

ترميم قطعة أثرية معدنية من موقع الأخدود

في نجران – المملكة العربية السعودية

عبد الناصر بن عبدالرحمن الزهراني

دكتور قسم الموارد التراثية والإرشاد السياحي، كلية السياحة والآثار، جامعة الملك سعود

naserz@ksu.edu.sa

قدم للنشر في 1432/9/15هـ، وقبل للنشر في

ملخص البحث. كشفت حفرة موقع الأخدود في نجران، عن إحدى القطع الأثرية تغطيتها طبقة متكلسة، التي لم يستدل من شكلها الخارجي على حقيقتها. لذلك قام الباحث بأعمال الترميم للكشف عن طبيعة هذه القطعة، وكذلك لصيانتها ووقايتها من عوامل التلف المحيطة بها.

واستعان الباحث ببعض التقنيات الحديثة لتسجيل وتوثيق (Documentation) هذه القطعة، ومن هذه التقنيات: التصوير بالأشعة السينية (X-Ray Radiography)، كما تم الاستعانة بالطرق المختلفة للتحليل والفحص وذلك للوقوف على طبيعة هذه القطعة الأثرية وتركيبها أو التعرف على مكوناتها سواء أكانت في صورة مركبات أو عناصر وذلك باستخدام التحليل بطريقة حيود الأشعة السينية (X-Ray "XRD" Diffraction) لتحديد مركباتها، والفحص بالمجهر الإلكتروني الماسح ("SEM" Scanning Electron Microscope)، والتحليل بالامتصاص الذري (Atomic Absorption Analysis) للتعرف على عناصرها. وبناءً على ما تم التوصل إليه من نتائج التحليل والفحص السابقة تم وضع خطة العلاج والصيانة واختيار موادها المناسبة والتي كان الهدف منها هو إيقاف التلف الذي أصاب الأثر وصيانتها من العودة مرة ثانية، وشملت هذه الخطة ترميم هذه القطعة الأثرية لإمالة اللثام عنها مستخدماً طرق التنظيف الميكانيكية والكيميائية، تلاها تطبيق التقوية والعزل كإسلوب وقائي لحماية الأثر في المستقبل مما قد يصيبه من تلف.

Abstract:

The excavation of Al-Okhdood in Najran revealed an archaeological artifact covered with a hard concretion layer that made difficult to be identified from its outer shape. The researcher used many modern techniques for its documentation, such as X-ray Radiography, and different methods of analysis and examination to know its nature, identify its composition as compounds or elements. These was done by using X-Ray Diffraction "XRD" analysis method to identify its compounds, Scanning Electron Microscope "SEM" for examination, and Atomic Absorption Analysis "AAS" to identify its elements. These examination and analysis methods helped to put the restoration and conservation plan and choose the selected materials and methods. The aim of this plan is to stop the corrosion that attacked the object, conservation and protecting it against any further attack. This plan included using mechanical and chemical cleaning, followed by consolidation and insulation it as a preventive way against further deterioration.

1- مقدمة

تقع منطقة نجران في الجزء الجنوبي الغربي من المملكة العربية السعودية، بين دائرتي عرض " 17 و 32" وخطي طول " 12 و 44". وتقدر مساحة المنطقة بنحو 365.000 كم²، ويحيط بها جبال شاهقة من ثلاث جهات (الشمال، والجنوب، والغرب)، ويقل ارتفاعها كلما اتجهنا نحو الشرق حتى تختفي في رمال صحراء الربع الخالي، ويبلغ متوسط ارتفاعها عن سطح البحر نحو 900-1700م (الوليقي، 1417هـ: 249-253).

ويتنوع تضاريس نجران، ففي الوسط المنطقة السهلية (حوض وادي نجران) (الشريف، 1404هـ: 393)، وهي مركز الاستيطان البشري، حيث تتركز على ضفتين هذه المنطقة السهلية القرى القديمة والأحياء السكنية والمزارع والبساتين، حيث تتوفر فيها المياه الجوفية التي ساعدت على قيام نشاط زراعي مميز إضافة إلى استفادتها من مياه وادي نجران، الذي يعدّ من الودية الرئيسة في المنطقة. ويمتد وادي نجران من الغرب إلى الشرق وتتخلله الانخفاضات والتعرجات (بن جريس، 1425هـ: 24).

ويمتاز مناخ نجران باعتداله طوال العام وبارد في فصل الشتاء، وتسقط الأمطار فيه صيفاً بمعدلات متوسطة، حيث يبلغ متوسطها السنوي نحو (83 ملم)، ودرجات الحرارة ما بين 14-37°م.

وتشتهر نجران بثرائها الاقتصادي ونشاطها السياسي والاجتماعي، وموقعها الاستراتيجي، فقد قامت بدور مهم في جنوب شبه الجزيرة العربية بفضل موقعها الاستراتيجي على مفترق طرق القوافل التجاري، التي تحمل البخور والتوابل من جنوب شبه الجزيرة إلى شمالها وكذلك العكس صحيحاً.

ويعود تاريخ نجران إلى عهود المكربين السبئيين 660 قبل الميلاد، حيث ضم السبئيون نجران تحت حكمهم (العتيبي، 1427هـ: 19-43). وتعرف نجران في

التاريخ القديم بـ (رجمت، رجمة) (علي، 1980م: 507-508)، وربما تكون رجمت هذه عاصمة نجران القديمة، التي جاء ذكرها في أحد النقوش الجنوبية، وربما أنها ما يعرف حالياً بموقع الأخدود (الأنصاري؛ المريح، 1424هـ: 39). وقد يكون المكان الذي حصلت فيه قصة أصحاب الأخدود المذكورة في القرآن الكريم.

وتقع موقع الأخدود في الجهة الجنوبية من وادي نجران، وتعدّ من أهم الظواهر الحضارية في جنوب شبه الجزيرة العربية، ومن أهم مواقع الحضارة وأكبرها في المملكة العربية السعودية، ويبلغ طول موقع الأخدود نحو (900×800م)، حيث يضم الكثير من الظواهر المعمارية البارزة المشيدة من أحجار متلاصقة مربعة الشكل، كما يوجد بعض الظواهر المعمارية المبنية بالطين. وموقع الأخدود معروف أنه كان الاستيطان الرئيس في الوادي، ومركز التجمع السكاني الأكبر لوفرة المياه، وبالتالي اعتماد السكان بشكل أساس على الزراعة، لذا انتشرت في هذا الوادي السدود لحجر مياه السيول والأمطار، وأقيم في المنطقة نظام ري مميز (زارينس وآخرون، 1401 هـ، 1403هـ؛ الزهراني وآخرون 1421هـ، 1423 هـ، 1426 هـ، 1427هـ). عثر على المشغولة الأثرية في موقع قلعة بموقع الأخدود في نجران جنوب المملكة العربية

السعودية، وذلك في المربع (93 ث ت) (اللوحة رقم 1)، كما عثر على تماثيل أخرى من موقع الأخدود (المزروع، 1421هـ: 41-46). ويهدف هذا البحث إلى التعرف على طبيعة هذه المشغولة الأثرية، ومعرفة تركيبها الكيميائي سواء أكان من مركبات أم عناصر، والوقوف على أسباب تلفها وذلك من خلال الاستعانة ببعض طرق الفحص والتحليل

كالتصوير بالأشعة السينية X-ray radiography، والفحص بالميكروسكوب

الإلكتروني الماسح Scanning Electron

microscope، وتحليل المركبات الكيميائية

الموجودة بطريقة حيود الأشعة السينية X-ray

diffraction والتحليل العنصري بالامتصاص

الذري Atomic absorption analysis .

والتي ساعدت في وضع خطة العلاج والصيانة

واختيار مواد التنظيف والتقوية والعزل التي تم تطبيقها

على الأثر لإيقاف ظاهرة التلف به ووقايته من التل

المستقبلي.

2- حالة التمثال وظروف التآكل:

عثر على هذا التمثال موضوع البحث وهو في شكل

قطعة أثرية مجهولة الملامح، تغطيها طبقة متكلسة،

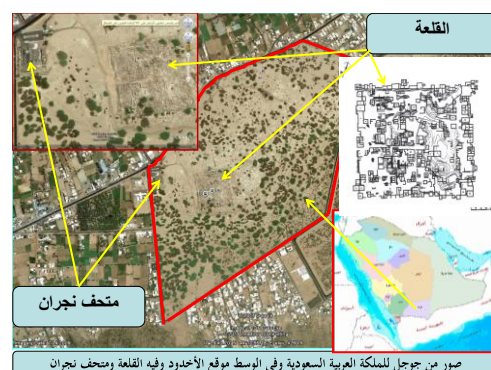
يصعب من خلال شكلها الخارجي التعرف عليها.

ومن خلال اللون الأخضر المنتشر على هذه القطعة

المتكلسة والذي يغطيها بشكل كامل يمكن

الاستدلال منه على أنها لأثر معدني من المحتمل أن

يكون مصنوع من النحاس أو من إحدى سبائكها.



اللوحة رقم (1): موقع منطقة نجران في المملكة العربية

السعودية، وموقع الأخدود في وسط اللوحة (خارطة القلة

من 368: Al-Ghabban, et al., 2010)

وغالباً ما تغطي الآثار المعدنية المستخرجة من المواقع

الأثرية طبقات صلبة متكلسة؛ نتيجة اختلاط نواتج

التآكل مع حبيبات التربة المدفون فيها هذا الأثر. هذه

القشرة الصلبة التي تغطي الأثر المعدني المستخرج من

المواقع الأثرية تجعل من الصعب التعرف على نوعية

المعدن أو السبيكة التي صنع منها الأثر أو تحديد أية

تفاصيل أو نقوش يمكن أن تكون موجودة على

الأثر.

وعندما تدفن المشغولات المعدنية في التربة فإنها

تتفاعل معها أولاً، ثم تميل بعد فترة من الزمن إلى أن

تتكيف معها؛ أي تستمر في التفاعل حتى تصل إلى

علاقة ثابتة بينها وبين هذا الوسط . ويؤثر في عملية

صدأ المشغولات المعدنية وتآكلها في التربة مجموعة

من العوامل، تتعلق جميعها بطبيعة التربة وطبيعة هذه

المشغولات بصفة خاصة ، منها نسيج التربة ،

وتركيبتها الكيميائي، وما تحويه من المواد العضوية،

وأملح وغيرها من العوامل.

والنحاس مثل باقي المعادن الأخرى قابل للتآكل ؛

وذلك للوصول إلى الشكل الأكثر ثباتاً

كهروكيميائياً. وهذا يعني أن المعدن سيعود إلى

خامته التي كان عليها في الطبيعة واستخلص منها ،

مكماً بذلك دورة كهروكيميائية كاملة ، فيبدأ

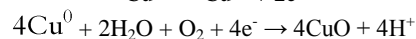
بإكتساب شحنة موجبة ومن بعدها يتحول إلى قطب

موجب (غنيم، 2008م: 143؛ كرونين

ورونسون، 1427هـ: 245؛ Rodgers, 2004:

108).

القطب الموجب (+)



وهذا يشير إلى أن فلز النحاس سيقوم ب تحرير

إلكترونات تجعل من النحاس أيوناً موجباً، قبل أن

يتحد مع الأيونات السالبة الشحنة، الموجودة في

الوسط المحيط، مثل: الأوكسجين أو الكربون أو

الكلور أو الكبريت، مما ينتج عنها تكون نواتج

التآكل المختلفة، مثل: الأكاسيد والكربونات

والكلوريدات والكبريتات.

فهو يتحد مع الأوكسجين مكوناً أكاسيد النحاس

(الكوبريت "أكسيد النحاسوز" Cu_2O cuprite)

و(التينوريت "أكسيد النحاسيك" CuO tenorite)،

الذي ينتج عن توافر غاز الأكسجين, والذي يكون طبقة أكسيد النحاسوز (Cu_2O الكوبريت), أو نتيجة لتحويله (غنيم, 2008م: 154, 160-162; Rodgers, 2004: 109). وبزيادة سمك طبقة الأكسيد فإنها تتكسر وتصبح مسامية وتسمح بنفوذ بخار الماء, الذي يعد أساسياً لتكوين محلول إلكتروليتي يدعم تفاعل الصدأ الكهروكيميائي. ويعبر عن تركيز بخار الماء في الجو بمصطلح الرطوبة النسبية (Relative "RH" humidity), التي تعرف بمعدل النسبة المئوية لبخار الماء في الهواء مقارنة بالنسبة اللازمة لتشبع الهواء تماماً عند نفس الدرجة من الحرارة. ومن المعلوم أن عملية التآكل (Corrosion) تكون أكثر شدة وسرعة في البيئة الرطبة؛ حيث تتم أغلب التفاعلات الكيميائية الشرسة في وجود الرطوبة, التي تعدّ لازمة لاستمرارها. (غنيم, 2008م: 131). وفي وجود أيون الكلور سالب الشحنة, يتكون كلوريد النحاسوز المعروف باسم النانتوكيت (CuCl nantokite), ثم تتكون الكلوريدات القاعدية, مثل: كلوريد النحاسيك القاعدي (الباراتاكاميت $\text{CuCl} \cdot \text{Cu}[\text{OH}]_2$ paratacamite), في صورة مسحوق غير متماسك يمكن أن ينفصل عن السطح, وكذلك كلوريد النحاسيك القاعدي (الأتاكاميت $\text{CuCl} \cdot \text{Cu}[\text{OH}]_2$ غنيم, 2008م: 154, 160-162; كرونين وروبنسون, 1427: 319-327; Rodgers, 2004: 109). ونتيجة لتمامك هذا المركب الأخير وعدم قابليته للذوبان فإنه يؤدي في كثير من الأحيان إلى إيقاف التفاعل. وقد توجد المركبات الثلاثة معاً فوق المشغولات النحاسية والبرونزية يفصلها في الغالب عن السطح المعدني طبقة من أكسيد النحاسوز (الكوبريت Cu_2O Cuprite). وبإدمصاص ثاني أكسيد الكربون من البيئة المحيطة يتكون أيونات النحاسيك في صورة كربونات نحاسيك قاعدية في شكل ملاكيت أخضر

(malachite $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}[\text{OH}]_2$), أو في شكل أزوريت أزرق ($2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}[\text{OH}]_2$ Azurite). وكلاهما ذو ثبات محدود؛ لأنهما يتغيران, حسب الأيونات المتوفرة إلى مركبات صدا أخرى (كرونين وروبنسون, 1427 هـ: 322).

وفي حالة وجود كبريتيد الهيدروجين (H_2S), الناتج من مركبات الكبريت العضوية, أو بواسطة البكتيريا المختزلة للكبريت (Sulfate Reducing Bacteria), في الظروف اللاهوائية (Anaerobic), وعند تعرض طبقة الكوبريت في المشغولات النحاسية والبرونزية لكبريتيد الهيدروجين, حتى ولو بنسبة منخفضة في الجو الملوث, يتغير لونها إلى اللون القاتم؛ نتيجة تكون كبريتيد النحاسوز الأسود المعروف باسم الكالكوسيت (Cu_2S Chalcocite) الثابت نسبياً (Shrier et al., 2000: 235; Lakhtin, 1971: 383; غنيم, 2008م: 157).

أما الأسطح المغطاة بمركبات النحاسيك فإنها تكتسب بطبقة من كبريتيد النحاسيك الأسود يسمى الكوفيليت (CuS Covellite), الذي يأخذ تركيب العوالق (Colloidal Structure), في غياب الأحماض ويتواجد بكميات قليلة. وعلى الرغم من عدم قابليته للذوبان في الماء إلا أنه يمتص بخار الماء بسهولة. وبالتعرض المستمر لبيئة يتوفر فيها الأكسجين يتأكسد مكوناً كبريتات النحاس القاعدية المعروفة بالبروكانتيت ($\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}[\text{OH}]_2$ Brochantite) (Fontana, 1986: 353).

وسبائك النحاس التي تشترك مع النحاس فيها فلزات أخرى أكثر عرضة للتآكل من النحاس النقي؛ لأنه من المستحيل من الناحية الفيزيائية أن تختلط الفلزات المذابة فيها بشكل كامل، خاصة في العصور القديمة؛ فهي سبيكة غير مكتملة التجانس, وهذا يجعل سطح السبيكة أكثر عرضة للتآكل. حيث يتصرف النحاس

الآثار, حيث يمكن من خلاله تسجيل حالة الأثر بكل تفاصيله وأبعاده, وحالته التي عثر عليها. ولقد

3-2. الفحص والتحليل

3-2-1 الفحص الظاهري والمعاينة الأولية:

لقد تم فحص القطعة الأثرية المعدنية فحصاً مبدئياً بالعين المجردة؛ لتحديد حالتها والتغيرات التي طرأت عليها، والوقوف على طبيعتها، أو الاهتداء من خلال بعض المظاهر السطحية إلى تركيبها ، أو أسلوب صناعتها.

ولقد أمكن من خلال الفحص المبدئي، والتسجيل الفوتوغرافي ترجيح أن هذه القطعة الأثرية المعدنية عبارة عن تمثال صغير من المعدن تعرض لتآكل شديد. ويمكن حصر الملاحظات التي تم الوصول إليها في النقاط التالية:

- تأخذ القطعة الأثرية شكل تميمة آدمية (تمثال آدمي) جالس على الأرجح.
- تغطي القطعة الأثرية طبقة سميكة من نواتج الصدأ ذات الألوان المتعددة، منها الأخضر والأزرق الفاتح، ذات طبيعة صلبة يصعب خدشها.
- فقدان وتآكل وتلف واضح في الجزء السفلي من القطعة الأثرية.
- التصاق حصى وفتات صخري، من مكونات تربة الدفن، بنواتج صدأ معدن التمثال؛ مما غلفه بطبقة سميكة مشوهة لشكل التمثال ومخفية معالمه وتفاصيله.
- يبلغ أقصى طول للقطعة الأثرية (6.8سم)، وأقصى عرض (5.4سم).
- وجود تكلسات ملحية تغطي كل أجزاء التمثال.
- وجود فجوة ذات لون أزرق فاتح في منطقة الظهر.

حسب خواص الفلزات، التي تشترك معه في السبيكة. فعندما يخلط مع النحاس فلزات أخرى، مثل: الرصاص أو القصدير أو الزنك تتآكل هذه الفلزات لتكون أكاسيد واقية على سطح السبيكة. إلا أن وجود أيونات آكلة وشديدة الضراوة، مثل: الكلور، أو الكبريت، خاصة في وجود الرطوبة، تتعرض هذه الفلزات للتآكل الشديد، ثم بعد ذلك يتعرض النحاس نفسه لهذه الأيونات ومن ثم يبدأ في التآكل وتتكون مركبات الكلوريدات والكبريتات القاعدية المختلفة على السبيكة.

مثل هذه الظروف هي التي من المؤكد أن يكون الأثر موضوع البحث قد مر بها وأدت إلى ما وصل إليه من حالة التلف ومظاهرها المختلفة التي أشير إليها من قبل والتي تستوجب التدخل بالعلاج والصيانة.

3- العلاج والصيانة:

تهدف عمليات العلاج والصيانة لهذا التمثال إيقاف التلف والتخلص من أسبابه وعلاج مظاهره الواضحة على التمثال، واتخاذ الإجراءات التي تكفل عدم مهاجمته فيما بعد علاجه ووقايته مما يقدر يعترضه من تلف مستقبلي، ولقد مرت عمليات العلاج والصيانة بالخطوات التالية:

3-1. مرحلة التوثيق والتسجيل:

تعدّ مرحلة التوثيق والتسجيل من المراحل المهمة في عملية الترميم؛ وذلك للتعرف على الحالة الفعلية للآثار بشكل عام، والقطع الأثرية بشكل خاص، ومدى ما أصابها من تلف، وطبيعة نواتج الصدأ المتكونة عليها، وألوانها، وهل هي: سميكة، أم رقيقة متماسكة، أم مفككة. ولقد تم توثيق وتسجيل حالة القطعة الأثرية وتدوين الملاحظات المهمة بدقة، شمل هذا التسجيل والتصوير الفوتوغرافي (Photography Recording)، الذي يعدّ من أهم وسائل تسجيل

وتوضح (اللوحات رقم 2-7) حالة القطعة الأثرية (تمثال) عند استلامها للترميم.

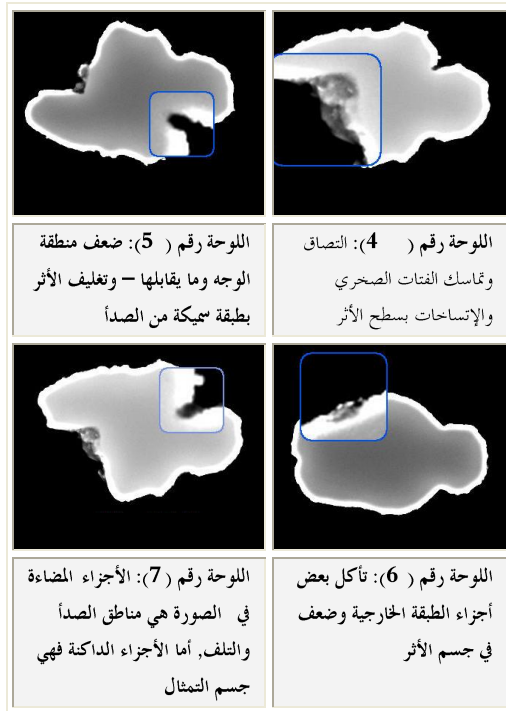


2-2-3 التصوير والفحص بالأشعة السينية (X-ray Radiograph):

يعدّ الفحص بالأشعة السينية من التقنيات الآمنة، التي لا تسبب أضراراً للقطعة الأثرية، حيث يتم تسليط الأشعة السينية عليها عبر موجة يتراوح طولها ما بين 10^{-7} - 10^{-11} م (Stuart, 2007: 77)، وبما أن الأشعة السينية تتمتع بموجة أقصر من موجة الضوء المرئي، أو ضوء الأشعة فوق البنفسجية، لذا يسهل عليها اختراق بعض المعادن، مثل: سبيكة النحاس، حيث تقوم المادة بامتصاص الأشعة السينية، أو تسمح لها بالنفاذ عبرها، وعند تفاعل فوتونات الأشعة السينية مع المعدن ينفذ بعضها وتمتص المادة البعض الآخر، في حين ينتشت قسم منها مبتعداً عن مسار زاوية السقوط؛ وينتج عن ذلك ضعف الشعاع الساقط ويظهر خيال خلف القطعة الأثرية موضع الدراسة، وهذا كله يعتمد على كثافة المعدن وسمكه وشدة الأشعة المستخدمة. والصور الناتجة تكشف تفاصيل تكوين الأثر، وسمكه وتجانس أجزائه، ونقاط ضعف وقوة بنية المعدن أو السبيكة، وتفاصيل أكثر عن حالته (Stuart, 2007: 77-80).

ولتفسير هذه الصور فإن المناطق الأكثر إضاءة هي أجزاء غير منفذة للأشعة (radiopaque)، التي تكون أكثر نسبياً في كتلتها الذرية، أو أنها سميكة طبيعياً عن المناطق المجاورة.

وبعدّ التصوير بالأشعة السينية ذو أهمية كبيرة للاسترشاد به أثناء عمليات العلاج والترميم، مما يكشف ما إذا بقي شيء من قلب المعدن أم لا، كما معرفة ما سيحدث إذا كان التآكل مستمراً، ويمكن الاستدلال أيضاً على ما قد يكون بالأثر من شروخ، أو وكسور وفجوات. وتستخدم هذه الطريقة للتعرف على وجود زخارف أو كتابات أيضاً ووجود طبقات متراكمة (كروني؛ روبنسون، 1427 هـ: 333؛ 6: Agrawal, 1985). وتوضح (اللوحات رقم 4-7) نتيجة الفحص بالتصوير بالأشعة السينية للقطعة الأثرية المعدنية موضوع البحث.



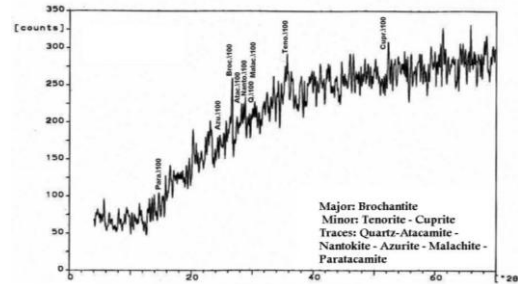
3-2-3 التحليل بتقنية حيود الأشعة السينية (XRD):

م	اسم المركب	التركيب الكيميائي	رقم الكارت
1	الرمل	Quartz	5-490
2	البروكانيت	Brochantite	3-282
3	الأتاكاميت	Atacamite	2-146
4	النانتوكيت	Nantokite	6-344
5	الأزوريت	Azurite	11-682
6	الكوبريت	Cuprite	5-667
7	التينوريت	Tenorite	5-661
8	ملاكيت	Malachite	10-399
9	الباراتاكاميت	Paratacamite	19-889

تعدّ حيود الأشعة السينية أشعة كهرومغناطيسية ذات أطوال موجية قصيرة جداً، ولها نفس طبيعة الضوء، ويتراوح طولها الموجي بين 1-10 أنجستروم، وهي تقع في منطقة الطيف الكهرومغناطيسي، بين أشعة جاما والأشعة فوق البنفسجية. ويتراوح الطول الموجي المستخدم في الفحص والتحليل 0.5 : 2.5 أنجستروم. ويشترط في المواد المراد تحليلها بحبيود الأشعة السينية أن تكون متبلورة وصلبة، حيث تنعكس الأشعة السينية من على المسطحات الذرية العاكسة لهذه المواد وتعطي انعكاسات تدل على المركبات الموجودة في العينة (Stuart, 2007: 229-232; Duane and Robert, 1989: 10; Agrawal, 1985: 5).

تم استخدام طريقة التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية للتعرف على نوعية مركبات الصدا المغلقة للتمثال الأثري، فمن خلال التعرف على مركبات الصدا يمكن استنتاج نوعية الفلز أو السبيكة المستخدمة في صناعة الأثر، ومن ثم طريقة المعالجة والصيانة (Stuart, 2007: 232; Moncrief and Weaver, 1983: 39-42).

وقد تم أخذ عينة من أماكن مختلفة بصورة خليط من نواتج الصدا ذات الألوان المختلفة المختلطة ببقايا التربة، ثم سحقها في هون من العقيق إلى مسحوق دقيق الحبيبات¹؛ وكانت نتيجة التحليل هي المركبات الموضحة في اللوحة رقم (8)، والجدول رقم (1).



اللوحة رقم (8): نمط حيود الأشعة السينية لعينة الطبقة المتكلسة المتكونة على سطح القطعة الأثرية
جدول رقم (1): نتائج التحليل والفحص بطريقة حيود الأشعة السينية

ومن خلال النتائج المذكورة تم التوصل إلى النقاط التالية:

- كل مركبات الصدا التي تم التعرف عليها من التحليل هي لفلز النحاس، مما يرجح أن يكون التمثال من النحاس، أو أحد سبائكه.
- الكوبريت (Cu_2O) الذي تم تحديده هو المكون الأولي من مكونات نواتج صدا النحاس وسبائكه، وينتج من تفاعل أو اتصال سطح النحاس مع الأكسجين، بينما زيادة تركيز الأخير يؤدي إلى تكون التينوريت (CuO)، أو تحول الكوبريت إلى تينوريت، وهو ما تم تحديده ضمن مركبات الصدا. ووجود كلا المركبين يدل على وجود الأكسجين بوفرة في

¹ وذلك لفحصها بطريقة المسحوق (Powder Method)، حيث تم تحليلها بجهاز الديفراكتوميتر من نوعية (Diffractometer "Philips, PW 1840" with Ni-filtered $\text{CuK}\alpha$ radiation) عند ظروف تشغيل تتمثل في: (40 kV/30 mA) and a scan speed of 2° "20"/min.

بيئة الدفن , وهو أسرع الغازات تفاعلاً مع الآثار المعدنية.

● وجود مركبات الكلوريدات القاعدية

(الأتاكميت $\text{Cu}_2[\text{OH}]_3\text{Cl}$ ؛ والباراتاكميت $(\text{CuCl}.\text{Cu}[\text{OH}]_2)$ ومعهما النانتوكيت (CuCl) ، تدل على وجود أيون الكلور في بيئة الدفن متمثلاً في أحد أملاح الكلوريدات , مثل : كلوريد الصوديوم الذي يعدّ من أشهر أملاح الكلوريدات للتفاعل مع النحاس وسبائكه (Gettens, 1963: 90). ووجود المركب الأخير (الانتوكيت أو كلوريد النحاسوز) دليل على استمرار التآكل , وهو استمرار تفاعل المعدن مع أيون الكلور النشط.

● وجود البروكانتيت (كبريتات النحاسيك

القاعدية $(\text{CuSO}_4.3\text{Cu}[\text{OH}]_2)$, كمكون أساسي للعينة التي تم تحليلها, يؤكد احتواء بيئة الدفن على أيون الكبريت المتلف , الذي يهاجم النحاس وسبائكه بضراوة. ويوجد أيون الكبريت في تربة الدفن في الغالب من وجود مركبات للكبريت, أو الكبريتات يتم تحليلها واختزلها إلى مركبات كبريتيت بواسطة البكتيريا المختزلة للكبريت (sulphate reducing bacteria), تهاجم المعدن وفي وجود الرطوبة تتكون الكبريتات القاعدية المشار إليها, (90: 1963, Gettens).

● كربونات النحاسيك الخضراء ملاكيت (Cu

$(\text{CO}_3.\text{Cu}[\text{OH}]_2)$ ، والزرقاء الأزوريت $(2\text{CuCO}_3.\text{Cu}[\text{OH}]_2)$ يدل على وجود وانتشار غاز ثاني أكسيد الكربون.

● معظم المركبات التي تم تحديدها هي مركبات

قاعدية سواء أكانت كربونات , مثل : الملاكيت والأزوريت, أو كلوريدات , مثل : الأتاكميت والباراتاكميت, أو كبريتات , مثل : البروكانتيت يدل على أن تربة الدفن كانت تتميز برطوبة عالية

أدت إلى تكون مثل هذه المركبات القاعدية على أسطح القطعة الأثرية.

● وجود الكوارتز (SiO_2) مختلطاً بنواتج الصدأ دليل على أن تربة الدفن, حيث تم العثور على القطعة الأثرية, هي تربة رملية , حيث يمثل الكوارتز المكون الأساس للرمل, والمعروف أن التربة الرملية هي تربة مسامية, تسمح بحركة الهواء والماء فيها , مما يجعل المشغولات المعدنية فيها تتعرض باستمرار لصادرات التلف وأسبابه من غازات وأيونات , متوفرة في التربة , مثل : الكلوريد مثلاً , أو الكبريت.

ومن هنا يمكن القول أن سبب تلف هذه القطعة الأثرية المعدنية ووصولها إلى هذه الحالة من التآكل والصدأ هو وجودها في تربة رملية مسامية, وتعرضها بصفة مستمرة , ولفترة زمنية طويلة للرطوبة والغازات من أكسجين وثاني أكسيد كربون , وكذلك أيونات متلفة , مثل : الكبريت والكلوريد كل هذا ساهم في الوصول بالقطعة الأثرية المعدنية إلى هذه الحالة من التآكل والتلف.

3-2-4 التحليل بالامتصاص الذري (Atomic

:(Absorption Analysis

من طرق التحليل الدقيقة التحليل بالامتصاص الذري (AAS), التي تعطي تحديداً كميّاً للعناصر الموحدة في السبائك المعدنية (Agrawal, 2007: 213; Stuart, 1985: 7). تم أخذ عيّنتين صغيرتين جداً من الأجزاء الضعيفة في التمثال, وتم تحليلها بواسطة جهاز الامتصاص الذري؛ لمعرفة العناصر المكونة لسبيكة المعدن, بعد التعرف على مركبات الصدأ بواسطة حيود الأشعة السينية. وكانت نتيجة التحليل بواسطة الامتصاص الذري موضحة في الجدول رقم (2).

جدول رقم (2): نتائج التحليل بطريقة الامتصاص الذري

م	Copper % Cu	Tin % Sn	Iron % Fe	Zinc % Zn	phosphor % P	Sulfur % S	Total %
1	90.00	06.30	00.48	01.02	01.17	00.83	99.80
2	89.60	06.80	00.50	01.10	01.20	00.70	99.10

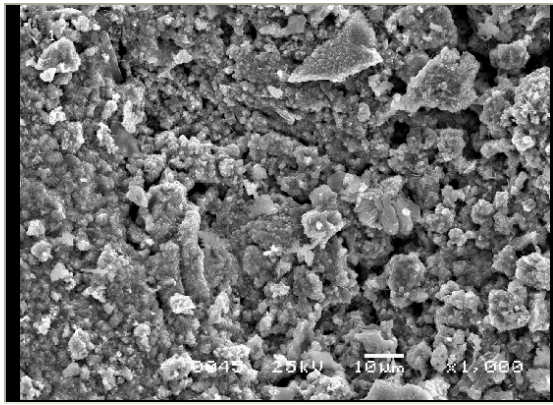
3-2-5 الفحص والتحليل بواسطة المجهر

الالكتروني الماسح (SEM):

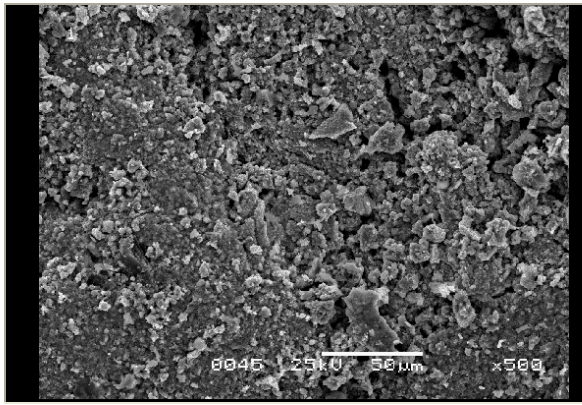
يعدّ الفحص باستخدام المجهر الالكتروني من أهم الطرق العلمية الحديثة المستخدمة في مجال ترميم وصيانة الآثار، وذلك لما يتمتع به من قدرة على إعطاء درجات تكبير عالية تصل إلى 200.000 مرة؛ لتعطي المتخصص في مجال الترميم والصيانة، فرصة لدراسة ومسح سطح العينة الأثرية بشكل دقيق (Stuart, 2007: 96). أما في حالة إقران وحدة التحليل بالأشعة السينية مع المجهر الالكتروني فإنه يتعاضد دوره، حيث يستخدم كـمـاسـح لسطح ومحلل في الوقت نفسه. ويمكن من خلاله التعرف على العناصر الكيميائية المكونة للعينة الأثرية. وتوضح اللوحات (رقم 9 - 12) نتيجة الفحص بالمجهر الالكتروني لسطح التمثال موضوع البحث. والتي يتضح منها مدى كثافة الطبقات المتكلسة على سطح التمثال ويمكن ملاحظة ذلك من كثافة الحبيبات، كما يعكس تنوع في حجم الحبيبات وتنوعها ما بين الكبير والصغير واختلاط نواتج الصدأ بعوالق وحبيبات التربة، هذا بالإضافة إلى أن هذه الطبقة مع تكلسها إلا أنها تحتوى على فجوات وفراغات يمكن ملاحظتها من خلال الصور، ولعل هذه الفراغات ترجع للتنوع في حجم الحبيبات، وتشكل هذه الفراغات مناطق ضعف تؤدي إلى هشاشة وعدم تماسك يساعد في التخلص منها وإزالتها في إطار علاج التمثال سواء بالتنظيف الميكانيكي أو التنظيف الكيميائي.

من خلال هذه المكونات الموضحة في الجدول السابق يمكن التوصل للنتائج التالية:

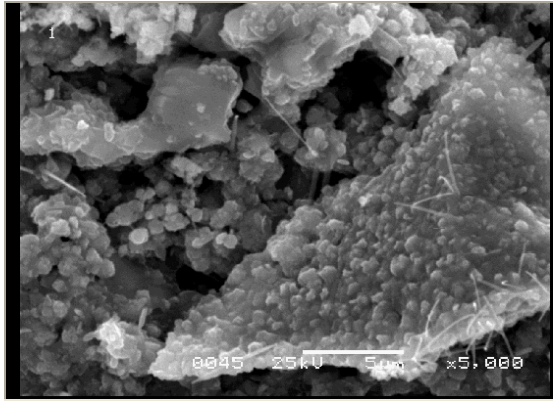
- التمثال مصنوع من سبيكة البرونز (Bronze Alloy) (وهي خليط معدني من فلزي النحاس والقصدير مع نسب طفيفة من فلزات أخرى). ويرجع عدم تحديد أي من مركبات القصدير في التحليل بجيود الأشعة السينية إلى أن مركبات القصدير مركبات غير ثابتة، وخاصة المركب الأكثر انتشاراً على أسطح القطع الأثرية المعدنية وهو الكاسيتريت (SnO_2). وهو من المركبات التي تترج من على أسطح الآثار البرونزية، وخاصة في التربة المميزة بسهولة حركة الماء والهواء فيها، وهو ما تم التأكد منه من التحليل بجيود الأشعة السينية.
- الفلز الرئيس هو النحاس (Copper) وتتراوح نسبته من 89.60% - 90.00%.
- معدن الخلط هو القصدير (Tin) وتتراوح نسبته بين 6.30 - 6.80 %، وهي نسبة أكبر من أن تكون في صورة شائبة، بل هو مضاف بقصد إلى فلز النحاس للحصول على سبيكة برونز ثنائية الفلزات.
- نسب ضئيلة من فلزات أخرى موجودة في الغالب في صورة شوائب معدنية مع النحاس والقصدير وهي: الكبريت (Sulfur)، والحديد (Iron)، والفسفور (Phosphor)، والزنك (Zinc).
- هذه النتائج تتفق مع ما تم الحصول عليه من نتائج متعلقة بالتحليل بجيود الأشعة السينية، حيث أن النحاس وهو المكون الأساسي للسبيكة والذي تم تحديده من خلال التحليل بالامتصاص الذري تشكل مركباته المركبات الغالبة في نواتج الصدأ بينما تغيب مركبات القصدير لأنها من المركبات القابلة للإزاحة.



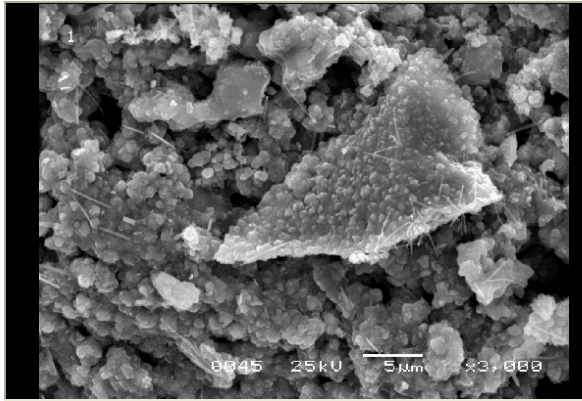
اللوحة رقم (10): صورة مجهرية تفصيلية توضح تفاوت حجم حبيبات الطبقة المتكلسة على سطح التمثال وعدم تجانسها واحتوائها على فراغات, أو مسامات, عند قوة تكبير $\times 1000$



اللوحة رقم (9): صورة بالمجهر الالكتروني الماسح لسطح التمثال الخارجي عند قوة تكبير $\times 500$



اللوحة رقم (12): تفصيل من الصورة السابقة يوضح تباين وتنوع في حجم الحبيبات واختلاط نواتج الصدأ ذات الحجم الصغير ببقايا التربة ذات الحبيبات الكبيرة



اللوحة رقم (11): صورة تفصيلية أكبر للمكونات الدقيقة للطبقة الخارجية توضح طبيعتها المسامية وعدم تجانسها

متجانسة، وأن مركبات الصدأ جميعها من المركبات القاعدية التي تتميز بالثبات، كما تتميز هذه المركبات بتعدد واختلاف ألوانها، كما أن وجود بقايا التربة الرملية؛ رمال وحصى مختلطة بنواتج ومركبات صدأ التمثال، أكسب هذه الطبقة، التي تغلف التمثال، التماسك والالتصاق الشديد بسطحه المعدني. وعليه فقد شملت إجراءات العلاج والترميم الخطوات التالية:

حيوياً للتخلص من الأضرار التي تسببها عوامل التلف المختلفة. وأهداف هذه العملية تكمن في إعادة المظهر الأصلي للتمثال المعدني، بقدر الإمكان،


3-3 إجراءات العلاج (Treatment and Procedures):

من خلال ما تم التوصل إليه من نتائج الفحص بالتصوير بالأشعة السينية، والمجهر الالكتروني الماسح، وكذلك من نتائج التحليل بجيود الأشعة السينية، والامتصاص الذري تبين للباحث سمك طبقة صدأ القطعة الأثرية المعدنية (التمثال) وتماسكها، باستثناء الأجزاء الخارجية منها، التي تبدو غير متماسكة وغير

3-3-1 عمليات التنظيف:

تعدّ عمليات التنظيف من أهم المراحل المتبعة في علاج وصيانة الآثار المعدنية، حيث تُعتبر أمراً

وحمايته من أي تلف مستقبلي، واستكشاف ما تغطيه تراكمات نواتج الصدأ أسفل منه من تفاصيل العلامات الأثرية (Jedrejska, 1977: 102). ويمكن تبسيط مفهوم عملية التنظيف على أنها طريقة لكسر الارتباط بين الانساجات والصدأ، وبين سطح الأثر؛ لتفصيل عنه وتزاول. على عدة عوامل منها (Moncrief and Weaver, 1983: 27):

1. مدى الالتصاق بين سطح الأثر المعدني ونواتج الصدأ المتكونة فوقه، وهو ما تم توضيحه في حالة هذا التمثال.
 2. طبيعة نواتج الصدأ وهل هي في صورة مفككة هشة أم متماسكة وشديد الالتصاق بسطح التمثال؟
- وبناءً على ذلك تنوعت طرق التنظيف (ميكانيكي - كيميائي) التي استخدمت  هذا التمثال وما تكون عليه من نواتج صدأ وما تراكم عليه من طبقات متكلسة، وسنذكر هذه الطبقات مقارناً كلاً من التنظيف الميكانيكي والكيميائي.

3-1-3-3 Mechanical (Cleaning):

اليديوي (الميكانيكي) إلى كسر الارتباط بين سطح التمثال المعدني وتراكمات نواتج الصدأ والعوالق المختلفة وإزالة هذه النواتج، بخلاف التنظيف الكيميائي الذي يركز على إذابة نواتج الصدأ (غنيم، 2008م: 129). وللتنظيف اليديوي بعض المزايا إذا ما استخدم بدقة، حيث إنه يمكن التحكم في عملية التنظيف، بعكس التنظيف بالمحاليل الكيميائية، التي يمكن أن تؤثر على سطح التمثال، حيث هنا لا تتم إضافة أي مادة سائلة قد تسبب التلف، مثل: الأحماض والقلويات والمذيبات التي

تحمل الإلتساختات إلى داخل مسام الأثر، أو الماء الذي يسبب انتفاخ المواد الماصة للرطوبة وزيادة عملية الصدأ. ولقد استخدمت الفرش لإزالة الأتربة والعوالق وحببيات التربة المفككة التي تغطي سطح التمثال ونواتج الصدأ الهشة القابلة للإزالة. ثم استخدمت الفرر والمشارط للمساعدة في تخلخل طبقات الصدأ المتكلسة وفك الالتصاق بينها وبين سطح التمثال.

3-1-3-2 Chemical (Cleaning):

يستخدم التنظيف الكيميائي فيما يعجز عنه التنظيف اليديوي، ويتم باستخدام محاليل كيميائية لها القدرة على إذابة وإزالة الطبقة الصلبة لنواتج الصدأ، وما قد يختلط بها من عوالق التربة والتكلسات الجيرية، وما قد يوجد معها من مواد غريبة على سطح هذا التمثال فتكشف عن السطح الأصلي وما عليه من نقوش وزخارف وتتركه نظيفاً (Weisser, 1992: 118). غير أن استخدام هذه المواد ينبغي أن يكون بدراية تامة بطبيعتها وتركيبها الكيميائي، وبطبيعة الأثر نفسه حيث إنها قد تتسبب في حدوث بعض الأضرار بالأثر، فقد ثبت أن الآثار المصنوعة من سبيكة البرونز، أو غيرها من سبائك النحاس، أن لها قابلية للتأثر بعملية الصدأ غالباً ما تكون طبقة الصدأ الناتجة سميكة وغير منتظمة وتؤثر على الشكل الخارجي للأثر، كما هو في التمثال، موضوع هذا البحث.

وبصدد الحديث عن صدأ النحاس وسبائك فمّن المفيد أن يُوضح أن دور الرطوبة ليس هو الدور الأساس في عملية الصدأ، فالدور الأساس هنا هو وجود مركبات الكلوريد، مثل: (أتاكاميت، والباراتاكاميت) (Atacamite, Paratacamite)، وهناك الكثير من المحاليل الكيميائية الحمضية والقلوية التي يمكن أن تستخدم في تنظيف الآثار المعدنية،

- إزالة كلوريد النحاسوز بواسطة المعالجة بمحلول من سيسيكربونات الصوديوم 5% (Sodium Sesquicarbonate $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) المضاف إليه ملح روشل ومادة الكربوكسي مثيل سليولوز (100سم³ سيسيكربونات الصوديوم 5% : 200سم³ ملح روشل : كمية مناسبة من الكربوكسي مثيل سليولوز لتحول المحلول إلى الشكل الهلامي حوالي 75جرام) ليصبح في قوام هلامي بحيث يغطي جزء من التمثال في المحلول السابق لمدة ثلاث ساعات ثم يترع ومعه مركبات الصدأ المذابة. وتكرر هذه العملية كلما لزم الأمر (القيسي، 1981: 47). وتوضح الأشكال رقم (13، أ، ب، ج- 14، أ، ب، ج) نتيجة عمليات التنظيف الكيميائي للتمثال موضوع البحث.



3-3-2 عمليات التقوية والعزل

(Consolidating and Coating):

بعد إجراء عملية التجفيف للتمثال، كان من اللازم تطبيق طلاء واق مناسب يمنع حدوث الصدأ مرة أخرى، أو يعطي بعض الوقاية من الظروف البيئية الحبيطة وأثناء الحمل أو اللمس. كما يمكن منع الصدأ

ويتوقف اختيارها على طبيعة الأثر المعدني، وعلى طبيعة نواتج الصدأ وحالتها معاً. وبناءً على ما سبق وبدراسة طبيعة كل من التمثال ونواتج الصدأ المتكونة عليه وحالة كل منهما، فقد شملت عمليات التنظيف الكيميائي له الخطوات التالية:

- الغسيل بالماء المقطر الجاري لفترة كافية لإزالة عوالق التربة والأملاح القابلة للذوبان في الماء.
- الغمر في محلول من ملح روشل (250جم تترتات الصوديوم والبوتاسيوم + 150جم هيدروكسيد صوديوم + لتر ماء)، إضافة إلى فوق أكسيد الهيدروجين (Hydrogen Peroxide) (100سم³ فوق أكسيد الهيدروجين لكل لتر من ملح روشل) (Plenderleith and Werner, 1971: 245).

وتقوم هذه الطريقة على تحويل مركبات النحاسوز بالأكسدة بواسطة محلول فوق أكسيد الهيدروجين إلى مركبات النحاسيك، التي تذوب في محلول ملح روشل القاعدي. ولقد تم وضع التمثال في حوض زجاجي به محلول التنظيف وُثِرَ حتى يتم التفاعل، حتى إذا ما أصبح لون المحلول أزرقاً غامقاً تم رفع التمثال وغسله بالماء المقطر مع الاستعانة بالفرش؛ لتفكيك الطبقات المتكلسة والمساعدة في إذابتها وإزالتها، ثم أعيد وضعة في محلول جديد وتكررت العملية حتى تم التخلص من طبقة الصدأ.

- الغسيل في حمامات متتالية من الماء المقطر الدافئ للتخلص من أية أيونات كيميائية متخلفة عن التنظيف الكيميائي، ثم حمامات تجفيف متتالية من الكحول، أو الإيثير، أو الأسيتون للتخلص من ذرات الماء المتخلفة عن حمامات الشطف السابقة.

الكهروكيميائي الذي يسببه الماء (كرونيين وروبسون، 1427هـ: 175).

كما أن استبعاد الأكسجين من الجو المحيط بالتمثال يمنع الأكسدة ويكبح تفاعلات امتصاص الأكسجين على وجه الخصوص.

وينبغي قبل تطبيق الغطاء الواقي أن يكون قد مرّ التمثال بمرحلة التجفيف السابقة في حمامات من الأسيتون، أو الأثير، أو الكحول، أو في فرن عند درجة حرارة 105م°، ثم يتم تغطيته بغطاء واق مناسب لمنع نشوء عملية التآكل، وذلك بما يكونه من حاجز، أو غطاء رقيق نسبياً بين مادة الأثر والبيئة المحيطة بحمي الأثر من التفاعل مع المؤثرات المتلفة في البيئة. وهناك الكثير من الطلاءات والأغطية المماثلة تحمي المعادن أكثر من أي طريقة أخرى لإحجام الصدأ أو التلف.

ولقد اتبع الباحث الخطوات التالية في سبيل تقوية التمثال وعزله:

- التأكد من نظافة السطح الخارجي للتمثال.
- تجفيف التمثال تجفيفاً تاماً من الرطوبة.
- تقوية السطح الخارجي والمناطق الضعيفة بمحلول 5% من البارالويد ب 44 المذاب في التولوين، (5% Paraloid B44 solution in toluene).

- ولعزل التمثال عن الايونات المتلفة في الوسط المحيط والحفاظ عليه من أي تلف مستقبلي، تم تغطيته بغطاء من الورنيش المكون من محلول من شمع الميكروكريستلين المذاب في الكحول بنسبة 20% من نوع كوزمالويد هـ 80

(Microcrystalline wax Cosmolloid 80H).

وهو من أنواع الشموع الجيدة التي تعطى غطاءً واقياً جيداً ذو درجة انكماش منخفضة تتراوح من الشمع 9-10% (Horie, 1987: 85).

وبعد وضع طبقة من هذا الطلاء الواقي تم تسخين التمثال عند درجة 65م° للتأكد من توغل الشمع إلى كافة المناطق الضعيفة والغائرة والتخلص من الزائد منه عن طريق مسح التمثال بقماش "الشاش" ليمتص الزائد من الشمع السائل. وبعد عملية الجفاف تم صقل التمثال بقطع من الصوف الناعم، ليصبح التمثال جاهز للعرض (Ghoneim, 2007: 62-71) (اللوحة رقم: 15).



اللوحة رقم (15): توضح مستويات الترميم من البداية حتى آخر مرحلة من مراحل الترميم

4- النتائج:

عادة ما تكون الآثار المعدنية المستخرجة من المواقع الأثرية في حالة شديدة من التآكل والتلف؛ نتيجة طول مدة بقائها مدفونة في التربة، ونتيجة تعرضها الطويل للايونات المتلفة في التربة من أملاح، ومياه، وغازات وغيرها من عوامل ومسببات التلف. وجميعها تؤدي إلى تغطيتها بطبقات من نواتج الصدأ المختلطة ببقايا التربة وعوالقها، والتي تجعل من هذه المركبات طبقات متماسكة ومتكلسة ليس من السهل إزالتها. وجميع ما سبق قد أدى بالتمثال موضوع البحث إلى ما وصل إليه من حالة، وهو الأمر الذي يتطلب تنظيفه وعلاجه وصيانتة وتخليصه مما يشوه شكله ويغطي تفاصيله ولكي تظهر قيمته الأثرية والتاريخية والتقنية. ولقد حرص الباحث في معالجة هذا التمثال على إتباع الطرق العلمية السليمة في مختلف مراحل المعالجة، بداية من مرحلة التسجيل والتوثيق، ومرحلة الفحص والتحليل، التي من خلالها أمكن الوقوف على طبيعة ونوعية تركيبه الدقيق وأنه

من سبيكة البرونز، ومدى ما أصابه من تلف وطبيعة هذا التلف، والعوامل التي أدت إليه، وتحديد مركبات الصدا المتكونة عليه وتكوينها وطبيعتها، وهو ما ساعد في اختيار أنسب المواد والطرق في علاجه وصيانتها، حيث تم تشخيص حالة الأثر بشكل دقيق وتم وضع خطة العلاج المناسبة التي شملت الإجراءات التي تكفل تنظيفه وتقويته وعزله عن الوسط المتلف ووقايته من التلف المستقبلي، وشملت هذه الإجراءات التنظيف الميكانيكي ثم الكيميائي وأخيراً تقويته وعزله. وفي النهاية أصبحت التمثال جاهزاً تماماً للعرض أو التخزين المتحفّي والاستفادة العلمية والتاريخية منه، هو الهدف الأساس من هذا البحث.

شكر وتقدير

يتقدم الباحث بالشكر الجزيل للهيئة العامة للسياحة والآثار ممثلة في سعادة الدكتور عوض بن علي السبالي الزهراني الذي أتاح للباحث فرصة معالجة هذا التمثال. كما يتقدم الباحث بالشكر الجزيل لمركز البحوث في كلية العلوم - جامعة الملك سعود الذي قام بفحص وتحليل عينات التمثال.

المراجع

- الأنصاري، عبد الرحمن الطيب؛ المريح، صالح بن محمد جابر، 1424هـ. - نجران (منطلق القوافل)، سلسلة قرى ظاهرة على طريق البخور. الرياض - دار القوافل للنشر والتوزيع.
- بن جريس، غيثان بن علي، 1425هـ. - نجران دراسة تاريخية حضارية (ق 1 - ق 4هـ / ق 7 - ق 10م) الجزء الأول، الطبعة الأولى، الرياض. الناشر مكتبات العبيكان.
- المزروع، حميد، 1421هـ. دراسة لمشغولات فنية من موقع الأخدود بنجران. أدوماتو. العدد الثالث. ص 41-46.

- زارينس، يوريس؛ مراد، عبد الجواد؛ اليعيش، خالد، 1401هـ. - التقرير المبدئي عن مسح المنطقة الجنوبية الغربية. أطلال، حولية الآثار العربية السعودية، العدد الخامس. ص 5-36.
- زارينس، يوريس؛ كباوي، عبد الرحمن؛ مراد، عبد الجواد؛ رشاد، سيد، 1403هـ. - تقرير مبدئي عن مسح وتنقيب نجران/ الأخدود. أطلال، حولية الآثار العربية السعودية، العدد السابع. ص 21-40.
- الزهراني، عوض بن علي السبالي؛ المشاري، سعد بن محمد؛ النفيسة، عبد العزيز؛ اليحيى، عبد العزيز؛ البسيوني، عبد العزيز، 1421هـ. - تقرير مبدئي عن حفرة الأخدود بمنطقة نجران الموسم الثاني. أطلال، حولية الآثار العربية السعودية، العدد السادس عشر. ص 13-35.
- الزهراني، عوض بن علي السبالي؛ المشاري، سعد؛ الحماد، عبد العزيز؛ العمري، عبد العزيز؛ الزهراني، خالد؛ اليحيى، عبد العزيز، 1423هـ. - تقرير مبدئي عن حفرة الأخدود بمنطقة نجران الموسم الثالث. أطلال، حولية الآثار العربية السعودية، العدد السابع عشر. ص 13-28.
- الزهراني، عوض بن علي السبالي؛ المشاري، سعد؛ الحماد، عبد العزيز؛ اليحيى، عبد العزيز؛ الحافي، خالد؛ الحمود، محمد؛ الدوسري، عايد، 1426هـ. - تقرير مبدئي عن حفرة الأخدود بمنطقة نجران الموسم الرابع. أطلال، حولية الآثار العربية السعودية، العدد الثامن عشر. ص 11-33.
- الزهراني، عوض بن علي السبالي؛ المشاري، سعد بن محمد؛ الحماد، عبد العزيز بن إبراهيم؛ الحافي، خالد بن عايش؛ الحمود، محمد بن سعود؛ باسمل، عبد الله بن سالم؛ النفيسي،

- of Saudi Arabia. Somogy Art Publishers, 2010.
- Duane, M. R., and Robert. R., X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, Oxford, New York University, 1989.
 - Fatma M., Helmi,. Abeer G., Study, Treatment and Restoration of Two Silver Crowns 300 – 600 AD, Egyptian Museum, Cairo., [IN]3rd International Conference on Science and Technology in Archaeology and Conservation., Jordan, 2004. pp. 311-317.
 - Fontana, M. G., Corrosion Engineering, McGraw-Hill Book Company, Third Edition, U.S.A., New York, 1986.
 - Gettens, R. J., Mineral alteration products of ancient metal objects, In *Recent advances in conservation*, London, Butterworths, 1963.
 - Ghoneim, M., Conservation of a Monument outdoor Bronze Sculpture: Linde's Statue in Torun, Poland. [IN] the 3rd international Conference and workshop on Conservation and Restoration " Restoration Science Fundamentals, Between Rooting and Rejection" Faculty of Fine Arts, Minia University, 2007 pp. 62-71.
 - Horie, C.V., Materials for Conservation, Butterworth, London, 1987, p.85
 - Jedrejewska, H., A Corroded Egyptian Bronze, Cleaning and Discoveries, [IN:] Studies in Conservation, Vol.22, 1977, p.102.
 - Lakhtin, Y., Engineering Physical Metallurgy, Mir publishers, Moscow, 1971.
 - Moncrief, A., and Weaver, G., Cleaning, Science for Conservators, Book 2, Crafts Council Conservation science Teaching Series, 1983.
 - Plenderleith J. H and Werner E. A., The Conservation of Antiquities and Works of Art Treatment Repair and Restoration., 2nd Edition, London, 1971.
 - Shrier, L. L. et al., Corrosion 1, 2, Butterworths Heinemann Metal Environment Reactions, Third Edition, Great Britian, 1994.
 - Stuart, Barbara. 2007, Analytical Techniques in Materials Conservation. John Wiley & Sons, Ltd. West Sussex, England.
 - هادي بن علي, 1427هـ. تقرير مبدئي عن حفرة الأخدود بمنطقة نجران الموسم الخامس. أطلال, حولية الآثار العربية السعودية, العدد التاسع عشر. ص 11-33.
 - الشريف, عبد الرحمن صادق, 1404هـ, جغرافية المملكة العربية السعودية – إقليم جنوب غرب المملكة, الجزء الثاني, الرياض.
 - العتيبي, محمد بن سلطان, 1427هـ. التنظيمات والمعارك الحربية في سبأ من خلال النصوص منذ القرن السادس قبل الميلاد وحتى القرن السادس الميلادي. الطبعة الأولى, الرياض وزارة التربية والتعليم, وكالة الآثار والمتاحف.
 - علي, جواد, 1980م. الفصل في تاريخ العرب قبل الإسلام. الطبعة الثالثة. الجزء الثاني. دار العلم للملايين. بيروت – لبنان.
 - غنيم, محمد أبو الفتوح, (2008م). دراسة علمية وتطبيقية في علاج وصيانة العملات الأثرية المعدنية. وزارة الثقافية – المجلس الأعلى للآثار. جمهورية مصر العربية.
 - القيسي, باهرة عبد الستار احمد, 1981م. معالجة وصيانة الآثار , دراسة ميدانية . المؤسسة العامة للآثار والتراث, الجمهورية العراقية, بغداد.
 - كرونين ج. أم؛ روبنسون و. س. , 1427 هـ. أساسيات ترميم الآثار, ترجمة عبد الناصر الزهراني, جامعة الملك سعود.
 - الوليعي, عبد الله بن ناصر, 1417هـ. جيولوجية جيومورفولوجية المملكة العربية السعودية (أشكال سطح الأرض), الطبعة الثانية, الرياض.
 - Agrawal, O. P. science in service of art , archaeology and conservation, ICCROM, ROME, 1985.
 - Al-Ghabban, et al., Roads of Arabia, Archaeology and History of the Kingdom

- Weisser, T. D., Metal Objects, The national Committee to some American's Cultural Collection, New York, 1992, p.11.