جامعة القاهرة
كلية الآثار
قسم ترميم الآثار

دراسة علمية تطبيقية لعلاج وصيانة العملات الآثرية المنتشلة من بيئة بحرية – مع التطبيق العملي على نماذج مختارة

بحث مقدم لنيل درجة الماجستير في ترميم وصيانة الآثار

إعداد

حسن صلاح عبد المولى محمود
أخصائي ترميم الآثار بوزارة الآثار

إشراف

ا. د/ وفاء أنور محمد سليمان
أستاذ ترميم وصيانة الآثار المعدنية
قسم ترميم الآثار - كلية الآثار - جامعة القاهرة

ا. د/ عبد الناصر بن عبد الرحمن الزهرانى
أستاذ ترميم وصيانة الآثار
قسم إدارة موارد التراث والإرشاد السياحي
كلية السياحة والآثار - جامعة الملك سعود

١٤٣٦هـ/ ٢٠١٥م

ملخص البحث

تناولت هذه الدراسة علاج وصيانة العملات الآثرية المنتشلة من بيئة بحرية في أربعة فصول على النحو التالي:

الفصل الأول:

يتناول دراسة أنواع السبائك الفلزية التي استخدمت في صناعة العملات قديماً، متضمناً دراسة السبائك النحاسية وهي سبيكة البرونز وسبيكة النحاس الأصفر (البراس) وسبيكة النحاس والرصاص والسبائك الذهبية والفضية وهي سبيكة الذهب والفضة (الإلكتروم) وسبيكة الذهب والنحاس وسبيكة الفضة والنحاس (البيللون)، كما يتناول الطرق الشائعة في صناعة العملات الآثرية المتمثلة في طريقتي السك (الطرق) والصب.

الفصل الثانى:

يتناول أسباب ومظاهر تلف العملات الآثرية في البيئة البحرية، ويشتمل على مفهوم البيئة البحرية ونوعية الآثار الغارقة في مياه البحار ومكونات مياه البحار وخصائصها من (غازات وأملاح ذائبة ودرجة الحرارة ودرجة الحموضة والقلوية وسرعة حركة المياه والنشاط الميكروبيولوجى والرواسب البحرية) وتأثير ذلك على عملية تآكل العملات الآثرية الغارقة فيها، كما يتناول ميكانيكية تآكل العملات الآثرية في البيئة البحرية الهوائية واللاهوائية، بالإضافة إلى أهم أنواع وأشكال التآكل المتكونة في البيئة البحرية.

الفصل الثالث:

يتناول طرق التوثيق والفحص والتحليل المختلفة لمجموعة العملات موضوع الدراسة بإستخدام الأجهزة العلمية المتاحة، وذلك لتقييم حالة التلف الفعلية التي وصلت إليها مجموعة العملات من جراء تواجدها في بيئة البحر الأحمر.

الفصل الرابع:

الجانب التطبيقي لهذه الدراسة ويشمل علاج وصيانة مجموعة العملات الآثرية موضوع الدراسة بإستخدام أفضل مواد العلاج والصيانة المناسبة لحالتها، متضمناً عمليات فصل العملات الملتصقة في صورة كتل متحجرة وعمليات علاج وطلاء مجموعة العملات موضوع الدراسة بالطلاءات الواقية (مواد العزل) لصيانتها.

وأختتم البحث بمناقشة عامة للنتائج المستخلصة من الدراسة وكذلك بالتوصيات التي يوصى بالأخذ بها ووضعها في عين الإعتبار عند التعامل مع العملات الآثرية المنتشلة من البيئات البحرية.

الكلمات الدالة

* العملات الآثرية
* الآثار الغارقة
* سك العملة
* البيئة البحرية
* التآكل البحري
* الترسبات المتحجرة
* الفحص الميتالوجرافي
* تفكيك الكتل
* التحليل الكهربي
* الداي ثيونيت االقلوي

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿ وَشَرَوْهُ بِثَمَنٍ بَخْسٍ دَرَاهِمَ مَعْدُودَةٍ وَكَانُوا فِيهِ مِنَ الزَّاهِدِينَ ﴾

صدق الله العظيم

سورة يوسف، الآية (٢٠).

الإهداء

إلى روح أبي الطاهرة

إلى والدتي ينبوع التضحية والعطاء

إلى زوجتي رمز المحبة والوفاء

إلى أبنائي الأحباء أدم وأنس

إلى هؤلاء جميعاً أهدي هذا البحث

الباحث

الشكر والتقدير

الشكر والحمد لله على توفيقه ومعونته وستره والحمد لجلاله على تيسيره للصعاب التي واجهتني في إعداد هذا البحث، اللهم لك الحمد كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك.

أود أن أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الإمتنان إلى كل من مد لي يد العون والمساعدة وساهم في إخراج هذا العمل إلى حيز الوجود، وأخص بالشكر والتقدير والإمتنان مشرفتي وأستاذتي الفاضلة **الأستاذة الدكتورة وفاء أنور محمد سليمان** أستاذ ترميم وصيانة الآثار المعدنية بكلية الآثار جامعة القاهرة التي لم تتوان لحظة عن تقديم التوجيه والنصح والإرشاد والرعاية والمتابعة المستمرة لي ومنحي الكثير من وقتها، فلها مني جزيل الشكر والتقدير وجزاها الله عني خير الجزاء.

كما أتقدم بخالص شكري وإمتناني إلى **الأستاذ الدكتور عبد الناصر بن عبد الرحمن الزهراني** أستاذ ترميم وصيانة الآثار بكلية السياحة والآثار جامعة الملك سعود على مشاركة سيادته في الإشراف على هذا البحث وعلى مساندته ومتابعته المستمرة لي أثناء إجراء الدراسة التطبيقية وعلى ما قدمه لي من نصح وإرشاد، كما أشكره على كرم ضيافته وحسن إستقباله وعظيم خلقه كلما إلتقيت به فى المملكة العربية السعودية.

وأتوجه بالشكر **للأستاذة الدكتورة مي رفاعي** أستاذ مساعد ترميم وصيانة الآثار المعدنية بكلية الآثار جامعة القاهرة لتفضلها بالموافقة على مناقشتي.

كما أتوجه بالشكر **للأستاذ الدكتور نبيل أحمد المناخلي** أستاذ مساعد بقسم الكيمياء الكهربية وتآكل الفلزات بالمركز القومي للبحوث لتفضله بالموافقة على مناقشتي.

كما أتقدم بخالص شكري وتقديري إلى **الدكتور عوض بن علي الزهراني** مدير عام المتاحف بقطاع الآثار والمتاحف بالهيئة العامة للسياحة والآثار بالمملكة العربية السعودية على تفضله بالسماح لي بالعمل على عملات كنز الشعيبة الآثري الجانب التطبيقي لهذا البحث والذي يعد وثيقة تاريخية هامة من وثائق الحرمين الشريفين.

كما أتقدم بعميق شكري وتقديري إلى **الأستاذ سعد بن محمد المشاري** مدير إدارة المختبرات والترميم بقطاع الآثار والمتاحف بالهيئة العامة للسياحة والآثار بالمملكة العربية السعودية، على ما قدمه لي من توفير الظروف المناسبة لإجراء الجانب التطبيقي.

كما أتقدم بعميق شكري وتقديري إلى **الأستاذ عبد الرازق شلبي** فني ترميم الآثار بإدارة المختبرات والترميم **والأستاذ أمير شلبي** فني ترميم الآثار بإدارة المختبرات والترميم على ما قدموه لي من مساعدة ومساندة أثناء إجراء الجانب التطبيقي.

كما أتقدم بخالص شكري وتقديري إلى صديقي **الدكتور سامح عبد السلام** إستشاري الترميم والصيانة بمؤسسة التراث بالمملكة العربية السعودية على مساعدته لي أثناء فترة تواجدي بالمملكة العربية السعودية.

كما أتقدم بخالص شكري وتقديري إلى صديقي **الدكتور عبد الله محمود أحمد** بكلية الآثار جامعة القاهرة، على تشجيعه ومساندته لي طوال فترة إعداد البحث.

كما أتقدم بخالص شكري وتقديري إلى **الدكتور محمد عبد الرحمن** بوحدة الميتالوجرافي بمركز بحوث وتطوير الفلزات على مساعدته لي في دراسة وفحص العينات بالميكروسكوب الميتالوجرافي، فله مني جزيل الشكر والإمتنان.

كما أتقدم بخالص شكري وتقديري إلى **الدكتور سامح السيد شعبان** بمعمل الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بهيئة الرقابة النووية والإشعاعية على مساعدته لي في إجراء الفحص والتحليل بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح، فله مني جزيل الشكر والتقدير.

كما أتقدم بوافر الشكر إلى **الدكتور إبراهيم فرج والدكتورة أمل** بالمركز القومي للبحوث على مساعدتهم لي في إجراء التحليل والدراسة بحيود الأشعة السينية، فجزاهم الله عني خير الجزاء.

كما أتقدم بعميق شكري وتقديري إلى أخي وصديقي **الأستاذ أحمد رضوان** مدير المكتب الفني بوحدة ترميم الآثار بشركة المقاولون العرب على تشجيعه ومساندته لي والذي كان يخفف من همومي كلما ضقت صدرا فجزاه الله عني خير الجزاء ووفقه الله لما فيه الخير له.

كما أتقدم بوافر الشكر إلى **الأستاذ محمد سمير**المعيد بكلية الآثار جامعة القاهرة **والأستاذة فاطمة الزهراء سادات** على مساعدتهم لي في تجهيز العينات للفحص بالميكروسكوب الميتالوجرافي.

كما أتقدم بخالص الشكر إلى **الأستاذ محمد محمد عبده عبد البر** المعيد بكلية الآثار جامعة الفيوم وإلى **الأستاذ وليد شعبان** أخصائي ترميم وصيانة الآثار بمنطقة آثار الفيوم.

وحتى لا أنسى أحد فكل الشكر والتقدير والإمتنان والعرفان لكل من ساهم في إنجاز هذا العمل المتواضع ولكل من ساندني ولو بكلمة تشجيع.

فهرس الموضوعات

	رقم الصفحة
المقدمة	أ : ب
الهدف من البحث	ت
الأعمال السابقة	ث : ح ح
الفصل الأول: دراسة أنواع السبائك الفلزية المستخدمة في صناعة العملات الآثرية وطرق صناعة العملات قديماً.	١ : ٥٤
١.١ السبائك الفلزية المستخدمة في صناعة العملات الآثرية	١
١.١.١ سبيكة البرونز	٣
١.١.١.١ الشكل الطوري لسبيكة البرونز القصديري	٦
٢.١.١.١ سبيكة البرونز الرصاصي	٨
٣.١.١.١ خواص سبيكة البرونز	٨
٢.١.١ سبيكة النحاس الأصفر (البراس)	٩
٣.١.١ سبيكة النحاس والرصاص	١٣
٤.١.١ سبيكة الفضة والنحاس (البيللون)	١٥
٥.١.١ سبيكة الذهب والفضة (الإلكتروم)	١٩
٦.١.١ سبيكة الذهب والنحاس	٢١
٢.١ طرق صناعة العملات الآثرية قديماً	٢٣
١.٢.١ طريقة السك "الطرق"	٢٤
١.١.٢.١ إعداد قوالب السك	٢٤
١.١.١.٢.١ القوالب المحفورة مباشرة	٢٥
٢.١.١.٢.١ القوالب المصبوبة	٣٠
٢.١.٢.١ إعداد الأقراص الفلزية	٣٥
١.٢.١.٢.١ طريقة الصب	٣٦
٢.٢.١.٢.١ طريقة القص	٣٨
٣.١.٢.١ ختم نموذج العملة علي وجهي القرص الفلزي	٤١
٢.٢.١ طريقة الصب	٤٨
الفصل الثاني: أسباب ومظاهر تلف العملات الأثرية في البيئة البحرية	٥٥ : ١٢٨
١.٢ تعريف البيئة البحرية	٥٥
٢.٢ الآثار الغارقة في البيئة البحرية	٥٩
٣.٢ مكونات وخصائص البيئة البحرية وتأثيرهما على عملية تآكل العملات الآثرية	٦١
١.٣.٢ الغازات الذائبة فى مياه البحار	٦٤
١.١.٣.٢ غاز الأكسجين	٦٦
٢.١.٣.٢ غاز ثانى اكسيد الكربون	٦٩

٣.١.٣.٢ غاز كبرتيد الهيدروجين والأمونيا	٧١
٢.٣.٢ الأملاح الذائبة فى مياه البحار (الملوحة)	٧٣
٣.٣.٢ درجة الحرارة	٧٨
٤.٣.٢ قيمة الأس الهيدروجيني (درجة حموضة أو قلوية مياه البحر)	٨٠
٥.٣.٢ سرعة حركة المياه	٨٤
٦.٣.٢ النشاط الميكروبيولوجي	٨٦
٧.٣.٢ مكونات الرواسب البحرية	٩٥
٤.٢ أنواع وأشكال التآكل في البيئة البحرية	١٠٠
١.٤.٢ التآكل الكهروكيميائي	١٠٠
٢.٤.٢ تآكل النحر (البري)	١٠١
٣.٤.٢ التآكل النقري (الثقبي)	١٠٣
٤.٤.٢ تآكل الشق (الجيب)	١٠٦
٥.٤.٢ التآكل التشققي الإجهادي	١٠٨
٦.٤.٢ تآكل الإجهاد	١٠٩
٧.٤.٢ التآكل الإختياري	١١٠
٥.٢ ميكانيكية تآكل العملات الآثرية في البيئة البحرية	١١٢
١.٥.٢ تآكل العملات النحاسية في البيئة البحرية	١١٢
١.١.٥.٢ تآكل العملات النحاسية في البيئة البحرية ذات الظروف الهوائية	١١٢
٢.١.٥.٢ تآكل العملات النحاسية في البيئة البحرية ذات الظروف اللاهوائية	١١٨
٢.٥.٢ تآكل العملات الفضية في البيئة البحرية	١٢٢
١.٢.٥.٢ تآكل العملات الفضية فى البيئة البحرية الهوائية	١٢٣
٢.٢.٥.٢ تآكل العملات الفضية في البيئة البحرية اللاهوائية	١٢٦
الفصل الثالث: تقييم حالة العملات موضوع الدراسة	١٢٩ : ٢١٨
١.٣ مصدر العملات ومكان حفظها	١٢٩
٢.٣ توثيق وفحص الحالة الراهنة	١٣٣
١.٢.٣ وصف حالة الكتلة رقم (١)	١٣٣
٢.٢.٣ وصف حالة الكتلة رقم (٢)	١٣٤
٣.٢.٣ التوثيق الفوتوغرافي	١٣٤
١.٣.٢.٣ الكتلة رقم (١)	١٣٤
٢.٣.٢.٣ الكتلة رقم (٢)	١٣٧
٤.٢.٣ التوثيق بالرسم	١٣٩
١.٤.٢.٣ الكتلة رقم (١)	١٣٩
٢.٤.٢.٣ الكتلة رقم (٢)	١٤٠
٥.٢.٣ فحص وتحليل وتقييم حالة العملات المكونة للكتل	١٤٠
٣-٢-٦ تصنيف وتسجيل العملات محل الدراسة	١٤٣
٣-٢-٧ فحص وتحليل العملات محل الدراسة	١٥١

٣-٢-٧-١ الفحص	١٥١
٣-٢-٧-١-١ الفحص البصري	١٥١
٣-٢-٧-١-٢ الفحص بالميكروسكوب الضوئي	١٥٢
٣-٢-٧-١-٣ الفحص بالميكروسكوب الميتالوجرافي	١٦١
٣-٢-٧-١-٤ الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح	١٧٦
٣-٢-٧-٢ التحليل	١٩٣
٣-٢-٧-٢-١ التحليل بحيود الأشعة السينية	١٩٣
٣-٢-٧-٢-٢ التحليل بوحدة EDX الملحقة بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح	٢١٠
الفصل الرابع: الدراسة التطبيقية لعلاج وصيانة مجموعة من العملات الأثرية المنتشلة من ميناء الشعيبة بالمملكة العربية السعودية	٢١٩ : ٢٧٩
٤.١ عمليات تفكيك الكتل وفصل العملات	٢١٩
٤.١.١ تفكيك الكتلة رقم (١)	٢١٩
٤.١.١.١ التفكيك بطريقة الإختزال بالتحليل الكهربي	٢١٩
٤.١.١.٢ التفكيك بطريقة المحاليل الكيميائية	٢٢١
٤.١.١.٣ مراحل تفكيك الكتلة رقم (١) وفصل العملات	٢٢٦
٤.١.٢ تفكيك الكتلة رقم (٢)	٢٣١
٤.٢ علاج وصيانة مجموعة العملات بعد فكها	٢٣٨
٤.٢.١ تنظيف وعلاج العملات.	٢٣٨
٤.٢.١٠١المعالجة بالدايثيونيت القلوى	٢٣٨
٤.٢.١٠٢ المعالجة بالتحليل الكهربي	٢٤٢
٤.٢.٢ طلاء العملات بالطلاء الواقي	٢٤٨
النتائج المستخلصة من البحث	٢٨٠ : ٢٩١
التوصيات	٢٩٢ : ٢٩٤
قائمة المراجع	٢٩٥ : ٣٠٧

فهرس الصور

الرقم	التعليق	الصفحة
	الفصل الأول: دراسة أنواع السبائك الفلزية المستخدمة في صناعة العملات الآثرية وطرق صناعة العملات قديماً.	١ : ٥٤
١ (أ- ب)	نماذج من قوالب السك في العصر الروماني، (أ): توضح زوج من القوالب البرونزية لدينار أوغسطس (ب): توضح قالب الخلفية من البرونز لدينار مارك أنطوني مثبت في لكمة من الحديد إسطوانية الشكل.	٢٨
٢	زوج من القوالب الرصاصية تحمل نقوشاً غائرةً محفورة بشكل معكوس لدينار إسلامي والتي تعتبر قوالب أصلية محفورة كانت تستخدم لإنتاج قوالب السك البرونزية.	٣١
٣	زوج من قوالب السك الحديدية المتصلة من ذراعيها يرجع إلى العصر الروماني.	٣٣
٤	زوج من قوالب السك الحديدية المتصلة من ذراعيها يعود إلى القرن السادس الميلادي لإنتاج العملات الذهبية الرومانية.	٣٢
٥	زوج من قوالب السك الحديدية من العصر الإسلامي.	٣٤
٦	نماذج متنوعة لقوالب سك العملات الإسلامية.	٣٤
٧	قالب من الحجر الجيري مكون من جزئين يستخدم لصب الأقراص البرونزية.	٣٥
٨	قالب من الطين المحروق كان يستحدم لصب الأقراص الفلزية قديماً.	٣٥
٩	نموذج لنصف قالب كان يستخدم لصب الأقراص البرونزية قديماً.	٣٦
١٠	قالب مكون من جزئين متصلين كان يستخدم لصب أشكال كروية كان يجري طرقها بعد صبها لتصبح أقراصاً تستخدم لإنتاج العملات،	٣٦
١١	مراحل إنتاج الأقراص البرونزية عن طريق تقطيع القضبان البرونزية المسبوكة إلى قطع إسطوانية، ثم طرقها للحصول على السمك المناسب لحجم العملة.	٤٠
١٢	لوحة من الطين المحروق تحتوي على مجموعة من قوالب الصب (القوالب الفخارية) لجانب من العملات كانت تستخدم قديماً لصب العملات البرونزية.	٤٨
١٣ (أ- ب)	(أ): لوحة من الحجر الجيري الأصفر تحتوي على مجموعة من قوالب الصب لجانب من العملات، كانت تستخدم قديماً لصب العملات البرونزية في قرطاج، (ب): جانب من بعض العملات المنتجة بواسطة تلك القوالب.	٤٩
١٤ (أ- ب)	(أ)،(ب): توضح أجزاء قالب صب العملة المصنوع من الطين المحروق (قالب فخاري).	٥١
١٥	القالب البرونزي الأصلي (القالب الأم)، المستخدم لعمل القوالب الطينية المشتقة المستخدمة لصب العملات البرنزية قديماً في الصين.	٥٣
	الفصل الثالث: تقييم حالة العملات موضوع الدراسة	٢١٨:١٢٩
١٦ (أ- ب- ج)	(أ): كتل العملات أثناء حفظها، (ب): كتلة العملات رقم (١)، (ج): كتلة العملات رقم (٢).	١٣٢
١٧ (أ- ب- ج- د)	(أ)، (ب)، (ج)، (د): توضح الكتلة (١) من جهات مختلفة وحالة العملات الملتصقة التي تحتويها ومدى ما أصابها من تلف ومظاهر التلف التي تعاني منها.	١٣٤
١٨ (أ- ب- ج- د- هـ- و)	(أ)، (ب)، (ج)، (د)، (هـ)، (و): توضح مجموعة من العملات المنفصلة من الكتلة رقم (١).	١٣٥

١٩ (أ- ب)	(أ)، (ب): توضح كتلتين صغيرتين منفصلتين عن الكتلة الأساسية تحتوي كل كتلة منهما على مجموعة صغيرة من العملات الملتصقة.	١٣٦
٢٠ (أ- ب- ج- د)	(أ)، (ب)، (ج)، (د): توضح الكتلة (٢) من جميع الجهات وما تعانيه من مظاهر تلف.	١٣٧
٢١ (أ- ب- ج- د- هـ- و)	(أ)، (ب)، (ج)، (د)، (هـ)، (و): توضح مجموعة من العملات المنفصلة من الكتلة رقم (٢).	١٣٨
٢٢ (أ- ب- ج- د- هـ)	(أ)، (ب)، (ج)، (د)، (هـ):توضح مظاهر التلف التي تعانى منها العملات الملتصقة المكونة للكتلة (١) المتمثلة في الترسبات البحرية المتحجرة ومركبات نواتج التآكل.	١٤١
٢٣ (أ- ب- ج- د- هـ)	(أ)، (ب)، (ج)، (د)، (هـ):توضح مظاهر التلف التي تعاني منها العملات الملتصقة المكونة للكتلة (٢) المتمثلة في الترسبات البحرية المتحجرة ومركبات نواتج التآكل.	١٤٢
٢٤	توضح الحالة الفعلية لمجموعة العملات موضوع الدراسة قبل علاجها وصيانتها.	١٤٤
٢٥ (أ- ب)	(أ)، (ب): توضح عملات المجموعة الأولى (A) من الجانبين.	١٤٥
٢٦	توضح عملات المجموعة الثانية (B)، ويتضح تنوع حالتها وألوان مركبات التآكل المتكونة على أسطحها.	١٤٦
٢٧ (أ- ب)	(أ)، (ب): توضح عملات المجموعة الثالثة (C) من الجانبين.	١٤٧
٢٨ (أ- ب- ج- د- هـ)	(أ)، (ب)، (ج)، (د)، (هـ): توضح تنوع مركبات نواتج التآكل المتكونة على سطح إحدى العملات (كبريتيدات الفضة وكبريتيدات النحاس وكبريتيدات النحاس والحديد وكربونات وكلوريدات النحاس) بالإضافة إلى الترسبات البحرية، كما يتضح إنتشار الشروخ ووجود أجزاء مفقودة من حافة العملة.	١٥٢
٢٩ (أ- ب- ج- د- هـ)	(أ)، (ب)، (ج)، (د)، (هـ): توضح تنوع مركبات نواتج التآكل المتكونة على سطح إحدى العملات (أكسيد النحاسوز وكبريتيدات النحاس وكبريتيدات النحاس والحديد وأكسيد الفضة والنحاس وأكاسيد الحديد وكبريتيدات الفضة والنحاس).	١٥٣
٣٠ (أ- ب- ج- د- هـ)	(أ)، (ب)، (ج)، (د)، (هـ): توضح تنوع مركبات نواتج التآكل المتكونة على سطح إحدى العملات (كبريتيدات الفضة وكلوريدات الفضة وكبريتيدات النحاس، بالإضافة إلى الترسبات البحرية، كما يتضح أن طبقة التآكل خشنة محببة وضعيفة التماسك في بعض المناطق من سطح العملة.	١٥٤
٣١ (أ- ب- ج- د- هـ)	(أ)، (ب)، (ج)، (د)، (هـ): توضح تنوع مركبات نواتج التآكل المتكونة على سطح إحدى العملات (كبريتيدات النحاس وكبريتيدات الفضة والنحاس وكلوريد الفضة وأكاسيد الحيد)، كما يتضح أن طبقة التآكل خشنة محببة وضعيفة التماسك في بعض المناطق من سطح العملة، بالإضافة إلى وجود أجزاء مفقودة من حافة العملة.	١٥٥
٣٢ (أ- ب- ج)	(أ)، (ب)، (ج): توضح تنوع مركبات نواتج التآكل المتكونة على سطح إحدى العملات (كلوريد الفضة وكربونات وكلوريدات وكبريتات النحاس) بالإضافة إلى الترسبات البحرية (الأراجونيت والكوارتز).	١٥٦
٣٣ (أ- ب- ج)	(أ)، (ب)، (ج): توضح تنوع مركبات نواتج التآكل المتكونة على سطح إحدى العملات (كلوريدات وكبريتات النحاس وأكاسيد الحديد).	١٥٧
٣٤ (أ- ب- ج)	(أ)، (ب)، (ج): توضح تنوع مركبات نواتج التآكل المتكونة على سطح إحدى العملات (كربونات وكبريتات النحاس وكبريتيد النحاس والحديد).	١٥٨

٣٥ (أ- ب- ج)	(أ)، (ب)، (ج): توضح تنوع مركبات نواتج التآكل المتكونة على سطح إحدى العملات (أكسيد النحاسوز وكربونات وكلوريدات وكبريتات النحاس وكبريتيد النحاس وكبريتيد النحاس الحديد).	١٥٩
٣٦	توضح مدى تدرج طبقات مركبات نواتج التآكل المتكونة على بعض المناطق من سطح إحدى العملات، بالإضافة إلى طبقة الترسبات البحرية المتحجرة.	١٦٠
٣٧	توضح مدى تدرج طبقات مركبات نواتج التآكل المتكونة على بعض المناطق من سطح إحدى العملات.	١٦٠
٣٨	توضح مدى تدرج طبقات مركبات نواتج التآكل المتكونة على بعض المناطق من سطح إحدى العملات، بالإضافة إلى طبقة الترسبات البحرية المتحجرة.	١٦٠
٣٩	بالميكروسكوب الميتالوجرافي، توضح مقطع عرضي لإحدى العملات المغلفة بطبقة رقيقة من مركبات التآكل تعلوها طبقة سميكة من الترسبات البحرية المتحجرة، قوة تكبير ١٠٠ X.	١٦٢
٤٠	توضح مقطع عرضي لإحدى العملات المغلفة بطبقة سميكة من مركبات التآكل، قوة تكبير X١٠٠ .	١٦٢
٤١	توضح مقطع عرضي لإحدى العملات المغلفة بطبقات تآكل متباينة السمك تعلوها طبقة رقيقة الترسبات البحرية المتحجرة، قوة تكبير X١٠٠ .	١٦٣
٤٢	توضح مقطع عرضي لإحدى العملات المغلفة بطبقة رقيقة من مركبات التآكل ذات لون أسود، تعلوها طبقة سميكة من مركبات التآكل ذات لون بني محمر مختلطة بالترسبات البحرية، تعلوها طبقة تآكل رقيقة ذات لون أخضر زمردي، قوة تكبير X١٠٠ .	١٦٣
٤٣	توضح مقطع عرضي لإحدى العملات الضعيفة الهشة كاملة التحول إلى نواتج تآكل، قوة تكبير ١٠٠ X .	١٦٣
٤٤	توضح مقطع عرضي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٣,٨٦ نحاس + ٩٣,٠٢ فضة)، قوة تكبير (X٥٠).	١٦٤
٤٥	توضح مقطع عرضي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٥,٩٥ نحاس + ٩٢,٥٤ فضة)، قوة تكبير (X٥٠).	١٦٤
٤٦ (أ- ب)	(أ): توضح مقطع عرضي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٤,٠٥ نحاس + ٩٢,٤٧ فضة) قبل تنظيفها، قوة تكبير (X١٠٠)، (ب): توضح منطقة من نفس العينة السابقة، ويتضح فيها طبقة اللب الفلزي السليم تليها المنطقة التي تعرضت للتآكل الأختياري وحدوث نزح للنحاس وإستنقاذه وإثراء نسبي للفضة على سطح العملة ثم تليها طبقة نواتج التآكل المتكونة على العملة، قوة تكبير (X٢٠٠).	١٦٥
٤٧	توضح مقطع عرضي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (١٩,٥٦ نحاس + ٧٦,٢٤ فضة)، قوة تكبير (X٥٠).	١٦٦
٤٨	توضح جزء من مقطع عرضي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٤٦,١٣ نحاس + ٥١,٠٨ فضة)، قوة تكبير (X٥٠).	١٦٦
٤٩	توضح منطقة من العينة رقم (D)، ويتضح فيها المناطق التي تعرضت للتآكل الإختيارى للنحاس وإستنفاذه على وجهي العملة (A) أعلى وأسفل اللب الفلزي (B)، عند قوة تكبير ٥٠ X.	١٦٧
٥٠	توضح لمنطقة من نفس العينة السابقة، ويظهر فيها بوضوح الفرق بين المنطقة التي تعرضت للتآكل (A)، والمنطقة التي لم تتعرض للتآكل (B)، عند قوة تكبير ٥٠٠ X.	١٦٧
٥١ (أ- ب)	(أ): توضح التركيب الداخلي الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (١٩,٥٦ نحاس + ٧٦,٢٤ فضة)، قوة تكبير (X٦٢٥)، (ب): توضح منطقة متآكلة من نفس فلز العينة السابقة، قوة تكبير (X٦٢٥).	١٦٨
٥٢ (أ- ب)	(أ): توضح التركيب الداخلي الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٤٦,١٣ نحاس + ٥١,٠٨ فضة)، قوة تكبير (X٢٠٠)، (ب): توضح منطقة متآكلة من نفس فلز العينة السابقة، قوة تكبير (X٢٠٠).	١٦٩

٥٣ (أ- ب)	(أ): توضح التركيب الداخلي الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٥,٩٥ نحاس + ٩٢,٥٤ فضة)، قوة تكبير (X٥٠٠)، (ب): توضح منطقة متآكلة من نفس فلز العينة السابقة، قوة تكبير (X٥٠٠).	١٧٠
٥٤	توضح التركيب الداخلي الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (١٩,٥٦ نحاس + ٧٦,٢٤ فضة + ٢,٦٣ رصاص)، قوة تكبير (X٥٠٠).	١٧١
٥٥	توضح التركيب الداخلي الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٤٦,١٣ نحاس + ٥١,٠٨ فضة)، قوة تكبير (X٥٠٠).	١٧٢
٥٦	توضح التركيب الداخلي الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٤,٩٤ نحاس + ٩٤,٩٤ فضة)، قوة تكبير (X٥٠٠).	١٧٣
٥٧	توضح التركيب الداخلي الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٧,٤٢ نحاس + ٩٠,٤٢ فضة)، قوة تكبير (X٢٠٠).	١٧٤
٥٨	بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح، توضح مقطع عرضي لإحدى العملات، قوة تكبير (X٣٧٠).	١٧٧
٥٩	توضح مقطع عرضي لإحدى العملات، قوة تكبير (X٥٠).	١٧٧
٦٠	توضح مقطع عرضي لإحدى العملات، قوة تكبير (X٧٥).	١٧٨
٦١	توضح مقطع عرضي لإحدى العملات، قوة تكبير (X١٥٠).	١٧٨
٦٢	توضح مقطع عرضي لبعض العملات المتماسكة في صورة كتلة صغيرة قبل عملية الفصل، قوة تكبير (X١٥).	١٧٩
٦٣	توضح مقطع عرضي لإحدى العملات الهشة وحالتها سيئةً جداً، قوة تكبير (X١٠٠).	١٧٩
٦٤	توضح طبقة القشور البحرية الصلدة المتكونة على سطح إحدى العملات، بالإضافة إلى طبقة مركبات التآكل متعددة الألوان الموجودة أسفل طبقة القشور البحرية، قوة تكبير (X٢٠٠).	١٨٠
٦٥	توضح طبقة متحجرة من الرواسب البحرية الكلسية المتكونة على سطح إحدى العملات بالإضافة إلى طبقة مركبات التآكل، قوة تكبير (X٢٠٠٠).	١٨٠
٦٦	توضح تدرج طبقات التآكل المتكونة على سطح إحدى العملات وتنوعها في السمك والشكل، قوة تكبير (X١٠٠).	١٨١
٦٧	توضح تدرج طبقات التآكل المتكونة على سطح إحدى العملات وتنوعها في السمك والشكل، قوة تكبير (X٢٠٠).	١٨١
٦٨	توضح مدى تنوع مركبات نواتج التآكل المختلطة بالرواسب البحرية المتكونة على سطح إحدى العملات، قوة تكبير (X١٠٠٠).	١٨٢
٦٩	توضح التكلسات البحرية الصلدة الموجودة على سطح إحدى العملات، قوة تكبير (X٥٠٠).	١٨٢
٧٠ (أ- ب)	(أ): توضح مقطع عرضي للفلز الأصلي لإحدى العملات، قوة تكبير (X٢٥٠)، (ب): توضح منطقة من نفس العينة السابقة، قوة تكبير (X٦٠٠).	١٨٣
٧١ (أ- ب)	(أ): توضح التركيب الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (١٩,٥٦ نحاس + ٧٦,٢٤ فضة)، (ب): توضح منطقة متآكلة من نفس فلز العملة، قوة تكبير (X٦٠٠).	١٨٤
٧٢ (أ- ب)	(أ): توضح التركيب الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٤٦,١٣ نحاس + ٥١,٠٨ فضة)، (ب): توضح منطقة متآكلة من نفس فلز العملة، قوة تكبير (X٦٠٠).	١٨٥
٧٣	توضح انتشار التآكل الإختيارى للطور الغني بالنحاس في اللب الفلزي للعملة بإستثناء منطقة صغيرة في المركز لم تتعرض للتآكل بعد، قوة تكبير (X٦٠٠).	١٨٦
٧٤	توضح بداية إنتشار التآكل بين الحبيبي على حدود حبيبات الطور الغني	١٨٦

	بالنحاس في اللب الفلزي لإحدى العملات والذي يعتبر مرحلة أولية من التآكل يليها حدوث نزح وإستنفاذ لجميع حبيبات الطور الغني بالنحاس في سبيكة العملة، قوة تكبير (X٣٠٠٠).	
٧٥ (أ- ب)	(أ): توضح التركيب الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٤,٩٤ نحاس + ٩٤,٩٤ فضة)، قوة تكبير (X٦٠٠)، (ب): توضح منطقة من نفس العينة السابقة، ويتضح فيها انتشار الشروخ وحدوث تآكل شديد في مواقع خطوط الإنزلاق (الطور الغني بالنحاس) مما أدى إلى ضعف وتصدع فلز العملة وإنهياره بشكل تدريجي، قوة تكبير (X١٠٠٠).	١٨٧
٧٦ (أ- ب)	(أ): توضح التركيب الدقيق للفلز الأصلي لإحدى عملات سبيكة الفضة والنحاس (٤,٠٥ نحاس + ٩٢,٤٧ فضة)، قوة تكبير (X٧٠٠)، (ب): توضح منطقة من الفلز الأصلي لنفس العينة السابقة، قوة تكبير (X١١٠٠).	١٨٨
٧٧	توضح جزء مفقود من حافة إحدى العملات، ويتضح فيها إنتشار الشروخ والحفر في سطح الفلز الأصلي للعملة، قوة تكبير (X١٥٠).	١٨٩
٧٨	توضح سطح الفلز الأصلي لإحدى العملات، ويتضح فيها ضعف السطح الفلزي وإنتشار الشروخ والشقوق وبؤر التآكل، قوة تكبير (X٢٠٠).	١٨٩
	الفصل الرابع: الدراسة التطبيقية لعلاج وصيانة مجموعة من العملات الآثرية المنتشلة من مياه البحر الأحمر بمنطقة ميناء الشعيبة التاريخي بالمملكة العربية السعودية	٢١٩:٢٧٩
٧٩	توضح كتلة صغيرة من العملات الملتصقة قبل عملية الفصل بإستخدام طريقة الإختزال بالتحليل الكهربى.	٢٢٠
٨٠	توضح جهاز التحليل الكهربى المستخدم.	٢٢٠
٨١	توضح الكتلة بعد رفعها من حوض جهاز التحليل الكهربي لتنظيفها وفحصها.	٢٢١
٨٢	توضح مجموعة العملات المفردة بعد إنتهاء عملية الفصل.	٢٢١
٨٣	توضح عملية المعالجة بالمحاليل الكيميائية المختارة.	٢٢٢
٨٤	توضح مجموعة العملات قبل وبعد إجراء عملية المعالجة بالمحاليل الكيميائية المختارة.	٢٢٢
٨٥	كتلة صغيرة من العملات الملتصقة قبل عملية الفصل بالمحاليل الكيميائية.	٢٢٤
٨٦	توضح الكتلة أثناء الغمر فى محلول حمض الستريك الساخن بتركيز ٥% + مادة الثيويوريا بنسبة ٢%.	٢٢٤
٨٧	توضح مجموعة العملات المفردة بعد تمام عملية الفصل.	٢٢٤
٨٨	توضح حالة العملات بعد فصلها بمحلول حمض الستريك بتركيز٥% + الثيويوريا بنسبة ٢% عند درجة حرارة ٧٠°م.	٢٢٥
٨٩	توضح حالة العملات بعد فصلها بطريقة التحليل الكهربي.	٢٢٥
٩٠ (أ- ب- ج- د)	(أ)، (ب)، (ج)، (د): توضح الكتلة أثناء عملية التنظيف الميكانيكى باستخدام ماكينة الميكروموتور مع الإستعانة بفرش الأسنان والفرر المعدنية والمشارط الجراحية.	٢٢٧
٩١	توضح الفرن الكهربي بداخله الكتلة مغمورة في الحمام الأول من محلول حمض الستريك مع الثيويوريا.	٢٢٧
٩٢	توضح الكتلة أثناء الغمر في الحمام الأول، ويظهر ترسيب نواتج التآكل التي تم إذابتها في قاع الوعاء الزجاجي، بالإضافة إلى إنفصال بعض العملات عن الكتلة.	٢٢٧
٩٣ (أ- ب)	توضح شطف وتفريش الكتلة بعد الحمام الأول من محلول حمض الستريك ٥% + الثيويوريا ٢%.	٢٢٨