

Cleaning a Tin-Plated Brass Dish Using an Ultrasonic Scaler

By

AlQuds Mokhtar

Lecture of Restoration of Metal Antiquities - Restoration Department

Faculty of Fine Arts - Minia University (Egypt)

ahmadhusni_711@yahoo.com

Abstract:

This research deals with the use of an Ultrasonic Scaler to clean a tin-plated copper dish with floral decorations of flowers and leaves dating back to the late Ottoman era, which is in the collection of the Museum of the Faculty of Applied Arts at Helwan University under No. 254/8.

as well as examination using a scanning electron microscope SEM to study the microscopic grains of alloys and metals, crystal structure and internal corrosion of the dish, the corrosion layer, and the welding alloy, and analysis using EDX to identify the composition of the copper alloy and the welding alloy, and it was found that the dish was formed from a Brass alloy (copper and zinc) and the corrosion compounds elements, oxygen, carbon, and the presence of calcium, silicon, resulting from the Atmospheric corrosion and the presence of the tin element, which shows that the dish is coated with a layer of tin. Then, an Ultrasonic Scaler cleaning was used to clean the corrosion layers on a tin-plated brass dish inside the museum. The cleaning was performed using piezoelectric ultrasonic waves with controlled local mechanical head vibration with an energy range of about 9.37:7.25 watts, with the use of ethyl alcohol for cooling during cleaning to avoid the thermal effect and with monitoring using an optical microscope during the cleaning process, which showed good results in cleaning and accuracy and control in cleaning.

Keywords: Brass, Corrosion, Ultrasound, Tin plating.

تنظيف طبق من سبيكة البراس مطلي بالقصدير باستخدام جهاز التنظيف

بالموجات فوق الصوتية

القدس مختار

مدرس ترميم الآثار المعدنية - قسم الترميم - كلية الفنون الجميلة - جامعة المنيا (مصر)

ahmadhusni_711@yahoo.com

الملخص:

يتناول هذا البحث استخدام جهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية لتنظيف طبق من النحاس المطلي بالقصدير عليه زخارف نباتية من أزهار وأوراق، يرجع إلى أواخر العصر العثماني من مقتنيات متحف كلية الفنون التطبيقية بجامعة حلوان تحت رقم 8/254. تمت الدراسة بفحص بالميكروسكوب الضوئي المحمول بتكبيرات مختلفة لدراسة مورفولوجية سطح الطبق وشكل طبقة التآكل، وكذلك الفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM لدراسة شكل ومورفولوجية سطح الطبق وطبقة التآكل وسبيكة اللحام، وكذلك الفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM لدراسة شكل ومورفولوجية سطح الطبق وطبقة التآكل وسبيكة اللحام، والفحص باستخدام الميكروسكوب الميتالوجرافي أظهر أن الطبق قد تم تشكيله علي البارد بالطرق، والتحليل باستخدام حيود الأشعة السينية XRD لمعرفة مركبات التآكل الذي أظهر تواجد مركبات أكسيد النحاسوز وأكسيد النحاسيك وكلوريد النحاسيك القاعدي و كربونات النحاسيك القاعدية (الملايكيت والأزوريت) كمركبات تآكل وتواجد لكربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم وثاني أكسيد السيليكون مركبات ناتجة عن الوسط المحيط، والتحليل باستخدام وحدة تشتت الأشعة السينية EDX لمعرفة تركيب سبيكة النحاس وسبيكة اللحام، وتبين أن الطبق قد تم تشكيله من سبيكة البراس Brass (النحاس والزنك) وعناصر مركبات التآكل من الكلور والأكسجين والكربون وكذلك تواجد عنصر القصدير كطبقة طلاء.

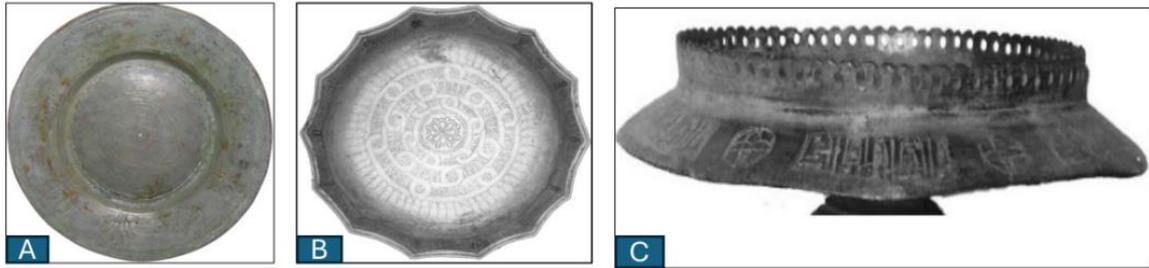
تم استخدام جهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية المحمول لتنظيف طبقات التآكل المتواجدة على طبق من سبيكة البراس المطلي بالقصدير داخل المتحف، وتمت عملية التنظيف باستخدام الموجات فوق الصوتية مع اهتزاز الرأس الميكانيكية الموضعية المتحكم بها بمدى طاقة يبلغ حوالي 7.25:9.37 وات مع استخدام الكحول الإيثيلي في التبريد أثناء عملية التنظيف لتجنب التأثير الحراري مع المراقبة باستخدام الميكروسكوب الضوئي، حيث أظهر نتائج جيدة مع دقة وقدرة تحكم عالية في التنظيف .

الكلمات الدالة:

سبيكة البراس؛ تآكل؛ الموجات فوق الصوتية؛ الطلاء بالقصدير .

المقدمة :

قام الصانع في العصور الإسلامية باستخدام المعادن لتشكيل العديد من الأدوات مثل الأباريق والمباخر وأواني المياه وأدوات المائدة مثل الملاعق والشوك والأطباق والصحون والمباخر والأواني والأكواب والفناجين، ومن أمثلة ذلك صحن نحاسي ذا زخارف نباتية وكتابية بمتحف الفن الإسلامي، و صحن نحاسي مزخرف بالحز بزخارف نباتية من العصر العثماني¹، طبق من البرونز المطلي بالقصدير ومركزه مزخرف بدقة بنجمة وأوراق متعرجة وأنماط زهور ثلاثية الفصوص زخارف كتابية بمتحف كابول الوطني، طبق دائري عميق من النحاس المطلي بالقصدير لاستخدامه في حفظ الماء والسوائل مزخرف بزهرة مركزية وكتابية من الخط الكوفي المتصل يتوسطه دوائر والعديد من الأطباق النحاسية ذات الزخارف النباتية والكتابية والهندسية ولها قوام متصل أو منفصلة بمتحف كابول الوطني²، كما يوضح (شكل ١) مما يدل على الاهتمام بأدوات المائدة وأنها لم تكن أدوات فقط، بل تحف فنية تمت زخرفتها بالعديد من الزخارف الكتابية والحيوانية والنباتية.³



(شكل ١) يوضح A طبق نحاسي دائري مزخرف بالحز ، after, YENIŞEHIRLIOĞLU, «Ottoman Period Sources for the Study of Food and Pottery (15th-18th Centuries)», B for the Study of Food and Pottery (15th-18th Centuries)», «طبق نحاسي مطلي بالقصدير ذا زخارف ازهار وأشربة كتابية ، C طبق نحاسي ذا قاعدة ثابتة ومزخرف بالحز والتفرغ بالأركت after, LAVIOLA, «Islamic Metal Work from Afghanistan (9th-13th Century) The Documentation of the IsMEO .Italian Archaeological Mission»

استخدام الفنان المسلم الزنك المعدني لإنتاج سبيكة البراس من خاماته كبريتيد الزنك وكربونات الزنك، وتقنيات استخلاص الزنك مثل صهر أكسيد الزنك مع النحاس بتحويل كبريتيد الزنك إلى أكسيد الزنك عن طريق تحميص الكبريتيد، مما يؤدي إلى عملية تسامي وأكسدة الزنك وخدمت هذه التقنية البراس بأن يجعله خالٍ من الشوائب للتخلص من الشوائب أثناء عملية التحميص، بجانب أن المحتوي الحديدي كان منخفض

¹ YENIŞEHIRLIOĞLU, F., «Ottoman Period Sources for the Study of Food and Pottery (15th-18th Centuries)», Published with the support of the French National Research Agency (under reference ANR-12-CULT-0008, 2020, 385-398.

² LAVIOLA, V., «Islamic Metal Work from Afghanistan (9th-13th Century) The Documentation of the IsMEO Italian Archaeological Mission», Università degli studi di Napoli L'Orientale Dipartimento Asia, Africa e Mediterraneo Series Maior XV, 2020.

³ ASHKENAZI, D., TAXEL, I., TAL, O., «Archeometallurgical Characterization of Late Roman- and Byzantine-period Samaritan Magical Objects and Jewelry Made of Copper Alloys» *Materials Characterization*, 102, 195–208, 2015.

جداً مما يجعله أكثر سهولة في الصب وأخف وزناً^٤، وتم اكتشاف البراس بالصدفة أواخر الدولة الوسطي حيث كان خام النحاس مع مخلوط (الكالامين) (كربونات الزنك) فأنتج البراس والمعروف أن الزنك لم يكن معروفاً للقديما، حيث لم تكن هناك مصادر للزنك في مصر القديمة ذات قيمة اقتصادية، فكان الخام يأتي من خارج مصر أو مختلط مع خامات الرصاص في صورة (كالامين) أو (مخلوط كبريتيد النحاس)

وأحيانا يُضاف القصدير والرصاص إلي هذه السبيكة لتحسين خواصه^٥، ثم تطورت طرق سبك سبيكة (البراس) من وضع النحاس مع خامات الزنك في بوتقة صهر إلي استخدام التيارات الهوائية في عصر الدولة الحديثة باستخدام منفاخ من الجلد يُحرّك بالأقدام لرفع درجة حرارة أفران الصهر، وقد وجد العديد من الآثار المصنوعة من (البراس) في المقابر النوبية التي يرجع تاريخها إلي عصور متأخرة من الدولة الحديثة^٦.

وتتراوح نسبة الزنك بين ١٠%:٤٠% حيث يعمل علي تحسين خواص سبيكة، وسبيكة البراس التي تحتوي علي 30% زنك تكون حساسة للتآكل الميكانيكي والتآكل النقرى وتكون مرنة وقابلة للسحب والضغط والثني، وسبيكة البراس التي تحتوي علي ١٠% زنك تكون أكثر مقاومة للضغط^٧، واختلفت نسبة الزنك في سبائك البراس من بلد لآخر، أما في مصر فتعددت سبائك البراس ويرجع ذلك إلي اختلاف نسب الزنك ومنها أحمر البراس (١٥% زنك) و البراس القليل (٢٠% زنك) وأصفر البراس (٣٥% زنك) و سبيكة البراس القديمة المعروفة بالبراس البحري (39.25% زنك) وسبيكة البراس التي تحتوي علي أقل من ٣% زنك تكون مناسبة للتشغيل علي البارد ولكن تحتاج إلي درجة حرارة تخمير منخفضة لتكون مقاومة للكسر والإجهادات النحاس^٨، وسبيكة البراس عالي الزنك (يُشار إليه غالباً بمعدن مونتز أو النحاس الأصفر) يحتوي عادةً علي ما بين 30% و 40% من الزنك، تتميز هذه السبائك بقوة أعلى، لكنها أكثر عرضة للكسر وقلة المرونة^٩، سبيكة البراس السبيكة المفضلة في تشكيل الأدوات والأواني في العصور الإسلامية؛ وخاصة العصر

⁴ SAUSSUS, L., GOEMAERE, E., LEDUC, T., «Practices, Recipes and Supply of a Late Medieval Brass Foundry: The Refractory Ceramics and the Metals of an Early 15th Century AD Metallurgical Workshop in Brussels» *J Archaeol Sci Rep*, 42, 2022, 103358.

⁵ WEEKS, L.R., « An Analysis of Late Pre-Islamic Copper-base Artefacts from Ed Dur U.A.E », *Arab Archaeol Epigr*, 15, 2004, 240–452.

⁶ DUNGWORT, D., «Roman Copper Alloys: Analysis of Artefacts from Northern Britain» *J Archaeol Sci* 24, 2004, 901–10.

⁷ ATAY, H.Y., et al « Investigations of Microstructure and Mechanical Properties of Brass Alloys Produced by Sand Casting Method at Different Casting Temperatures » *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 726, 2020, 1-8.

⁸ TAHA, M. A., et al., « Machinability Characteristics of Lead-free-silicon Brass Alloys as Correlated with Microstructure and Mechanical Properties » *Ain Shams Engineering Journal*, 3, 2012, 383-392.

⁹ ADEWUYI, R.A., SHUAIB-BABATA, Y.L., «Effect of Recycling the Microstructure and Mechanical Properties Brass RASS Alloys», *International Journal of Novel Research in Electrical and Mechanical Engineering* 3, N2.3, 2016, 1-6.

العثماني لعدة أسباب: منها خفة الوزن ومقاومة التآكل ولونه الجذاب، كما تتمتع سبيكة البراس بخصائص تشكيليه جيدة مناسبة لتصنيع المشغولات المعدنية كصناعة الأواني وأدوات الطعام والشراب.¹⁰

تُستخدم عملية التشكيل على البارد بالطرق لإكساب المشغولة المعدنية مزيداً من الصلابة وإعطائها الشكل المطلوب مع مراعاة عملية التلدين للسبيكة المعدنية (التسخين في درجات حرارة أقل من درجة حرارة انصهار السبيكة) من وقت لآخر لاستمرار التشكيل بالطرق.¹¹

وتم استخدام طريقة الصب (السباكة) في عملية تشكيل الأدوات وهي عملية صهر سبائك النحاس وصبها في قالب، حيث تأخذ المصبوبات شكل القالب، والسباكة من الطرق التشكيلية القديمة التي برع فيها الصناع المسلمون، أما المصبوبات المزخرفة فتتم باستخدام قوالب محفورة حفراً غائراً يصب فيها مصهور المعدن.¹²

لقد اعتمد الفنان المسلم في زخرفة الأدوات المعدنية بالزخارف النباتية حيث أصبحت سمة مميزة للفن الاسلامي واستمر استخدام زخارف التوريق النباتية في العصر العثماني حتى القرن (١٣هـ - ١٩م).¹³

تتعرض سبائك البراس للتآكل عند تعرضها للهواء الرطب مما يعرض الأواني لتكون طبقة خضراء وزرقاء سامة من مركبات تآكل النحاس؛ لذلك يتم طلاؤها بالقصدير تقليداً للون الفضة ولمنع تلوث الطعام والشراب بمركبات تآكل النحاس.¹⁴

تتعرض المقتنيات المعدنية للتلوث في الوسط الغازي أكثر من تعرضها لأية بيئة أخرى، والصدأ الجوي يحدث تآكل المشغولات النحاسية في الوسط الغازي (Atmospheric corrosion) هو أقدم أشكال الصدأ التي عرفها الإنسان، مما يؤدي إلي تكون طبقات تآكل مختلفة بسمك يتراوح من قشرة تآكل رقيقة إلى قشرة تآكل سميكة،¹⁵ فيحدث تآكل للمشغولات النحاسية في التربة عند التفاعل مع الأكسجين لتكوين طبقة الكوبريت (Cuprite (Cu₂O) ومع تواجد لثاني أكسيد الكربون CO₂ في وجود مزيد من الأكسجين يتحول إلى ثالث أكسيد الكربون، وفي وجود نسبة عالية من الرطوبة يتحول ثالث أكسيد الكربون

¹⁰ ORFANOU, V., BIRCH, T., LICHTENBERGER, A., Raja, R., «Copper-based Metalwork in Roman to Early Islamic Jearsh (Jordan) Insights into Production and Recycling through Alloy Composition and Lead Isotopes», *JArchaeol Sci Rep* 33, 2020, 102519.

¹¹ LA NIECE, S., «Islamic Copper-Based Metal Work from The Eastern Mediterranean Technical Investigation and Conservation Issues», *Studies in Conservation*, 2012, 36-37.

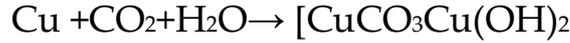
¹² MARTINI, C., CHIAVARI, C., OSPITALI, F., «Investigation on a Brass Armour: Authentic or Forgery?», *Mater Chem Phys*, 142, 2013, 229-237.

¹³ RENIMA, A., TILIOUINE, H., ESTES, R.J., «The Islamic Golden Age: A story of the Triumph of the Islamic Civilization In: *The State of Social Progress of Islamic Societies*, edited by Tiliouine, H., Estes, RJ, Springer, 2016, 25-52.

¹⁴ LA NIECE, S., et al., «Medieval Islamic Copper Alloys» *Scientific Research on Ancient Asian Metallurgy SRAAM*, 2012, 284-258.

¹⁵ OUDBASHI, O. A., «Methodological Approach to Estimate Soil Corrosivity for Archaeological Copper Alloy Artefacts», *Herit Sci*. 6, № 2, 2018, 1-15.

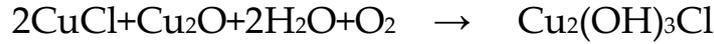
الى حمض الكربونيك الضعيف، والذي يتفاعل مباشرة مع مركب الكوبريت (Cu₂O) أو التينوريت CuO ليكون مركبات صدأ قاعدية من نوع الكربونات لينتكون الملاييت Cu₂(CO₃) (OH)₂ Malachite علي السطح، وتهاجم الكلوريدات سبائك النحاس حيث يتميز أيون الكلور Cl⁻ بسهولة النفاذ خلال طبقة الأكسيد، مما يؤدي إلي زيادة العيوب التركيبية فيها فتتكون بلورات خضراء لكلوريد النحاسوز النانتوكيت (Nantokite(CuCL) ويتوقف معدل تكوين هذه البلورات علي درجة تركيز أيونات الكلور في الوسط ومع زيادة الرطوبة تتكون طبقة من أكسيد النحاسيك تينوريت tenorite CuO وطور من كلوريد النحاسيك القاعدي (باراتاكمايت) Paratacamite Cu₂(OH)₃CL (ذا لون أخضر طباشيري وكلوريد نحاسيك قاعدي أخضر اللون (أتاكمايت) Atacamit Cu(OH)₃CL الذي يعرف بالتآكل النشط والتآكل بين الحبيبات.¹⁶



Copper carbonates (green malachite layer)



(Paratacamite)



(Atacamite).

كما يظل التنظيف الميكانيكي من الطرق المفضلة لتنظيف الآثار المعدنية؛ لما يتمتع به من تحكم في التنظيف وسهولة الاستخدام وهو الغرض من التنظيف.¹⁷

ويشمل التنظيف الميكانيكي استخدام أدوات يدوية مثل المشارط والفرر والإبر والمواد الكاشطة¹⁸، وتشمل طرق التنظيف الميكانيكية بعض التقنيات المختلفة؛ مثل طريقة السفع بالرمال والتنظيف بالموجات فوق الصوتية، واعتمد مبدأ التنظيف الميكانيكي على الاحتكاك الفيزيائي لإزالة منتجات الصدأ والتآكل على سطح المعادن.¹⁹

¹⁶ SHEHATA, N.A., MAROUF, M.A., et al., « An Experimental Study on Using Laser for Cleaning Metal Threads», *Journal of Materials Science and Chemical Engineering* 8, 2020, 46-63.

¹⁷ PALOMAR, T., BLANCA, B.R., et al., «A Comparative Study of Cleaning Methods for Tarnished Silver», *Journal of Cultural Heritage*, 17, 2016, 20-26.

¹⁸ MARTÍNEZ, A.S., ANDRÉS, M.S., et al., «Removing Calcium Carbonate Deposits form Archaeological Ceramics. Traditional Methods Under NDER Review», *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 19, No 3, 2019, 107-117.

¹⁹ CALDARARO, N., «Effects of Cleaning and Regard for Cleaning Goals: Eleven Year», *AIC Objects Specialty Group Post prints* 12, 2005, 126-153.

والموجات فوق الصوتية هي موجات كهرومغناطيسية قادرة علي الانتشار في الأوساط المادية (الماء والهواء والمواد الصلبة) تنتشر في شكل ذبذبات أو موجات كهرومغناطيسية في مدي تردد بين ٢ و ١٨ ميغا هرتز (MHz)، وتعرف الموجات فوق الصوتية: بالموجات التي تقع في نطاق المنطقة أعلى من قدرة السمع الإنساني وتنتقل هذه الموجات في صورة نبضات أو ذبذبات كهرومغناطيسية وتُعد الترددات التي تزيد عن أعلى من ١٦ كيلو سايكل الأكثر استخداماً لتنظيف المعادن الأثرية^{٢٠}، وقد استخدم جهاز الموجات فوق الصوتية كأداة ميكانيكية في تنظيف المعادن الأثرية، والجهاز له رأس هزاز ومحول "PZT" الذي يُستخدم كمصدر للموجات فوق الصوتية، حيث يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية، وقد تم استخدام جهاز الموجات فوق الصوتية نتائج جيدة في إزالة الترسبات وطبقات التآكل من سطح الخيوط النحاسية والفضية المطلية والمذهبة المتأكلة تم تطبيقه عند مستوى الطاقة المتوسط (٧,٢ - ٩,٣ وات).^{٢١} وتستخدم طريقة الموجات فوق الصوتية للتخلص من الأوساخ الملتصقة بسطح الآثار المعدنية؛ وذلك لتحقيق تأثير تنظيف أفضل وتحسين كفاءة إزالة الصدأ.^{٢٢}

واستخدام جهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية المحمول يعتبر حلاً مناسباً لأنه أداءه غير تقليدية وسهلة الانتقال والاستخدام في المتاحف.^{٢٣}

٢. الطرق والمواد:

١.٢. الأجهزة :

١.١.٢. جهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية :

يتكون جهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية من "دائرة كهربائية"، و"محول" يحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية في شكل اهتزازات، وتستخدم المحولات الكهرضغوية بحيث يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية^{٢٤}، ومن خلال استخدام التأثير الكهرضغوي فسوف ينتج عنه فرق جهد (يسمى التأثير الكهروضغوي الإيجابي)، وإذا تم تطبيق الجهد فسوف ينتج عنه ضغط ميكانيكي (يسمى

²⁰ DOBLER, CH., L., DUNLOP, L.A., «Cleaning Historical Tick Specimens Using an Ultrasonic Cleaner» *Journal of Natural Science Collections* 7, 2020, 92 - 97.

²¹ SADAT, F., «Preliminary Testing and Empirical Application of Laser and Ultrasonic Tarnish Removal from Metal Textile Threads (CU)», *BROMECA*, 33, 2012, 11.

²² ZHONG, X., et al, «Experimental Study on Ship Fouling Cleaning by Ultrasonic-enhanced Submerged Cavitation jet: A Preliminary Study» *Ocean Eng*, 2022, 258 . <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2022.03.004>

²³ MOHAMED, W., et al., «Corrosion off Metal Threads in-Situ: Case Study», *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology* 3, № 2, 2016, 661-666.

²⁴ URROZ-MONTOYA, D.O., ALVERTO-SUAZO, J.R., et al, «Piezoelectricity: A Literature Review for Power Generation Support», *MATEC Web of Conferences*, 2019, 1-6.

Cleaning a Tin Plated Brass Dish Using an Ultrasonic Scaler

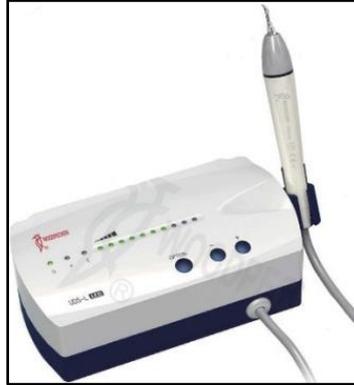
AlQuds Mokhtar

تأثير كهروضغطية المعكوس) وعندما يتم تطبيق إشارات كهربائية عالية التردد، ينتج عنه إشارات صوتية عالية التردد (اهتزاز ميكانيكي)، وهو إشارات الموجات فوق الصوتية.²⁵

كما تُستخدم المحولات الكهروضغطية في أجهزة التنظيف بالموجات فوق الصوتية لإزالة الترسبات، وهي أكثر كفاءة في عملية إزالة الترس، حيث يغير المحرك الكهروضغطي حجمه عند اتصاله بالطاقة الكهربائية مما يسبب اهتزاز الرأس ويولد طاقة صوتية ويزيل الترس، وتعمل أداة التنظيف الكهروضغطية عموماً في نطاق 24-36 كيلو هرتز بقوة ذروة تبلغ 25 وات.²⁶

تم استخدام جهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية المحمول الموضح في شكل رقم (2) في تنظيف الطبق الأثري داخل المتحف (موضوع الدراسة) من شركة Guilin Woodpecker Medical Instrument CO ,Ltd ماركة USD-L LED Ultrasonic Piezo Scaler

حيث تم استخدام جهاز تنظيف بالموجات فوق الصوتية في تنظيف الطبق الأثري بدون استخدام الماء وذلك لمنع زيادة التآكل، مع ضبط الجهاز عند 9.37:7.25 وات في نطاق الطاقة المتوسطة للجهاز (3-4) مع الضغط الكامل على آلة الضغط المرفقة واختيار (رأس الجهاز) طرف التنظيف المناسب، وغمر رأس الجهاز في الكحول الإيثيلي للتبريد أثناء التنظيف من وقت لآخر لتجنب التلف الحراري.²⁷



(شكل ٢) يوضح جهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية المستخدم

في تنظيف الطبق (الصحف) الأثري (موضوع الدراسة)، © تصوير الباحث

٢,٢. الطبق النحاس المطلي :

طبق من النحاس الأصفر دائري من مقتنيات متحف كلية الفنون التطبيقية تحت رقم 8/254 قُطره من الداخل 20cm وقطره من أعلي 48cm وارتفاعه 8cm وله ثلاثة قوائم طولها 3cm.

²⁵ TANDON, B., et al., "Piezoelectric Materials as Stimulatory Biomedical Materials and Scaffolds for Bone Repair" *Acta Biomater*, 73, 2018, 1-20 .

²⁶ BEHERA, A., «Piezoelectric Materials Advanced Materials», Springer Nature Switzerland, 2022, 43-76.

²⁷ GENOVESE, M., « Ultrasound Transducers», *Diagn. Med. Sonogr* 32, №, 2016, 48-53.

١,٢,٢. الوصف الأثري للأثر (موضوع الدراسة) :

طبق من النحاس الأصفر (سبيكة البراس) المطلي بالقصدير من أواخر العصر العثماني يُستخدم في تقديم الطعام أو الفاكهة كما يوضح (شكل ٢،٣) حيث حرص صناع المعادن علي زخرفة أدوات المائدة حتي الأجزاء غير الظاهرة^{٢٨}، والطبق عليه زخارف نباتية علي هيئة زهرات سداسية البتلات وأوراق وله ثلاث قوائم عليها زخارف توريق نباتية محورة، المعروفة بزخارف الهاتاي وهو أسلوب زخرفي اعتمد علي الزخارف النباتية من الأزهار والأوراق المحورة علي الطريقة الصينية وتطور في العصر العثماني وأصبح أهم الأساليب الزخرفية في زخرفة الأدوات^{٢٩}، حيث يتوسط الطبق زهرة اللوتس متراكبة البتلات وتسمي باللوتس الصينية وهي من أهم العناصر الزخرفية التي تم تنفيذها علي التحف المعدنية في العصر العثماني وخاصة خلال القرنين (١٢-١٣هـ / ١٨-١٩م) وقد رُسمت بشكل ينبض بالحركة والحياة، مع خروج خطوط منحنية متصلة باثنتي عشرة زهرة سداسية البتلات ويعلوها أزهار كأسية بداخلها أزهار سداسية البتلات وأوراق محورة^{٣٠}.

وتم تشكيل الطبق من سبيكة البراس (نحاس وزنك) التي كانت من السبائك كثيرة الاستخدام في العصر العثماني وأطلق عليها الذهب الأصفر، وتم تشكيل الطبق بتقنية التشكيل علي البارد بالطرق حيث تم تشكيله من شريحة من سبيكة البراس علي سنادين من الأخشاب أو الحديد مع الطرق بجاكوش صغير، ويستخدم الطرق لإكساب الطبق مزيد من الصلابة وإعطائه الشكل المطلوب واستخدم أسلوب الطرق كثيرا في تشكيل الأواني في العصر العثماني^{٣١}، كما تمت زخرفة الطبق بأسلوب (الروبوسيه) تقنية الدفع من الأمام والخلف لإحداث بروزات وانخفاضات في جسم المشغولة؛ لأن الزخارف تبرز عن طريق الدفع باستخدام جاكوش للطرق علي السبائك المعدنية المثبتة علي أرضية لينة (قطعة من القماش) والزخرفة بأقلام تسمى أقلام ريبوسية وهي عبارة عن قضبان من الصلب ذات أحجام وأشكال متنوعة لدفع الزخارف، ثم تصقل وتنعم، أو تتم الزخرفة للمعادن اللينة مثل الذهب والفضة عن طريق التجليس (التقعيد) علي نموذج مشكل من مادة صلبة تُوضع عليه الشريحة المعدنية والطرق بالمطارق اليدوية أو مطارق الكاوتشوك، ويتميز هذا الأسلوب بظهور الزخارف من الوجهين الداخلي والخارجي في وقت واحد، وتم

²⁸ TALI, Ş., «Metal Cultural Treasure of the Ottoman: Talisman Seals», *Safeguarding the World Culture Heritage – Advances and New Perspectives*, 2024, 1–22.

²⁹ KOTZAMANI, D., Kantarelou, V., Karatasios, L., Zacharia, M., «19th Century Ornamented Metal Trays from Greece and Turkey: Metallurgy and Provenance» *Science, Technology of Archaeological Research*, 2018.

³⁰ BOUGARIT, D., THOMAS, N., «Late Medieval Copper Alloying Practices: A View from a Parisian Workshop of the 14th Century AD» *J Archaeol Sci* 39, 2012, 3052-3070.

³¹ YOLTAR-YILDIRIM, A., "Ottoman Decorative Art", *Republic of Turkey Ministry of Culture and Tourism General Directorate of Libraries and Publications*, 3227, *Handbook Series*, 2009.

استخدام هذا الأسلوب في العصور الإسلامية وخاصة في العصر العثماني منذ أواخر القرن (١٢هـ-١٨م)^{٣٢} أو تم زخرفته بأسلوب الطبع أو الكبس وتعني وضع الصفائح على قوالب خشبية محفور عليها الزخارف حفرًا بارزًا أو غائرًا أو بين سطحين مشكلين (وجه وظهر) باستعمال قوالب (اسطمبات) ويضغط عليها باليد في حالة الصفائح الذهبية أو الفضية أو يُدق عليها بمطرقة صغيرة في حالة البراس أو البرونز حيث يأخذ المعدن المضغوط أو المكبوس أشكال الزخارف على القالب الخشبي ثم يجري عمليات التشغيل وتكون في درجة الحرارة العادية بشرط يكون المعدن لدن (مخمر)، وإذا سطح مستوي حتى لا تؤثر على التفاصيل واستُخدمت لأغراض متنوعة مثل: صنع العملات المعدنية والميداليات وصناعة القطع الزخرفية كالأطباق والمجوهرات والأدوات المنزلية^{٣٣}، ويُزين الطبق زخارف مفرغة تمت بأسلوب التفرغ بآلة قطع تشبه المنشار ذات حافة حادة قاطعة ثم تتعم المناطق المفرغة بالمبرد وكانت من الطرق المفضلة في تشكيل الأواني في العصر العثماني، ويظهر على الطبق أيضا زخارف بأسلوب الحز وهو أسلوب يُستخدم لعمل زخارف غير عميقة على سطح الطبق بواسطة أقلام معدنية ذات طرف مدبب أو مبارد صغيرة تختلف. ٣٤

أما قوائم الطبق فعليها زخارف بارزة تم تشكيلها بالصب حيث تم صهر سبيكة البراس ووضعها في قالب محفور حفرًا غائرًا عليه زخارف توريق نباتية محورة^{٣٥}، وبعد التبريد يتم لحام القوائم الثلاثة في جسم الطبق بسبيكة لحام القصدير اللين، واللحام هو وصل سبيكة معدنية بأخري باستخدام لهب بوري على أن تكون درجة الحرارة كافية لانصهار سبيكة اللحام ولا تتسبب في صهر المعدن الأصلي، ويتم ذلك عن طريق وضع الأطراف المراد الوصل فيما بينها وكانت تُستخدم مساعدات صهر مثل (ملح النطرون أو رمل السليكا) قديما واستخدم البوركس في العصور الإسلامية، مما يساعد على انصهار سبيكة اللحام وإزالة الأكاسيد التي تعيق الانصهار وتمنع تكون أكاسيد المعادن أثناء اللحام، لحام القصدير (اللحام اللين) يتكون من القصدير والرصاص بنسب مختلفة واستخدم لوصل سبائك النحاس (البراس والبرونز) ويستخدم لحام القصدير في لحام المشغولات التي لا تتعرض للضغوط أو الأحمال الكبيرة، وتتكون سبيكة اللحام من

³² DANISMAN, G., «Ottoman Mining and Metal Working in the Balkans Its Impact on Fire-Arms Technology of Southeast Europe 15th -17th Centuries) », *Foundation for Science Technology and Civilization*, 2007, 1-11.

³³ PORTER, V., ROSSER-OWEN, M., "Metalwork and Material Culture in the Islamic World", *I.B.Tauris & Co. Ltd*, 2012.

³⁴ BOTTAINI, C., MIRÃO, J., CANDEIAS, A., CATARINO, H., «Elemental Characterisation of a Collection of Metallic Oil Lamps from South-Western al-Andalus Using EDXRF and Monte Carlo Simulation», *Eur Phys J Plus*, 2019, 1-9.

³⁵ CVIKEL, D., MENTOVICH, E.,D., et al., « Casting Techniques of Cannonballs from The Akko1Shipwreck: Archa», *J. Min. Metall. Sect. B-Metall* 49, No. B, 2013, 107 – 119.

قصدير ورمصاص بنسب مختلفة حسب طبيعة اللحام المطلوب يتم وصلها ويشترط أن يكون انصهار سبيكة اللحام أقل من درجة انصهار المعادن المطلوب.³⁶

وتم طلاء الطبق بطبقة من القصدير حيث يتم طلاء أواني الطعام والشراب قديماً بطبقة رقيقة من القصدير الذي يتميز بسطح لامع؛ وذلك لمنع صدأ النحاس (الأكسدة) والهدف منه حماية النحاس من التآكل والصدأ الذي يجعل الطعام غير مستحب الموضوع في (الأطباق)³⁷، وتمت تقنية الطلاء بالقصدير حيث تم تنظيف الطبق جيداً ثم تسخينه على النار حتى درجة ٢٣٢°م وهي درجة انصهار القصدير ثم، يتم وضع قطعة من القصدير النقي فتتصهر مع الاحتكاك باستخدام قطعة من القطن عليها مسحوق النشادر فينتشر القصدير على سطح الطبق الأثري بعد التبريد.³⁸

٢,٢,٢. التوثيق الفوتوغرافي :



(شكل ٣) يوضح الطبق الأثري ويتضح عليه طبقة تآكل وبقايا تربة الدفن التي لم يتم التخلص منها من قبل

© تصوير الباحث



(شكل ٤) يوضح التفاصيل الزخرفية (زخارف التوريق) للطبق الأثري، © تصوير الباحث

³⁶ HASSANEIN, R., «Heritage Creative Industries Metalworks "Shefteshy Style", Turkish Carpets and Sirma In View of the Collections of Muhammad Ali Palace Museum», *International Journal of Multidisciplinary Studies in Architecture and Cultural Heritage* 6, №. 2, 2023, 1– 50.

³⁷ SALEH, M.S., ABU EL HASSAN, R., «Preliminary Study of the Armored Door at Al-Zaher Barqūq's Mosque, Condition Assessment, and Previous Conservation Campaigns», *Egypt J Chem*, 65, issue 7, 2022, 669 – 685.

³⁸ OUDBASHI, O., COLBURN, H.P., CARÒ, F., «Sasanian and Early Islamic Copper-base Metalworking at Qasr-e Abu Nasr, South-central Iran» *Archaeological and Anthropological Sciences*, 17, issue28, 2025, 1-20.

٣.٢.٢ فحص وتحليل الطبق الأثري :

١.٣.٢.٢ الفحص بالميكروسكوب الضوئي المحمول :

تم إجراء فحص سطح الطبق باستخدام الميكروسكوب الضوئي المحمول بتكبيرات مختلفة؛ وذلك للتعرف على الشكل المورفولوجي لطبقة التآكل.^{٣٩}

٢.٣.٢.٢ الفحص باستخدام الميكروسكوب الميتالوجرافي (ميكروسكوب الفلزات):

فحص عينة من الطبق باستخدام الميكروسكوب الميتالوجرافي للتعرف على حجم وشكل البلورات والحبيبات البلورية علي العمليات التشكيلية للطبق، وتم إعداد العينة للفحص بوضعها في قالب من الأرالديت الشفاف بحيث يكون سطح العينة في أعلى القالب، ثم صقل السطح بورق الصنفرة أو عجلات الصقل للكشف عن سطح السبيكة ثم شطف المعدن بالماء وتجفيفه بالكحول وتعريض العينة 5% كلوريد حديدك كمحلول تآكل تفاضلي لعينات النحاس وسبائكه، بهذا تكون العينة جاهزة للفحص.^{٤٠}

٣.٣.٢.٢ الفحص والتحليل بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت الأشعة السينية SEM+EDX:

الفحص والتحليل لعينة من الطبق وعينة من اللحم بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المجهز بوحدة تشتيت الأشعة السينية

(Model Quanta JSM-IT200 + ED-X Unit with accelerating SEM+ED-X ماركة Voltage 30 K.V. magnification14x up to 100000 & resolution for Gun.in) بتكبير (1000x-2000x)

وذلك لفحص وتحليل السطح واللبن المعدني والعناصر الكيميائية في السبيكة المعدنية وطبقة التآكل وللتعرف علي عناصر سبيكة اللحم.^{٤١}

٤.٣.٢.٢ التحليل بحيود الأشعة السينية XRD:

تحليل نواتج التآكل بجهاز التحليل بحيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction تم استخدام تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) لتحديد مركبات طبقة التآكل حيث تم كشط سطح الطبق المعدني وطبقة التآكل لتحليل حيود الأشعة السينية.^{٤٢}

³⁹ AL-ZAHRANI, A., GHONIEM, M., « A Characterization of Coins from The Najran Hoard, Saudi Arabia, Prior To Conservation», *International Journal of Conservation Science* 3, No. 3, 2012, 143-152.

⁴⁰ SCOTT, D.A., "Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals", *The J. Paul Getty Trust*, 1991, 81,97.

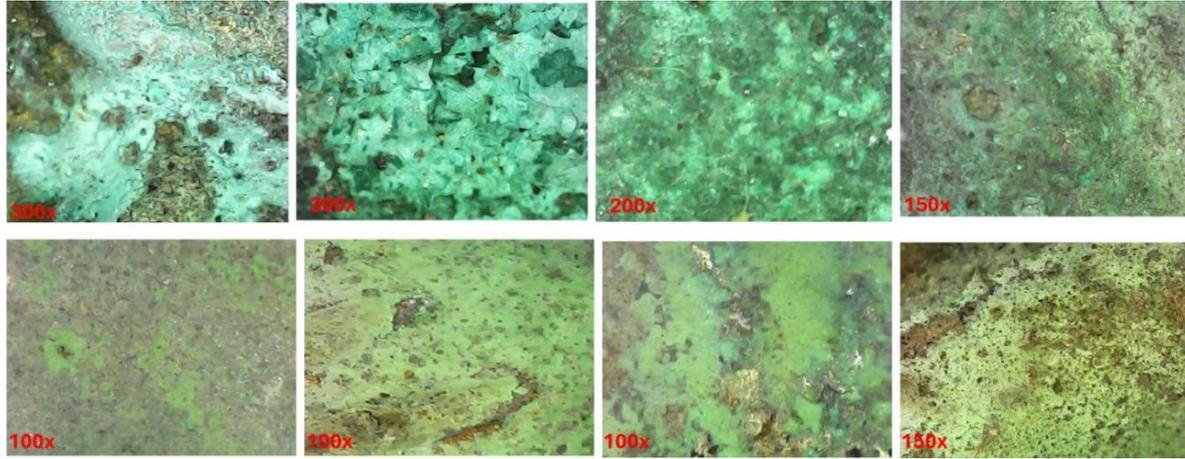
⁴¹ PALOMAR, T., et al., «Evaluation of Cleaning Treatments for Tarnished Silver: The Conservator's Perspective», *International Journal of Conservation Science* 9, No 1, 2018, 81-90.

⁴² AL SAAD, Z., et al., «Conservation of an Actively Corroding Rare Copper-Based Object from the Museum of Jordanian Heritage, Jordan», *Shedet* 8, 2021, 186–199.

٣. مناقشة النتائج :

١,٣. الفحص بالميكروسكوب الضوئي :

تبين من الفحص بالميكروسكوب الضوئي تواجد طبقة تتراوح ما بين الرقيقة والسميكة من منتجات التآكل على سطح الطبق تتراوح لون قشرة التآكل بين الرمادي الأخضر الفاتح والأخضر حيث طمست تفاصيل الطبق كما يوضح (شكل ٥).



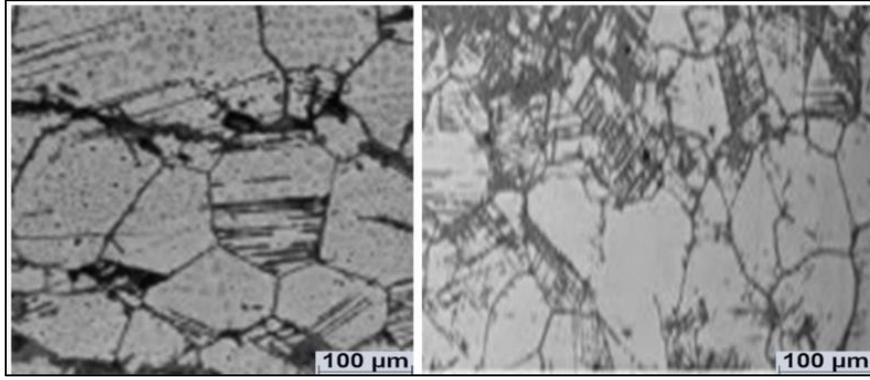
(شكل ٥) يوضح شكل طبقة التآكل ذات اللون الرمادي والأخضر الفاتح والأخضر باستخدام الميكروسكوب الضوئي، © تصوير الباحث

٢,٣. الفحص بالميكروسكوب الميتالوجرافي للطبق الأثري :

اتضح من فحص عينة الطبق الأثري بالميكروسكوب الميتالوجرافي كما ب(شكل ٦) شكل الحبيبات المعدنية وكبر وتفلطح حجم الحبيبات مع وجود التآكل بالإجهاد وهو عملية تشقق بطئ للمعدن في وسط تآكل تحت تأثيرات داخلية وخارجية، وتكون في اتجاه واحد ويستمر بين حبيبات المعدن ويُعرف بالتآكل بين الحبيبي وتكون في المناطق الأقل مقاومة التي تنتج عند تعرض المعدن لقوة ضغط وشد فينتج عنه تحرك الذرات عن مكانها الأصلي بطول خطوط البلورة، التآكل الحبيبي وتفلطح الحبيبات يُشير إلي استخدام تقنية التشكيل علي البارد بالطرق في تشكيل الطبق حيث ينتج عن عملية الطرق تفلطح حجم الحبيبات واستطالتها في اتجاه الطرق أو حدوث تشوه مرن أو لدن لحبيبات المعدن أو حدوث شروخ دقيقة وتشوه في التركيب البلوري للمعدن وقبل الوصول إلي نقطة الهشاشة يلجأ الحرفي إلي عملية التلدين أو التخمير (Annealing)، وذلك بتسخين المعدن إلى درجة حرارة عالية ولكن دون درجة الانصهار بغرض إزالة إجهادات التشكيل وإجراء مزيد من العمل وبهذا تستعيد الشبكة المعدنية مرونتها مما يسهل قابليتها للتشكيل مرة أخرى، والتآكل البين حبيبي يكون علي حدود الحبيبة أو البلورة ويحدث ذلك عندما تكون منطقة حدود الحبيبات أكثر نشاطاً فتصبح حدود الحبيبات ذات جهد أكثر إيجابية عن وسط الحبيبة، ويظهر شقوق صغيرة علي سطح الحبيبة المعدنية ثم ينمو بسرعة للداخل ويسبب تلفاً في التركيب البنائي الداخلي،

وحدوث إجهادات، مما يؤدي لحدوث شرخ صغير ينمو ويزداد عند التعرض إلى تسخين وتبريد غير متجانس كما يحدث هذا التآكل في منطقة اللحام.^{٤٣}

إن عملية التشكيل على البارد بالطرق ينتج عنها إجهادات داخلية مخزونة في الفلز ويتم التخلص منها بعملية التخمير عند درجات حرارة منخفضة نسبياً لإعطاء سبيكة البراس طاقة حرارية بحيث تتمكن ذراته من التحرك قليلاً إلى مواضع أكثر استقراراً في الشبكة البلورية،^{٤٤} وهذه الحركة البسيطة للذرات تقلل من الإجهادات الداخلية ويصاحب عملية التخمير تغير في شكل وحجم البلورات للسبيكة فتبدأ في إعادة ترتيب الذرات، وإذا ارتفعت درجة حرارة المعدن فوق درجة إعادة التبلور فإن الحبيبات سوف تستمر بالنمو على حساب الحبيبات الصغيرة حتى تُصبح كبيرة الحجم.^{٤٥}



(شكل ٦) يوضح تفلطح الحبيبات والتآكل البين حبيبي لعينة الطبق الأثري، © تصوير الباحث

٣,٣. الفحص والتحليل بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح :

تبين من فحص عينة من الطبق الأثري باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح تواجد شروخ دقيقة وتآكل نقري Pitting Corrosion (حفر صغيرة) تنتج عن تواجد أيون الكلور في بيئة التآكل يتجمع بها أيون الكلوريد وتكون هذه الثقوب، حيث يحدث ذوبان لمكونات السبيكة فيهاجم الطبقة الخاملة كيميائياً حيث يؤدي إلى ذوبان النحاس في السبيكة، وكبر الحبيبات وتشوه السطح التي تنتج عن تقنية الصناعة بالتشكيل على البارد والمعالجة الحرارية أثناء التشكيل بتلدين، والتآكل الاجهادي المتمثل في تواجد شروخ وشقوق في السبيكة والتآكل بين الحبيبي وتواجد للتآكل الاختياري Selective Corrosion أو فقد الزنك فيحدث ذوبان لعناصر سبيكة البراس (النحاس والزنك) حيث يحدث فقد لأحد مكونات السبيكة وهو الزنك الأكثر سالبية ويترك سطح السبيكة أكثر مسامية ويقلل من مقاومة السبيكة للتآكل، وتحليل بوحدة تشتت

⁴³ KAMAYA, M., ITAKURA, M., «Simulation for Intergranular Stress Corrosion Cracking based on a three-Dimensional Polycrystalline Model», *Engineering Fracture Mechanics* 76, №.3, 2009, 386-401.

⁴⁴ ERES, M.A.F., «Archaeometric Study on Polymetallic Remains from the Archaeological Dig in Lixus (Larache, Morocco) by Scanning Electron Microscopy and Metallographic Techniques», *Microchim Acta*, 162, 2008, 341-349.

⁴⁵ OUDBASHI, O., et al., «Long-term Corrosion of Copper Alloys in the Soil: New Aspects of Corrosion Morphology in Archaeological Vessels from South-western Iran», *Heritage Science* 12, №.73, 2024, 1-20.

الأشعة السينية أنه مشكل من سبيكة البراس (نحاس وزنك) مع تواجد لعناصر قشرة التآكل من الكلور والأكسجين والكبريت وتواجد لعناصر الكالسيوم والنيتروجين السيليكون الناتجة عن بقايا مكونات التربة، وتواجد لعنصر القصدير المستخدم في طلاء الطبق كما يوضح (شكل ٨،٧).^{٤٦}

وتواجد للحديد كشوائب ناتجة عن استخدام خام السفاليرايت (كبريتيد الزنك) مع النحاس في إنتاج سبيكة البراس حيث نُسبت المستويات المنخفضة من الحديد في المشغولات النحاسية الإسلامية إلى المعالجة المختلفة لخامات الزنك التي تحتوي علي شوائب من مركبات الحديد^{٤٧}، كما تؤثر نسبة الزنك ١٠-٢٠% من الوزن مسؤول عن اللون الأصفر الذهبي في سبائك النحاس، وتعد سبيكة النحاس الأصفر التي تحتوي على ١٦% من الزنك نحاسًا متوسط الزنك، أي ليس عالي الزنك حيث تتراوح سبائك النحاس الأصفر عادةً بين ٥% و ٤٠% من الزنك،^{٤٨} وتتغير خصائص النحاس الأصفر بشكل كبير تبعًا لكمية الزنك الموجودة، كما يحتوي النحاس الأصفر منخفض الزنك عادةً على حوالي ٥% إلى ١٥% من الزنك، وتميل هذه السبائك إلى أن تكون أكثر ليونة وأسهل في العمل، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات التي تتطلب المزيد من التشكي، يتميز النحاس الأصفر متوسط الزنك (١٦%) عادةً بتوازن جيد بين القوة والليونة، لا يزال من السهل تشكيله على البارد، على الرغم من أنه أقوى وأكثر صلابة من النحاس الأصفر منخفض الزنك.^{٤٩}

كما اتضح من الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح ظهور العديد من طبقات التآكل على سطح الطبق الأثري وهي طبقة التآكل الداخلية السميكة وهي تحتوي على عناصر التآكل من الأكسجين والكلور والكربون التي تكون مركبات التآكل من أكسيد النحاس كوبريت Cu_2O (Cuprite) وكلوريد النحاسيك (نانتوكيت) $CuCl$ Nantucket وكلوريدات النحاسيك القاعدية الأتاكاميت $Cu(OH)_3Cl$ Atacamite الباراتاكاميت $Cu_2(OH)_3Cl$ paratacamite التي تحتوي على كميات عالية من النحاس والكلوريد والطبقة الرقيقة تحت سطح الطبق يتراوح لونها بين الأحمر والبنّي وتتضمن أكسيد النحاس (الكوبريت)، كما تحتوي على كميات كبيرة من الكلور، و توجد كمية من القصدير (المستخدم في طلاء الطبق)، كما اتضح من التحليل أن الطبقة الخضراء الخارجية يتواجد بها كلوريد النحاسيك (نانتوكيت

⁴⁶ GENER, M., RUIZ, I.M., "Compositional XRF Analyses of Islamic Metallic Objects from the Museo Arqueológico Nacional (MAN) in Madrid" In: *The Pisa Griffin and the Mari-Cha Lion. Art and Technology in the Medieval Mediterranean*, edited by Contadini A., 139-144, Pisa: Pacini Editore, 2018.

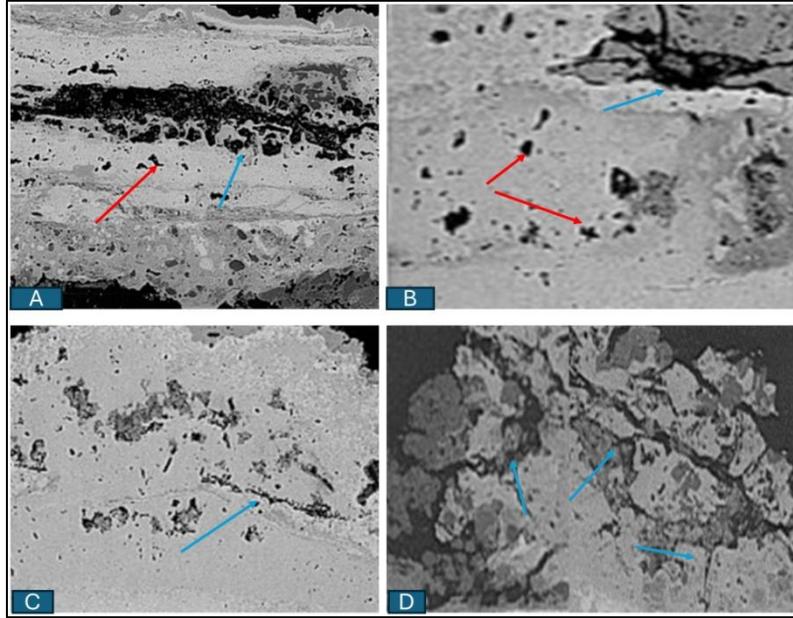
⁴⁷ BOTTAINI, C., et al., «Islamic Copper-based Metal Artefacts from the Garb Al-Andalus. A Multidisciplinary Approach on the Alcáçova of Märtulah (Mértola, South of Portugal)», *Heritage Science*, 10, №. 97, 2022, 1-18.

⁴⁸ ZUHAL, A. K., «Effect of Annealing on Mechanical Properties of Brass Alloy Type C38500», *Diyala Journal of Engineering Science* 8, №. 1, 2015, 16-26.

⁴⁹ MANTI, P., WATKINSON D., «Corrosion Phenomena and Patina on Archaeological Low-tin Wrought Bronzes: New Data», *J Cult Herit* 55, 2022, 158-70.

Cu (OH)₃CL Atacamite وكلوريدات النحاسيك القاعية الأتكاميت Nantucket CuCl(الباراتاكاميت Cu₂(OH)₃CL^{٥٠}.

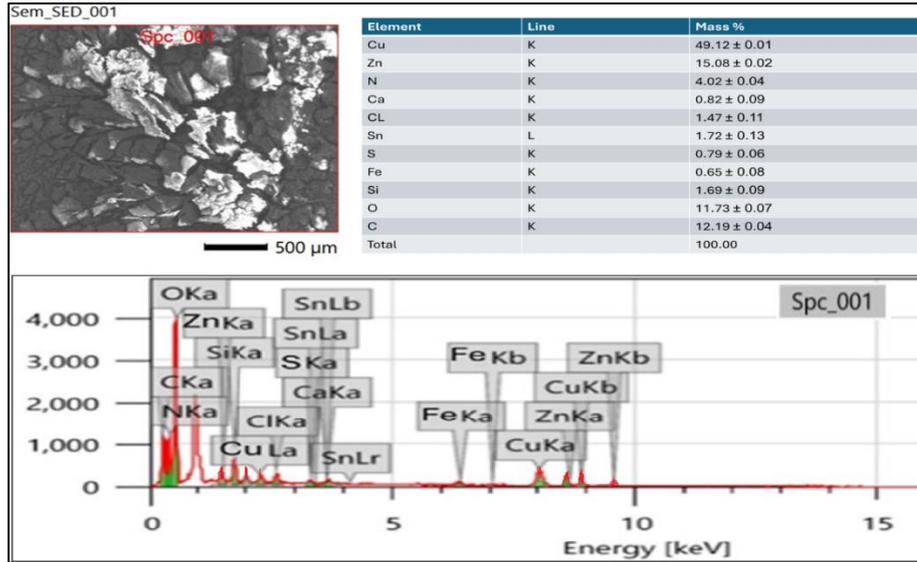
واتضح من التحليل لعينة من سبيكة لحام قوائم الطبق بجسم الطبق تواجد عناصر النحاس والزنك والقصدير والرصاص التي تمثل سبيكة لحام القصدير (اللحام اللين) وهي إحدى طرق الوصل للقطع المعدنية الذي يستخدم قديماً فتم لحام النحاس (الأحمر أو الأصفر) بعضها ببعض بواسطة سبيكة اللحام التي تنصهر عند درجة حرارة أقل من تلك التي تنصهر عندها المعدن المراد لحامه والسبيكة المنصهرة تتغلغل بين طرفي القطعتين وتوصلهما معاً بعد تجمدها، ويستخدم لحام القصدير في لحام المشغولات التي لا تتعرض للضغوط أو الأحمال الكبيرة، وتتكون سبيكة اللحام من قصدير ورصاص بنسب مختلفة حسب طبيعة اللحام المطلوب واستخدام البوراكس كمساعد للصح^{٥١}، وهناك تواجد لعناصر طبقة التآكل من الكلور والأكسجين كما ب(شكل ٧).



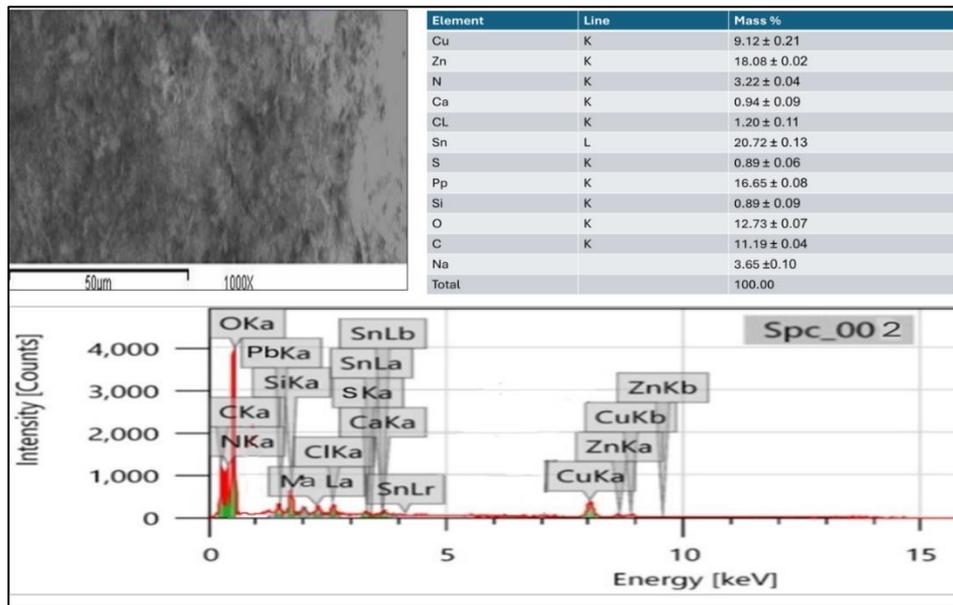
(شكل ٧) يوضح الأسهم الحمراء التآكل النقري والأسهم الزرقاء توضح الشروخ الدقيقة، والتشوية السطح نتيجة تقنيات الصناعة والمعالجات الحرارية للطبق الأثري بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح، © عمل الباحث

⁵⁰ OUDBASHI, O., « Multianalytical Study of Corrosion Layers in Some Archaeological Copper Alloy Artefacts», *Surf. Interface Anal* 47, 2015, 1133–1147.

⁵¹ CARRIZO, P. ,«Antique Metal Welding and Repairation» *In Reverse Engineering of Ancient Metals*, 179-19, 2021.



(شكل ٨) يوضح التحليل بـ SEM لعينة من الطبق الأثري حيث أظهر تواجد لعناصر سبيكة البراس (نحاس و زنك) وتواجد لعناصر طبقة التآكل من الأكسجين والكربون والكلور، © عمل الباحث



(شكل ٩) يوضح التحليل بـ SEM لسبيكة اللحام حيث أظهر عناصر سبيكة اللحام اللين بالقصدير والرصاص،

© عمل الباحث

٤,٣. التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية :

أظهر تحليل عينة من الطبق الأثري بواسطة XRD أن قشرة التآكل تتكون من أكسيد النحاس كوبريت (Cu_2O) وكلوريد النحاسيك (نانتوكيت) $(CuCl)$ Nantucket وكلوريدات النحاسيك القاعية الأتاكاميت $(Cu(OH)_3CL)$ Atacamite، الباراتاكاميت $(paratacamite)$ $(Cu_2(OH)_3CL)$ وأكاسيد النحاسيك (الكوبريت) كربونات النحاسيك القاعدية (الملاكيت) وثاني أكسيد السيليكون وكبريتات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم كما يوضح الشكل رقم (٨).و تتكون مركبات التآكل

بشكل أساسي من كربونات النحاس الملاكيت $[Cu_2CO_3(OH)_2]$ Malachite باللون الأخضر، وأكسيد النحاسيك تينوريت (CuO) Tenorite، والباراتاكاميت $[Cu_2(OH)_3Cl]$ paratacamite، وأكسيد النحاسوز (Cu₂O) الكوبريت Cuprite، والأتاكاميت $[Cu(OH)_3Cl]$ atacamite وتواجد لثاني أكسيد السيليكون (الكوارتز) silicon dioxide SiO₂، وتواجد لكربونات الكالسيوم (الكالسيت) calcium carbonate CaCO₃ وكبريتات الكالسيوم (الجبس) Calcium sulfate CaSO₄ كأملاح ناتجة عن التلف في الوسط الغازي وعن استخدام الطبق في الحياة اليومية، وتواجد أيونات الكلور والكبريت S, Cl⁻ المتلفة في الهواء المحيط الملوث بالطبق في جو المتحف⁵².

يحدث تآكل للنحاس وسبائكته في الوسط الغازي حيث توجد الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون ونسبة رطوبة عالية فيحدث أكسدة للنحاس من أكسيد النحاسوز كوبريت (Cu₂O) Cuprite ومع زيادة تركيز الأكسجين وتواجد لثاني أكسيد الكربون يحدث تكون كربونات النحاس القاعدية الملاكيت Malachite $[Cu_2CO_3(OH)_2]$ في تواجد نسبة عالية من الرطوبة المتكون من التكثيف السطحي والمشحون بثنائي أكسيد الكربون. حيث يتكون الملاكيت عن طريق تفاعل أيونات النحاس مع أيونات الكربونات، المترسب على سبائك النحاس، أو بتفاعل أكسيد النحاس (تينوريت) أو أكسيد النحاس (كوبريت) مع ثاني أكسيد الكربون والماء، ويتشكل كربونات النحاس الملاكيت $[Cu_2CO_3(OH)_2]$ Malachite فوق طبقة الكوبريت (Cu₂O) Cuprite بسبب التفاعل المباشر لأيونات الكربونات/ البيكربونات وطبقة أكسيد النحاس في وجود بيئة عالية الرطوبة⁵³.

وعند تواجد أيون الكلوريد يحدث زيادة وتسريع للتفاعلات الكهروكيميائية مما يؤدي إلي تكون كلوريد النحاسيك (نانتوكيت) Nantucket CuCl وكلوريدات النحاسيك القاعدية الأتاكاميت $Cu(OH)_3Cl$ Atacamite، الباراتاكاميت $Cu_2(OH)_3Cl$ paratacamite في وجود الرطوبة والأكسجين والذي يمثل التآكل النشط الذي يحدث في وجود أيونات الأكسجين أو الكلور ويستمر التفاعل حتى تحول المشغولات النحاسية إلي منتجات تآكل النحاس⁵⁴.

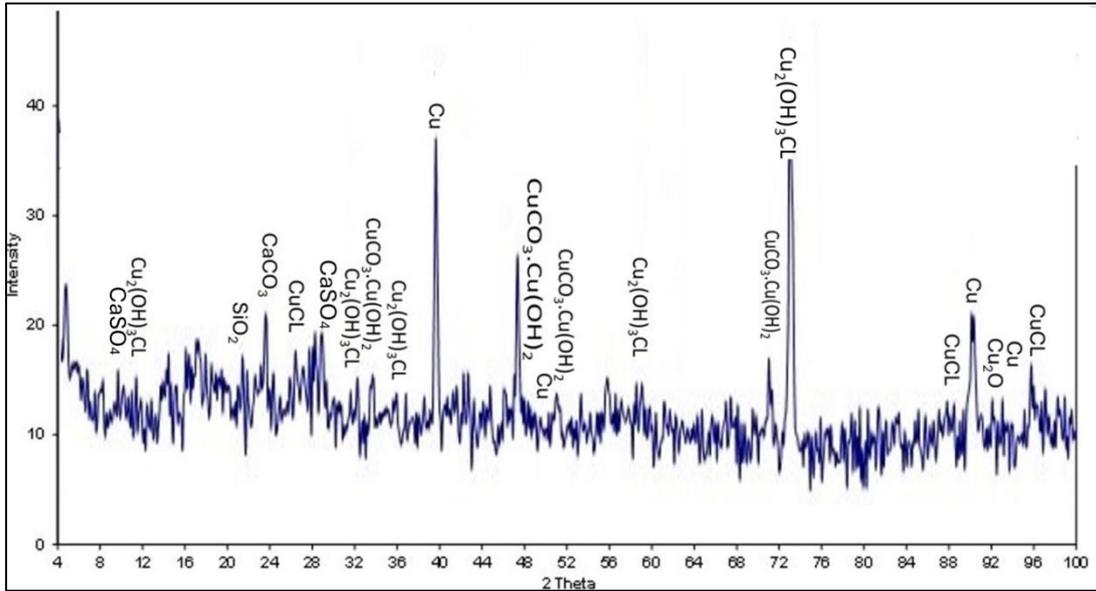
⁵² KEHEYAN, Y., LANTERNA, G., «Micro-Stratigraphical Investigation on Corrosion Layers in Ancient Bronze Artefacts of Urartian Period by Scanning Electron Microscopy, Energy-Dispersive Spectrometry, and Optical Microscopy» *Heritage*, 4, 2021, 2526–254.

⁵³ EL-GOHARY, M., et al., «Characterization of Excavated Silver Alloy (Billon) Coins from Amheida, Dakhla Oasis, Egypt», *Preprints.org*, 2012, 1-12.

⁵⁴ HUISMAN, H., et al., «Change Lost: Corrosion of Roman Copper Alloy Coins in Changing and Variable Burial Environments», *Journal of Archaeological Science: Reports*, 47.

doi, <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.1037991-21,2023>

⁵⁵ ABU-BAKER, A.N., «A Technical Examination of the Corrosion and Micro Structural Features of Copper Alloy Artifacts from the Byzantine Period at Khirbet Yajuz, Jordan», *Metallurgy Microstructure Anal*, 12, No.2, 2023, 276–88.



(شكل ١٠) يوضح تحليل بحيود الاشعة السينية لنواتج التآكل الطبقة الاثري وتواجد لمركبات التآكل من للكوبريت والنانوتوكيت والباراتاكاميت و كبريتات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم وثاني أكسيد السيليكون، © عمل الباحث

٥,٣.تنظيف الطبقة بجهاز الموجات فوق الصوتية :

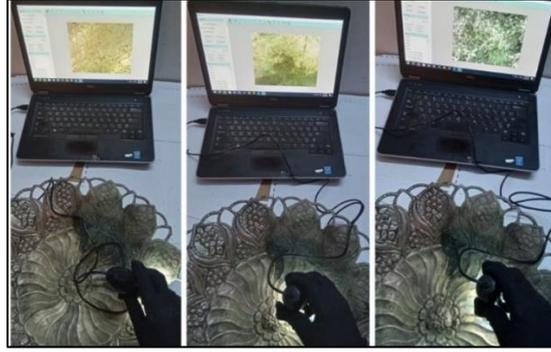
ساعد التأثير الاهتزازي لطرف جهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية المحمول في تقليل طبقات التآكل قدر الإمكان وترافقت عملية التنظيف بالموجات فوق الصوتية مع القدرة على التحكم والمرونة، وتعتمد عملية التنظيف علي حركة الاهتزاز بين طرفي الجهاز والسطح المعدني، مما يؤدي إلي تفكك طبقة التآكل، وينتج عن عملية التنظيف ارتفاع في حرارة سطح الطبقة وتتلاشى بمجرد توقف عملية التنظيف، فيمكن تقليلها من خلال إعطاء فترات راحة قصيرة أثناء العمل ضرورية للسماح بخفض الحرارة المتولدة عن أطراف الجهاز لإكمال عملية التنظيف ولتبريد رأس الجهاز بغمره في الكحول الإيثيلي، والتنظيف علي القوة المتوسطة مناسب لتقليل طبقة التآكل تدريجياً وإبقاء السطح سليماً، ويساعد الفحص المجهرى أثناء التنظيف في المتحف في مراقبة عملية التنظيف وبالتالي تحكم كبير في عملية التنظيف.



(شكل ١١) يوضح استخدام جاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية في تنظيف الطبقة الاثري، © تصوير الباحث

Cleaning a Tin Plated Brass Dish Using an Ultrasonic Scaler

AlQuds Mokhtar

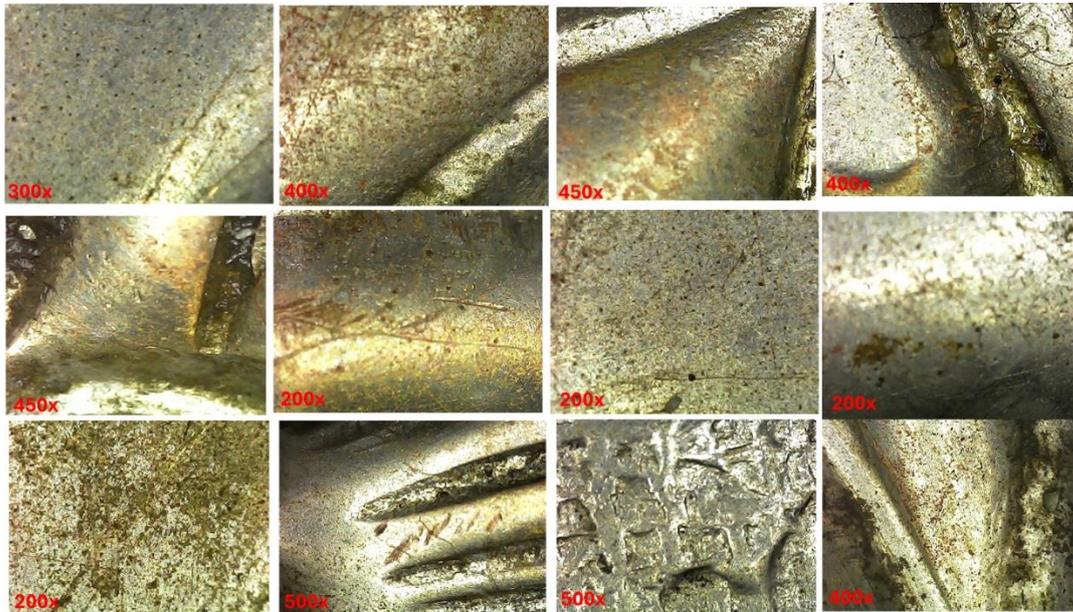


(شكل ١٢) يوضح فحص ومتابعة التنظيف بجهاز الموجات فوق الصوتية للطبق بالميكروسكوب الضوئي داخل المتحف،

© تصوير الباحث



(شكل ١٣) مراحل تنظيف الطبق الاثري بجهاز تنظيف الموجات فوق الصوتية، © تصوير الباحث



(شكل ١٤) يوضح فحص بالميكروسكوب الضوئي لسطح الطبق بعد التنظيف بجهاز الموجات فوق الصوتية،

© تصوير الباحث

الخاتمة والنتائج :

يعد التنظيف الميكانيكي هو الأكثر تفضيلاً في تنظيف المشغولات المعدنية لما يتمتع به من إمكانية التحكم به ويعتمد على مهارة المرمم، والتنظيف بجهاز التنظيف بالموجات فوق صوتية من تقنيات التنظيف الميكانيكي التي توفر حلاً مناسباً لتنظيف المشغولات المعدنية المزخرفة المتآكلة في المتاحف، حيث يتميز بسهولة التشغيل والتحكم بالطاقة .

تمت الدراسة باستخدام جهاز التنظيف بالموجات فوق الصوتية لطبق أثري من سبيكة البراس مطلي بالقصدير وعليه زخارف نباتية قوامها الأزهار والأوراق يرجع إلي نهاية العصر العثماني ومحفوظ بمتحف كلية الفنون التطبيقية بجامعة حلوان تحت رقم ٢٥٤ / ٨، وتم تشكيل جسم الطبق بالطرق وعليه زخارف بالروبوسيه أو الكبس والحز والقطع والتفريغ، أما قوائم الطبق فقد شكلت بالصب ولحامها باللحام اللين بالقصدير .

تمت عملية تنظيف الطبق الأثري بجهاز تنظيف الموجات فوق الصوتية حيث تم ضبط الجهاز عند ٩,٣٧:٧,٢٥ والضغط علي الطاقة المتوسطة (٣-٤) مع الضغط علي دواسة الجهاز واختيار الطرف المناسب للتنظيف وتبريد طرف الجهاز بغمره في الكحول الايثيلي لتجنب التأثير الحراري، وتعتمد عملية التنظيف علي اهتزاز طرف الجهاز واحتكاكه بسطح الطبق الأثري، مما يؤدي إلي تفكك طبقة التآكل مع مراقبة عملية التنظيف بالفحص بالميكروسكوب الضوئي المحمول مما يوفر مزيداً من التحكم في التنظيف وأظهر تنظيف جيد للسطح وظهور التفاصيل الزخرفية للطبق

References:

- ABU-BAKER, A.N., «A Technical Examination of the Corrosion and Micro Structural Features of Copper Alloy Artifacts from the Byzantine Period at Khirbet Yajuz, Jordan», *Metallogr Microstruct Anal*, 12, №.2, 2023, 276–88.
- AL SAAD, Z., et al., «Conservation of an Actively Corroding Rare Copper-Based Object from the Museum of Jordanian Heritage, Jordan», *Shedet*, 8, 2021, 186–199.
- AL-ZAHRANI, A., GHONIEM, M., «A Characterization of Coins from The Najran Hoard, Saudi Arabia, Prior To Conservation», *International Journal of Conservation Science*, 3, №.3, 2012, 143-152.
- ASHKENAZI, D., TAXEL, I., TAL, O., «Archeometallurgical Characterization of Late Roman- and Byzantine-period Samaritan Magical Objects and Jewelry Made of Copper Alloys», *Materials Characterization*, 102, 2015, 195–208.
- ASHKENAZI, D., TAXEL, I., TAL, O., «Archeometallurgical Characterization of Late Roman- and Byzantine-period Samaritan Magical Objects and Jewelry Made of Copper Alloys», *Materials Characterization*, 102, 2015, 195–208.
- BEHERA, A., "Piezoelectric Materials Advanced Materials", *Springer Nature Switzerland*, 2022, 43-76.
- BOTTAINI, C., et al., «Islamic Copper-based Metal Artefacts from the Garb Al Andalus. A Multidisciplinary Approach on the Alcáçova of Märtulah (Mértola, South of Portugal)», *Heritage Science*, 10, № -97, 2022, 1-18.
- BOTTAINI, C., MIRÃO, J., CANDEIAS, A., CATARINO, H., «Elemental Characterisation of a Collection of Metallic Oil Lamps from South-Western al-Andalus using EDXRF and Monte Carlo Simulation», *Eur Phys J Plus*, 2019, 1-9.
- BOUGARIT, D., THOMAS, N., «Late Medieval Copper Alloying Practices: A View from a Parisian Workshop of the 14th Century AD», *J Archaeol Sci*, 39, 2012, 3052-3070.
- CALDARARO, N., «Effects of Cleaning and Regard for Cleaning Goals: Eleven Year», *AIC Objects Specialty Group Postprints*, 12, 2005, 126-153.
- CARRIZO, P., "Antique Metal Welding and Reparation" In: *Reverse Engineering of Ancient Metals*, 2021, 179-195.
- CVIKEL, D., et al., «Casting Techniques of Cannonballs from The Akko1Shipwreck: Archa», *J. Min. Metall. Sect. B-Metall*, 49 issue 1, 2013, 107 – 119.
- DANISMAN, G., «Ottoman Mining and Metal Working in the Balkans Its Impact on Fire-Arms Technology of Southeast Europe 15th-17th Centuries)» *Foundation for Science Technology and Civilization*, 2007, 1-11.

- DOBLER, CH.L., DUNLOP, L.A., «Cleaning Historical Tick Specimens Using an Ultrasonic Cleaner», *Journal of Natural Science Collections*, 7, 2020, 92 - 97.
- Dungwort, D., «Roman Copper Alloys: Analysis of Artefacts from Northern Britain», *J Archaeol Sci*, 24, 2004, 901–10.
- ERES, M.A.F., «Archaeometric Study on Polymetallic Remains from the Archaeological Dig in Lixus (Larache, Morocco) by Scanning Electron Microscopy and Metallographic Techniques», *Microchim Acta*, 162, 2008, 341–349.
- EL-GOHARY, et al., «Characterization of Excavated Silver Alloy (Billon) Coins from Amheida, Dakhla Oasis, Egypt», *Preprints.org*, 2012, 1-12.
- GENER, M., RUIZ, I.M., "Compositional XRF Analyses of Islamic Metallic Objects from the Museo Arqueológico Nacional (MAN) in Madrid", In: *The Pisa Griffin and the Mari-Cha Lion. Art and Technology in the Medieval Mediterranean*, edited by Contadini A., 139–144, Pisa: Pacini Editore, 2018.
- GENOVESE, M., «Ultrasound Transducers», *J. Diagn. Med. Sonogr*, 32, №.1, 2016, 48-53.
- HASSANEIN, R., «Heritage Creative Industries Metalworks "Shefteshy Style", Turkish Carpets and Sirma In view of the Collections of Muhammad Ali Palace Museum», *International Journal of Multidisciplinary Studies in Architecture and Cultural Heritage*, 6, №. 2, 2023, 1– 50.
- HUISMAN, H., et al., «Change Lost: Corrosion of Roman Copper Alloy Coins in Changing and Variable Burial Environments», *Journal of Archaeological Science: Reports*, 47, 2023, 1-21.
doi, <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.1037991-21>.
- JIMENEZ, I.K., et al., "Gilded Silver Threads; Corrosion and Cleaning", *Forum of the ICON Textile Group, The Victoria and Albert Museum*, London, 27, 2011.
- KAMAYA, M., ITAKURA, M., «Simulation for Intergranular Stress Corrosion Cracking Based on a Three-dimensional Polycrystalline Model», *Engineering Fracture Mechanics*, 76, №. 3, 2009, 386-401.
- KEHEYAN, Y., et al., «Micro-Stratigraphical Investigation on Corrosion Layers in Ancient Bronze Artefacts of Urartian Period by Scanning Electron Microscopy, Energy-Dispersive Spectrometry, and Optical Microscopy», *Heritage*, 4, 2021, 2526–254.
- KOTZAMANI, D., KANTARELOU, V., KARATASIOS, L., ZACHARIA, M., «19th Century Ornamented Metal Trays from Greece and Turkey: Metallurgy and Provenance», *Science, Technology of Archaeological Research*, 2018.
- LA NIECE. S., «Islamic Copper-Based Metal Work from the Eastern Mediterranean Technical Investigation and Conservation Issues», *Studies in Conservation*, 2010, 36-37.
- LA NIECE, S., et al., "Medieval Islamic Copper Alloys", *Scientific Research on Ancient Asian Metallurgy SRAAM*, 2012, 284-258.

Cleaning a Tin Plated Brass Dish Using an Ultrasonic Scaler

AlQuds Mokhtar

- LAVIOLA, V., «Islamic Metal Work from Afghanistan (9th-13th Century) The Documentation of the IsMEO Italian Archaeological Mission», *Università degli studi di Napoli L'Orientale Dipartimento Asia, Africa e Mediterraneo Series Maior XV*, 2020.
- MANTI, P., et al., «Corrosion Phenomena and Patina on Archaeological Low-tin Wrought Bronzes: New Data», *J Cult Herit*, 55, 2022,158–70.
- MARTÍNEZ, A.S., ANDRÉS, M.S., et al, «Removing Calcium Carbonate Deposits from Archaeological Ceramics. Traditional Methods Under NDER Review», *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 19, №. 3, 2019, 107-117.
- MARTINI, C., CHIAVARI, C., OSPITALI, F., «Investigation on a Brass Armour: Authentic or Forgery?», *Mater Chem Phys*, 142, 2013, 229–237.
- MECKING, O., «The Colours of Archaeological Copper Alloys in Binary and Ternary Copper Alloys with Varying Amounts of Pb, Sn and Zn», *Journal of Archaeological Science* 121, 2020, 105-199.
- MOHAMED, W., et al, «Corrosion of Metal Threads in-Situ: Case Study», *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 3, №. 2, 2016, 661-666.
- ORFANO, V., BIRCH, T., LICHTENBERGER, A., RAJA, R., «Copper-based Metalwork in Roman to Early Islamic Jearsh (Jordan) Insights into Production and Recycling through Alloy Composition and Lead Isotopes», *J Archaeol Sci Rep* 33, 2020, 102519.
- OUDBASHI, O., «Multianalytical Study of Corrosion Layers in Some Archaeological Copper Alloy Artefacts», *Surf. Interface Anal*, 47, 2015, 1133–1147.
- OUDBASHI O.A., «Methodological Approach to Estimate Soil Corrosivity for Archaeological Copper Alloy Artefacts», *Herit Sci*. 6, №. 2, 2018, 1-15.
- OUDBASHI, O., et al., «Long-term Corrosion of Copper Alloys in the Soil: New Aspects of Corrosion Morphology in Archaeological Vessels from South-Western Iran», *Heritage Science*, 12, №. 73, 2024, 1-20.
- OUDBASHI, O., COLBURN, H.P., CARÒ, F., «Sasanian and Early Islamic Copper-base Metalworking at Qasr-e Abu Nasr, South-central Iran», *Archaeological and Anthropological Sciences*, 17, issue28, 2025, 1-20.
- PAPADOPOULOU, O., et al., «Soil-induced Corrosion of Ancient Roman Brass-a Case Study», *Mater Corros*, VOL 67, 2016, 160–9.
- PALOMAR, T., BLANCA, B.R., et al., «A Comparative Study of Cleaning Methods for Tarnished Silver», *Journal of Cultural Heritage*, 17, 2016, 20–26.

- PALOMAR, T., et al., «Evaluation of Cleaning Treatments for Tarnished Silver: The Conservator’s Perspective», *International Journal of Conservation Science* 9, №.1, 2018, 81-90.
- PORTER, V., ROSSER-OWEN, M., "Metalwork Material Culture Islamic World Art", *I.B.Tauris Co. Ltd*, 2012, 255-277.
- RENIMA, A., TILIOUINE, H., ESTES, R.J., "The Islamic Golden Age: A Story of the Triumph of the Islamic Civilization In: *The State of Social Progress of Islamic Societies*, edited by Tiliouine H., Estes R.J., *Springer*, 2016, 5–52.
- SADAT, F., «Preliminary Testing and Empirical Application of Laser and Ultrasonic Tarnish Removal from Metal Textile Threads (CU)» *BROMEC* 33, №.11, 2012.
- SALEH, M.S., ABU EL HASSAN, R., «Preliminary Study of the Armored Door at Al-Zaher Barqūq's Mosque, Condition Assessment, and Previous Conservation Campaigns», *Egypt J Chem*, 65, issue 7, 2022, 669 – 685.
- SAUSSUS, L., GOEMAERE, E., LEDUC, T., «Practices, Recipes and Supply of a Late Medieval Brass Foundry: The Refractory Ceramics and the Metals of an Early 15th Century AD Metallurgical Workshop in Brussels», *J Archaeol Sci Rep* 42, 2022.
- SCOTT, D.A., "Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals", *The J. Paul Getty Trust*, 1991, 81, 97.
- SHEHATA, et al., «An Experimental Study on Using Laser for Cleaning Metal Threads», *Journal of Materials Science and Chemical Engineering* 8, 2020, 46-63.
- SIEBERA, L., et al., « XV Portuguese Conference on Fracture, PCF 2016, 10-12 February 2016, Paço de Arcos, Portugal Thermo-mechanical Modeling of a Hig», *Procedia Structural Integrity*, 5, 2017, 1011–1018.
- TANDON, B., et al., « Piezoelectric Materials as Stimulatory Biomedical Materials and Scaffolds for Bone Repair», *Acta Biomater*, 73, 2018, 1–20.
- TALI, Ş., "Metal Cultural Treasure of the Ottoman: Talisman Seals", *Safeguarding the World Culture Heritage – Advances and New Perspectives*, 2024, 1–22.
- URROZ-MONTOYA, D.O., ALVERTO-SUAZO, J.R., et al., "Piezoelectricity: A Literature Review for Power Generation Support", *MATEC Web of Conferences*, 2019, 1-6.
- WANG, Z., et al., «Research Progress on Ancient Bronze Corrosion in Different Environments and Using Different Conservation Techniques: A Review», *MRS Adv*, 2, 2017, 2033–2041.
- WEEKS, L.R., «An Analysis of Late Pre-Islamic Copper-base Artefacts from Ed Dur U.A.E», *Arab Archaeol Epigr*, 15, 2004, 240–452.
- YENİŞEHİRLİOĞLU, F., «*Ottoman Period Sources for the Study of Food and Pottery (15th-18th Centuries)*», Published with the support of the French

Cleaning a Tin Plated Brass Dish Using an Ultrasonic Scaler

AlQuds Mokhtar

National Research Agency (under reference ANR-12-CULT-0008, 385-398, 2020.

- YOLTAR-YILDIRIM, A., "Ottoman Decorative Art", Republic of Turkey Ministry of Culture and Tourism, General Directorate of Libraries and Publications, 3227, Handbook Series, 2009.
- ZHONG, X., et al., «Experimental Study on Ship Fouling Cleaning by Ultrasonic-Enhanced Submerged Cavitation Jet: A Preliminary Study», *Ocean Eng*, 258, 2022, doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2022.03.004>.