

دراسة حالة تآكل البرونز من خلال التحف المعروضة بالمتحف الوطني للآثار القديمة

A study of the erosion of bronze through the artifacts displayed in the National Museum of Antiquities

نادية أشروفان¹

nadia.acheroufene@univ-alger2.dz،¹ معهد الآثار جامعة الجزائر 2،

تاريخ النشر 2021/12./19

تاريخ القبول 2021/12/12

تاريخ الإستلام 2021/06/22

الملخص

يعتبر التآكل المشكل الأساسي والعويص الذي تعاني منه المعادن الأثرية سواء المستخرجة من الحفريات أو المحفوظة في المتاحف.

تهدف هذه الدراسة إلى رد الاعتبار لهذا الموروث الثقافي، وتسهيل العمل لمحافظة التراث القائمين على تسيير المجموعات المتحفية وذلك للتوصل إلى تمييز التآكل النشط على التحف المعدنية أثناء الدورات التفتيشية، وكذا طرق التدخل السريعة لصيانتها وذلك باستخدام الوسائل والإمكانيات المتاحة في عين المكان. كما تهدف إلى تقييم تأثير هذه الظاهرة على التحف البرونزية المعروضة بالمتحف الوطني للآثار القديمة، من خلال دراسة تركيبية المعادن بالأخص السبائك النحاسية مع محاولة إظهار مختلف عوامل التلف التي تتعرض لها، وتقديم أفضل الطرق لصيانتها. ولتحقيق هذه الأهداف تم إجراء دراسة تشخيصية لمختلف التحف المعروضة وتمييزها حسب حالة حفظها من خلال التمييز بين نواتج التآكل الظاهرة عليها، وقد ساعدتنا النتائج التي تم التوصل إليها في اقتراح الطريقة الناجعة لعلاجها والحفاظ عليها كموروث أثري على المدى البعيد وحمايته للأجيال اللاحقة. الكلمات المفتاحية: البرونز؛ التآكل؛ المتحف الوطني للآثار القديمة؛ عوامل التلف؛ الصيانة.

Abstract

Corrosion is the main and tricky problem for archaeological minerals, both during excavation and inside museums.

This study aims to restore consideration of this cultural heritage, and to facilitate the work of heritage conservatives standing on the management of these museum's collections in order to distinguish active erosion on mineral artifacts or their absence during inspection sessions, as well as rapid methods of intervention to maintain them using the means and capabilities available in the place. It also aims to evaluate the effect of this phenomenon on the bronze artifacts displayed in the National Museum of Antiquities, by studying the composition of minerals, especially copper alloys, with an attempt to show the various factors of damage that they are exposed to, and to provide the best methods for their maintenance. According to the state of its preservation by distinguishing between the corrosion products shown on it, the results obtained have helped us in suggesting the effective way to treat and preserve this long-term archaeological heritage and protect it for future generations.

Keywords: Bronze; Corrosion; National Museum of Ancient Archeology; Damages; consevation.

1. مقدمة

يعدّ المتحف الوطني من أقدم وأهم متاحف الجزائر وإفريقيا، حيث يضمّ قطعاً وتحفاً أثرية تبرز مختلف الحضارات التي تعاقبت على الجزائر منذ فجر التاريخ، كالمحوتات والفخار والمعادن، وتعتبر هذه الأخيرة من بين أبرز المجموعات ثراء من حيث عددها وتنوع أنماطها، حيث يبلغ عدد التحف أكثر من 1000 قطعة مصنوعة من سبائك نحاسية وحديدية قد تمّ اكتشافها ما بين سنة 1930 إلى 1936 في مختلف المواقع الأثرية الجزائرية التي تعود للفترة البونية والرومانية. وقع اختيارنا على المعروضات البرونزية، ليس لأهميتها الأثرية فقط، بل لأنها الأكثر تضرراً من عوامل التلف المتواجدة داخل المتحف بالمقارنة مع المواد الأثرية غير العضوية الأخرى، ويعتبر التآكل المشكل الأساسي الذي تعاني منه هذه التحف، إذ تتعرض للتلف بشكل متفاوت وتتشكل عليها طبقات من نواتج التآكل.

ومن خلال هذا البحث سلطنا الضوء على مختلف العوامل التي تعاني منها التحف المعدنية داخل قاعات العرض، وقبل التطرق لذلك لا بد من التعرف على تركيبية المعادن الأثرية وكيف تحدث آلية التآكل التي تشوّه مظهرها وتلفها. لذلك ارتأينا القيام بدراسة تشخيصية لحالة حفظ التحف من أجل اقتراح طرق للحد من تآكلها وحمايتها.

2. المعادن الأثرية:

تعتبر المعادن بصفة عامة مادة طبيعية صلبة تكوّنت بطريقة عضوية ولها تركيب كيميائي ثابت وأحياناً متغير في نطاق محدود، معظم الفلزات المعدنية تتكون من عناصر مختلفة مثل الكالسيت (Calcite)، كما توجد بعض المعادن التي تتكون من عنصر واحد فقط مثل الذهب (1).

يتعرّض المعدن الأثري إلى تحولات فيزيائية وكيميائية في مسار حياته الأثرية حيث نستطيع تقسيمها إلى عدّة مراحل، تتمثل بدايتها عند تشكيل الأداة المعدنية عن طريق مختلف مراحل التعدين (التدوير، الصب، الطرق، السحب..). ثم مرحلة استعمالها واستغلالها فيما صنعت من أجله (كثرة التداول، تسخين مكثف، الإهمال...)، بعدها نجد مرحلة الاستغناء أو الترك في وسط الدفن (تغير درجة حموضة التربة، أملاح ذائبة، بكتيريا، الماء...) إلى غاية اكتشافها وتحويلها إلى مخازن المتاحف أو لقاعات العرض (الصدمة الحرارية، الرطوبة، الملوثات الجوية، كثرة الحركة...).

كل المراحل التي سبق ذكرها تساهم في تكوين عملية التآكل وإحداث تغييرات في الجسم المعدني داخل الوسط بالتحلل في التربة واختفاء القطعة الأثرية، أو يتحوّل بالكامل إلى نواتج التآكل وتصبح التحفة غير قابلة للتمييز أثناء إجراء الحفرية. تبقى المعادن مستقرة في الأوساط المعتدلة (بالنسبة لحموضة التربة والرطوبة النسبية) وإذا تغيّرت طبيعة الوسط - استخراجها أثناء الحفرية- فإنّ التوازن يختل ويمكن للتآكل أن يعاود التفاعل من جديد، خاصة إذا كانت الظروف الطبيعية مساعدة لذلك.

1.2. ماذا نقصد بالتآكل:

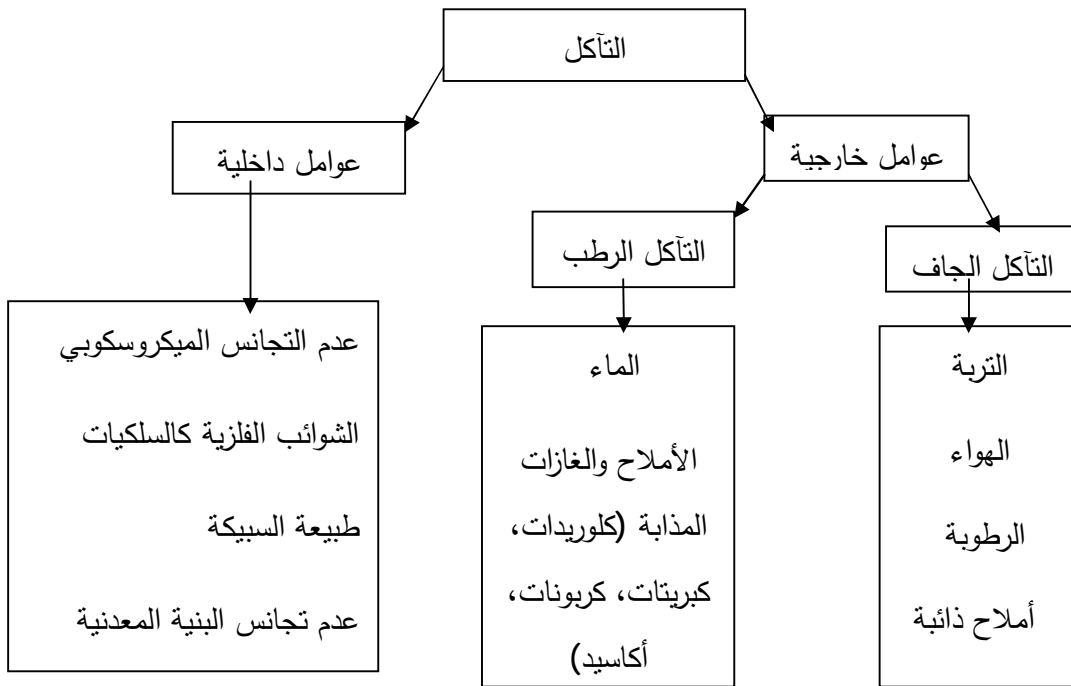
يعرف التآكل على أنه تبادل فيزيو كيميائي بين المعدن والمحيط الذي يتواجد فيه، فيؤدي هذا التبادل إلى إحداث تغييرات في خصوصيات المعدن ومن ثم إلى تلفه وتكون هذه التبادلات ذات طابع كهروكيميائي² ويمكن أن نترجم هذه

² - Daniel (D), Métaux : analogue archéologique et corrosion, IMP, Paris, 2003, p.11

التغيرات في خصوصيات المعدن بفقدان المادة الأثرية، فالتآكل ظاهرة تعيد المعدن تدريجياً إلى حالة أيونات معدنية؛ أي الفلزات التي صنع منها كالكوبريت (Cuprite) والملاكييت (Malachite) والأزوريت (Azurite).... وغيرها³. يخطئ البعض عند استخدام كلمة صدأ بدلاً من التآكل للتعبير عن تلف المعادن؛ فالصدأ هي المادة الناتجة عن تآكل الحديد والمكونة من أكاسيد الحديد الثلاثي المائي. وهذا ينطبق على الحديد فقط، وبهذا لا يمكن استخدام تعبير الصدأ على تآكل المعادن الأخرى.

3. عوامل تآكل المعادن الأثرية:

تحدث عملية التلف نتيجة لعوامل خارجية سواء كان وسط الدفن (أرضية- بحرية)، أو ما بعد الدفن أي وسط حفظ التحف في المخازن أو قاعات العرض بالمتاحف. كما نجد هناك عوامل داخلية متعلقة بالتركيب الداخلي للمعدن أو للسيبكية أو حتى بطريقة التعدين، وسنتعرض لشرح أهمها في الشكل التالي:



الجدول رقم 01: أهم عوامل تلف المعادن الأثرية

4. مظاهر تآكل التحف البرونزية:

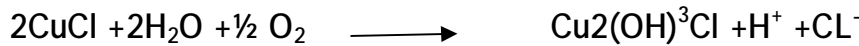
تظهر نواتج التآكل على التحف المعدنية على شكل مركبات معقدة تأخذ مظهرًا وألوانًا متعددة ويختلف موضعها وتأثيرها على التحفة، ومن المظاهر الأساسية التي عادة ما نصادفها هي:

1.4. **التآكل غير النشط (الخامد):** أو ما يعرف بالباتينا النبيلة؛ هذا النوع من التآكل يتكوّن على التحف البرونزية على شكل طبقة رقيقة ومنتاسكة مغطية تماما السطح الخارجي للأثر مع إظهار كامل التفاصيل الدقيقة والأصلية لهذا السطح، وفي كثير الأحيان تؤدي دور الحماية، وتكوينها يكون غالبا في المناطق الجافة الخالية من التلوثات الجوية، وفي حالة توفر نسبة ضئيلة من بخار الماء تأخذ شكل طبقة من المينا بألوان جميلة، وسنتعرض لأمثلة حول التآكل الغير نشط في العناصر اللاحقة.

³ - Volfovsky (C), la conservation des métaux, CNRS, Paris, 2001, p. 42.

2.4. **التآكل النشط (الباتينا الغير نبيلة):** أو ما يعرف أيضا بمرض البرونز، وينتج بتلوث الباتينا بأيون الكلوريد (Cl^-) من الوسط المحيط سواء في التربة أو الأماكن القريبة من شاطئ البحر؛ فتتجذب الكلوريدات وهي أنيونات ذات حركية عالية نحو المناطق الأنودية في الفوهات، حيث يجري تحلل المعدن.

نميز وجود التآكل النشط المستمر على التحف عند ملامسة الأكسجين؛ بظهور كثيف لنواتج التآكل متذرية ذات اللون الأخضر أو الأخضر الفاتح (مرض البرونز) الذي هو عبارة عن كلوريدات النحاس و $CuCl$ ، أما عند ملامسة الأكسجين والماء (نتيجة تشقق نواتج التآكل) فإنه يمكن لنا أن نلاحظ تشكل كلوريد النحاس القاعدي الممي $Cu^2(OH)_3Cl$ (أتاكاميت *Atacamite*) ذو اللون الأخضر إلى الرمادي وذلك حسب التفاعل التالي⁴:



صورة رقم 02: تآكل غير نشط



صورة رقم 01: تآكل نشط

المصدر: L.C.R.R.A, Draguignan, France (بتصرف)

5. أنواع طبقات نواتج تآكل السبائك البرونزية:

تختلف ألوان طبقات نواتج تآكل التحف المعدنية حسب نوع ودرجة تلفها وكذلك العامل التي ساهمت في تلفها، نستطيع أن نجد نواتج التآكل في تحفة واحدة لكن يختلف موضعها، نستطيع تمييز هذه المظاهر كالتالي:

| | لونها | نواتج التآكل | المصطلح الكيميائي |
|---------------|-----------|----------------------|-------------------------|
| ↑ | أخضر فاتح | أتاكاميت، براتاكاميت | هيدروكسيكلوريدات النحاس |
| | أخضر غامق | ملاكي (Malachite) | هيدروكسيكاربونات النحاس |
| | أزرق | أزوريت (Azurite) | أكسيد نحاسوز |
| | أحمر بني | كوبريت (Cuprite) | |
| | أسود | تينوريت (Tinorite) | |
| المعدن | | | |

جدول رقم 02: أنواع نواتج تآكل النحاس وسبائكه

⁴ - Bertholon(R) et Relier (C), in conservation des sites et des mobiliers archéologiques, principes et méthodes, UNESCO, 1990, p.243.

نجد السطح الأصلي عادة تحت طبقة الأكاسيد، لكن في بعض الأحيان نجده تحت طبقة الكربونات.



الصورة رقم 03 : مقطع طولي يبين تموضع طبقات نواتج التآكل
المصدر: Gettens, R.J. 1970, p. 72 (بتصرف)

هذه الطبقات تزداد سمكا وتنوعا باستمرار إلى أن تتحول المعادن تماما إلى نواتج التآكل. عادة ما تسمى الطبقة التي تكونت على سطح المعدن بسبب التفاعلات بينه وبين الوسط المحيط بالـ"الباتينا" كلمة الباتينا (*patine, patinia...*) كما تعرف أيضا بكلمة "الزنجرة". هي كلمة قديمة يعود أصلها للحضارة الإغريقية، ويطلق هذا المصطلح على العديد من الآثار غير المعادن كالحجارة والفخار والزجاج الزمن، تختلف في تركيبها الكيميائية والطبيعية عن المادة التي تكسوها.⁵

وينحصر التعريف الصحيح في الطبقة السطحية للتحف المصنوعة من معدن النحاس وسبائكه، التي تكوّنت بطريقة طبيعية أو اصطناعية، تأخذ مظهرا وألوانا متعددة. أما الطبيعية، فتتكوّن على سطح المعادن نتيجة للتفاعل المتبادل سواء بين المعدن ووسط الدفن أو مع مختلف العوامل الخارجية التي يتعرض لها بعد الاكتشاف، مُشكلة بذلك طبقة ملساء من الكلوريدات وسيليكات وكربونات. استعمل العديد من الباحثين هذا المصطلح للتعبير عن نواتج التآكل منذ حوالي أكثر من قرن من الزمن أمثال.. (Berthelot 1814) (Rosenberg 1917) , (Aucoutrier 2003)

بالنسبة إلى الباتينا الاصطناعية، فنقصد بها تلك الطبقة التي توضع عمدا على القطع البرونزية، وقد استعملت منذ العصور القديمة؛ فيذكر *Pline l'ancien* أن اليونان والرومان كانوا يضعون طبقة من الباتينا للحصول على اللون الأسود للأدوات البرونزية خاصة في القطع الفنية، سواء من أجل الجانب الجمالي للقطعة أو لتفادي التآكل السريع، فيقومون سواء بمسحها بورق دهني، أو بغمرها في محاليل قاعدية (كالزيت، البول، الخل..)⁶؛ أما من أجل الحصول على اللون الأخضر أو البني، فيسخن المعدن وتثبت عليه أكاسيد معدنية (أكسيد الحديد، البوتاس، الكروم... الخ) وكثيرا ما يصعب على الأثري التمييز بينها وبين نواتج تآكل تلك التحفة، حتى اللجوء إلى التحاليل الميتالوغرافية.

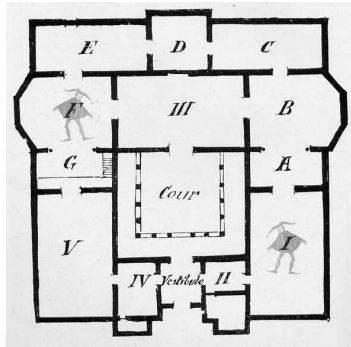
⁵- إبراهيم محمد عبد الله، علاج وصيانة الآثار المعدنية، مصر، دار المعرفة الجامعية، 2012، ص. 38

⁶- Pline, Histoire naturelle, traduction en français par M.E Littré, Tome 2, MDCC. XXXIII, 99

نجد أيضا استعمال كلمة الباتينا في مجال الصيانة والترميم ويقصد بها وضع طبقة واقية على سطح التحف المعدنية التي تعرضت لتآكل طفيف سواء على التحف البرونزية أو الحديدية من أجل إيقاف أو إبطاء عملية التآكل، فتكون على شكل طبقة عازلة من الملوثات الجوية والرطوبة، ويستعين لذلك سواء أنواع من الغراء الطبيعية والاصطناعية أو مواد مقوية ونذكر منها (Paraloide B72, Inctalac, Pentarol 100, Paraffine...) فتطبق على كامل التحفة وتظهر على شكل طبقة ملساء، سوداء أو شفافة.⁷

6. تقديم المجموعة:

خصص المتحف قاعة بأكملها لعرض ما يزيد عن 100 تحفة أثرية برونزية؛ نظرا لثراء المجموعة وتتعدد مجالات استخدام هذه المادة منذ القدم، فنجد تحفا فنية وتمائيل دينية وأدوات زراعية وأخرى طبية تتوزع على 5 واجهات. ما يجذب انتباهك عند دخول القاعة هي التحفة الفنية لطفل مع النسر (الإله جوبيتر تحول إلى نسر) في واجهة وسطية، تعود للفترة الرومانية، تم اكتشافه في لومبار (باتنة).



صورة رقم 05: موقع القاعة في مخطط المتحف



صورة رقم 04: قاعة عرض التحف المعدنية

المصدر: من تصرف الباحثة

7. التشخيص:

تمكننا عملية التشخيص التي تعتبر واحدة من المبادئ الأساسية للحفاظ والتعرف على حالة اللقى الأثرية ومدة التدخل عليها. رغم وجود تقنيات حديثة في تشخيص التحف الأثرية إلا أنه يبقى الفحص بالعين المجردة والمجهر الضوئي الوسائل الأولى التي يلجأ إليها الباحث أو المرمم، ويستطيع التوصل للنتائج التالية:
- تمييز الشوائب المعدنية والترسبات العضوية (أثرية، بقايا نباتية... إلخ)
- تحديد ألوان نتائج التآكل وأنواعها ومدى سمكها.

⁷ - Robbiola (L), Patines naturelles des bronzes in la conservation-restauration des métaux archéologiques, colloque organisé par IPM, Bruxelles, 2015, p.51.

-تميزت بوضع طبقات التآكل بالنسبة للسطح الأصلي لمعدن التحفة، ويعتبر هذا الأخير الحد الفاصل بين نتائج التآكل الداخلية والخارجية.

-حالة حفظ السطح الأصلي الذي قد يكون في حالة تآكل نشط فيزيد من هشاشة التحفة مما يؤدي غالباً لفقدان المادة الأثرية.

في بعض الأحيان لا يكفي المجهر الضوئي لتشخيص القطع المعدنية، لذلك يلجأ المرمم لاستعمال وسائل أكثر حداثة وأكثر دقة كالفحص بالتصوير بالأشعة والفحص بأشعة قاما وبالأشعة السينية.

1.7. تشخيص تحف المتحف:

تعرضنا سابقاً لعوامل التلف التي تصيب الأداة المعدنية سواء في وسط الدفن أو في المتاحف، والمتحف الوطني للآثار القديمة لا يخلو من المخاطر التي تهدد سلامة التحف خاصة المعدنية منها، لأن هذه الأخيرة تتأثر بالرطوبة الشديدة والتلوث، وهذان العاملان نجدهما بقوة نظراً لموقع المتحف المتواجد وسط العاصمة على مرتفع يطل على البحر، فالرياح القادمة من البحر حاملة معها قطرات من الماء والتي تمتصها الجدران بالخاصية الشعرية، مما يسبب في ارتفاع الرطوبة. إلى جانب الرطوبة العالية نجد الملوثات الجوية كغاز أكسيد الكربون والهيدروجين والأنتوريد الكبريتي الذي يتواجد بكمية معتبرة في جو المدينة، وبوجود الرطوبة يتحول إلى الحمض الكبريتي⁸ وهذا الأخير يعرف بتكثفه على جزيئات الملوثات الجوية، فتلتصق على سطح الأثر وتتسبب بحدوث تآكل كيميائي، خاصة أن الواجهات المستعملة لعرض التحف لا تحوي على مرشحات الهواء وليست محكمة الإغلاق مما يسهل في دخول الغبار بداخلها، إضافة إلى أن القاعة غير مزودة بجهاز قياس الرطوبة (thermohygro-mètre) أو لامتناصها باستخدام جهاز (dés-humidificateur).

2.7. تصنيف المجموعة:

بعد تشخيص القطع المعروضة تبين لنا أن أغلبية التحف مصابة بالتآكل المنتظم الذي يظهر على التحف على شكل نواتج التآكل ذات لون أخضر، أخضر فاتح، أسود وأحمر، وهي عبارة سيسكوكربونات النحاس وكلوريدات وأكاسيد نحاسية، سببها الرئيسي هو الرطوبة والغازات الجوية. حالياً التآكل في حالة خمود (غير نشط) لكن إذا بقيت التحف في ظروف العرض نفسها فسوف يؤدي إلى تبلور كربونات النحاس المميّه المستقرة وتفاعل الكلوريدات مما يؤثر سلباً على التحفة.

علماً أنه قد تم تطبيق طبقة من الباتينا الاصطناعية كطبقة عازلة لحمايتها والذي أسهم في إيقاف سير عملية التآكل بشكل مؤقت وتتمثل في محلول AMT(aminotriazole) سنة 1960، لكن على الرغم من ذلك فقد تطورت الكربونات تحت هذه الطبقة.

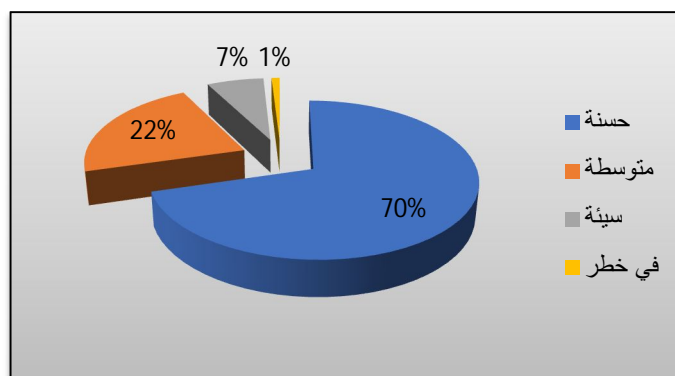
قمنا بإعداد استبيان يبين حالة التحف حسب درجة التلف والتركيز على موقع سطحها الأصلي، توصلنا إلى تقسيم المجموعة إلى أربع مجموعات، أين اخترنا في كل مجموعة تحفة واحدة كمثال.

⁸ - شاهين (ع)، طرق صيانة وترميم المقتنيات الفنية، القاهرة، الهيئة المصرية للكتاب، 1993، ص. 13.

- تم تقسيم المجموعات حسب حالة حفظها والتي نميزها كالتالي⁹:
- حسنة: السطح الأصلي مغطى بالرواسب والباتينا الطبيعية.
 - متوسطة: السطح الأصلي تعرض للتآكل منتظم خفيف.
 - سيئة: السطح الأصلي مغطى بنواتج التآكل، لكن نستطيع تحديده.
 - في خطر: لا نستطيع تحديد السطح الأصلي في وسط نواتج التآكل.
- وبذلك توصلنا إلى التصنيف التالي:

| الحالة الثانية: متوسطة (23 تحفة) | الحالة الأولى: حسنة (74 تحفة) |
|---|--|
|  |  |
| الحالة الرابعة: في خطر (تحفة واحدة) | الحالة الرابعة: سيئة (07 تحف) |
|  |  |

الجدول رقم 02: حالة حفظ التحف المعروضة بالمتحف



شكل رقم 03: النسب المئوية لحالة حفظ التحف البرونزية المعروضة بالمتحف

⁹ - Bertholon(R), La limite de la surface d'origine des objets archéologiques (caractérisation, localisation et approche de conservation) thèse doctorat en archéologie, Université Paris I, 2000, P.250

3.7. تشخيص التحف:

| حالة التحفة | التشخيص | التصنيف |
|---|--|-----------------|
|  | - اللون الأسود يمثل الباتينا الاصطناعية والتي ساهمت في حمايتها من التآكل - وجود رواسب رطبة من الغبار من رطوبة القاعدة ما يؤثر سلبا على التحف السطح الأصلي: معدن التحفة لم يتعرض للتآكل | حسنة |
|  | وجود اللون الأخضر الغامق دليل على وجود كربونات النحاس كطبقة سطحية السطح الأصلي: لم يتعرض لهجوم الكربونات، أي يمكن تدارك الوضع والتدخل على التحفة قبل اصابتها بالتآكل | متوسطة (مقبولة) |
|  | تعرضت هذه التحف المتواجدة في نفس الواجهة لتآكل موضعي يظهر على شكل نقاط محفورة ذات لون أخضر غامق وهو عبارة عن الملاكيت. هذا دال على تأثر جميع التحف بالهواء الملوث بالأحماض القاعدية المتواجدة داخل الواجهة | سيئة |
|  | تعتبر التحفة الواحدة التي تعرضت للتآكل النشط، فيظهر مرض البرونز يغطي كامل التحفة ويميزه باللون الأخضر والأخضر الفاتح لكلوريدات النحاس، وهذا ما أثر على باقي التحف المتواجدة داخل الواجهة | في خطر |

الجدول رقم 03: تشخيص حالة التحف البرونزية

8. كيف يتم التدخل لصيانة أو علاج التحف الأثرية؟

يتم ترتيب التدخلات وفقا لنتائج التشخيص لكل قطعة، فهناك من تستحق المعالجة وأخرى تحتاج لتوفير الصيانة الوقائية لضمان سلامتها لأطول مدة ممكنة.

في مجال صيانة وترميم الآثار المعدنية ترتب التدخلات كالتالي:

- الصيانة العلاجية: تنظيف - استقرارية - تدعيم - لصق - ترميم

- الصيانة الوقائية: تثبيت - حماية - تخزين - معاينة
بالنسبة للعينة المدروسة، فتم التدخل عليها كالتالي:
- المجموعة الأولى: بما أن المجموعة لا تعاني من التآكل، فقد تطلب الأمر تنظيف ميكانيكي فقط باستعمال فرشاة ناعمة أو فرشاة أسنان لنزع الغبار المترسب، بعدها تم حمايتها لطبقة من البرالويد B72 لعزلها من العوامل الخارجية مستقبلاً.
- المجموعة الثانية: تم التدخل على المجموعة للتخلص من طبقة كربونات النحاس الخفيفة قبل التصاقها وتحولها إلى هيدروكربونات النحاس بسبب الرطوبة الشديدة.
- تنظف أولاً ميكانيكياً ونستهل دائماً بالطرق الألف على التحف يعني بالفرشاة والماء الخالي من الأملاح أو بفرشاة فولاذية، وإذا لم يف بالغرض فيتم وضعها في حوض الأمواج فوق صوتية (cuve ultrason) مع 5% من الأمونياك لمدة 5 إلى 10 دقائق، بعدها يتم غسلها بالأستون للتخلص من المادة الكيميائية الزائدة¹⁰.
- بعد تجفيف التحف تغطى بمادة عازلة (inhibiteur) مثل البرالويد B72 (Paraloid B72) أو مادة الميكروكريستالين (microcristalline) لحمايتها.
- المجموعة الثالثة: تعرّضت هذه التحف للتآكل غير نشط، لكنه يستطيع أن يؤثر على سطح التحفة، لذلك لا بد من التدخل على النحو الآتي:
- نقوم بالتنظيف الميكانيكي بالطريقة نفسها المعمولة للمجموعة السابقة للتخلص من الطبقة السطحية للتآكل، إن لم يفي بالغرض نستعين بمواد كيميائية للتخلص خاصة من الكلوريدات وذلك باستعمال مادة إكزميتا فوسفات (Hexaméta phosphate de sodium) بتركيز 5 إلى 10% للتخلص من الكربونات، أو محلول EDTA بتركيز 5 إلى 10%، أو استعمال ملح روшал ويستعمل وحده أو مع محلول من 5 إلى 10% في وسط قاعدي، يستعمل خاصة للتخلص من الأكاسيد النحاسية. وبعد التنظيف يتم شطف القطعة بالماء المقطر وتجفيفها للتخلص من المادة الكيميائية الزائدة.
- تتم المعالجة الأخيرة بوضع طبقة من البرالويد B72 أو مادة الميكروكريستالين (microcristalline) لعزل السطح وحمايته من التآكل من جديد.
- المجموعة الرابعة: لحسن الحظ أنه تم تسجيل حالة واحدة فقط للتآكل النشط في كل المجموعة المعروضة، وحتى في هذه الأخيرة لم يكن في تفاعل بل كان التآكل ينشط ببطء (إعادة الصياغة). في هذه الحالة لا بد من التدخل الاستعجالي وذلك بعزلها عن المحيط المسبب لهذا الضرر¹¹.
- بالنسبة للحالة التي أمامنا لم تكن الكلوريدات في حالة تفاعل لكنها كانت تكسو التحفة بشدة وأدت إلى زوال السطح الأصلي الذي تحوّل بالكامل إلى نواتج التآكل. لذلك يتم تنظيفها ميكانيكياً للتخلص من طبقة الكلوريدات التدريجية، بعدها يتم تدعيمها باستخدام مادة BTA (benzotriazole) لخلق طبقة واقية وإبطاء عملية - أكسدة-

¹⁰ - غنيم(خالد)، علم الآثار وصيانة الأدوات والمواقع الأثرية وترميمها، لبنان، بيسان للنشر، 2002، ص.181.

¹¹ - Rebiere (J) et Joël (F), La restauration et la conservation des alliages cuivreux, in les bronzes antiques des réserves, une histoire d'alliage, Musée de Marseille, 2005, p.94.

اختزال - على سطح المعدن. بعدها يتم حمايتها من الرطوبة بوضع طبقة من البرالويد B72. بتركيز 5 إلى 10% واستمرار عزلها عن العوامل الخارجية وذلك بوضعها في علب محكمة الإغلاق من البولي إيثيلين Polyéthylène (Tupperware, Miflex) في وسط جاف ذي رطوبة نسبية أقل من 35% مع وضع أكياس من السيليكا جل لامتصاص الرطوبة¹². (أنظر الصور)

أما بالنسبة لباقي التحف التي لا تزال في قاعة العرض، فلا بد من توفير الظروف الملائمة لتفادي إعادة تبلور الكربونات وتفاعل التآكل في التحف من جديد. من أجل ذلك لابد من مراقبة الجو داخل القاعة بتوفير ما يلي:

- عرض التحف في واجهات خاصة بالمعادن والتي تحتوي على درج خاص لوضع مادة ممتصة للرطوبة مع شريط مؤشر الرطوبة¹³ (Hygroscope)
- وضع جهاز امتصاص الرطوبة داخل القاعة (déshumidificateur) كي يحافظ على درجة الرطوبة النسبية التي لا تتزايد عن 50% وتوفير مكيف الهواء لتسخين الهواء الرطب.
- قيام عمال المتحف بدورات تفقدية ومعاينة التحف لعدم تعرضها للتآكل مرة أخرى، وقياس درجة الحرارة والرطوبة والضوء وتسجيلها للتعرف على مصدر الخلل.
- عدم تعريض التحف للإضاءة الطبيعية بوضع ستائر للنوافذ أو حجبها، واستعمال الإضاءة الاصطناعية التي تصل شدتها من 50 إلى 150 لوكس كأقصى درجة، وتوضع المصابيح فوق الواجهات مع وضع طبقة عازلة من (plexiglas) بينها وبين زجاج الواجهة أو يكون مدمجا أثناء تصميمها¹⁴.

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| السيليكا جل | مؤشر الرطوبة | جهاز قياس الرطوبة والحرارة |
|  |  |  |
| نموذج لواجهة العرض | حفظ التحفة بالمخزن | جهاز امتصاص الرطوبة |

¹² - Logan (J) , Mise en réserve des métaux, note de ICC 9/2 , Canada, 2007, p.03

¹³ - Mourey (W), la conservation des antiquités métalliques, L.C.R.R.A, Draguignan, France, 1987, p.89.

¹⁴ - Rebiere (J) et Joël (F), La restauration et la conservation des alliages cuivreux, in les bronzes antiques des réserves, une histoire d'alliage, Musée de Marseille, 2005, p.97.

الجدول رقم 04: وسائل حفظ التحف بمخزن وقاعات العرض بالمتحف
المصدر: الأنترنت (بتصرف)

5. الخاتمة:

تختلف مادة صنع المواد الأثرية المعدنية، سواء المصنوعة من معدن واحد أو عبارة عن سبائك يختلط فيها معدنين أو أكثر، نجد منها سبائك النحاس أو الحديد، وبذلك تختلف درجة التلف التي تصيبها، ويعتبر التآكل المشكل الأساسي في تلف المعادن الأثرية، انطلاقاً من نقطة اكتشاف اللقى الأثرية؛ وتزداد عند وصولها إلى مكان الإيداع أو على مستوى المتحف خاصة إذا كانت ظروف التخزين غير ملائمة وهذا ما نلاحظه على معظم التحف المعدنية المحفوظة على مستوى المتحف العمومي الوطني للآثار القديمة سواء المتواجدة في قاعات العرض أو في المخزن.

من خلال العرض السابق للأخطار التي تتعرض لها الآثار المعدنية في بيئتي العرض والتخزين، أمكن الوقوف على أهم العوامل المحفزة لتآكل التحف المعدنية، وكيفية تشكل نواتج التآكل التحف البرونزية.

من خلال تشخيص التحف البرونزية المختارة من المتحف الوطني للآثار القديمة باستعمال طرق تشخيص بسيطة ومتاحة على مستوى جميع المتاحف، وتمكنا من التوصل للنتائج التالية:

- معرفة مختلف طبقات التآكل التي تتكون فوق السطح الأصلي وتحديد درجة تلفه.
- التمييز بين ألوان وسمك طبقة نواتج التآكل وبذلك تحديد نوع التآكل ودرجة خطورته على التحفة الأثرية.
- التوصل لإمكانية تحديد المعدن الأصلي للتحفة من بين نواتج التآكل المختلفة أو انعدامه (تحوله لأكاسيد معدنية).

- كيفية اختيار طرق التدخل السليمة على التحفة حسب درجة تلفها.
- كيفية الالتزام بإجراءات الصيانة الوقائية بعيدة المدى لضمان سلامة التحف سواء في قاعات العرض أو داخل المخازن.

من خلال هذه النتائج نأمل أن نكون قد حققنا غايتنا في تبسيط آلية تآكل التحف البرونزية، وذلك من أجل توعية العاملين بالمتاحف بخطورة هذا العامل على التحف المعروضة، واستيعاب مدى أهمية تدخل السريع لإيقاف هذه الظاهرة وعلاجها.

ومن أجل تحقيق ذلك لابد من توفير مخبر يحوي على الوسائل والمواد اللازمة للتدخل الاستعجالي، ونأمل أن يساهم هذا البحث في تسهيل عمل المرممين ومحافظي التراث وذلك باختيار الخيار الأنجع لسلامة هذا التراث الأثري.

6- قائمة المصادر والمراجع:

- باللغة العربية:
- شاهين (ع.ع)، طرق صيانة وترميم المقتنيات الفنية، الهيئة المصرية للكتاب، القاهرة، 1993.
- غنيم(خ)، علم الآثار وصيانة الأدوات والمواقع الأثرية وترميمها، بيسان للنشر، لبنان، 2002.

- إبراهيم (م.ع)، علاج وصيانة الآثار المعدنية، دار المعرفة الجامعية، مصر، 2012.

- باللغة الأجنبية:

- Bertholon(R), La limite de la surface d'origine des objets archéologiques (caractérisation, localisation et approche de conservation) thèse doctorat en archéologie, Université Paris I, 2000.
- Bertholon(R) et Relier (C), in conservation des sites et des mobiliers archéologiques, principes et méthodes, UNESCO, 1988
- Daniel (D) Métaux : analogue archéologique et corrosion, IMP, Paris, 2003.
- Logan (J), Mise en réserve des métaux, note de ICC 9/2, Canada, 2007.
- Montenat(C), Histoire des éléments métalliques dans l'univers, a la recherche du métal perdu, France, 1999.
- Pline, Histoire naturelle, traduction en français par M.E Littré, Tome 2, MDCC. XXXIII ,99
- Rebiere(J) et Joël(F), La restauration et la conservation des alliages cuivreux, in les bronzes antiques des réserves, une histoire d'alliage, Musée de Marseille, 2005.
- Robbiola(L), caractérisation de l'altération de bronzes archéologiques enfouis à partir d'un corpus d'objets de l'âge du bronze. Mécanismes de Corrosion, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 1990.
- Volfovsky(C), la conservation des métaux, CNRS, Paris, 2001
- Mourey (W), la conservation des antiquités métalliques, L.C.R.R.A, Draguignan, France, 1987.

- مواقع الأنترنت :
- مؤشر الرطوبة: <http://www.atlantis-france.com>
- جهاز قياس الرطوبة: <http://www.atlantis-france.com>
- السيليكا جل: <https://www.humistore.com>
- جهاز امتصاص الرطوبة: <http://www.atlantis-france.com>
- علب الحفظ: <https://www.tupperware.fr>
- واجهات العرض: <http://www.atlantis-france.com>