https://majs.journals.ekb.eg
2024; Dec(14):29:41.
Doi: 8.24394 /JAH.2024 MJAS-2410-1273
ISSN: 2735-430X (Print); ISSN: 2735-4318 (Online)

استخدام المركبات المخلبية في تنظيف عملتين برونزيتين من العصر الروماني

The use of chelating compounds in cleaning two Roman bronze coins

القدس مختار حامد أحمد

مدرس، قسم الترميم ، كلية الفنون الجميلة، جامعة المنيا

Email address: alquds@yahoo.com

To cite this article:
Alkods Mokhtar, Journal of Arts & Humanities.
Vol. 14, 2024, pp.29-41. Doi: 8.24394/ JAH.2024 MJAS-2410-1273
Received:12, 10, 2024; **Accepted**: 11, 11, 2024**; published**: Dec 2024

الملخص:

يتناول هذا البحث دراسة **(المركبات المخلبية)** المحملة على **(جل الآجاروز)** واستخدامها في تنظيف عملتين برونزيتين من العصر الروماني ،ودراسة مدي قدرتها في التخلص من مواد التآكل على العملات البرونزية وهذا ما يهدف إليه البحث .

تمت الدراسة بفحص وتحليل لعملتين معدنيتين أثريتين رومانيتين من عهد **الامبراطورين أغسطس Augustus- كلاوديوس Claudius** بالميكروسكوب الضوئي المحمول بتكبيرات مختلفة لدراسة سطح العملات وشكل طبقة التآكل، والتحليل باستخدام حيود الأشعة السينية XRDلمعرفة مركبات التآكل الذي أظهر تواجد مركبات أكسيد النحاسوز وأكسيد النحاسيك وكلوريد النحاسيك القاعدي وكربونات النحاسيك القاعدية **(الملاكيت والأزوريت)**كمركبات تآكل وتواجد لكربونات الكالسيوم وثاني أكسيد السيليكون مركبات ناتجة عن تربة الدفن الرملية الكلسية التي كانت بها العملات ، وكذلك التحليل باستخدام الميكروسكوب الالكتروني الماسح SEM لدراسة شكل ومورفولوجية سطح العملات وطبقة التآكل واستخدام وحدة تشتت الأشعة السينية EDXلمعرفة تركيب سبيكة النحاس حيث كانت سبيكة برونز Bronze**(النحاس والقصدير)** وعناصر التآكل من الكلور والأكسجين والكربون وعناصر التربة متمثلة في الكالسيوم والألومنيوم والحديد والسيلكون. تم تحضيرالمركب المخلبي المحمل على جل الآجاروز بخلط الآجاروزAgaroes Gel مع الماء وتسخينه إلى 85° م ثم تبريده ثم غمر جل الآجاروز في مركب مخلبي وهو محلول **(EDTA) (حمض إيثيلين دياميين رباعي الأسيتيك ثنائي الصوديوم)**بتركيز 5% لمدة ساعتين تم تنفيذ العمل على شريحة برونزية وعملنا تقادم صناعي لها بدفنها في تربة كلسية رملية رطبه مشبعة بأيونات الكلور. طبقنا محلول EDTA بتركيز 5% المحمل علي جل الآجاروز في صورة دافئة علي الشريحة المعدنية التجريبية من البرونز و التي لم تخضع لتنظيف ميكانيكي، وذلك لمدة 20دقيقة ثم إزالة المركب المخلبي مع الأجاروز بمشرط غير حاد، وتكرار عملية التنظيف 5مرات للتخلص من مركبات التآكل علي سطح الشريحة التجريبية .ثم طبقنا محلول EDTAبتركيز 5% مع الآجاروز في صورة دافئة لمدة 20دقيقة علي وجه واحد لكل عملة لم تخضع لتنظيف ميكانيكي ، ثم إزالة الجل، وتم تكرار العملية عدة 5 مرات مع فحص سطح العملات بعد ذلك بالميكروسكوب الضوئي الذي أظهر إزالة طبقة التآكل من سطح وجهي العملتين.

الكلمات الدالة:

مركب التخلب، الجل، الآجاروز، عملات، تآكل.

المقدمة: منذ آلاف السنين كان النظام السائد في عملية البيع والشراء هو نظام المقايضة، ومع مرور الزمن استخدم الانسان بعض السلع كنقود، وتم استبدال السلع بالقطع المعدنية الذهبية والفضية ، وكان البدء في سك النقود للمرة الأولي في موقع

(ليديا Lydia) علي الساحل الغربي لآسيا)تركيا الآن (في منتصف القرن السابع قبل الميلاد ، ومع نهاية القرن السادس قبل الميلاد كان لدى معظم المدن في العالم اليوناني عملاتها المعدنية الخاصة، انتشرت العملات ما بين 650 و 500 قبل الميلاد في جميع أنحاء العالم اليوناني وكانت أقدم العملات المعدنية المعروفة لم تكن مصنوعة من الذهب أو الفضة بل من سبيكة الإلكتروم الطبيعية (سبيكة تكون من الفضة التي لا تقل عن 20%والذهب). (عبد الرحمن -2009)

كانت العملات المعدنية وسيلة للتبادل وحاملة لرسائل نصية وصورية، حيث احتوت العملات المعدنية القديمة على عدد كبير من صور العديد من الآلهة البطولية والأسطورية وكذلك الرموز الفلكية وعلامات الأبراج، وتعمل هذه الصور كرسائل تدعم الدعاية السياسية والفن في ذلك الوقت . (عبد الله -2009) ((Elnaggar-2022

وبعد غزو الاسكندر لمصر تم سك العملات بنقش لوجه الاسكندر المقدوني وعليه قرني آمون، وبنيت دار لسك العملة في الاسكندرية، وقد قام بطليموس الأول بسك أول العملات للمملكة المصرية وعليها نقش اسم بطليموس ووجه زيوس أمون مكللا بالغار وبقرني أمون ،وقد حرص البطالمة على وزن ونقاء العملات ،وكانت العملات من الفضة والذهب والبرونز وعليها نقوش لملوك البطالمة وللألهة الاغريقية والمصرية .

(Weatherford -1997)

أما العملات في العصر الروماني فقد ظهرت في القرن الرابع قبل الميلاد وكانت في البدايات مصنوعة من معدن النحاس ، وتم سك العملات الفضية والذهبية في القرن الثالث قبل الميلاد ، وقد سك الرومان العملات النحاسية المطلية بالفضة بكميات كبيرة وكانت منقوش عليها اسم وصورة الامبراطور الروماني (احسان العر -2014)، وقد أعاد الرومان فتح وتشغيل دار سك العملة في الاسكندرية وتم سك عملات خاصة بمصر مصنوعة من البرونز وسبيكة البيلون Billon Alloy (خليط من الفضة والنحاس)، ومع التقدم نحو العصر الروماني ظهر انخفاضًا في حجم ووزن العملات ، وفي عصر الامبراطور (كلاوديوس الثاني) Claudius II(268-270م) كانت العملات كلها من البرونز ولا أثر للفضة، ومع تدهور الامبراطورية الرومانية في القرن الثالث الميلادي اقتصر سك العملة في الاسكندرية علي عملات من سبائك النحاس (البرونز) وسبيكة الفضة (البيلون فقط). (Davies-2002)

تؤثر بيئة الدفن على تآكل العملات المعدنية القديمة التي تؤدي إلى ظهور منتجات التآكل، ويختلف مظهر التآكل على نوع السبيكة وطبيعة بيئة الدفن والأيونات الموجودة في الوسط المحيط تتشكل منتجات التآكل طبقات رقيقة ومتماسكة أو قشور سميكة ومشوهة تحجب تفاصيل العملات، وقد تحمي طبقة التآكل المعدن الأساسي، ولكن عند زيادة مسببات التلف تؤدي إلى المزيد من التآكل، ويمثل ألوان مركبات التآكل أول دليل بصري على تكوين نواتج التلف وتعكس نوع المعدن والتكوين الكيميائي لتربة الدفن (AL-Zahrani, Ghoniem-2012).

يظل التنظيف الميكانيكي للمعادن والعملات الاثرية الأكثر استخداما وذلك لإمكانية التحكم به ولكنه عملية بطيئة وتستهلك الوقت والجهد وخاصة مع المعادن المزخرفة وكبيرة الحجم، أما التنظيف الكيميائي فيتميز بالسرعة وأكثر انتقائية ولكن تظل إشكالية إزالة الرواسب وبقايا المواد الكيمائية التي تمثل مسبب للتآكل مع مرور الوقت، وغالبا ما يتم الدمج بين التنظيف الميكانيكي والكيميائي (Martínez-2019)، أو البحث عن طريقة جديدة تسمح بالمعالجة الموضعية المتحكم بها مثل استخدام المركبات المخلبية المحملة علي المواد الهلامية (الجل) في تنظيف العملات الأثرية، حيث تكون باستخدام المواد الهلامية كمواد تدعيم للمحاليل المستخدمة في التنظيف، حيث يعتمد استخدام المواد الهلامية علي إمكانية تنظيف القطعة المعدنية كلها بفاعلية وبمظهر واحد متجانس ومدي توافق المواد الهلامية بالمحاليل المستخدمة في تنظيف المعادن .

والمركبات المخلبية هي فئة من المركبات العضوية التي يمكن أن تشكل روابط تناسقية مع أيونات المعادن الثقيلة، حيث يحتوي المركب المخلبي على مجموعتين وظيفيتين أو أكثر يمكنهما التبرع بزوج من الإلكترونات إلى أيون معدني ذا شحن ايجابية لتكوين رابطة تنسيقية، يعمل المركب المخلبي على تكوين حلقات أثناء التفاعل حيث يعمل الأيون المعدني كعضو إغلاق للحلقات في مركز المركب، مما يؤدي إلى استخلاب ناجح لمركبات التآكل المعدنية .(Gent-2012)

وقد تم استخدام المركبات المخلبية المحملة على جل الآجاروز في إزالة الترسبات المعدنية من على قاعدة رخامية لتمثال

برونزي في حرم سابينزا في روما حيث التحكم الدقيق في ظاهرة نقل السوائل، وبالتالي الحد من اختراق المحاليل المخلبية للرخام والتي يمكن أن تؤدي إلى تسرب الأيونات المعدنية والأملاح القابلة داخل مسامية المواد الحجرية، تسمح المواد الهلامية أيضًا بتحكم أفضل في تبخر المذيب (Bertasa-2017) (Bertasa-2021) (Huarui-2022).

وتم استخدام محلول EDTA مع جل الآجاروز في تنظيف البقع الحديدية الناتجة عن اتصال المشابك الحديدية بالورق الاثري واتضح أنه عمل على إذابة مركبات تآكل الحديد وجعلها ذات قابلية في الماء وبالتالي تنظيف الورق من دون تلف لسطح الورق (Prestowitz-2016) (Sullivan-2017).

وقد تم استخدام عامل التخلب EDTA طبيًا في علاجات التسمم بالمعادن الثقيلة بالرصاص والزئبق والزرنيخ والحديد حيث تعمل على الاتحاد مع المعادن داخل الجسم مما يؤدي إلى ذوبانها في الماء وزيادة قدرة الجسم على التخلص منها (Flora-2010)، وقد تم استخدام محلول EDTA في تنظيف الإتساخات والتلف من على الأسطح المذهبة حيث ساعد في عملية التنظيف دون إزالة الذهب. (Ramiro-2022)

تم استخدام عوامل التخلب مثل حمض إيثيلين ديامين ديوكسينيك Ethylenediamine Dioxygenic Acid (EDDS) و(EDTA)حمض إيثيلين ديامين رباعي الأسيتيك Ethylene Diamine Tetra Acetic Acid لتحسين كفاءة معالجة النباتات حيث يستخدمان بشكل شائع حيث تزيد عوامل التخلب من قابلية ذوبان المعادن الثقيلة، مما يعزز امتصاصها من قبل النباتات وبالتالي توفر معالجة التربة الملوثة بالمعادن الثقيلة من الرصاص والكاديوم .(Dong-2023)

ويمكن تعريف مصطلح "الجل "بالهياكل الشبكية البوليمرية المترابطة، أما المواد الهلامية (الجل) فتعرف بالبوليمرات ذات النظام الشبكي المتشابك ويتمتع كل هلام بخصائص محددة، وفقًا لتكوينه وإعداده واستخدامه، وفي حالة ترميم المعادن والعملات المعدنية تكون محاليل المعالجة مائية، لذلك ركزنا على الهلاميات المائية حيث تحتوي الهلاميات المائية على هياكل شبكية ثلاثية الأبعاد مكونة من بوليمرات صناعية أو طبيعية يمكنها امتصاص كمية كبيرة من الماء والاحتفاظ بها وفقًا لطبيعة الروابط داخل بنية الهلام،(Domingues-2013) وتصنف المواد الهلامية إلي هلام فيزيائي وكيميائي ،الهلام الكيمائي ترتبط سلاسل البوليمر بعضها بروابط تساهمية وبالتالي تتمتع باستقرار ميكانيكي وكيميائي جيد أشهر المواد الهلامية الكيميائية المستخدمة في ترميم الاثار المعدنية هو CSGI: Nanorestore عبارة عن مادة هيدروجيلية كيميائية شفافة تعتمد على شبكة شبه متداخلة مع احتباس عالٍ للسائل وتكون في شكل صفائح محملة بالماء .أما المواد الهلامية الفيزيائية فتصنف إلي أولا :المواد الهلامية الفيزيائية القوية: نظرًا لبنيتها الحلزونية المزدوجة، فإنها تشكل أغشية شبه صلبة وقابلة للتقشير مثل جل الآجاروز وصمغ الجلان والجيلاتين و المواد اللاصقة الحيوانية .ثانيا :الهلاميات الفيزيائية الضعيفة التي تعتمد الشبكة الثلاثية الأبعاد للهلام فقط على الروابط الضعيفة، مثل الروابط الهيدروجينية. يشكل الهلام معجونًا لزجًا مثل صمغ الزانثان وإيثرات السليلوز كاربوبول وبيمولين(Smets-2019). ويعتبر جل الآجاروز من الهلاميات الفيزيائية القوية، حيث يشكل شبكة (فليم) شبه صلبه عند التحضير بشكل صحيح حيث تنظم سلاسل عديدات السكاريد في بنية مرتبة على شكل حلزون مزدوج عن طريق الرابطة الهيدروجينية وتولد شبكة مسامية ثلاثية الأبعاد تحتوي على الماء (la Fuente-2023).

تسمح هلامات الأجاروز بإطلاق المذيبات والمحاليل على سطح ، حيث اثبت أن له فعالية عالية وتنوع في إزالة أنواع مختلفة من الاتساخات من الأسطح المختلفة من دون تأثير أو تلف لجسم الأثر وأنه ذات تكلفة منخفضة، وهي طريقة مستدامة "خضراء " وقابلة للتطبيق في أشكال مختلفة وفي ظروف بيئية مختلفة ،هذه الخصائص مفيدة بشكل خاص عندما يتعلق الأمر الأسطح الحساسة للماء وبهذا تستخدم في تنظيف مواد الطلاء، والجداريات، والمعادن والأحجار. Stulik-2004))

تتمتع هلامات الآجاروز بمزايا كبيرة للاستخدام في عمليات الصيانة والترميم بحيث يمكن تطبيقها على الأسطح الاثرية المختلفة (الأحجار، الجصيات ،المعادن) حيث يمكنها الاحتفاظ بالسوائل (المحاليل الكيميائية المستخدمة في التنظيف) لتكوين شبكة ثلاثية الأبعاد وهي تسمح باستخدام كمية أقل من المذيبات، وبالتالي تحسين استدامة المعالجة ويمكن التحكم في إمكانية إعادة عمليات التنظيف عدة مرات بسهولة وفعالية من خلال التحقق من وقت ملامسة الهلام للسطح الموجود أسفله ،ويمكن إزالتها بسهولة كجل قابل للتقشير وبذلك نتجنب البقايا الكيميائية الناتجة عن التنظيف حيث تسمح بإزالة طبقة الاتساخات حيث لن يتم

امتصاص الماء الموجود في الهلام على الأسطح ، وسيتم إعادة امتصاص جزيئات الاتساخات المذابة جزئيًا بواسطة الهلام (Sansonetti -2020).

2-الطرق والمواد:

2-1المواد :

- **محلول EDTA** هو حمض ايثلين دي أمين رباعي الاسيتيك من المركبات المخلبية هي مركبات عضوية أو غير عضوية يمكنها ربط أيونات المعادن وتكوين هياكل معقدة تشبه الحلقة تسمى "مخلبات" تمتلك عوامل الاستخلاب ذرات ربط تشكل إما رابطتين تساهميتين أو رابطًا تساهميًا واحدًا ورابطًا تنسيقيًا واحدًا أو رابطين تنسيقيين في حالة المخلبات ثنائية مما يجعلها قابلة للإزالة بالماء وذلك لان عوامل التخلب تتميز بقابلية عالية للذوبان في الماء، ومقاومة للتحول الحيوي، والقدرة على الوصول إلى مواقع ترسب المعادن .(Canevali -2016)

- **جل الآجاروز** هو بوليمر عديد السكاريد الطبيعي المستخرج من عدة أنواع من الأعشاب البحرية الحمراء (تنتمي إلى رتبتي Gelidiales وGracilariales) من الآجاروز والأجاروبكتين بنسب متفاوتة حسب نوع الطحالب وعملية التصنيع وهو قادر على تكوين هلام شبه صلب ومحب للماء،(Baglioni -2014) ويتم تحضيره بخلط مسحوق الآجاروز الخام في الماء المتعادل والتسخين والتبريد النهائي، حيث تتجمع سلاسل الآجار في سلسلة منظمة مكونة شبكة ثلاثية الأبعاد(Armisen-2009)

وتتمتع هلاميات الآجاروز بخاصية عكسية رائعة حيث تذوب عن طريق التسخين وتتحول إلى هلام مرة أخرى عند التبريد ويمكن تكرار هذه التحولات إلى أجل غير مسمى من دون أي تأثير على خواصه أو تركيبيه الكيميائي يمكن الحصول على هلام أفضل عن طريق التسخين الثاني، يؤثر تركيز الآجاروز وسمك ونوع الهلام على الأداء العام للهلام . (Bertasa-2018)

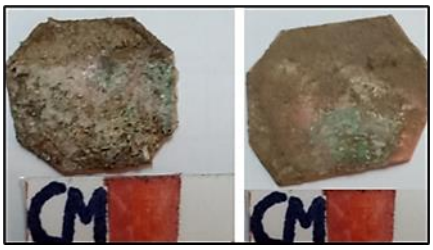
2-2-الطرق :

تم تحضير محلول حمض إيثيلين ديامين رباعي الأسيتيك ثنائي الصوديومEDTAبتركيز 5%في الماء مع خلطه إلى الآجاروز بنسبة 5٪ بالوزن في محلول مائي وتسخينه تسخين مزدوج حتى 85 °م يطور بنية لولبية عشوائية لها القدرة على إعادة ترتيب نفسها تدريجيًا والتحول إلى هلام أثناء مرحلة التبريد عند أقل من 39-37°م ،بحيث يتبلور الآجاروز عند 40° م واستخدام المركب في صورة دافئة .(Cremonesi -2013)، تم خلط الآجاروز مع المركبات المخلبية (عوامل التخلب "محلول EDTA 5% "(حيث يتم غمر الآجار بمحلول EDTA لمدة ساعتين في درجة حرارة الغرفة مع ضبط التركيز مع اللزوجة المطلوبة وذلك بالضغط ووضعه على سطح العملات المعدنية الاثرية بسمك من 3:2 mm (Sansonetti-2020).

3-الدراسة التجريبية :

3-1-التقادم الصناعي :

تم احضار شريحة تشبه العملات قطرها 2cmوسمكها 1mmوعمل تقادم صناعي لها بدفنها داخل تربة كلسية رملية مشبعة بمحلول حمض الهيدروكلوريك (HCl)بتركيز 5% لمدة 30يوماً .



شكل رقم (1)يوضح الشريحة البرونزية بعد التقادم الصناعي .

3-2- فحص وتحليل الشريحة البرونزية بعد التقادم :

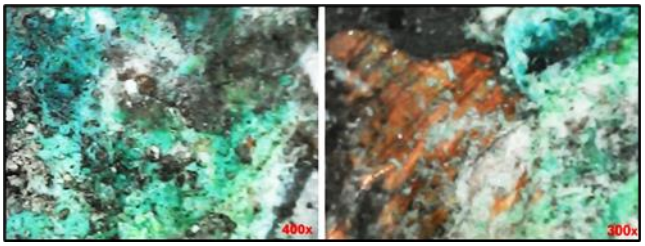
تم فحص الشريحة البرونزية بعد التقادم الصناعي بالميكروسكوب الضوئي بتكبيرات مختلفة .

وتحليل الشريحة بعد التقادم بحيود الأشعة السينية للتأكد من تواجد مركبات التآكل التي ظهرت على العملات الاثرية .

3-3-نتائج الفحص والتحليل للشريحة البرونزية بعد التقادم :

3-3-1- الفحص بالميكروسكوب الضوئي :

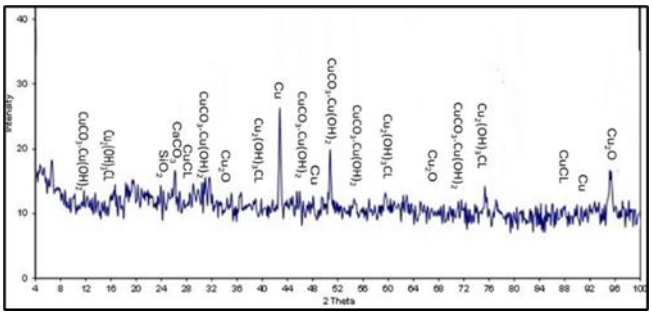
أظهر الفحص بالميكروسكوب الضوئي تواجد لقشرة متماسكة من مركبات تآكل ذات اللون الأخضر والأزرق والبني والأسود على سطح الشريحة البرونزية بعد التقادم التي تميزت بخشونه في السطح كما يوضح الشكل رقم (2).



شكل رقم (2) يوضح مركبات التآكل ذات اللون الأخضر والأزرق والأسود على سطح الشريحة البرونزية بتكبير x,400x300 .

3-3-2- التحليل بحيود الأشعة السينية للشريحة البرونزية :

اتضح من التحليل بحيود الأشعة السينية تواجد لمركبات التآكل من الملاكيت CuCO3.Cu(OH)2، والأزوريت Cu3(CO3)2(OH)2كربونات النحاس القاعدية و النانتوكيت كلوريد النحاسوز CuCL ، كلوريدات النحاس من الأتاكاميت والباراتاكاميت Cu2(OH)3CL وتواجد ثاني أكسيد السيليكون SiO2وكربونات الكالسيوم CaCO3 التي تمثل مركبات التآكل مدمجة مع مكونات التربة من كما يوضح الشكل رقم (3).

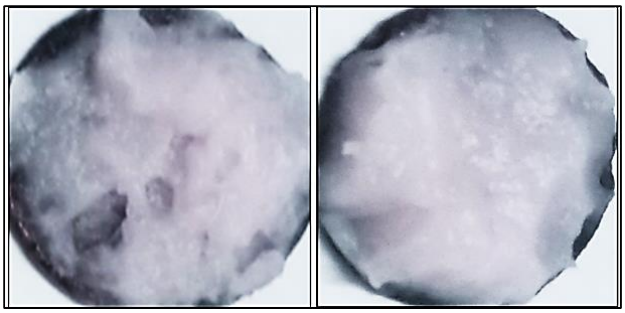


شكل رقم (3) يوضح نتائج التحليل ب XRD للشريحة البرونزية بعد التقادم ويظهر عليها مركبات نواتج التآكل من

SiO2-CaCO3-Cu2O-Cu- CuCL-Cu2(OH)3CL-CuCO3.Cu(OH)2- Cu3(CO3)2(OH)2

3-4-تنظيف الشريحة البرونزية التجريبية بمحلول EDTA :

تم تنظيف الشريحة البرونزية التجريبية التي تغطيها مركبات التآكل بمحلول التخلب EDATبتركيز 5% المحمل على جل الآجاروز وتطبيقه في صورة دافئة لمدة 20دقيقة على سطح الشريحة التي لم تخضع لتنظيف ميكانيكي كما يوضح الشكل رقم (4)،ونلاحظ تحول لون الجل إلى اللون الأزرق، تم إزالة الجل من على سطح الشريحة بمشرط غير حاد ثم تنظيف أي آثار للجل بقطنة مشربة بالأسيتون ،وتم تكرار عملية التنظيف للشريحة بالمركب 5 مرات حتى التخلص من مركبات التآكل .



شكل رقم (4)يوضح تطبيق جل الآجاروز علي الشريحة البرونزية التجريبية

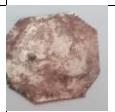
3-5-مناقشة نتائج الفحص للشريحة البرونزية التجريبية بعد التنظيف بمحلول EDTA:

يتطلب التطبيق الساخن خلط محلول التخلب حمض إيثيلين ديامين رباعي الأسيتيك ثنائي الصوديوم (EDTA) (بالهلام (الآجاروز) أثناء التحضير، حيث لا يمكن أن يحدث تكوين الشبكة (مسامية ثلاثية الأبعاد) إلا في وسط متعادل وبهذا لا يتوافق الآجاروز مع محاليل التنظيف الحمضية والقلوية المستخدمة في علاج المعادن ، لذلك يتوافق جل الآجار مع مواد التخلب التي تتمتع بكونها مركبات عضوية متعادلة pH مثل (EDTA) وذلك لاستخدامه في تحضير مادة التنظيف التي تتطلب غمر جل الآجار في محلول EDTA لمدة ساعتين لتكوين شبكة الآجاروز التي تحتوي على الماء ،ويفضل تطبيقه في صورة دافئة على سطح العملات المعدنية حيث يتحول جل الآجار لمادة صلبة في خلال مدة زمنية من20 دقيقة الي 2ساعة، ويمكن إذابته بالتسخين عدة مرات وتبريده عند درجة حرارة 40° دون أن يحدث له أي تغيرات كيميائية ويحتفظ بقدرته على التنظيف وذلك لأن جل الأجار قابل للانعكاس الحراري، مما يجعل من السهل إعادة استخدامه، يتميز EDTA المحمل علي الآجاروز باتصال جيد علي سطح العملات وأيضا سهوله إزالته من دون أن يتسبب في تلف للسطح أو للزخارف والنقوش .

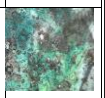
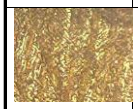
يمكن ملاحظة تغير لون الهلام (الجل) من اللون الوردي إلى اللون الأزرق الذي يدل على تواجد لأملاح النحاس بعد كل عملية تنظيف مما يدل على قدرة محلول EDTA بتركيز 5% إذابة مركبات التآكل التي تغطي سطح الشريحة البرونزية .

تبين من خلال الفحص بالميكروسكوب الضوئي للشريحة البرونزية بعد تطبيق محلول EDTA بتركيز 5% المحمل على الآجاروز على سطح الشريحة المتآكلة لا يعطي نتائج جيدة في بداية تطبيق عملية تنظيف، فبعد عملية التنظيف الأولي لم تقل مركبات التآكل، ولكن مع كل عملية تنظيف يتبين تقليل مركبات التآكل بالتدريج إلى التنظيف الكامل لسطح الشريحة البرونزية بعد عملية التنظيف الخامسة ،كما يوضح الجدول رقم (1,2)

جدول رقم (1)يوضح عمليات التنظيف بمحلول EDTA 5% المحمل علي جل الآجاروز للشريحة البرونزية التجريبية .

التجريبية بعد التقادم	عملية التنظيف 1 بمحلول EDTA +5% الآجاروز	عملية التنظيف 2 بمحلول EDTA +5% الآجاروز	عملية التنظيف 3 بمحلول EDTA +5% الآجاروز	عملية التنظيف 4 بمحلول EDTA +5% الآجاروز	عملية التنظيف 5 بمحلول EDTA +5% الآجاروز
					

جدول رقم (2)يوضح الفحص بالميكروسكوب الضوئي للشريحة البرونزية التجريبية بعد عمليات التنظيف EDTA 5%+الأجاروز.

الفحص ب(OM)الشريحة التجريبية بعد التقادم	الفحص ب(OM) عملية التنظيف 1 بمحلول EDTA 5%+ الأجاروز	الفحص ب(OM)عملية التنظيف 2 بمحلول EDTA 5%+ الأجاروز	الفحص ب(OM) عملية التنظيف 3 بمحلول EDTA 5%+ الأجاروز	الفحص ب(OM) عملية التنظيف 4 بمحلول EDTA 5%+ الأجاروز	الفحص ب(OM) عملية التنظيف 5 بمحلول EDTA 5%+ الأجاروز
					

4-1- العملات الاثرية :

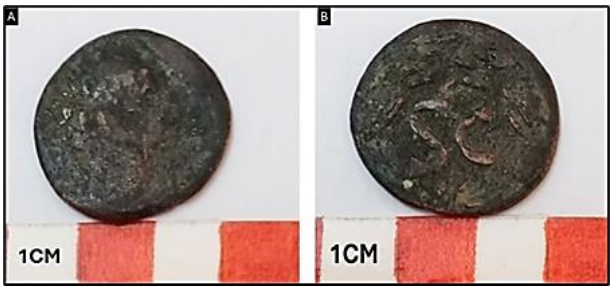
من العصر الروماني يغطي كلاً منهما طبقة من منتجات تآكل خضراء فاتحة وزرقاء داكنة الناتجة عن التدهور الذي حدث أثناء بقائها تحت الأرض لفترة طويلة وكان مظهرها مشوهًا للغاية بحيث يصعب وضوح أي تفاصيل من السطح الأصلي لوجود الطبقة ذات بنية مركبة من نواتج مركبات التآكل مع منتجات مكونات التربة.

العملة 1 قطرها 2.6 cm بيضاوية حوافها مستوية سمكها 1.5 mm .

العملة 2 قطرها 1.9 cmشبه دائرية ذات حواف غير مستوية سمكها 0.5mm.

4-2-التوثيق الفوتوغرافي :

تم التوثيق باستخدام كاميرا Nikon موديل D3200 لتصوير العملات على مقياس رسم 1cm.



شكل رقم (5) يوضح A,Bوجهي العملة 1.

شكل رقم (6) يوضح A,Bوجهي العملة 2.

شكل رقم (7) يوضح A,Bوجهي العملات .

4-3- فحص وتحليل العملات :

4-3-1-الفحص البصري وبالميكروسكوب الضوئي المحمول (OM) :

اجرينا فحص سطح العملات باستخدام الميكروسكوب الضوئي المحمول بتكبيرات مختلفة .

4-3-2-الفحص والتحليل بالميكروسكوب الالكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت الأشعة السينية SEM+EDX:

اجرينا الفحص والتحليل لعينات من العملات باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المجهز بوحدة تشتيت الأشعة السينية

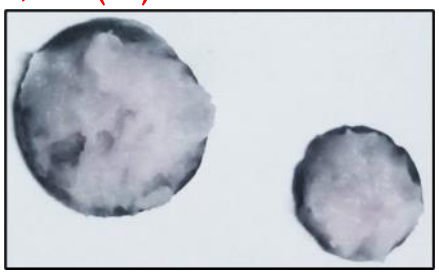
SEM+ED-X ماركة (Model Quanta JSM-IT200 + ED-X Unit with accelerating Voltage 30 K.V. magnification14x up to 100000 & resolution for (Gun.in بتكبير (x-2000x1000)

4-3-3-التحليل بحيود الأشعة السينية XRD:

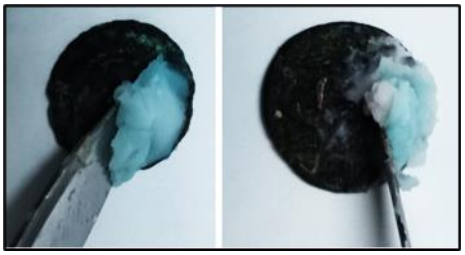
اجرينا تحليل عينات العملات بجهاز التحليل بحيود الأشعة السينية X-Ray Diffraction مع استخدام أنبوبة المهبط من النحاس Tube Anode of Copper وتيار شدته (40) كيلو / فولت وقوته (55) مم/ أمبير وطول موجي 1.54.18 / λ Aأنجستروم وزاوية بدء θ = 42.

4-4-عملية تنظيف العملات البرونزية باستخدام بمحلول EDTAبتركيز 5% :

طبقنا محلول EDTA بتركيز 5% المحمل علي جل الآجاروز دافئ على وجه واحد لكلا من العملتين لمدة 20 دقيقة والتي لم تخضعا للتنظيف الميكانيكي ، ثم إزالة الجل ، ومع تكرار العملية 5 مرات حتي اكتمال تنظيف العملات ، ويتم إزالة الجل باستخدام مشرط غير حاد ثم تنظيف الطبقة الرقيقة المتبقية من الجل باستخدام قطعة قطن متشربة بأستون .



شكل رقم (8) يوضح تطبيق جل الآجار على العملات البرونزية.

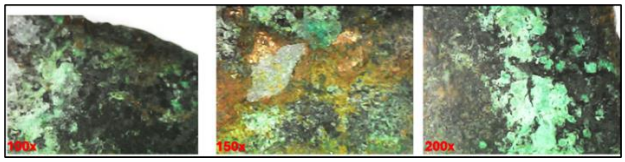


شكل رقم (9) يوضح إزالة الجل .

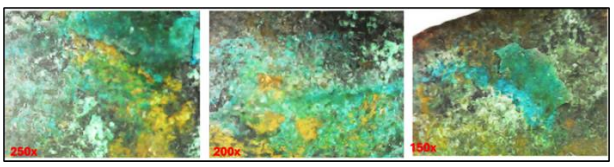
5-مناقشة النتائج :

5-1- نتائج الفحص البصري وبالميكروسكوب الضوئي:

اتضح من الفحص البصري للعملات تواجد قشرة سميكة من مركبات التآكل ،وكان بها مناطق متعددة الألوان من الأخضر الداكن والأخضر الفاتح والأزرق المخضر، والرمادي، والأسود والبني. وتبين من الفحص بالميكروسكوب الضوئي أن العملات مغطاة بنواتج تآكل ناتجة عن عمليات التآكل الكهروكيميائي للعملات في شكل قشرة سميكة متماسكة على السطح المعدني. يكون هذا التغيير الكيميائي ناتجًا عن تدهور العملات البرونزية أثناء دفنها لفترة طويلة في التربة. كانت العملات البرونزية الأثرية متدهورة بشدة مع وجود طبقة تآكل على سطح العملات البرونزية. وتميز سطح العملات البرونزية بسطح تآكل خشن مع شقوق وتواجد أنواعًا مختلفة من منتجات التآكل بألوان مختلفة من الأخضر الداكن والأزرق، مع بقايا التربة التي غطت تفاصيل العملات ،كما يوضح الشكل رقم (10,11)



شكل (10) يوضح تواجد لمركبات التآكل ذات اللون الأخضر الفاتح والبني والاسود على سطح العملة1.

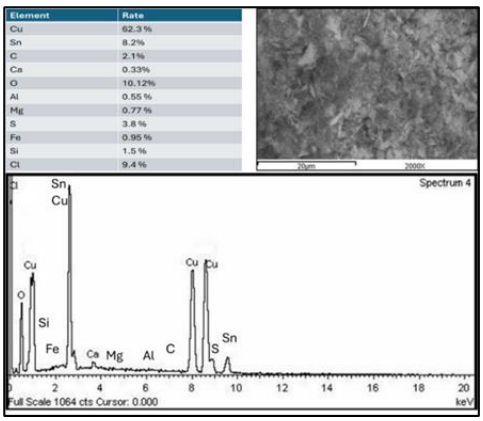


شكل (11) يوضح تواجد لمركبات التآكل ذات اللون الأزرق والأخضر الفاتح والبني والاسود على سطح العملة 2.

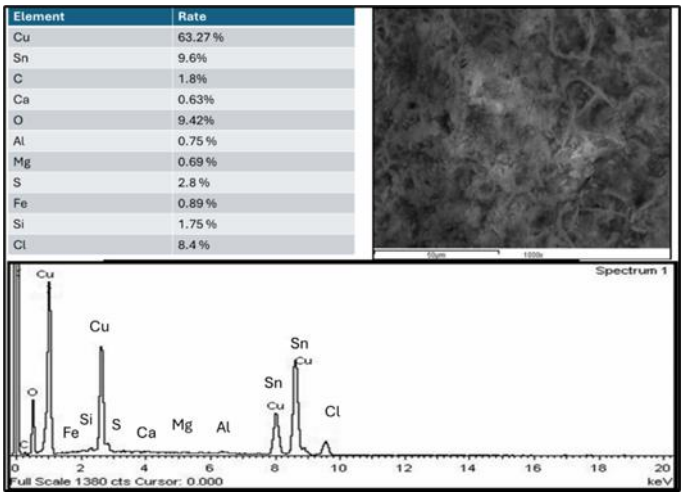
5-2-نتائج الفحص والتحليل بالميكروسكوب الالكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت الاشعة السينية :

اتضح من التحليل بوحدة تشتت الأشعة السينية أن العملات مصنوعة من سبيكة البرونز (نحاس وقصدير) حيث كانت نسبة تواجد النحاس Cu 62.3% والقصديرSn 8.2%في العملة 1 وكانت نسبة النحاسCu 63.27% والقصديرSn 9.6% في العملة2 ، وتواجد لعناصر التآكل علي السطح من الاكسجين O والكلورCl والكربونC والكبريت S،وتواجد لعناصر الألومنيوم AlوالحديدFe والسيليكون Siوالكالسيوم Caوالماغنسيوم Mgبنسب قليلة الناتج عن مركبات التربة (Mayyas-2023)

تتشكل أكسيد النحاسوز (الكُبريتCuprit) في البداية على سطح البرونز الذي يشكل طبقة واقية من التآكل ، ولكن مع زيادة سمك طبقة الأكسيد وتوفر الأيونات المتلفة في الوسط المحيط يحدث كسر لطبقة الأكسيد وتتكون طبقات سميكة غير منتظمة وخشنة من منتجات التآكل فوق السطح المعدني الأصلي، وفي بعض الحالات، قد تخترق الجزء الداخلي من السبائك (Ioanid-2011). وإذا لم يستهلك التآكل الجسم البرونزي بالكامل، فقد تبقى نواة من السبائك غير المتآكلة، محاطة بطبقات من منتجات التآكل. (Abdel-Kareem, Al-Zahrani, Al-Sadoun - 2016)، وتعرضت العملات البرونزية لعمليات تآكل خلال فترة الدفن الطويلة في التربة مما أدى إلى مستويات مختلفة من التآكل، حيث تتفاعل سبائك العملات (سبيكة البرونز) مع أيونات O2- و S2- و CO3- و OH- و Cl- الموجودة في تربة الدفن؛ وبالتالي تكونت نواتج تآكل لهذه الأيونات علي أسطح العملات مما يؤدي إلي تكوين مركبات تآكل من كلوريدات النحاس وكربونات النحاس ، وتم الكشف عن عناصر السيليكون والحديد والألمنيوم والكالسيوم في طبقات التآكل وهي ناتجة عن ملوثات ومركبات تربة الدفن . (Fabrizi-2019)



شكل رقم (12) يوضح نتائج فحص وتحليل العملة 1 بSEM



شكل رقم (13) يوضح نتائج فحص وتحليل العملة 2 بـSEM

3-5-نتائج التحليل بحيود الأشعة السينية XRD:

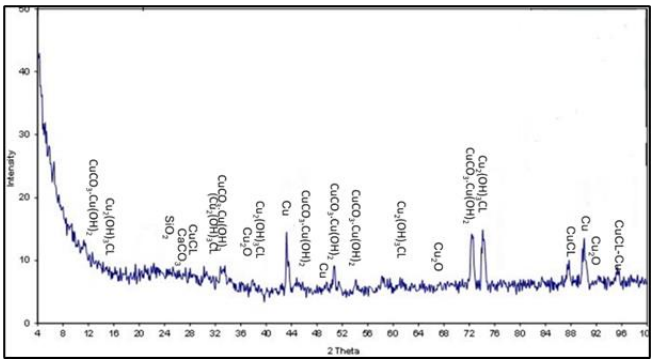
تبين من التحليل بحيود الأشعة السينية لسطح العملتين تواجد لمركبات SiO2-CaCO3-Cu2O-Cu- CuCl- Cu2(OH)3Cl- CuCO3.Cu(OH)2- Cu3(CO3)2(OH)2 التي تمثل مركبات التآكل مدمجة مع مكونات التربة من ثاني أكسيد السيليكون SiO2وكربونات الكالسيوم CaCO3

واتضح من التحليل ب XRD أن تربة الدفن كانت عبارة عن تربة رملية كلسية، حيث تم الكشف عن الكوارتز والكالسيت وكانت هذه التربة مختلطة بمكونات عضوية وكانت غنية بالماء والأكسجين وثاني أكسيد الكربون(Abdel-Kareem-2016)

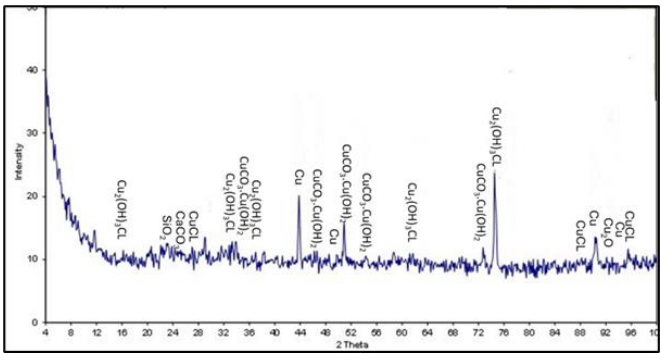
تكون القشور السميكة الناتجة عن التآكل على العملات البرونزية . وقد تعتمد بعض هذه المنتجات على البنية الدقيقة للمعدن أو السبائك التي تعرضت للعوامل المسببة للتآكل بعد الدفن التربة تؤثر على المواد الأثرية في الدفن طويل الأمد وتتسبب في تغييرات في المظهر والطبيعة الكيميائية للعملات المدفونة .(R´emazeilles-2020)

يتكون أكسيد النحاسوز (الكُبريتCuprit) على أسطح العملات المعدنية الناتج عن أكسدة سطح العملات (Bakirov-2021)، وعند دفن العملات في التربة يزداد معدل التآكل طبقا لدرجة حموضة التربة ومساميتها والأملاح الذائبة ، حيث تواجد الماء وثاني أكسيد الكربون وأيونات الكلوريد يمثل العوامل الأساسية لتآكل العملات في فترة الدفن الطويلة ، حيث المعادن المدفونة يكون لها سطح مسامي نسبيا وعند تعرضها للرطوبة والأكسجين يزداد نشاط التآكل مع حدوث حفر بالسطح يحدث نمو متزايد لصدأ السطح علي حساب لب المعدن ،(الأدغم -2024) حيث يؤدي تواجد الأكسجين وثاني أكسيد الكربون والماء في التربة مسؤولين عن تكوين الملاكيت CuCO3.Cu(OH)2، والأزوريت Cu3(CO3)2(OH)2كربونات النحاس القاعدية كمنتجات تآكل حيث تمثل طبقة خضراء داكنة وطبقة زرقاء على التوالي، يعتبر الأزوريت أقل استقرارًا من الملاكيت (Szilvia -2020)

يؤدي وجود أيون الكلوريد (Cl-) في بيئة الدفن إلى بدء التآكل الذي يعاد تنشيطه عن طريق الحفر بسبب زيادة مستويات الأكسجين التي تسرع عملية الأكسدة ، حيث تتكون كلوريدات النحاس عند التلامس بين المعدن وأملاح الكلوريد القابلة للذوبان في التربة، التي تنتشر عبر طبقة الأكسيد، مما أدى إلى تحفيز التآكل وتشكيل مركب أخضر من النانتوكيت كلوريد النحاسوز ،وعند تفاعل النانتوكيت مع الماء ينتج كلوريدات النحاسيك من الأتاكاميت والباراتاكاميت Bude -2020))



شكل رقم (14) يوضح نتائج التحليل ب XRD للعملة 1 ويظهر عليها مركبات نواتج التآكل من
SiO2-CaCO3-Cu2O-Cu- CuCL-Cu2(OH)3CL-
CuCO3.Cu(OH)2- Cu3(CO3)2(OH)2



شكل رقم (15) يوضح نتائج التحليل بـXRD للعملة 2 ويظهر عليها مركبات نواتج التآكل من
SiO2-CaCO3-Cu2O-Cu- CuCL-Cu2(OH)3CL-
CuCO3.Cu(OH)2- Cu3(CO3)2(OH)2

5-4-نتائج فحص العملات بعد التنظيف بمحلول EDTA بالميكروسكوب الضوئي المحمول :

تبين من خلال الفحص ان المعالجات باستخدام حمض إيثيلين ديامين رباعي الأسيتيك ثنائي الصوديوم EDTA بتركيز 5% المحمل علي جل الآجار فعالة في إزالة منتجات التآكل من علي سطح العملات البرونزية حيث يعمل الآجار علي الاحتفاظ بمحلول EDTA 5% الذي يعمل علي إضعاف وتفكيك الطبقة الخارجية لمركبات التآكل وبالتالي تغللها مع الآجار ،حيث تعتمد تكرار عمليات التطبيق علي كمية مركبات التآكل اللازم إزالتها كما يوضح الجدول رقم (3,4).

جدول رقم (3) يوضح مراحل تنظيف العملات موضوع الدراسة EDTA 5%.

العملات قبل التنظيف	عملية التنظيف 1 EDTA 5% +الآجار	عملية التنظيف 2 EDTA 5% +الآجار	عملية التنظيف 3 EDTA 5% +الآجار	عملية التنظيف 4 EDTA 5% +الآجار	عملية التنظيف 5 EDTA 5% +الآجار
العملة 1					
العملة 2					

جدول رقم (4) يوضح الفحص بالميكروسكوب الضوئي لمراحل تنظيف العملات موضوع الدراسة بجل الآجار+5% EDTA.

الفحص بالميكروسكوب الضوئي للعملات قبل التنظيف	الفحص بالميكروسكوب الضوئي للعملات بعد عملية التنظيف 1 EDTA 5% +الآجار	الفحص بالميكروسكوب الضوئي للعملات بعد عملية التنظيف 2 EDTA 5% +الآجار	الفحص بالميكروسكوب الضوئي للعملات بعد عملية التنظيف 3 EDTA 5% +الآجار	الفحص بالميكروسكوب الضوئي للعملات بعد عملية التنظيف 4 EDTA 5% +الآجار	الفحص بالميكروسكوب الضوئي للعملات بعد عملية التنظيف 5 EDTA 5% +الآجار
العملة 1					
العملة 2					

وبعد تنظيف العملات اتضح بعض النقوش حيث ظهر علي العملة الأولي علامة" SC"التي يمكن مقارنتها بعملة برونزية من عهد الامبراطور أغسطس ، وبذلك يمكن تأريخ العملة الأولي تم سكها في عهد الإمبراطور أغسطس (27 ق.م : 14 م) كما يوضح الشكل رقم (16)

شكل رقم (16)يوضح Aالعملة 1 وBعملة من عهد الامبراطور أغسطس عن https://www.romancoins.info/12C-Empire.HTML.

وكانت العملة 2 تتميز بحروف لاتينية ونقش لإكليل نباتي دائري ويمكن مقارنتها بعملة برونزية من عهد الامبراطور الروماني كلوديوس ،وبذلك يمكن تأريخها بأنها تم سكها في عهد الامبراطور كلوديوس (41م :54م) كما يوضح الشكل رقم (17)

شكل رقم (17) يوضح Aالعملة 2 وBعملة برونزية من عهد الامبراطور كلوديوس

عن https://www.romancoins.info/12C-Empire.HTML

5-الخلاصة :

تعد عملية تنظيف العملات المعدنية إجراء دقيق للغاية حيث يعمل مرممو المعادن باستمرار على تحديد طرق التنظيف المناسبة والفعالة وفقًا لمتطلبات السطح والتلف ومن أجل حل مشاكل طرق التنظيف المختلفة . ومؤخرا استجابت المواد المخلبية المحملة على المواد الهلامية بشكل إيجابي لمتطلبات ترميم العملات المعدنية الأثرية لتصبح طرق جيدة في العديد من الحالات، وأفضل بديل مقارنة بطرق التنظيف التقليدية بحيث توفر تحكم موضعي محاليل التنظيف.

حيث تم عمل تجربة أعطي فيها محلول التخلب EDTA بتركيز 5% المحمل علي جل الآجاروز نتيجة جيدة في تنظيف شريحة برونزية وتم عمل تقادم صناعي لها بالدفن في تربة كلسية مشبعة بأيونات الكلور لمدة 30يوم ،حيث تم اجراء عملية تجريبية علي سطح شريحة برونزية وتطبيق المركب في صورة دافئة لمدة 20 دقيقة ثم إزالة الجل عند تغير لونه إلي اللون الأزرق الذي يدل علي تواجد أملاح النحاس ، وتم تكرار عملية التنظيف خمس مرات ،وبعد وضوح النتائج بشكل ايجابي تم

التطبيق بتنظيف وجه واحد للعملات البرونزية الرومانية موضوع الدراسة باستخدام محلول التخلب EDTAبتركيز 5% المحمل علي الآجاروز لتنظيف كامل لوجهي العملات .حيث أظهر استخدام محلول التخلب EDTA بتركيز 5% قدرة تنظيف جيدة للعملات البرونزية.

6-المراجع :

1- إحسان العر (2014)" الكتابة في النقود المعدنية بين الناحية الوظيفية والجمالية "مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية ،مجلد 30،عدد 2،ص 171-183.

2- القدس مختار الأدغم (2024)" توثيق وترميم منجل أثري من العصر الروماني "مجلة الفنون التشكيلية والتربية الفنية "المجلد الثامن ،العدد1،ص 226-245.

3-محمود عبد الرحمن (2009)"تطور النقود المصرية في عصر الأسرة العلوي(1805-1952م)(1220-1371هـ)"مجلة الاتحاد العام للأثريين العرب، ص 384-404.

4- يسري عبد الغني عبد الله (2009)"عندما تبوح النقود بأسرار التاريخ "دورية كان التاريخية ،العدد 5،ص 59-61.

5- Abdel-Kareem ,O., Al-Zahrani ,A., Khedr ,A., Abdel Harith ,A.,(2016)" Evaluating Laser Cleaning of Corroded Archaeological Silver Coins " Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol. 16, No 1,(2016), pp. 135-143.

6-Abdel-Kareem,O., Al-Zahrani,A., Al-Sadoun,A.,(2016)" Authentication and Conservation of Marine Archaeological Coins from OINS Excavated fromunder water of The Red Sea, Saudi Arbia" Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol. 16, No 2, pp. 107-118.

7-Abd El Naby, M,G.,(2018)"Three unpublished Roman and Byzantine Coins from Oxyrhynchus" Journal of General Union OF Arab Archaeologists ,vol3,pp 134-152.

8-AL-Zahrani,A, Ghoniem, M.,(2012)" A Characterization of Coins from The Najran Hoard,Saudi Arabia, Prior To Conservation", International Journal of Conservation Science, vol. 3, no. 3,pp 143-152.

9-Armisen,R., Galatas,F.,(2009) Agar, in: Handbook of Hydrocolloïds, Woodhead Plushing limited and CRC Press, pp. 82–107.

10- Baglioni, P., Berti, D., Bonini, M., Carretti, E., Dei, L., Fratini, E., Giorgi, R., (2014)"Micelle, microemulsions, and gels for the conservation of cultural heritage, Adv" Colloid Interface Sci,vol 205 ,PP 361–371.

11- Bakirov, B., Saprykina, I., Kichanov, S., Mimokhod, R., Sudarev, N., Kozlenko, D., (2021)Phase composition and its spatial distribution in antique copper coins: neutron tomography and diffraction studies" Journal of Imaging 7 (8), P129.

12- Bertasa,M., Poli,T., et al (2018)"A study of non-bounded/bounded water and water mobility in different agar gels", Microchem. J, vol 139, PP306–314.

13-Bertasa,M, Botteon,A., Brambilla,L., et al,(2017)" Cleaning materials: A compositional multi-analytical characterization of commercial agar powders "Journal of Analytical and Applied Pyrolysis ,Vol 125, pp 310-317.

14-Bertasa ,M., Canevali ,C., Sansonetti ,A., et al., (2021)" An in-depth study on the agar gel effectiveness for built heritage cleaning" Journal of Cultural HeritageVol47, pp 12-20.

15-Bude, R.O., Bigelow, E.M.,) 2020(" Nano-CT evaluation of totally corroded coins: ademonstration study to determine if detail might

of Islamic Numismatics Center, Egypt, vol 5, pp 1 – 14.

22-Fabrizi ,L., Di Turo ,F., Vito ,C,D.,(2019)" The application of non-destructive techniques for the study of corrosion patinas of ten Roman silver coins: The case of the medieval Grosso Romanino" Microchemical Journal, vol. 135, p 109957.

23- Flora,S,J ,S., Pachauri, V.,(2010) "Chelation in Metal Intoxication" Int. J. Environ. Res. Public Health ,vol7, pp2745-2788.

24-Funke,A., Poole, L., Church, J., Striegel, M., Singer, M.,(2017)"The Use of Medical Chelating Agents for the Removal of Iron Stains from Marble" Objects Specialty Group Post prints, Vol 24,PP 235–249.

25-Gent, M. and Rees, J. ,(2012). "A conservation treatment to remove residual iron from platinum prints" The Paper Conservator. vol18,pp 90-95.

26-Huarui ,H., Jianrui ,Z., et al .,(2022)"Polyvinylamine Gel as a Cleaning Agent for Removing Mineral Crusts from Archaeologically Important Stone Artifacts" Studies in Conservation ,Vol 67, Issue 7,pp 389-399.

27-Huisman ,H., Ackermann,R., Claes,L.,(2023)" Change lost: Corrosion of Roman copper alloy coins in changing and variable burial environments" Journal of Archaeological Science: Reports ,vol 47 ,no 103799,pp1-21.

28-Ioanid, E,G., Ioanid,A., Rusu ,D,E., Doroftei, F.,(2011) "Surface investigation of some medieval silver coins cleaned in high-still be discernible despite the lack of internal, non-corroded metal "Archaeometry, vol 62 ,no,6, pp1195–1201.

16-Canevali, C., Fasoli, M., Bertasa, M., Botteon, A., et al(2016)"A multi-analytical approach for the study of copper stain removal by agar gels" Microchem. J.,vol 129, pp 249–258.

17-Cremonesi, P.,(2013)" Rigid Gels and Enzyme Cleaning. chapter in Mecklenburg ,M.F., Charola ,A,E., Koestler, R,J., " New Insights into the Cleaning of Paintings: Proceedings from the Cleaning 2010 International Conference, Universidad Politécnica de Valencia, and Museum Conservation Institute., Smithsonian Institution Scholarly Press, pp 179-183.

18-Davies, G.,(2002)" A History of Money from Ancient Times to the Present Day" Published in co-operation with Julian Hodge Bank Limited, PP 62-112.

19-Dong,W., Wang,R., Li,H., Yan,X., et al (2023)" Effects of Chelating Agents Addition on Ryegrass Extraction of Cadmium and Lead in Artificially Contaminated Soil" Water ,vol 15,no 1929,pp1-15.

20-Domingues, J., Bonelli, N., Giorgi ,R., et al (2013)" Innovative hydrogels based on semi-interpenetrating p(HEMA)/PVP - networks for the cleaning of water-sensitive cultural heritage artifacts" Langmuir ,vol 29 ,pp 2746–2755.

21-Elnaggar,A., Agresti,J., et al (2022)" Technical Analysis, Laser Cleaning and Numismatic Study of Tarnished Abbasid Silver Dirham from the 4th C A.H. (10th A.D)" Journal

Science, University of Gothenburg ,Department of Conservation, Sweden,pp32,41.

36-R´emazeilles, C., Langlet-Marzloff, V., Creus, J., Lotte, G., Deshayes, C., Baleux, F.,Robbiola, L.,)2020"(Remarkable corrosion resumption of archaeological bronzes,induced by the oxidation of ternary Cu-Sn-S phases in atmosphere, after long-termburial with sulfides" Corros. Sci,vol 175,p 108865.

37-Sansonetti, A., Bertasa, M.,(2020)" A review in using agar gels for cleaning art surfaces " Journal of Cultural Heritage Vol 44, PP 285-296.

38-Sansonetti, A., Bertasa, M., Canevali, C., Rabbolini, A., Anzani, M., Scalarone, D.,(2020)" A review in using agar gels for cleaning art surfaces" J. Cult. Herit. vol 44,pp 285–296.

39-Smets,A., De Vis,K.,Ortega-Saez,N.,(2019)" A challenging treatment of an 18th century embroidered textile using gel cleaning in combination with decamethy lcyclopentasiloxane (D5) silicone solvent barriers" Conservar Património ,vol31 ,PP 41-52.

40-Stulik,D., Miller,D., Khanjia,H.,et al (2004)" Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art The Residue Question "The Getty Conservation Institute ,p 5-12.

41-Sullivan, M., Duncan, T., Berrie, B., et al (2017)" Rigid polysaccharide gels for paper conservation: aresidue study, in: Gels in the Conservation of Art" Archetype Publications, Lon-don, , pp. 42–50.

42-Szilvia, S., Nagy, M., Juhász, L., et al (2020)" Conservation purpose material testing of corrosion products on outdoor bronze statues" IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 903 ,pp1-9.

frequency cold plasma", Journal of Cultural Heritage, 12, 2011, pp. 220-226.

29-la Fuente, I,V., et al (2023)" Looking for Novel Natural Gels to Improve Cleaning Methods for Bronze Leachates on Marble" Gels , vol 9, no 843, pp1-13.

30- Macchia,A., et al.,(2011) "A new method to remove copper corrosion stains from stone surfaces "Journal of Archaeological Science ,Vol 38, Issue 6, pp 1300-1307.

31-Martínez, A,S., Andrés ,M.S., et al (2019)"Removing Calcium Carbonate Deposits form Archaeological Ceramics .Traditional Methods Under NDER Review" Mediterranean Archaeology and Archaeometry ,Vol. 19, No 3, pp. 107-117.

32-Mayyas,A., Al Sekhaneh,W., Al Fuqara,D., et al(2023)" Microstructural and Compositional Characterization of Roman Bronze Coins from Khirbat Edh-Dharih in Jordan " Arqueol . Iberoam,vol 52,pp 69-86.

33-Oudbashi,O., (2018)"A Methodological Approach to estimate Soil Corrosivity for Archaeological Copper Alloy Artifacts. Heritage Science ,vol6,no 1, pp1-15.

34-Prestowitz,B ., theodorakopoulos, C., colbourne J,F.,(2016)" Tip: A Preliminary Investigation into the Use of Diethylenetriaminepentaacetic Acid and Ethylenediaminetetraacetic Acid to Treat Iron Induced Foxing in Paper Objects" The Book and Paper Group Annual, vol 35 , PP163-170.

35- Ramiro.A.V.,(2022)" Research on the viability of the use of rigid gels for the cleaning of water-gilded surfaces" Master Degree of

immersing the agar gel in a chelating compound, which is a solution of EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid disodium at a concentration of 5%) for two hours.

A bronze chip was brought and artificially aged by burying it in wet sandy limestone soil saturated with chlorine and sulfur ions. A 5% EDTA solution loaded with warm agarose gel was applied to a bronze metal chip that was not subjected to mechanical cleaning for 20 minutes, then the gel was removed, and the cleaning process was repeated 5 times to get rid of corrosion compounds on the surface of the experimental chip. Then a 5% EDTA solution with warm agarose was applied for 20 minutes on one side of each of the two coins that were not subjected to mechanical cleaning, then the gel was removed and the process was repeated several times and the surface of the coins was examined after the process with a light microscope, which showed good cleaning of the surface of one side of the coins after repeating the cleaning process 5 times.

Keywords: chelating agent, gel, agarose, coins, corrosion.

43-Weatherford ,J.,(1997)" The History of Money" Crown Publishers , I N C, New York, pp 34-45.

44-https://www.romancoins.info/12C-Empire.HTML 30-9-2024.

Abstract:

This research deals with the study of chelating compounds loaded on (agarose gel) and their use in cleaning Roman bronze coins, and the extent of their ability to clean bronze coins from corrosion, and this is the aim of the research.

The study was conducted by examining and analyzing two ancient Roman coins from the reign of Emperor Augustus and Claudius using a portable light microscope at different magnifications to study the surface of the coins and the shape of the corrosion layer, and analysis using X-ray diffraction XRD to identify the corrosion compounds that showed copper oxides, copper chlorides, malachite and azurite as corrosion compounds and the presence of calcium carbonate and silicon dioxide compounds resulting from the sandy limestone burial soil in which the coins were located, as well as analysis using a scanning electron microscope equipped with an X-ray dispersion unit EDX to study the surface of the coin samples and the shape of the corrosion layers and to know the composition of the copper alloy, which was a bronze alloy (copper and tin) and the corrosion elements of chlorine, oxygen and carbon and soil elements represented by calcium, aluminum, iron and silicon.

Prepare agarose gel by mixing agar with water and heating it to 85°, then cooling it, then