Australian Museum, 1998, p. 118.

<sup>22</sup> ) Oddy, W.A. , and Bradley, S.M. , The Corrosion of metal Objects in Storage and Display, In: Current Problems in Conservation of Metal Antiquities, International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property, 1989, Tokyo National Research Institute of Cultural Properties, 1993, pp.225-244.

<sup>23</sup> ) Oddy, W.A. and Hughes, M.J., The Stabilization of Active Bronze and Iron Antiquities by the Use of Sodium Sesquicarbonate, *Studies in Conservation*, 1970, 15, p.188.

<sup>24</sup> ) Bradley, S., Preventive Conservation Research and Practice at the British Museum, *JAIC*, 2005, 44, p. 160.

<sup>25</sup> ) Gettens, R. J., The Corrosion Products of Metal Antiquities, Smithsonian Institution Publication, Washington DC, USA, 1964, pp.555-556.

<sup>26</sup> ) North, N. A., and Macleod, I. D., Corrosion of Metals, In: Conservation of Marine Archaeological Objects, edited by C. Pearson, Butterworth, London, 1987, 82.

<sup>27</sup> ) Garcia, S.R., Gilroy D., and MacLeod, I. D., Metals, In: A Practical Guide to the Conservation and Care of Collections, Western Australian Museum, 1998, p.120.

<sup>28</sup> ) Oddy, W.A., and Bradley, S.M., Op. Cit. , p.236.

<sup>29</sup> ) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Preventive Conservation, In: A Practical Guide to the Conservation and Care of Collections, Western Australian Museum, 1998, p.5.

<sup>30</sup> ) Jones, D.A., Op. Cit., p.39.

المقبول به للحفاظ على المقتنيات المتحفية المعروضة والمخزنة<sup>31</sup>. وعلى الرغم من أن بعض المواد يفضل عرضها في ظروف متحكم فيها تماماً فإن معظم المواد تحتاج فقط إلى أن تحفظ في ظروف من الرطوبة النسبية تتراوح ٤٠-٧٠% ± ٥% عن هذا المعدل للآثار الحساسة.<sup>32, 33</sup>

وليس المهم التحكم في الرطوبة النسبية فقط بل المهم أيضاً تقليل التذبذب فيها بين الارتفاع والانخفاض. ويوصى بأن يكون معدل الرطوبة النسبية بيئتي العرض والتخزين لكل المواد الأثرية من ٤٥-٦٥%، وفي حالة المشغولات الأثرية المصنوعة من أكثر من نوع من المواد كأن تكون مشغولة معدنية متصلة بمادة عضوية كالنسيج أو الخشب فإن معدل الرطوبة النسبية يجب أن يتمشى مع الظروف التي يوصى بها لأكثر هذه المكونات حساسية للرطوبة وهي المواد العضوية في هذه الحالة.<sup>34</sup>

## ٢-٢ تذبذب درجات الحرارة

لا يمكن أن يؤثر ارتفاع درجة حرارة الغرفة على التركيب المعدني metallurgical structure للمعدن، حيث يتطلب ذلك درجة حرارة أعلى بكثير من درجة حرارة الغرفة وقد لا ينطبق هذا على الصلب القاسي tempered steel، فقد سجل أن درجات الحرارة تحت ١٠٠°م يمكن أن تغير في التركيب المعدني للأدوات والأسلحة المصنوعة منه<sup>35</sup>، غير أن مثل هذه الدرجة تبقى مرتفعة عما يمكن أن يوجد في بيئتي العرض والتخزين. ولا تتأثر المعادن بدرجات الحرارة عند معدلاتها العادية، غير أن درجات الحرارة لها تأثيرها المباشر على بعض التفاعلات الكيميائية، وهذا التأثير يكون مضاعفاً مع ارتفاع درجة الحرارة بمعدل ١٠°م عن درجة حرارة الغرفة. لذلك فإن تفاعل المعادن مع الأكسجين والملوثات الجوية مثل أكاسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين وغيرها تحدث بصورة أسرع نسبياً في الصيف عنه في الشتاء.<sup>36</sup> ولدرجة الحرارة في معدلاتها العادية تأثيرها على المواد المصاحبة للمعادن في بيئتي العرض والتخزين مثل اللواصق والأغطية نتيجة التعرض لها لمدة طويلة، حيث تتحلل اللواصق أو يتغير لونها كما يمكن أن تصبح الأغطية السطحية على المعادن أكثر لزوجة sticky وجاذبة للأتربة والغبار.<sup>37</sup>

<sup>31</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.5.

<sup>32</sup>) Erhardt, D., and Mecklenburg, M., Relative Humidity, re-examined, Preventive Conservation: Practice, Theory and Research, Ottawa Congress, September, 1994, IIC, 1994, pp.32-38.

<sup>33</sup>) Michalski, S., Relative Humidity: a Discussion of Correct/Incorrect Values, In: ICOM Committee for Conservation 10<sup>th</sup> Triennial Meeting, Washington DC, 1993, pp.624-629.

<sup>34</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.5.

<sup>35</sup>) Tylecote, P.F., and Black, J.W., The Effect of Hydrogen Reduction on the Properties of Ferrous materials, *Studies in Conservation*, Vol.25, 1980, p.89.

<sup>36</sup>) Oddy, W.A., and Bradley, S.M., Op. Cit., p.232.

<sup>37</sup>) Ibid., p.233.

و لا يؤثر انخفاض درجة الحرارة عن معدلاتها الطبيعية على معظم المعادن، ولكن هناك استثناء وحيد وهو القصدير، حيث يوجد القصدير في صورة القصدير الأبيض white tin الثابت فوق درجة حرارة ١٣.٢°م يتغير إلى القصدير الرمادي Gray tin غير المتماصك لو قلت درجة الحرارة عن هذا المعدل، وتسمى هذه الظاهرة بأفة أو مرض القصدير tin pest<sup>٣٨</sup>. فضلاً عن ذلك فإن أثر مصنوع من القصدير بالصب أو الطرق عند درجة حرارة الغرفة سوف يتفتت إلى بودر لو انخفضت درجة الحرارة عن ١٣.٢°م. ولكن هذا التحول الشكلي يكون عملية بطيئة فوق درجة ٥٠°م، لذلك فإن حالات مرض القصدير في المشغولات الأثرية بالمتاحف نادرة الحدوث.<sup>٣٩</sup>

وتتميز المعادن بالمعامل العالي للتمدد الحراري مما يجعل التذبذبات في درجة الحرارة تؤدي إلى تمدد وانكماش طفيف في أبعاد المعدن. ولا يمثل هذا أهمية كبيرة في معظم الظروف، ولكن في حالة وجود معدنين على اتصال، كل منهما ذو معامل تمدد مختلف تماماً عن الآخر، فإن بعضاً من الضغط يمكن أن يقع على منطقة الاتصال بينهما بسبب تذبذب درجة الحرارة. مثل هذا يمكن أن يتسبب في فقد التماسك أو الترابط بين المعدن الأصلي والمعادن الأخرى أو الأحجار الكريمة في أماكن التطعيم نتيجة التمدد والانكماش المتكرر.<sup>٤٠</sup>

ولكى يمكن التحكم في درجات الحرارة والرطوبة داخل المتاحف لابد من القيام أولاً بقياسهما بصفة مستمرة حتى يمكن التحكم فيهما سواء بالزيادة أو النقصان. وتستخدم لذلك أجهزة عديدة مثل الترموهيجروميتر لقياس درجة الحرارة والرطوبة النسبية، والترمومتر لقياس درجة الحرارة وحدها، والهيجروميتر والسيكروميتر وغيرها لقياس الرطوبة وحدها.<sup>٤١، ٤٢</sup>

وإن تثبيت الطقس داخل قاعات المتحف بشكل كلي من شأنه أن يوقف كل أشكال التلف. والمبنى المتحفى وخزانات العرض، وصناديق وأدراج التخزين تعتبر في حد ذاتها من العوامل التي تساعد في توفير ظروف ثابتة من الرطوبة ودرجات الحرارة في بيئتي العرض والتخزين<sup>٤٣</sup>. غير أن التكييف المركزي المتحكم فيه ليلاً ونهاراً هو الطريقة الوحيدة المضمونة للتحكم في معدلات الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة في

<sup>38</sup>) Plenderleith, H.J., and Organ, R.M., The Decay and Conservation of Museum Objects made of Tin, In: Studies in Conservation, Vol.1, 1952, pp.67-68.

<sup>39</sup>) Oddy, W.A., and Bradley, S.M., Op. Cit., p.234.

<sup>40</sup>) bid., p.226.

<sup>41</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.5

<sup>42</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., pp.28-32.

<sup>43</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.6.



أجواء المتاحف وفي بيئة التخزين<sup>٤٤</sup>. ولا يعنى تكييف الهواء داخل قاعات العرض تلطيف الجو فقط فى تلك القاعات وإنما يعنى أيضاً التحكم فى معدلات الحرارة والرطوبة، وتنقية الهواء من نواتج تلوث الهواء الصلبة والسائلة والغازية التى تسبب أضراراً بالغة للمعروضات<sup>٤٥</sup>. وفى حالة عدم وجود تكييف مركزى متحكم فيه وفى حالة انخفاض نسبة الرطوبة فى صالات العرض تستخدم أجهزة الترطيب لرفع معدلات الرطوبة للحد الأمن. ومنها الأجهزة الموضعية الرافعة للرطوبة Humidifiers فى حالة الأجواء الجافة حيث تنشر رذاذاً من الماء النقى الخالى من الأملاح<sup>٤٦</sup>. أو يتم ذلك بتعريض مسطحات مائية أو أقمشة تبلل بالماء لنشر بخار الماء تدريجياً بواسطة خاصية البخر الطبيعية<sup>٤٧</sup>.

ومع زيادة الرطوبة النسبية عن معدلها المسموح به فى بيئتي العرض والتخزين (٦٥%) فإن الأمر يتطلب استخدام أجهزة موضعية خافضة للرطوبة dehumidifiers وهذه الأجهزة عبارة عن أوان تحتوى على كيمائيات ماصة للرطوبة مثل السيليكا جل Silica gel<sup>٤٨</sup> أو الزيولايت Zeolite<sup>٤٩، ٥٠، ٥١</sup>. وهناك أجهزة تعمل أوتوماتيكياً تحتوى على أجهزة حساسة للرطوبة humidity sensors تعطى الإشارة لتشغيل الأجهزة الرافعة أو الخافضة للرطوبة حسب نسبة الرطوبة فى الجو المحيط حيث أن أجهزة القياس هذه متصلة بعقل الكترونى يعطى إشارة التشغيل أو الإيقاف فى الوقت المناسب ألياً لضبط رطوبة جو خزانات أو صالات العرض أو حجرات التخزين. وذلك فى حالة عدم وجود تكييف مركزى Controlled central air condition متحكم فيه ليلاً ونهاراً<sup>٥٢</sup>.

وقد تستخدم وحدات تقوم بتغذية الهواء إلى كبائن العرض عند المعدل المرغوب من الرطوبة النسبية، وهذه الوحدات ذات ساعات مختلفة منها الوحدات الصغيرة التى

<sup>44</sup>) Thomson, G., Stabilization of RH in Exhibition cases: Hygrometric Half-Time, *Studies in Conservation*, 1977, 22, p.85.

<sup>٤٥</sup>) محمد عبد الهادى، دراسة علمية فى ترميم وصيانة الآثار غير العضوية، مكتبة زهراء الشرق، القاهرة، ١٩٩٧ ص ٢٠٢.

<sup>46</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., pp.48-49.

<sup>٤٧</sup>) حسام الدين عبد الحميد، المنهج العلمى لعلاج وصيانة المخطوطات والأخشاب والمنسوجات الأثرية، الهيئة المصرية العامة للكتاب، ١٩٨٤، ص ١٧٧.

<sup>48</sup>) Piechota, D., 1992. Humidity Control in Cases: Buffered Silica Gel versus Saturated Salt Solutions, *Waac Newsletter*, Volume 15, Number 1, pp.19-21

<sup>49</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., p.48.

<sup>50</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.6.

<sup>51</sup>) Rempel, S., Zeolite Molecular Traps And Their Use In Preventative Conservation, *Waac Newsletter*, 1996, Volume 18, 1, p.13.

<sup>52</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., p.50.

تستخدم لخزانات العرض المفردة أو وحدات مركزية لمجموعة من خزانات العرض في قاعة واحدة. هذه الوحدات متطورة عن خلية Peltier التي تبرد الهواء أو تجففه ومن ثم تتحكم في الرطوبة دون الحاجة لاستخدام المبردات أو المجففات. وهذه الخلية اكتشفها Jean Peltier عام ١٨٣٤ وتم تطويرها بواسطة Glausbau Hahn Ltd., وتستخدم في المتحف البريطاني بلندن.<sup>٥٣</sup>

ومن المهم في إجراءات الصيانة الوقائية المتعلقة بمعدلات الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة منع أو تجنب الارتفاع العالي في درجات الحرارة أو الرطوبة النسبية في بيئتي العرض التخزين. مع العلم أن مثل هذه الظروف الشديدة أو القاسية عادة ما تكون موضعية وتؤثر فقط على القليل من الآثار، فعلى سبيل المثال فإن درجات الحرارة العالية وبالتالي الرطوبة النسبية المنخفضة يمكن أن يسببها سقوط ضوء الشمس المباشر على الأثر أو بسبب لمبات الإضاءة الصناعية المركزة على الأثر أو القريبة منه أو وجود دفايات أو مواد مشعة بالقرب من الأثر. والسبب الشائع للرطوبة العالية في المتاحف وفي بيئة التخزين هو تسرب الرطوبة إلى الجدران والأسقف مما يتطلب الأمر عدم عرض وتخزين الآثار على مثل هذه الجدران أو بالقرب منها.

ومن إجراءات الصيانة الوقائية منع أو تجنب الارتفاع العالي في درجات الحرارة في بيئتي العرض التخزين. مع العلم أن مثل هذه الظروف الشديدة أو القاسية عادة ما تكون موضعية وتؤثر فقط على القليل من الآثار، فعلى سبيل المثال فإن درجات الحرارة العالية وبالتالي الرطوبة النسبية المنخفضة يمكن أن يسببها سقوط ضوء الشمس المباشر على الأثر أو بسبب لمبات الإضاءة الصناعية المركزة على الأثر أو القريبة منه أو وجود دفايات أو مواد مشعة بالقرب من الأثر. لهذا يراعى ألا تزيد الحرارة في بيئتي العرض والتخزين عن ٢٠م.<sup>٥٤، ٥٥</sup>

## ٢-٣ الإضاءة

إن اختيار مصادر الضوء داخل قاعات المتاحف يتم وفقاً لعاملين هامين أولهما أن يكون الضوء كافياً لإظهار ما تتمتع به المعروضات من قيم أثرية أو تاريخية أو فنية جمالية، وثانيهما ألا يكون الضوء سبباً في تلف المعروضات<sup>٥٦</sup>. ولا شك أن للضوء تأثيراته على المقتنيات الأثرية المختلفة في بيئتي العرض والتخزين، وفي معظم الأحيان يفوق التأثير الضار للضوء التأثيرات الضارة للحرارة والرطوبة والتلوث الجوي. وبصفة عامة فإن مدى التلف يعتمد على درجة حساسية المواد المعرضة للضوء، وشدة الأشعة، ومدة التعرض، والخواص الضوئية للأشعة من حيث كونها تحتوى على

<sup>53</sup> ) Bradley, S., Op. Cit., p. 163.

<sup>54</sup> ) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.5.

<sup>55</sup> ) Appelbaum, B., Op. Cit., p.47.

<sup>٥٦</sup> ) محمد عبد الهادي، المرجع السابق، ص ٢٠٤.

موجات ذات أطوال موجية قصيرة أو طويلة وذات طاقة عالية أو منخفضة<sup>٥٧</sup>. وأكثر تأثيرات الضوء ملاحظة هي التغيرات اللونية التي تحدث للمواد الأثرية العضوية التي قد تكون على اتصال بالمعدن، فعلى سبيل المثال ما يحدث للعاج من تبييض Bleaching، وبهتان الأصباغ والأحبار، وتغير لون الخشب والورنيشات، جميعها يحدث نتيجة التعرض للضوء<sup>٥٨</sup>. وتختلف المواد في تفاعلها مع الضوء فبعض المواد تبهت والبعض الآخر يصبح أكثر دكانة، فمثلاً بعض أنواع الخشب عندما تتعرض للضوء يصفر لونها والبعض الآخر يبيض لونه والبعض الثالث يتحول إلى اللون الرمادي، أو يحدث له دكانة وغمقان كبير<sup>٥٩، ٦٠</sup>. وبالإضافة إلى ما يسببه الضوء من اضمحلال للألوان نتيجة للأكسدة، فإن التأثيرات الحرارية المصاحبة للضوء تؤدي إلى تنشيط تفاعلات الهدم الكيميائية أيضاً، وما ينتج عنها من تأثيرات الجفاف ومظاهره المختلفة، حيث يتسبب الضوء في تكسير وتحلل التراكييب الجزيئية للمواد العضوية فيضعف ألياف النسيج والأوراق والجلود وغيرها<sup>٦١</sup>. وعلى الرغم من أن كل أنواع الضوء لها أضرار متفاوتة فإن الموجات الأكثر ضرراً هي:

- الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet rays ذات الطاقة العالية والطول الموجي القصير (٣٢٠-٣٨٠ نانومتر) وتعتبر هي المسؤولة عما يسمى بالتلف الكيميائي الضوئي Photochemical degradation. وتوجد هذه الأشعة بنسبة عالية في ضوء الشمس وبكمية ليست بالقليلة في لمبات التنجستن والفلورسنت.
  - الموجات القصيرة من الضوء المرئي الأبيض حتى الضوء الأزرق، وتأثيرها أقل ضرراً.
  - الأشعة تحت الحمراء Infra-red rays ذات الموجات الطويلة (٧٦٠ نانومتر فما فوق)، وتسبب هذه الأشعة رفع درجة حرارة المواد الأثرية المعرضة لها وتعجل من عمليات التلف الكيميائي، ولها المقدرة أيضاً على إحداث تغيرات في الرطوبة النسبية المحيطة حيث تتناسب الرطوبة في المواد عكسياً مع هذه الأشعة الساقطة عليها.
- وتقاس شدة الضوء المرئي بجهاز يسمى Luxmeter or Light meter وهو يعطى قراءة مباشرة للضوء ويعبر عنه باللوكس. واللوكس يساوي تقريباً ٠.١ لومن. واللومن Lumen هو الوحدة البريطانية المستخدمة لقياس الضوء، وفي بعض الدول

<sup>57</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., p.70.

<sup>58</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.2.

<sup>٥٩</sup>) حسام الدين عبد الحميد، المرجع السابق، ص ٢٧٢.

<sup>60</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., p.66.

<sup>٦١</sup>) حسام الدين عبد الحميد، المرجع السابق، ص ١٨٠-١٨١.

تستخدم وحدة الـ footcandle لقياس الضوء وهو يمثل كمية الضوء الساقط على سطح يبعد بمقدار قدم عن شمعة والـ ١٠.٧٦ footcandles تساوى اللوكس<sup>٦٢</sup>. بينما تقاس الأشعة فوق البنفسجية بجهاز يسمى UV Monitor ويعبر عنها بوحدات الميكرووات/لومن  $\mu\text{W/Lumen}$ ، في حين أن الأشعة تحت الحمراء لا تقاس، ولكن يمكن إدراك تأثيرها بسهولة بملاحظة التغيرات في درجة الحرارة المصاحبة. وكمية التلف التي يمكن أن تحدث بالتعرض لضوء شديد في زمن قصير تماثل تلك التي تنتج من التعرض لضوء ضعيف في مدة طويلة.<sup>٦٣</sup>

ويلعب ضوء الشمس دوراً هاماً في أكسدة الملوثات الغازية ومنها غاز ثاني أكسيد الكبريت  $\text{SO}_2$  الذي يتحول في غضون يومين إلى ثلاثة أيام على الأكثر إلى غاز ثالث أكسيد الكبريت  $\text{SO}_3$ .<sup>٦٤</sup>

وحتى سنوات عديدة لم يكن يعتقد أن للضوء الزائد أي تأثير على الآثار المعدنية، ولكن تبين أن طاقة الضوء تحفز التفاعل بين المعادن والغازات الجوية. ففي المتحف البريطاني لوحظ أن عملات الفضة المعروضة قرب النافذة في إحدى قاعات العرض الحديثة والتي لم يمر عليها سوى ثلاثة أشهر قد تكوّن على أوجهها المعرضة للضوء ناتج صدأ أبيض في صورة مسحوق تبين أنه لكلوريد الفضة المتحلل إلى فضة خالصة وكلوريد، والذي يختلف عن كلوريد الفضة المتماصك المتكون على خلفية هذه العملات<sup>٦٥</sup>.

وتبين من خلال الفحص والتحليل أن السبب المباشر في هذه الحالة ليس في ارتفاع معدلات الرطوبة النسبية ودرجات الحرارة ولا إلى التفاعل الكيميائي للعملات مع الملوثات الجوية المنبعثة من المواد المستخدمة في بناء خزانات العرض وإنما السبب المباشر في ذلك يرجع إلى معدل الإضاءة العالي حيث تبين أن معدل الضوء المرئى الذي تم قياسه بقاعة العرض في صباح يوم مشمس، والذي يعتبر نموذجاً للعديد من الأيام التي تبعت افتتاح القاعة، وجد أنه ٥٠٠ لوكس ومعدل الأشعة فوق البنفسجية كان ٥٠ ميكرووات/لومن بينما كان معدل الضوء الساقط على العملات الفضية التي تعرضت لهذا النوع من التلف ٩٦٠ لوكس و ٧٠ ميكرووات/لومن من الأشعة فوق البنفسجية. وهذا المستوى يعتبر عالياً، وبدون شك كان السبب في التغيرات الملحوظة حيث تم اختزال كلوريد الفضة بسهولة إلى الفضة المعدنية بواسطة الضوء، وارجع وجود الكلوريد إلى أنه ربما كان ناتجاً عن تحلل المواد البلاستيكية المحتوية على الكلوريد، وهذه البلاستيكات شائعة الاستخدام الآن في الحوائط والأرضيات بالأبنية الحديثة<sup>٦٦</sup>.

<sup>62</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., p.71.

<sup>63</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.2.

<sup>٦٤</sup>) محمد عبد الهادي، المرجع السابق، ٢٠٤.

<sup>65</sup>) Oddy, W.A., and Bradley, S.M., Op. Cit., p.222.

<sup>66</sup>) Ibid., pp.230-231.

والمستويات المسموح بها من الإضاءة للآثار المعدنية والمجوهرات هي ٣٠٠ لوكس وقد يزيد قليلاً، ومن الأشعة فوق البنفسجية ٧٥ ميكرووات/لومن وهو المستوى الأعلى المسموح به لكل أنواع المواد الأثرية<sup>٦٧</sup>.

ويجب التحكم في مستوى الإضاءة في بيئتي العرض والتخزين. ويفضل عدم استعمال الإضاءة المباشرة من ضوء النهار أو ضوء الشمس، واستعمال الإضاءة غير المباشرة مثل الإضاءة المنعكسة من حوائط بيضاء<sup>٦٨</sup>، أو لمبات الفلورسنت منخفضة الأشعة فوق البنفسجية<sup>٦٩</sup>.

وقد تستخدم أجهزة للتحكم في أشعة الشمس التي تتسرب داخل قاعات العرض تحتوي على خلايا ضوئية تسمى Louvre blinds أو Venetian blinds في سقف قاعات العرض أو عند نوافذ وفتحات المتحف المختلفة في صورة مرشحات<sup>٧٠</sup>. أو ستائر أو دهان النوافذ بدهانات تقوم بترشيح الضوء وتخليصه من الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء<sup>٧١</sup>. مثل مادة بولي فينيل بوتيرال Polyvinyl butral التي لها القدرة على امتصاص تلك الأشعة ذات الموجات أقل من ٣٨٠ نانومتر وتمتص حوالى ٥٠% من الأشعة فوق البنفسجية التي يبلغ طول موجتها ٤٠٠ نانومتر، كذلك تستخدم لـنفس الغرض مادة Cellulose acetate ومادة Benzotriales ومادة Benzophenones Polymethyl methacrylate يغطي بها أسطح زجاج النوافذ والفتحات المختلفة بالمتحف<sup>٧٢</sup>. وقد توضع أغطية من البرسبيكس الماص للأشعة فوق البنفسجية فوق مصادر الضوء أو لتغطية خزانات العرض<sup>٧٣</sup>. ولحماية المعروضات من تأثير الضوء المنعكس من أرضيات قاعات العرض ينصح مصمموا المتاحف أن يكون لون هذه الأرضيات داكناً حتى تمتص الضوء الساقط عليها ولا ينعكس على المعروضات فيتلفها. ويفضل في إضاءة بيئتي العرض والتخزين استخدام مفاتيح غلق الضوء أوتوماتيكياً التي تفتح عند الحاجة إليها أو عند الزيارة<sup>٧٤</sup>.

<sup>67</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.3.

<sup>٦٨</sup> حسام الدين عبد الحميد، المرجع السابق، ص ١٨٠.

<sup>69</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.3.

<sup>٧٠</sup> محمد عبد الهادي، المرجع السابق، ٢٠٤.

<sup>٧١</sup> حسام الدين عبد الحميد، المرجع السابق، ص ١٨٠.

<sup>٧٢</sup> محمد عبد الهادي، المرجع السابق، ص ٢٠٠.

<sup>73</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., p.91.

<sup>74</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.3.

## ٢-٤ الملوثات

يتكون الهواء بصورة رئيسية من الأوكسجين والنيتروجين، لكنه يحتوى أيضا على خليط معقد من العديد من الغازات التي توجد في تراكيز منخفضة مثل الأوزون وثنائي أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وكبريتيد الهيدروجين. هذه التراكيز الضعيفة لهذه الغازات يمكن ان تسبب تلفاً وتأكلاً بطيئاً للآثار المعدنية فتسبب في تغطية أسطحها بمركبات صداداً عديدة نتيجة التفاعل بينها وبين الفلزات أو السبائك المعدنية المكونة لها، وخاصة في أجواء المناطق الصناعية أو الساحلية<sup>٧٥</sup>. وتأتي الملوثات في بيئتي العرض والتخزين من تسرب غازات التلوث إلى أجواء المتاحف<sup>٧٦</sup>، ومن الغازات المنبعثة من الأخشاب ومنتجاتها المستخدمة في التخزين والحفظ، ومن المواد المصاحبة للمجموعات الأثرية في العرض وخاصة المواد التي تتبعث منها أبخرة ضارة عند درجة حرارة الغرفة<sup>٧٧</sup>. وعندما يكون مصدر التلوث في مكان مغلق مع الأثر فإن التلف يمكن أن يكون سريعاً وشديداً عنه في البيئة المفتوحة<sup>٧٨</sup>. ولا يتوقف تأثير هذه الملوثات على التغيرات اللونية لبعض المواد بل يمتد في المعادن الأثرية إلى تغيرات ميكانيكية وكيميائية وتآكل<sup>٧٩</sup>.

والأخشاب من المواد شائعة الاستخدام في صناعة وتجهيز خزانات العرض ودواليب وأدراج التخزين وذلك لرخص ثمنها وسهولة التعامل معها<sup>٨٠</sup>، غير أنها يمكن أن تنتج أبخرة أو مواد غازية أو بخارية تشكل خطراً وتسبب ضرراً على المواد المخزنة فيها في الظروف البيئية القاسية<sup>٨١</sup>. والتي يمكن أن تعجل من تلف المشغولات المعدنية وخاصة في البيئة المغلقة مثل بيئتي العرض والتخزين<sup>٨٢</sup>.

وخطورة هذه المركبات الغازية تكمن في تحولها في وجود الرطوبة إلى أحماض كربوكسيلية أهمها حمض الفورميك وحمض الخليك والتي تحفز صداداً المعادن وخاصة

<sup>75</sup>) Lee, L.R., and D. Thickett, Selection of Materials for the Storage or display of Museum Objects., British Museum, Occasional Paper 111, 1996, p.3.

<sup>76</sup>) Mauro, B. et al., Innovative Sensors for Environmental Monitoring in Museums, *Sensors* 8, 2008, pp. 1985.

<sup>77</sup>) Ryhl-Svendsen, M., Indoor air pollution in museums: a review of prediction models and control strategies, *Reviews in Conservation*, 7, 2006, p. 27.

<sup>78</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., p.99.

<sup>79</sup>) Mauro, B. et al., Op. Cit., p.185.

<sup>80</sup>) Bradley, S., Op. Cit., p..164.

<sup>81</sup>) Miles, C. E. , 1986. Wood Coatings for display and storage cases, *Studies in Conservation* , 31, p. 124.

<sup>82</sup>) Green L.R., and D. Thickett, Testing Materials for Use in the Storage and Display of Antiquities—A Revised Methodology," *Studies in Conservation*, vol. 40, No. 3 , 1995, p. 145..

الرصاص ولو وجدت بنسبة صغيرة جداً<sup>٨٣، ٨٤</sup>. كما أن الأخشاب قد تكون مصدراً لإنتاج الكحولات مثل الكحول الايثيلي والميثيلي والاسترات مثل خلات الميثيل<sup>٨٥، ٨٦</sup>. وتتوقف كمية هذه الأحماض الناتجة على الظروف البيئية المحيطة حيث تزداد كميتها مع ارتفاع معدل الرطوبة، كما تتوقف على نوع الخشب، فمثلاً خشب البلوط وخشب الدرداء من الأخشاب المنتجة بكثرة لحمض الفورميك وحامض الخليك<sup>٨٧</sup>. والأخير على وجه الخصوص ينبعث من كل أنواع الأخشاب التي تنتمي للأخشاب الصلبة Hardwoods مثل خشب البلوط أو السنديان والذي يعتقد انه أكثر انواع الأخشاب التي ينبعث منها بخار حمض الخليك حيث يمكن ان يتحول ٧% من وزن هذا الخشب إلى بخار لحمض الخليك في غضون عامين عند درجة حرارة ٤٨ م<sup>٨٨</sup>. وحمض الخليك ينتج من تحلل مجموعة الأسيتيل في الهيميسليلوز والذي يشكل ثلث المكونات الكربوهيدراتية في الأخشاب. ويشكل الهيميسليلوز نسبة تتراوح بين ٤-٦% من وزن الخشب في الأنواع الصلبة، بينما تتراوح نسبته في الأخشاب اللينة من ١-٢%. ويعتمد معدل التحلل على توفر الماء ودرجة حرارة البيئة المحيطة بالخشب، وانبعاث بخار حمض الفورميك من الخشب عامة ما يكون أقل كثيراً من انبعاث حمض الخليك<sup>٨٩</sup>.

غير أن الخشب الحبيبي والخشب المضغوط أو "الكونتر" Chipboard يعتبراً مصدراً للفورمالدهيد الذي يتأكسد في وجود الرطوبة العالية والأشعة فوق البنفسجية والضوء. وينتج عن ذلك حمض الفورميك الذي يدخل بصفة أساسية في تركيب نواتج الصدأ المتكونة على بعض الآثار المعدنية وخاصة الرصاص والزنك المحفوظة داخل صناديق خشبية<sup>٩٠، ٩١</sup>. كما قد ينتج الفورمالدهيد من كثير من المواد المصنعة من لواقص الفورمالدهيد ولواقص الفينول فورمالدهيد التي تستخدم في تجهيزات فترينات

<sup>83)</sup> Clarke, S. G. and E. E. Longhurst, 2007. The corrosion of Metals by Acid Vapours from wood, *Journal of Applied chemistry*, Volume 11 Issue 11, pp. 435.

<sup>84)</sup> Appelbaum, B., Op. Cit., p.98.

<sup>85)</sup> Padfield, T, Erhardt, D. and W. Hopwood, 1982. Trouble in store, *In: Science and technology in the service of conservation*, IIC Preprint, London pp25.

<sup>86)</sup> Oddy, W.A., and S.M., Bradley, Op. Cit., pp.230-231.

<sup>٨٧</sup>) ديفيد وليم ماكداول، ١٩٨٦، مجموعات العملات، صيانتها، تصنيفها، عرضها، ترجمة نبيل زين الدين، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ص ٥٥.

<sup>88)</sup> Budd, M.K., Corrosion of metals in association with wood, *Applied Materials Research*, 1965, pp. 124-125.

<sup>89)</sup> Gibson L.T., and C.M. Watt, Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments, *Corrosion Science* 52, 2010, P. 172.

<sup>90)</sup> Appelbaum, B., Op. Cit., p.99.

<sup>91)</sup> Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.7.

العرض، ويتصاعد من الأولى بكمية أكبر من الثانية، كما قد ينتج الفورمالهيد من الدهانات الحديثة والتي لم تجف بعد<sup>٩٢</sup>. وقد تكون الأقمشة الشائع استخدامها في إعداد فتارين العرض أحد مصادر المركبات الكبريتية فمثلاً يعتبر الصوف من المواد المنتجة لغازات الكبريتيد وبصفة خاصة كبريتيد الكربونيل<sup>٩٣</sup>. ومع ذلك، فعلى الرغم من أن العديد من الألياف الطبيعية نفسها يمكن ألا تكون مصدراً كبيراً للملوثات، فإن القماش الذي يضاف إليه إضافات مثل المواد التي تكسبه مقاومة الاشتعال أو المواد المقاومة للتجاعيد والطي فإنها يمكن أن تكون مصدراً للمواد الضارة مثل الفورمالدهيد أو الأحماض العضوية<sup>٩٤</sup>. كما أن لواصلق الفينول فورمالهيد والميلامين فورمالدهيد واللذان قد يتواجدان كمواد تشطيب على الأقمشة المستخدمة في العرض والتخزين تعتبر من المصادر الجيدة للفينول  $C_6H_5OH$  والفورمالدهيد والذي يتحول في وجود الرطوبة إلى حمض الفورميك<sup>٩٥</sup>. والأصباغ الكبريتية المستخدمة في صباغة الصوف والقطن تعتبر مصدراً جيداً للنواتج الكبريتية. وكذلك الغراء وبعض الأصماغ واللواصق والألوان الداخلة في تركيبها الكازين تعتبر جميعاً مصادر جيدة لنواتج الكبريت<sup>٩٦</sup>. هذه المواد المحتوية على مركبات الكبريت مثل كبريتيد الهيدروجين وكبريتيد الكربونيل، جميعها تسبب تآكل الخيوط المعدنية وصدأ الفضة والنحاس والبرونز في المتاحف حيث يتسبب في تكون باتينا سوداء أو متعددة الألوان داكنة<sup>٩٧، ٩٨</sup>. وكبريتيد الهيدروجين سريع التفاعل ويسبب صدأ الفضة والنحاس في المتاحف حيث يتسبب في تكون باتينا سوداء أو متعددة الألوان داكنة<sup>٩٩</sup>. هذا بالإضافة إلى المواد الأخرى المصنعة من خلاص السليلوز ولواصلق خلاص البولي فينيل تعتبر مصدراً جيداً لحمض الخليك<sup>١٠٠</sup>، وكذلك الراتنجات واللاكيهات واللواصق، والمذيبات العضوية المستخدمة في إعداد اللواصق مثل خلاص الايثيل يمكن أن تتحلل

<sup>٩٢</sup> عمر محمد عبد الكريم، الصيانة الوقائية للمجموعات المتحفية كاتجاه عالمي حديث يجب تطبيقه في المتاحف المصرية: الجزء الأول: المنهج العلمي لاختيار المواد والخامات المستخدمة في عرض وتخزين ونقل المجموعات المتحفية، المؤتمر الأول لكلية الفنون الجميلة، جامعة المنيا، الفن والمدينة، ٢٠٠٠، ص٦.

<sup>٩٣</sup> Oddy, W.A., The Corrosion of Metals on Display, In: *Conservation in Archaeology and the Applied Arts*, IIC, London, 1975, 236.

<sup>٩٤</sup> Lee, L.R., and D. Thickett, Op. Cit., p.7.

<sup>٩٥</sup> Oddy, W.A., and S.M., Bradley, Op. Cit., p.237.

<sup>٩٦</sup> Padfield, T, Erhardt, D. and W. Hopwood, Op.Cit., p.26.

<sup>٩٧</sup> Oddy, W.A., and S.M., Bradley, Op. Cit., p.236.

<sup>٩٨</sup> Appelbaum, B., Op. Cit., p.98.

<sup>٩٩</sup> Oddy, W.A., and S.M., Bradley, p.237.

<sup>١٠٠</sup> Padfield, T, Erhardt, D. and W. Hopwood, Op.Cit., p.26.



أن تتحلل إلى كحول وحمض تحت ظروف بيئية معينة وبخاصة أثناء التبخر الكامل للمذيب اللاصق أو من الأثر المعالج.

والمواد المصنوعة من بولي فينيل الكلوريد مثل حاويات وأفراخ البلاستيك تعتبر مصدراً لانبعاث كلوريد الهيدروجين وخاصة عند التعرض لدرجة حرارة تصل إلى ٦٠ م°<sup>١٠١</sup> ولا ننسى إمكانية تحول هذا الغاز في وجود الرطوبة إلى حمض الهيدروكلوريك غير العضوي. كما يمكن أن تكون نترات السليلوز مصدراً لحمض النيتريك. ويمكن أن تبعث بأكاسيد النيتروجين.<sup>١٠٢</sup>

ومن مصادر الملوثات في بيئتي العرض والتخزين التي تنتج عنها أحماض ضارة تلك الأبخرة التي تبعث من الدهانات المختلفة وخاصة دهان الزيت الذي يبعث بـ حمض الفورميك والأحماض الدهنية المشبعة، ودهانات الاكريلك والنيتروسيليلوز التي تتسبب في انبعاث حمض الخليك المشتق من الاسترات الداخلة في تركيب مذيب هذه الدهانات.<sup>١٠٣</sup>

وهناك الملوثات العضوية المنبعثة من لوازم وخامات التجديد الصناعية، والكلورين والأمونيا المنبعثين من مواد التنظيف والتطهير والتعقيم المستخدمة في المتاحف. والكيمائيات المستخدمة في المواد الحافظة مثل الفورمالدهيد والايثانول تعتبر ملوثات جوية بارزة، وكذلك المبيدات الحشرية الطيارة.

وهناك ملمح هام للتلوث داخل أجواء المتاحف والمخازن يتمثل في شيوخ الأملاح الهيجروسكوبية ومثل هذه الأملاح في البيئات المفتوحة تغسل أو تنزح من على أسطح الآثار خلال فترات الرطوبة العالية، بينما في البيئات المغلقة مثل بيئة المتاحف والمخازن حيث الرطوبة المتعادلة وحيث لا يتوفر غاز ثاني أكسيد الكبريت بدرجة كافية ليكون كبريتات غير هيجروسكوبية بإحلالها محل الايونات الأخرى مثل الأحماض الطيارة أو الأكاسيد، نجد أن هذه الأملاح لا تتعرض للنزوح وبامتصاصها للرطوبة تكون فيلماً سائلاً يحفز من التفاعل أو الهجوم الكيميائي.<sup>١٠٤</sup>

والرصاص الخالص عادة ما ينظر إليه المهندسون الإنشائيون والمدنيون على أنه معدن ثابت وغير قابل للصدأ والتآكل. غير أن هذا الأمر يكون مختلفاً في المتاحف حيث يتعرض الرصاص للتآكل مكوناً كربونات الرصاص، نتيجة التعرض لكبريتيد الكربونيل أو ثاني أكسيد الكربون، المعروفة بالهيدروسيروسيت، والتي تعطى الرصاص المظهر الأبيض اللون<sup>١٠٥</sup>، وقد يتعرض الرصاص للتفتت بصورة كاملة إذا

<sup>101</sup> ) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.7.

<sup>102</sup> ) Padfield, T, Erhardt, D. and W. Hopwood, Op.Cit., p.26.

<sup>103</sup> )Donovan, and T.M., Moynehan, 1965, The corrosion of metals by vapours from air-drying paints, *Corrosion Science*, Volume 5, Issue 12, pp. 803.

<sup>104</sup> ) Padfield, T, Erhardt, D. and W. Hopwood, Op. Cit., p.24.

<sup>105</sup> ) Lee, L.R., and D. Thickett, Op. Cit., p.4.

تم حفظه لفترة قصيرة في أماكن مغلقة تحتوي على مواد تتبعث منها أحماض كربوكسيلية<sup>١٠٦</sup>، أو في كبائن من الخشب أو في صناديق من الكرتون أو في أطرف من الورق.<sup>١٠٧</sup>

ومع أن سبائك الرصاص مع النحاس أو القصدير تكون أكثر مقاومة من الرصاص الخالص، فإن البرونز الذي يحتوي على نسبة عالية من الرصاص *lead bronze* يتعرض للتلف أو التآكل في أماكن تركيز الرصاص لو تم تخزينه في بيئة تحتوي على أيونات متلفة.<sup>١٠٨</sup>

وكما يتسبب حمض الخليك وحمض الفورميك، المتكونان داخل بيئتي العرض والتخزين في التآكل الشامل للرصاص<sup>١٠٩</sup>. فإن حمض الخليك يتسبب في صداد الأثار النحاسية والبرونزية حيث يكون على أسطحها طبقة من خلاص وكربونات النحاس والصوديوم *sodium copper carbonate acetate* ذات اللون الأزرق. والتي ثبت وجودها على أسطح ١٨٤ أثر مصري قديم بالقسم المصري بالمتحف البريطاني، شملت أدوات وأسلحة وتمائيل وأوان، أغلبها من النحاس وسبائك البرونز والنحاس والزرنيخ والبرونز ذو نسبة الرصاص العالية، كانت محفوظة في صناديق من الخشب تحتفظ بمستويات عالية من حمض الخليك.<sup>١١٠</sup> نفس المركب قد تم التعرف عليه وتحديدته على بعض الأثار المعدنية من النحاس والبرونز في اليونان تم معالجتها وتخزينها في صناديق خشبية.<sup>١١١</sup> وكذلك تم تحديد مركب جديد ذو لون أزرق فاتح على مجموعة من المشغولات الأثرية المعدنية من سبائك النحاس (مصرية وإغريقية وأشورية وصينية)، ثبت أنه مركب للنحاس والصوديوم مع الخلاص والفورمات. وأرجع وجود مجموعتي الفورمات والخلاص إلى أبخرة حمض الفورميك والخليك المنبعثة من المكونات الخشبية لخزانات العرض والتخزين حيث كانت توجد هذه المجموعة من الأثار.<sup>١١٢</sup>

<sup>106</sup> ) Tennent, N.H., Cannon, L., 1993. The corrosion of lead artifacts in wooden storage cabinets. *Scottish Society for Conservation and Restoration (SSCR) Journal* 4 (1), p.8.

<sup>107</sup> ) Oddy, W.A., and S.M., Bradley, p.236.

<sup>108</sup> ) Lee, L.R., and D. Thickett, Op. Cit., p.4.

<sup>109</sup> ) Tétreault, J., J. Sirois, and E. Stamatopoulou. Studies of Lead Corrosion in Acetic Acid Environments. *Studies in Conservation* 43, 1998, p. 17.

<sup>110</sup> ) Thickett, D. and M. Odlyha, Note on the identification of an unusual pale blue corrosion product from Egyptian copper alloy artifacts, *Studies in Conservation*, 45, 1, (2000), p.63.

<sup>111</sup> ) Paterakis, A. B., The Influence of Conservation Treatments and Environmental Storage Factors on Corrosion of Copper Alloys in the Ancient Athenian Agora, *JAIC*, 24, 2003, p.313.

<sup>112</sup> ) Trentelman, K., et al., The characterization of a new pale blue corrosion Product found on copper alloy artifacts, *Studies in Conservation*, 47, 4, 2002, pp. 217-227

كما تتأثر الفضة بالغازات الملوثة في أجواء المتاحف وفي بيئة التخزين وخاصة كبريتيد الكربونيل COS وكبريتيد الهيدروجين H<sub>2</sub>S<sup>١١٣، ١١٤</sup>، التي تنبعث من بعض المواد المستخدمة في العرض أو التخزين، أو قد تتسرب مع الهواء الذي لم يتم تنقيته إلى داخل المتحف. ووجودهما ولو بتركيزات ضعيفة جداً يمكن أن يتسبب في تلوث الآثار المصنوعة من الفضة.<sup>١١٥</sup>

وتتطلب إجراءات الصيانة الوقائية للحد من التلوث في بيئتي العرض والتخزين منع تسرب الملوثات إلى أجواء المتاحف عن طريق استخدام أجهزة لترشيح الهواء أو تنظيفه وتنقيته من المواد الضارة الصلبة منها أو الغازية أو السائلة<sup>١١٦</sup>. واستخدام أجهزة تكييف الهواء وترشيح أو تنقية الكربون air-conditioning and carbon filtration التي ترشح الهواء من الأوزون وغاز ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين كما تقلل من تركيزات ثاني أكسيد النيتروجين<sup>١١٧</sup>.

وهناك عدد من الباحثين نشروا اختبارات بسيطة لفحوصات يجب إجراؤها على أية مادة للتأكد من صلاحيتها للاستخدام في أغراض العرض والتخزين للمجموعات المتحفية. وبعض هذه الاختبارات سهل التطبيق ويستغرق وقتاً قصيراً وبعضها الآخر يحتاج لفترة طويلة تصل إلى أربعة أسابيع. وتتوقف نوعية وعدد هذه الاختبارات على نوعية المواد الأثرية التي ستكون على اتصال بالمواد المراد اختبارها وطبيعة هذا الاتصال من حيث كونه اتصالاً مباشراً أم غير مباشر<sup>١١٨</sup>. ومن أمثلة هذه الاختبارات: اختبار Oddy عام ١٩٧٣<sup>١١٩</sup> للغازات الضارة أو المتلفة للفضة والنحاس والرصاص. وهذا الاختبار قد وضعه Andrew Oddy وعدد من المشاركين معه في المتحف البريطاني عام ١٩٧٠ ثم تم تطويره في السنوات التالية. وهو عبارة عن اختبار للصدأ المعجل ولقد صمم هذا الاختبار في البداية من أجل الكشف عن تأثير المواد المراد استخدامها للعرض والتخزين والمراد اختبارها على المعادن ثم تم

<sup>113</sup>) Franey, J.P., Kammlott, G.W., and T.E., Graedel, The corrosion of silver by atmospheric sulfurous gases, *Corrosion Science*, 25, 1985, p.133.

<sup>114</sup>) Hubertus A., et al., Hydrogen sulfide and carbonyl sulfide in the museum environment—Part 1", *Atmospheric Environment*, 39, 2005, p. 695..

<sup>115</sup>) Bradley, S., Op. Cit., p.166.

<sup>116</sup>) Ryhl-Svendsen, M., Indoor air pollution in museums: a review of prediction models and control strategies, *Reviews in Conservation*, 2006, 7, p.27.

<sup>117</sup>) Blades, N. et al., Preventive Conservation Strategies for sustainable urban pollution control in museums. In: Tradition and Innovation: Advances in conservation: contributions to the Melbourne Congress. The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2000, p. 26.

<sup>118</sup>) Appelbaum, B., Op. Cit., p.99.

<sup>119</sup>) Oddy, W.A., An unsuspected danger in display, *Museums Journal*, 73, 1973, pp.27-28.

تطويره في دراسات لاحقة<sup>١٢٠</sup>، للكشف عن احتمالية تصاعد الغازات الضارة من المواد والتي سوف تسبب صدأ المعادن ومن ثم ستتلف المواد الأثرية الأخرى في بيئتي العرض والتخزين. وتعتمد الفكرة الأساسية لهذا الاختبار على وضع عينة من المادة المراد اختبارها مع شرائح صغيرة قياسية ونظيفة من النحاس والفضة والرصاص في أنبوبة اختبار محكمة الغلق بداخل فرن درجة حرارته ٦٠° م لمدة ٢٨ يوماً ثم ملاحظة التغيرات الحادثة للشرائح المعدنية، ومعدل الصدأ الذي تكوّن عليها والذي يعتبر المؤشر الحقيقي لتقييم احتمالية تصاعد الغازات الصادرة من المادة المختبرة<sup>١٢١</sup>. وتشمل خطوات هذا الاختبار:

١. إعداد شرائح من النحاس والفضة والرصاص بأبعاد ١٠ مم × ١٥ مم × ٠.١ مم سمك بدرجة نقاء عالي (٩٩.٥%).
٢. يتم تنظيف هذه الشرائح بفرش زجاج ناعمة باستخدام فرشاة لكل معدن، ويراعى أن تكون الشرائح مسطحة تماماً.
٣. يتم عمل ثقب صغير في منتصف الجزء العلوي من الشرائح يتم ربط خيط من النايلون غير قابل للاشتعال بكل شريحة من خلال هذا الثقب على أن يكون أقصى سمك للخيط ٠.٠٥٣ مم.
٤. يتم غمر كل شريحة من الشرائح المعدنية الثلاث في الأسيتون داخل طبق بترى لعدة دقائق ثم ترفع الشريحة المعدنية باستخدام ملقاط نظيف تماماً وتوضع بين طبقتين من ورق التشيو الخالي من الحموضة حتى تجف تماماً.
٥. يتم وضع حوالي ٢ جم من المادة المراد اختبارها داخل أنبوب اختبار سعته ٥٠ مم.
٦. تملأ أنبوبة اختبار أخرى صغيرة سعة ٠.٥ مم بالماء المقطر وتوضع داخل الأنبوبة السابقة بجوار العينة المختبرة.
٧. يتم تعليق الشريحة المعدنية السابق تجهيزها بواسطة خيط النايلون ثم تغلق فوهة الأنبوبة بإحكام.
٨. يتم تجهيز عينات إرشادية control لمقارنة النتائج.
٩. توضع الأنابيب السابق تجهيزها داخل فرن درجة حرارته ٦٠° م لمدة ٢٨ يوماً. ثم ترفع العينات بعد ذلك ويتم تقييم النتائج.

<sup>120</sup> ) Blackshaw, S. M., and V. D. Daniels. 1978. Selecting safe materials for use in Display and Storage of antiquities. ICOM Committee for Conservation preprints, Fifth Triennial Meeting, Zagreb, pp.1-9.

<sup>121</sup> ) Green L.R., and D. Thickett, Op. Cit., p. 147.

وقد طبق هذا الاختبار أيضا على الماغنسيوم والزنك والالومنيوم<sup>١٢٢</sup>، ولحديد أيضا وأعطى بعض النجاح<sup>١٢٣</sup>. والميزة الرئيسية لهذا الاختبار هو أنه سوف يحدد التأثيرات لكل الأنواع المتلفة المنبعثة من العينة. فالعديد من الأنواع ي تسبب تلف المعادن فى العرض أو التخزين هي فى الواقع نواتج التلف لمواد العرض. ولأن هذا الاختبار يعجل من تلف المادة موضوع الاختبار، فإنه سوف يحدد أى من المواد سيكون متلفاً. ويعيب هذا الاختبار المدة الطويلة التي يستغرقها للحصول على النتائج. فلون أن مادة يتم اختبارها قد فشلت فإن الامر يتطلب أن تمر المادة البديلة المرشحة للاستخدام بمدة اختبار جديدة (٢٨ يوم) وهكذا تكون مدة الاختبار العيب البارز فيه.

وهناك اختبار weyde ١٩٧٢ للغازات المؤكسدة ويعتمد على ملاحظة تغير لون فيلم الفضة الجزيئية على الصور الفوتوغرافية<sup>١٢٤</sup>. وكذلك اختبار Collings and Young, ١٩٧٦، لاختبار تأثير المواد التي يتصاعد منها الأبخرة ومدى تأثير هذه الأبخرة فى صدأ أو تصدؤ وتأكسد أسطح أو أفلام الفضة فى الصور الفوتوغرافية القديمة التي تتأثر بالأبخرة الملوثة المنبعثة من الدهانات أو الأثاث الخشبي أو الصور الفوتوغرافية نفسها<sup>١٢٥</sup>.

وهناك اختبارات أخرى مثل Azide test<sup>١٢٦</sup> الذي يجرى للمواد المحتوية على الكبريت فى صورة كبريتيد الهيدروجين وكبريتيد الكربونيل، التي يمكن أن تستخدم فى بيئتي العرض والتخزين وتعتبر السبب الرئيسي لتصدؤ الفضة، ويمكن أن تؤثر أيضا فى النحاس. ويمكن الاعتماد على هذا الاختبار فى التأكد من سلامة الأقمشة أو الورق أو الأخشاب أو اللواصق التي تستخدم فى أغراض العرض والتخزين.

ويعتمد هذا الاختبار على تفاعل Sodium Azide مع Iodine فى وجود الكبريت الموجود بالمادة المراد اختبارها الذي يقوم بدور العامل المساعد، حيث ينتج عن هذا التفاعل تصاعد غاز النيتروجين والذي يظهر فى صورة فقاعات يمكن رؤيتها تحت الميكروسكوب الضوئى. وتشير هذه الفقاعات على وجود الكبريت فى المادة المختبرة ومن ثم استبعادها من الاستخدام مع الفضة أو النحاس. ويشمل هذا الاختبار الخطوات التالية<sup>١٢٧</sup>:

<sup>122</sup> ) Green, L.R., and Thickett, D., Modern metals in museum collections, *Savings the Twentieth Century The conservation of Modern Materials*, ed: D. Grattan, CCI, Ottawa, 1991, pp.261-269.

<sup>123</sup> ) Lee, L.R., and D. Thickett, Op. Cit., p.14.

<sup>124</sup> ) Wedye, W.A., A Simple Test to Identify Gases which Destroy Silver Images, *Photographic Science and Engineering*, 16, 1972, pp.283-286..

<sup>125</sup> ) Collings, T.J., and F.J., Young, 1976. Improvements in Some Tests and Techniques in Photograph Conservation, *Studies in Conservation*, 21, pp.79-84.

<sup>126</sup> ) Lee, L.R., and D. Thickett, Op. Cit., p.22.

<sup>127</sup> ) Ibid., pp.22-23.

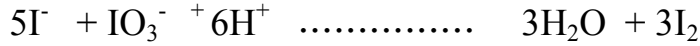
١. يتم إذابة ٣ جم من صوديوم أزيد Sodium azide في ١٠٠ مول محلول اليود يضاف إليه ٣ مول من كحول مثيلي صناعي. ويتم حفظ المركب السابق في قنينة زجاجية ذات لون بني قاتم لمدة ثلاثة أشهر.
  ٢. يتم فصل قليل من الألياف من المادة المراد اختبارها بواسطة ملقاط نظيف، ثم توضع على شريحة ميكروسكوب نظيفة.
  ٣. يتم تغطية شريحة الميكروسكوب بالغطاء الزجاجي ويتم فحصها تحت الميكروسكوب الضوئي.
  ٤. يتم وضع نقطة واحدة من محلول الأزيد سابق التجهيز على شريحة ميكروسكوب نظيفة، بعيداً عن الشريحة التي تحتوى على الألياف، وذلك لاستخدامها كعينة إرشادية control .
  ٥. يتم وضع نقطة واحدة من محلول الأزيد سابق التجهيز على حافة الغطاء الزجاجي للشريحة المحتوية على الشعيرات المأخوذة من المادة المراد اختبارها، حيث يمر المحلول من تحت الغطاء الزجاجي إلى الألياف على الشريحة.
  ٦. يتم فحص العينة تحت ميكروسكوب ضوئي لمدة دقيقتين ، ويتم تحديد كمية الفقاعات الناتجة وتقييمها على النحو التالي: في حالة عدم وجود فقاعات على ألياف المادة المختبرة يعني هذا أن هذه المادة تصلح للاستخدام في أغراض العرض و التخزين الدائم، وفي حالة وجود فقاعات قليلة يعني هذا إمكانية استخدام المادة في أغراض العرض والتخزين المؤقت ، وفي حالة الفقاعات الكثيرة هذا يعني أن المادة لا تصلح للاستخدام في أغراض العرض والتخزين نهائياً.
- والنتيجة الفورية لهذا الاختبار تجعل له ميزة عن اختبار Oddy، والاختبار لا يحتاج إلى إحداث تلف معجل للمادة المراد اختبارها. غير أن العيب الوحيد في هذا الاختبار هو أنه يحدد وجود الكبريت فقط في المواد المراد اختبارها، بينما قد توجد أنواع أخرى من المركبات، غير الكبريت، تتسبب في تلف وتآكل الفضة والنحاس لا يتم تحديدها. وهناك اختبار بيلستين Beilstein test<sup>128</sup> وهو من الاختبارات السريعة المستخدمة للكشف عن احتمالية وجود الكلور بالمواد المستخدمة في العرض والتخزين. وهو من الاختبارات السريعة المستخدمة للكشف عن احتمالية وجود الكلور بالمواد المستخدمة في العرض والتخزين والتي قد تتسبب في صدأ وتآكل المشغولات النحاسية.<sup>129</sup> وفيما يلي طريقة إجراء الاختبار<sup>130</sup>:

<sup>128</sup> ) Timar-Balazsy, A., and D., Eastop, *Chemical principles of textile conservation*. London: Butterworth-Heinemann Ltd. 1998, pp.338-349.

<sup>129</sup>)Williams, R. S., *The Beilstein test*. Canadian Conservation Institute Notes, 1986, pp. 17:21.

<sup>130</sup> ) Lee, L.R., and D. Thickett, Op. Cit., p. 25.

١. يتم تنظيف سلك من النحاس بغمره في حمض نيتريك مخفف.
  ٢. يتم تعريض السلك للهب بنزن بواسطة ماسك حرارى حتى الاحمرار.
  ٣. يتم حمل عينة صغيرة من المادة المراد اختبارها بماسك وإدخالها في اللهب، سوف تتصاعد أبخرة ناتجة عن احتراق العينة ، يتم تعريض السلك النحاسى لهذه الأبخرة المتصاعدة وملاحظة لون اللهب.
  ٤. لو تم ملاحظة اللون الأخضر على اللهب، دل ذلك على وجود الكلور فى المادة المختبرة وتصبح غير مناسبة للاستخدام فى أغراض العرض والتخزين مع الأثار الفضية والنحاسية أو المشغولات الحديدية.
- وهناك اختبارات أخرى هامة للكشف عن الغازات المتطايرة الأخرى المحتمل انبعاثها من المواد المستخدمة فى العرض والتخزين منها اختبار The Iodide- Iodate test للكشف عن الأحماض المتطايرة وخاصة حمضى الخليك والفورميك. وفيه يكون محلول الاختبار عديم اللون معلقاً فوق المادة المختبرة، ومن ثم فإن أية أبخرة حمضية متطايرة يتم تحديدها. يحتوى محلول الاختبار على أيونات iodide and iodate والتي تتفاعل مع أيونات الهيدروجين فى أبخرة الحمض المتصاعد لإنتاج الأيودين العنصرى أو الفلزي elemental iodine كما فى المعادلة:



والايودين بالتالى يتفاعل مع النشا الموجودة فى المحلول لإنتاج اللون الأزرق. ويجرى الاختبار عند درجة حرارة ٦٠°م وذلك لتبخير أية أحماض من المادة المختبرة. ولون المحلول يلاحظ بعد ٣٠ دقيقة. ويدل بقاء المحلول بلا لون على عدم وجود أحماض متطايرة فى العينة. ويدل ملاحظة تلون المحلول باللون الأزرق على احتواء المادة المختبرة على أحماض يمكن أن تتطاير منها وبالتالي يتم استبعادها من الاستخدام فى أغراض العرض والتخزين للمعادن الأثرية.<sup>١٣١</sup>

ويمكن استخدام أجهزة لقياس الأس الهيدروجينى لتحديد مدى حموضة أو قلوية المواد المستخدمة فى العرض والتخزين. وذلك بقياس قيمة الأس الهيدروجينى للغازات المتصاعدة نتيجة احتراق عينة صغيرة من المادة المختبرة، أو بقياس قيمة الأس الهيدروجينى للمستخلص السائل aqueous extract للمادة المختبرة على البارد، أو بقياس قيمة الأس الهيدروجينى لسطح المادة المختبرة.<sup>١٣٢، ١٣٣</sup>

و بالإضافة إلى الاختبارات السابقة على المواد المستخدمة فى العرض والتخزين، تتطلب إجراءات الصيانة الوقائية للأثار المعدنية فى بيئتي العرض والتخزين استخدام

<sup>131</sup> ) Ibid., p. 26.

<sup>132</sup> ) Timar-Balazsy, A., and D., Eastop, Op. Cit.p.345.

<sup>133</sup> ) Lee, L.R., and D. Thickett, Op. Cit., p. 30.

كبائن أو أرفف معدنية بدلاً من استخدام الأخشاب في العرض والتخزين، ولو استخدم الخشب فيجب معالجته وغلق مسامه بالإيبوكسي أو بورنيش من البولي يريثان في الماء ثم تركها مدة ثلاثة شهور حتى تتبخر أية إضافات بخارية منه قبل أن تتعرض الآثار له. كما يمكن تغطية الخشب المضغوط، إذا استدعت الضرورة استخدامه، بغطاء من اليوريا (٤٠٠ جم في لتر ماء). هذا الغطاء سوف يساعد في منع أية زيادة من الفورمالدهيد من أن تتصاعد من الخشب. ثم يتم تغطية الخشب بعد ذلك بدهان من الزيت أو من البولي يريثان في الماء. ثم تركه لمدة ثلاثة أشهر حتى يتم تصاعد أو تطاير المواد المتطايرة منه.<sup>١٣٤</sup>

كما يمكن استخدام قماش الفحم المنشط Activated Charcoal cloth كبطانة في بيئتي العرض والتخزين، لأن هذا القماش يمتص الأبخرة الضارة ومن ثم يوفر وقاية للمشغولات الأثرية من التعرض لهذه الأبخرة.<sup>١٣٥</sup> وأغطية السطح العضوية سوف يبطيء من معدل انبعاث الأبخرة الحمضية غير أنه سيزيد من حموضة الخشب ويزيد من معدل إنتاج الحمض. والعلاج السليم الوحيد هو تغطية الخشب برقائق من المعدن أو من المايكا.<sup>١٣٦</sup>

ومن المواد الآمنة التي يمكن استخدامها في العرض والتخزين للمجموعات الأثرية المعدنية السيراميك والأصباغ غير العضوية والبولي إيثيلين وبوليميرات الأكريليك (المحاليات أكثر من المستحلبات) والزجاج والبولي سيترين وألياف البولي استر والقطن والكتان. وأغلبها مواد خاملة لا تتسبب في انبعاث ملوثات ضارة على المشغولات المعدنية.<sup>١٣٧</sup>

### ٣- أخطار أخرى

وبالإضافة إلى ما سبق من أخطار، فقد تتعرض المشغولات المعدنية الأثرية في بيئتي العرض والتخزين لأخطار إضافية من أمثلتها الغبار الذي يساعد في جذب الرطوبة، وتحفيز الهجوم البيولوجي والكيميائي، هذا بالإضافة إلى ما يسببه من برى أو حك abrasion لسطح الأثر. وتتطلب الصيانة الوقائية النظافة المنتظمة والمستمرة والتي تقلل من هذا الخطر.

والصيانة الوقائية تتطلب إحكام غلق النوافذ والأبواب، وإمكانية استخدام الأبواب المزدوجة للتقليل من تسرب بعض الغبار إلى داخل المتحف أو بيئة التخزين، وإحكام غلق خزانات

<sup>134</sup>) Selwyn, L. Historical silver: storage, display and tarnish removal. *Journal of the International Institute for Conservation-Canadian Group (J.IIC-CG)*, 15, 1990, pp. 12-22.

<sup>135</sup>) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.9.

<sup>136</sup>) Padfield, T, Erhardt, D. and W. Hopwood, Op. Cit., p.25.

<sup>137</sup>) Ibid., p. 26.



العرض، والتغليف الجيد للمواد الحساسة للغبار في بيئة التخزين، والتنظيف المنظم والمستمر حتى يتم التحكم في أخطار الغبار في بيئتي العرض والتخزين. ومن الأخطار الأخرى التي يمكن ان تتهدد الآثار المعدنية في بيئتي العرض والتخزين ما يمكن تسميته بالهجوم البيولوجي. فعل الرغم من ان الصدا المعدنية قد تسببه البكتيريا لكن هذا لا يمثل مشكلة داخل المتاحف، كما أن نمو العفن الفطري لا يتوقع على الأثر المعدني إن لم يكن هذا النمو موجوداً على غطاء عضوي تم تطبيقه سابقاً على سطح الأثر المعدني، أو أن هذا العفن قد انتشر على أثر عضوي مجاور للأثر المعدني.<sup>١٣٨</sup> وهناك بعض الإجراءات التي يمكن تطبيقها تحد من مخاطر الهجوم البيولوجي سواء العفن الفطري أو البكتيريا أو الحشرات والحيوانات الصغيرة مثل الفئران والطيور في بيئتي العرض والتخزين، منها ومن تغطية أية فراغات بأسقف المبنى المتحفي يمكن أن تستغلها الطيور لبناء أعشاشها، والحرص على أن تكون مصادر الطعام والأغذية بعيدة عن الآثار، بالإضافة إلى التحكم في الظروف البيئية بحيث لا تسمح بنمو العفن ولا تشجع على انتشاره منها الاحتفاظ برطوبة نسبية اقل من ٦٥%.<sup>١٣٩</sup> وقد تتسبب الحوادث العارضة والحمل الخاطيء للأثر المعدني عند النقل من وإلى بيئتي العرض والتخزين في حدوث مشاكل عارضة قد تؤدي إلى تدمير الأثر المعدني أو تلفه. مما يتطلب ان تكون خزانات العرض أو صناديق التخزين مصممة بشكل يسمح بتقليل أو منع التلف الناتج عن الحوادث العارضة للآثار المعدنية، كأن يتم تثبيتها جيداً وتبقى في وضع آمن، والآثار الدقيقة أو الضعيفة يتم وضعها في حوامل ثابتة في أدرج ومحاطة بالإسفننج أو المطاط الصناعي المصنوع من البولي إيثيلين أو البولي استر. وهناك أسس عامة وإجراءات وقائية يجب مراعاتها عند تناول الآثار بصفة عامة ومنها الآثار المعدنية تشمل مراعاة النظافة التامة، وغسل اليدين جيداً، كما يجب ارتداء قفازات من القطن عند تناول أو حمل الآثار المعدنية المصقولة أو ذات السطح الأملس لمنع التلوث الناتج عن عرق اليدين.<sup>١٤٠، ١٤١</sup> كما يجب تجنب تناول غير الضروري، وحمل أثر واحد في المرة الواحدة، مع الوضع في الاعتبار حالة الأثر ووزنه عند تناول أو النقل والحمل. وفك الأجزاء المركبة إذا كان الأثر يتكون من أجزاء يسهل فكها عند النقل أو الحمل وذلك لتقليل فرصة حدوث كسور. واستخدام حوامل مسطحة لحمل الآثار الهشة، ولا يجب سحب أو دفع الأثر على السطح. ومادة الحاوية التي سيتم نقل الأثر أو حمله فيها، ومواد التغليف في حالة التغليف. ويجب أن تكون المادة المستخدمة في التغليف خاملة

<sup>138</sup> ) Oddy, W.A., and S.M., Bradley, p.240.

<sup>139</sup> ) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., p.7.

<sup>140</sup> ) Oddy, W.A., and S.M., Bradley, p.240.

<sup>141</sup> ) Selwyn, L., p.21.

كيميائياً، ومقاومة للصدمات، وتوفر وسطاً لا يتأثر بالظروف البيئية (التغيرات فى درجات الحرارة والرطوبة النسبية).<sup>١٤٢</sup> ولعل من الإجراءات الأساسية والأولية للصيانة الوقائية هو اختيار مكان بناء المتحف وتصميمه، بحيث يكون بعيداً عن المجارى المائية، وبعيداً عن المصانع والورش وطرق المواصلات، وأن يحاط بحديقة واسعة تقوم فيها النباتات والأشجار بتنقية الهواء من المواد الصلبة مثل حبيبات السناج العالقة والأتربة والغبار، وأن يكون مصمماً ليسمح للإضاءة الطبيعية بالدخول بدلاً من الإضاءة الصناعية التى تزيد من الحرارة الداخلة ومزوداً فى الوقت نفسه بأجهزة التحكم فى الحرارة والرطوبة.<sup>١٤٣</sup>

#### ٤ - النتيجة

من خلال العرض السابق للأخطار التى تتعرض لها الآثار المعدنية فى بيئتي العرض والتخزين أمكن الوقوف على الأسباب والعوامل المحفزة لتآكل المعادن والتى يتعلّق بعضها بالمناخ من حرارة ورطوبة، وبالملوثات الناتجة عن التلوث الجوى أو من المواد المستخدمة فى العرض والتخزين، وبعضها يتعلّق بالإنسان نفسه وتتأوله الخاطيء وإهماله وعدم درايبته بطبيعة بيئة العرض والتخزين وبطبيعة المواد المستخدمة فيها. ومن النتائج التى تم التوصل إليها من خلال هذا العرض أن وقاية هذه النوعية من الآثار فى بيئتي العرض والتخزين يتطلب اتخاذ مجموعة من الإجراءات مثل التحكم فى الظروف الجوية المحيطة بالآثار المعدنية من حرارة ورطوبة، وتنقية أو ترشيح الهواء من الملوثات المختلفة، والدراية بطبيعة المواد المستخدمة فى العرض أو المصاحبة للمعادن فى خزانات العرض أو صناديق التخزين، ومحاولة دراسة المواد والخامات التى تم استخدامها من قبل دون إجراء اختبارات تضمن سلامة استخدامها ومحاولة استبدالها بمواد قياسية، وإجراء اختبارات لمواد العرض والتخزين والنقل والتغليف للوقوف على سلامة استخدامها، والتحكم فى مستوى الإضاءة ونوعيتها، والمتابعة الدورية والملاحظة الدقيقة لأية تغيرات تطرأ على الآثار المعدنية المعروضة أو المخزنة.

هذا بالإضافة إلى توعية العاملين بالمتاحف والمخازن المتحفية بأهمية النظافة ومراعاة الالتزام بإجراءات الصيانة الوقائية، وتعميق مفاهيمها ومتطلباتها لدى العاملين والدارسين فى مجال الترميم والمتاحف، وإدراك أن الوقاية أوفر من العلاج. وقبل هذا وذلك اختيار مكان المتحف وتصميم مبناه وقاعاته ومخازنه، وهى من الإجراءات الأساسية فى الصيانة الوقائية للمجموعات المتحفية أو المخزنة.

<sup>142</sup> ) Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Op. Cit., pp. 9-10.

<sup>143</sup> ) Padfield, T., and P.K., Larsen, How to design museums with a naturally stable climate, *Studies in Conservation*, 49, 2004, p.136.

## المراجع:

١. حسام الدين عبد الحميد، المنهج العلمي لعلاج وصيانة المخطوطات والأخشاب والمنسوجات الأثرية، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ١٩٨٤.
٢. ديفيد وليام ماكداول، مجموعات العملات، صيانتها، تصنيفها، عرضها، ترجمة نبيل زين الدين، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، ١٩٨٦.
٣. عمر محمد عبد الكريم، الصيانة الوقائية للمجموعات المتحفية كإتجاه عالمي حديث يجب تطبيقه في المتاحف المصرية: الجزء الأول: المنهج العلمي لاختيار المواد والخامات المستخدمة في عرض وتخزين ونقل المجموعات المتحفية، المؤتمر الأول لكلية الفنون الجميلة، جامعة المنيا، الفن والمدينة، ٢٠٠٠.
٤. محمد أبو الفتوح محمود غنيم، دراسة تحليلية وتطبيقية في علاج وصيانة العملات الأثرية المكتشفة بحفائر "كيمان فارس" بالفيوم، المتحف المصري، رسالة ماجستير، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة، ٢٠٠٠.
٥. محمد عبد الهادي، دراسة علمية في ترميم وصيانة الآثار غير العضوية، مكتبة زهراء الشرق، القاهرة، ١٩٩٧.
6. Agrawal, O.P., Conservation of Metal in Humid Climate, Proceedings of the Asian Regional Seminar, held from 7-12 December, 1987.
7. Appelbaum, B., Guide to Environmental Protection of Collections, Sound View Press, Boston, USA. 1991.
8. Blackshaw, S. M., and V. D. Daniels. Selecting safe materials for use in Display and Storage of antiquities. ICOM Committee for Conservation preprints, Fifth Triennial Meeting, Zagreb, 1978, pp.1-9.
9. Blackshaw, S.M., and Daniels, V.D., the Testing of Materials for Use in Storage and Display in Museums, The Conservator, 3, 1979, pp.16-19.
10. Blades, N. et al., Preventive Conservation Strategies for sustainable urban pollution control in museums. In: Tradition and Innovation: Advances in conservation: contributions to the Melbourne Congress. The International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, 2000, pp. 24-28.
11. Bradley, S., Preventive Conservation Research and Practice at the British Museum, JAIC, 44, 2005, pp. 159-173.
12. Bradley, S., and Thickett, D., The Pollution Problem in Perspective, In: 12<sup>th</sup> triennial Meeting Lyon, 29 August-3Septembre 1999, ICOM Committee for Conservation, Preprints Volume1, pp.8-13.
13. Budd, M.K. , Corrosion of metals in association with wood, Applied Materials Research, 1965, pp. 124-125.
14. Clarke, S. G. and E. E. Longhurst , The corrosion of Metals by Acid Vapours from wood, Journal of Applied chemistry, Volume 11 Issue 11, 2007, pp. 435 – 443.

15. Collings, T.J., and F.J., Young, Improvements in Some Tests and Techniques in Photograph Conservation, *Studies in Conservation*, 21, 1976, pp.79-84.
16. Cronyn, A.M., *The elements of Archaeological conservation*, Routledge, London, 1990.
17. Dennis, M. et al., Corrosion of Copper and Lead by Formaldehyde, Formic and Acetic Acid Vapours, *Studies in Conservation*, 48, 2003, pp. 237-250.
18. Donovan, and T.M., Moynehan, The corrosion of metals by vapours from air-drying paints, *Corrosion Science*, Volume 5, Issue 12, 1965, pp. 803-818.
19. Erhardt, D., and M., Mecklenburg, Relative Humidity, re-examined, In: *Preventive Conservation: Practice, Theory and Research*, Ottawa Congress, IIC, 1994, pp.32-38.
20. FitzHugh, E.W., & Gettens, R.J., Calcite and Other Efflorescent Salts on Objects Stored in Wooden Museum cases, In: *Science and Archaeology* (ed. R.H. Brill), M.I.T. Press, 1971, pp.91-102.
21. Franey, J.P., Kammlott, G.W., and T.E., Graedel, The corrosion of silver by atmospheric sulfurous gases, *Corrosion Science*, 25 , 1985, pp.133-143.
22. Gaël de Guichen, *Climate in museums*, Rome, ICCROM, 1984.
23. Garcia, S.R., D. Gilroy and I. D. MacLeod, Metals, In: *A Practical Guide to the Conservation and Care of Collections*, Western Australian Museum, 1998, pp. 113-126.
24. Gettens, R. J., *The Corrosion Products of Metal Antiquities*, Smithsonian Institution Publication, Washington DC, USA. 1964.
25. Gibson L.T., and C.M. Watt, Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments, *Corrosion Science* 52, 2010, PP. 172–178
26. Gilroy, D., and I.M., Godfrey, Preventive Conservation, In: *A Practical Guide to the Conservation and Care of Collections*, Western Australian Museum, 1998, pp.1-10.
27. Green, L.R., and Thickett, D., Modern metals in museum collections, *Savings the Twentieth Century The conservation of Modern Materials*, ed: D. Grattan, CCI, Ottawa, 1991, pp.261-269.
28. Green L.R., and D. Thickett, Testing Materials for Use in the Storage and Display of Antiquities—A Revised Methodology, *Studies in Conservation*, vol. 40, no. 3, 1995, pp. 145-152.

29. Hubertus A., et al., Hydrogen sulfide and carbonyl sulfide in the museum environment—Part 1", Atmospheric Environment, 39, 2005, pp. 695–707.
30. Jones, D.A., Principles and Preservation of Corrosion, Prentice Hall, USA, 1996.
31. Khrumi, R. S., and R. S., Sedha, Material Science and Progress, New Delhi, S. Chand & Company LTD, 1991.
32. Lee, L. R., and D. Thickett. Selection of materials for the storage or display of museum objects. British Museum Occasional Paper 111. London: The British Museum, 1996..
33. Lucey, V. F., Development, Leading to the Present understanding of the Mechanism of Pitting Corrosion of Copper, British Corrosion Journal, 7, 1962, pp.36-41.
34. Macleod, K.L., Relative Humidity, Its Importance, Measurement and Control in Museums, Canadian Conservation Institute, Ottawa, 1975, p.2.
35. Mauro, B. et al., Innovative Sensors for Environmental Monitoring in Museums, Sensors 8, 2008, pp. 1984-2005.
36. Michalski, S., Relative Humidity: a Discussion of Correct/Incorrect Values, In: ICOM Committee for Conservation 10<sup>th</sup> Triennial Meeting, Washington DC, 1993, pp.624-629.
37. Miles, C. E. , Wood Coatings for display and storage cases, Studies in Conservation , 31, 1986, pp. 114-124.
38. North, N. A., and I. D., Macleod, Corrosion of Metals, In: Conservation of Marine Archaeological Objects, edited by C. Pearson, Butterworth, London, 1987, pp.68-98.
39. Oddy, W.A., An unsuspected danger in display, Museums Journal, 73, 1973, pp.27-28
40. Oddy, W.A., The Corrosion of Metals on Display, In: Conservation in Archaeology and the Applied Arts, IIC, London, 1975, pp.235-237.
41. Oddy, W.A., and M.J., Huges, The Stabilization of Active Bronze and Iron Antiquities by the User of Sodium Sesquicarbonate, Studies in Conservation, 1970, 15, pp.173-190.
42. Oddy, W.A., and S.M., Bradley, The Corrosion of metal Objects in Storage and Display, In: Current Problems in Conservation of Metal Antiquities, International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property, Tokyo National Research Institute of Cultural Properties, 1993, pp.225-244.

43. Padfield, T, Erhardt, D. and W. Hopwood, Trouble in store, In: Science and technology in the service of conservation, IIC Preprint, London, 1982. pp24-27.
44. Padfield, T., and P.K., Larsen, How to design museums with a naturally stable climate, Studies in Conservation, 49, 2004, pp.131-137.
45. Paterakis, A. B., The Influence of Conservation Treatments and Environmental Storage Factors on Corrosion of Copper Alloys in the Ancient Athenian Agora, JAIC, 24, 2003, p.313-339.
46. Piechota, D., Humidity Control in Cases: Buffered Silica Gel versus Saturated Salt Solutions, Waac Newsletter, Volume 15, Number 1, 1992, pp.19-21
47. Plenderleith, H. J., and R.M., Organ, The Decay and Conservation of Museum Objects made of Tin, Studies in Conservation, Vol.1, 1952, pp.63-72.
48. Plenderleith H.J., and A. E. A., Werner, The Conservation of Antiquities and Works of Art, Revised Edition, Oxford University Press, 1971.
49. Pourbaix, M., Atlas of Electrochemical Equilibrium, Pergamon Press, Brussels, 1966.
50. Rempel, S., Zeolite Molecular Traps And Their Use In Preventative Conservation, Waac Newsletter, Volume 18, 1, 1996, pp.12-18.
51. Ryhl-Svendsen, M., 2006. Indoor air pollution in museums: a review of prediction models and control strategies, Reviews in Conservation, 7, pp.27-41.
52. Selwyn, L. Historical silver: storage, display and tarnish removal. Journal of the International Institute for Conservation-Canadian Group (J.IIC-CG), 15, 1990, pp. 12-22.
53. Scott, D., Bronze Disease: A Review of Some Chemical Problems and The Role of Relative Humidity, JAIC, 1990, Volume 29, 7, p. 193.
54. Shrier, L. L. et al., Corrosion 1, 2, , Third Edition, Great Britain, Butterworths Heinemann, 1994.
55. Stambolov, T., The Corrosion and Conservation of Metallic Antiquities and Works of Art, Amsterdam, Central Research Laboratory for Objects of Art and Science,1985.
56. Strang, T. J. k., and Dawson, J.E., Controlling Museum Fungal problems, Technical Bulletin No.12, Edited by Canadian Conservation Institute, 1991, pp.1-8.
57. Thickett, D. and M. Odlyha, Note on the identification of an unusual pale blue corrosion product from Egyptian copper alloy artifacts, Studies in Conservation, Vol. 45, No. 1, 2000, pp. 63-67.

58. Tennent, N.H., Baird, T., The identification of acetate efflorescence on bronze antiquities stored in wooden cabinets. *The Conservator* 16, 1992, pp. 39-47,
59. Tennent, N.H., Cannon, L., The corrosion of lead artifacts in wooden storage cabinets. *Scottish Society for Conservation and Restoration (SSCR) Journal* 4 (1), 1993, pp.8-11.
60. Tétreault, J., Sirois, T. and E., Stamatopoulou, Studies of lead corrosion in acetic acid environments', *Studies in Conservation*, 43, 1998, pp. 17-32.
61. Tetreault, J., et al., Corrosion of Copper and Lead by Formaldehyde, Formic and Acetic Acid Vapours, *studies in conservation* 48, 2003, pp. 237-250,
62. Thomson, G., 1977, Stabilization of RH in Exhibition cases: Hygrometric Half-Time, *Studies in Conservation*, 22, pp.85-102.
63. Timar-Balazsy, A., and Eastop, D., *Chemical Principles of Textiles Conservation*, Butterworth, 1998, pp.338-349.
64. Trentelman, K., et al., The characterization of a new pale blue corrosion Product found on copper alloy artifacts, *Studies in Conservation*, 47, 4, 2002, pp. 217-227
65. Tylecote, P.F., and J.W., Black, 1980. The Effect of Hydrogen Reduction on the Properties of Ferrous Materials, *Studies in Conservation*, Vol.25, pp.87-96.
66. West, P. W., and B. Sen, Spectrophotometric determination of traces of formaldehyde, *Journal of Analytical Chemistry* ,153, 1956, pp.12-18.
67. Weyde, E., A Simple Test to Identify Gases Which Destroy Silver Images', *Photographic Science and Engineering*, 16, 1972, pp.283-286.
68. Williams, R. S., The Beilstein Test. *Canadian Conservation Institute Notes*, 1986, 17:1.
69. Zhang, J., D. Thickett, and A., Green, Two Tests for the Detection of the Volatile Organic Acids and Formaldehyde, *JAIC* 33, 1994, pp.47-53.

## Preventive Conservation for the archaeological metal objects in display and storage environments

Mohamed Ghoneim ♦

### Abstract:

Archaeological metallic objects, except gold, are usually exposed to deterioration after treatment in display and storage environments. This deterioration may be weak and slow that can be stopped or obviated, and can be severe or strong in the bad conditions. These bad conditions usually resulted from the environmental conditions surrounding the metallic objects in display and storage environments, such as the relative humidity and temperature, the corrosive ions emitting from the accompanying materials in display and storage, such as chlorides and sulphides ions, that attack the metals seriously. In addition to other dangers such as dust, handling, and biological attack.

This paper will concentrate on the risks and causes that present in the display and storage environments and result in deterioration of metallic objects. And it will include the procedures should be taken to protect these objects from corrosion and deterioration. These procedures include display and storage conditions such as light levels, relative humidity and temperature, using safe materials in showcases and storage boxes so as to protect these objects in storage and display environments, these procedures that usually are known as preventive conservation.

---

♦Mina University -Faculty of Fine Arts -Conservation department