دراسة حالة
لتمثال مصنوع من سبيكة الحديد الزهر المكفت بالبراس من العصر العثماني

عـــبير غريب أستاذ الترميم ، كلية الفنون الجميلة ، جامعة المنيا .
جهاد جنيدي قسم الكيمياء ، كلية العلوم ، جامعة القاهرة .
سامح الطاير مركز النانو، جامعة القاهرة ، فرع 6 أكتوبر.
القدس مختار مدرس مساعد قسم الترميم، كلية الفنون الجميلة، جامعة المنيا.
alguds@mu.edu.eg

الملخص :

يتناول البحث فحص وتحليل لتمثال من سبيكة الحديد يرجع إلي العصر الاسلامي معروض بمتحف كلية الفنون التطبيقية بجامعة حلوان بالقاهرة للتعرف على التركيب الكيميائي للتمثال وعلي مركبات التآكل وتقنيات التشكيل والزخرفة ، لقد تم فحص وتحليل التمثال باستخدام الميكروسكوب المجسم (الاستريوميكروسكوب **Stereo Microscope**) للحصول علي شكل طبقات التآكل والميكروسكوب الالكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت الأشعة السينية **Scanning Electron Microscope with energy dispersive spectroscopy(SEM+EDS)** لتحديد العناصرالمكونة للسبيكة ومركبات التآكل والفحص باستخدام الميكروسكوب الميتالوجرافي **Metallographic Microscopy** للتعرف على أطوار السبيكة والتلف الداخلي والتحليل بحيود الأشعة السينية **X– Ray Diffraction** لتحديد طبيعة مركبات التآكل المتكونة على التمثال وتركيبها الكيميائي.

وقد أظهر الفحص والتحليل أن التمثال من سبيكة الحديد الزهر المشكل بالطرق وهو عبارة عن جزئين وصلا عن طريق مفصلة والبرشمة ويعلوه أشرطة تكفيت من سبيكة البراس **Brass alloy** التي بها الكثير من الفقد والتمزق.

كما أظهرت نتائج الفحص والتحليل عناصر ومركبات تآكل علي سطح التمثال وتعرض التمثال لضغط التآكل النشط الناتج عن التلف الداخلي للحبيبات والوسط المحيط .

الكلمات الدالة: **سبيكة الحديد ، سبيكة البراس ، التكفيت ، التآكل ، التآكل بين الحبيبي**

1– المقدمة :

يهدف هذا البحث إلي دراسة حالة تمثال من سبيكة الحديد الزهر المكفت بالبراس من العصر العثماني ودراسة تقنيات صناعته وتشكيله وزخرفته ودراسة عناصر ومركبات التآكل المتواجدة علية والناتجة من تفاعله مع الوسط المحيط والتعرف علي اطوار السبيكة والتلف الداخلي.

انتشر انتاج سبائك البراس في العصور الإسلامية لخفة وزنها وسهولة تشكيلها ، كما ازدهر فن التكفيت في عصر المماليك [1] ، وشاع استخدام النحاس في العصر العثماني فكان في مركز الصدارة وذلك لوفرة خاماته في هضبة الأناضول، وقد كان بالقاهرة أيضاً ورش وأسواق متخصصة في بيع وتصنيع معدن النحاس في العصر المملوكي والعثماني جهة خان الخليلي ووكالة الصياغة وعرفت بحي النحاسين [2] ، وتم استخدام سبائك النحاس الأصفر (البراس) بكثرة بدلًا من سبيكة البرونز لأنه أكثر لمعاناً وأكثر ميلاً إلى اللون الذهبى [3] ولتوافر خامات الزنك خلال العصور الإسلامية في صورة **(كبريتيد الزنك Zinc Sulphide ZnS)** وصورة **(كربونات الزنك Zinc Carbonate $ZnCO_3$)** [4] .

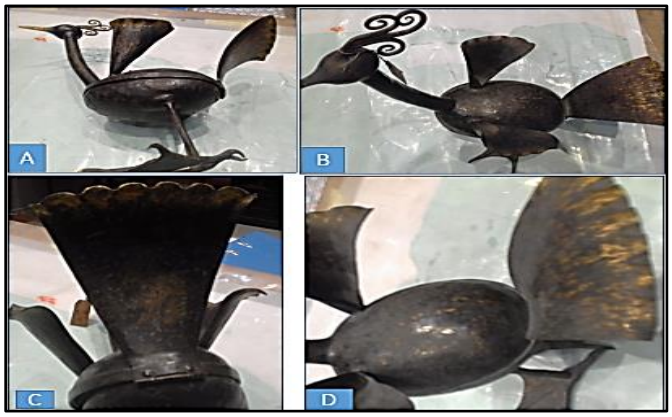
والتكفيت كلمة من أصل تركي ، وتعني تطعيم الأواني بأسلاك رفيعة من معدن أعلاه في القيمة ، ونشأت تقنية التكفيت أولًا في مدينة خراسان السلجوقية في منتصف القرن السادس الهجري وانتشرت في مدن إيران ثم انتقلت إلي الموصل شمال العراق ، وتطورت هذه التقنية في الموصل ثم انتقلت إلي سوريا والقاهرة [5] ، ويتم تطبيق التكفيت في صورتين **الأولى** في صورة أشرطة رقيقة تستخدم في

المناطق الواسعة أو العريضة ، **الثانية** في صورة أسلاك رقيقة تستخدم في الزخارف الرقيقة المكونة من خطوط ومساحات ضيقة ، وفي كلتا الصورتين أو الحالتين توضع مادة التكفيت بالمساحات أو الأجزاء المحفورة على سطح التحفة بواسطة الدق عليها بمطرقة من الخشب لتثبيت مادة التكفيت في الأماكن المحفورة أو استخدام لاصق عضوي (الغراء أو زلال البيض) للتثبيت [6] ومن طرق التكفيت الدامسكينيا وهي تعنى بصفة أساسية تكفيت سبيكة الحديد بشرائح وأسلاك معدنية دقيقة مثل تكفيت صفائح وحشوات باب ضريح ومدرسة السلطان حسن بالقاهرة [7] ، وتستخدم عملية الطرق في تشكيل السبائك المعدنية لتكتسب مزيد من الصلادة وإعطاءه الشكل المطلوب وقد يتسبب الطرق في حدوث تشوه في التركيب البلوري للسبيكة المعدنية وشقوق أو كسر في المعدن ويفقد المعدن خاصية اللدونة ويستحيل الاستمرار في التشكيل علي البارد نظرا لحدوث تصلد بالسبيكة المعدنية فيما يُعرف بتصلد الانفعال **(Strain) Hardening** فينتج عن ذلك شقوق أو كسر في المعدن **(Cracks)** وتفقد السبيكة المعدنية خاصية اللدونة ، ولاستمرار التشكيل على البارد يتم إجراء عملية التلدين **(Annealing)** أو ما يسمى **(عملية التخمير)** وذلك عند درجات حرارة أقل من درجة حرارة إعادة التبلور [8] ، وتهدف عملية الطرق إلى تحويل الشرائح المعدنية إلي أشكال مجسمة بأسلوب الجمع اليدوي وذلك بتسليط قوى ضاغطة موضعية عليها بواسطة مطارق يدوية (**Mallets**) ويتم الطرق بوضع السبيكة على سندان خشب أو سندان حديد [9] ، أما التشكيل الساخن فيكون بدرجة حرارية أعلى من درجة حرارة التبلور للسبيكة [10]، وتؤدي عمليات التشكيل على الساخن للسبائك المعدنية تغيير أشكال الكتل المعدنية وهذه العمليات تحدث بالسبيكة تغييراً لدناً وهو في نطاق محدد من درجات الحرارة ، وهذا النطاق يختلف باختلاف السبيكة الجاري تشكيلها حيث يتم تسخين سبائك الحديد بين درجتي حرارة **800:900 Cº** وذلك حتي يمكن طرقه وتشكيله علي الساخن ، أما سبائك النحاس فيكون تشكيلها بالطرق علي البارد ، وتسخن السبيكة قبل إجراء التشكيل تسخيناً منتظماً وشاملاً إلى درجة حرارة ملائمة مع مراعاة عدم إحتراق السبيكة أو تسخينها تسخيناً مفرطاً ، مما قد يؤدي إلى حدوث شروخ أو تصدعات في السبيكة أثناء عملية التشكيل [11] ، أما اللحام فهو وصل سبيكة معدنية بآخري عن طريق إذابة سبيكة معدنية أقل منها في درجة الانصهار ويتم ذلك عن طريق وضع الأطراف المراد الوصل فيما بينها وكانت تستخدم مساعدات صهر **مثل (ملح النطرون) أو (رمل السيلكا)** فتعمل علي إزالة الأكاسيد التي تعيق الإنصهار وتمنع تكون أكاسيد المعدن المراد لحامه أثناء عملية اللحام [12] ، والبرشمة وتسمى أيضاً **(الدسرة)** أي تعشيق المعدنين دون استخدام مادة لحام وهي تستخدم لوصل الأجزاء المعدنية وخاصة الصفائح المعدنية الرقيقة بمسامير غير مدببة ويتم ذلك بعمل ثقوب باستخدام آلة حادة، ويتم ربط هذه الأجزاء بوضع بعضها فوق بعض بحيث تكون الثقوب متوائمة [13] .

– وصف التمثال :

يحمل التمثال رقم 207/5 في سجلات متحف الفنون التطبيقية بجامعة حلوان بالقاهرة يرجع الي العصر العثماني بمصر وهو عبارة عن طاووس من سبيكة الحديد المكفت بسبيكة النحاس **(البراس)** كزخرفة علي جسم الطائر وله رقبة طويلة ومنقار طويل ومدبب والأجنحة والذيل مرتفعان في وضع التحليق ، أما البدن فمكون من جزئيين مفرغين لجسم الطائر ويتصلان ببعضهما بطرق وصل متعددة منها المفصلة والبرشمة وأبعاد الطائر حوالي **38.5 X 36 cm** كما هو موضح بالصور أرقام (1:3)والتمثال به صدأ وتآكل في أماكن متفرقة وفقد وتمزق في أشرطة التكفيت .

.



صورة رقم (1) :توضح تمثال طائر من سبيكة الحديد المكفت بالبراس (A)الجانب الأيسر من التمثال و(B) التمثال من أعلي (C) المفصلة المستخدمة في ذيل التمثال (D)يوضح التكفيت في ذيل التمثال

صورة رقم (2): توضح بدن التمثال من الداخل واستخدام الوصل مع ظهور علامات الطرق علي التمثال.

صورة رقم (3) :توضح ارجل التمثال وبعض أماكن التكفيت. .

2- الطرق والمواد :

2-1- الاستريوميكروسكوب Stereo Microscope

تم الفحص **باستخدام الأستيريوسكوب Stereo Microscope** ماركة **(Zeiss Stemi 508)** المزود بكاميرة بتكبيرات مختلفة ماركة **(Axiocam ERc5s)** والمتواجد بمعمل قسم الترميم – كلية الفنون الجميلة – جامعة المنيا لعينات من (الزخارف أعلي الرأس والذيل)

2-2-الميكروسكوب الالكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت الأشعة السينية

Scanning Electron Microscope(SEM+EDS)

تم الفحص والتحليل بمعمل التحاليل الدقيقة والنانو تكنولوجي بجامعة المنيا ، و الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتتيت الأشعة السينية **EDX** ماركة **(Model Quanta JSM-IT200 + ED-X Unit with accelerating Voltage 30 K.V. magnification14$_x$ up to 100000 & resolution for Gun.in)** باستخدام تكبيرات مختلفة **(250x-500x-1000x)** وتم أخذ العينات من أماكن غير ظاهرة بالتمثال(من الذيل – ومن الزخارف أعلي الراس) .

2-3-الميكروسكوب الميتالوجرافي Metallographic Microscope

تم اعداد العينة للفحص بوضعها في قالب من الابوكسي الشفاف بحيث يكون سطح العينة **(من الذيل)** في أعلى القالب مما يسهل اعداد السطح للفحص حيث تم صقل السطح جيداً لإزالة ما يعلوه من نواتج تآكل حتى تم الكشف عن سطح السبيكة وذلك باستخدام ورق السنفرة كمادة تلميع ، كما يمكن استخدام عجلات الصقل **Polishing Wheels** المغطاة بالصوف والتي تدور في مستويات أفقية ويوضع عليها سطح المعدن رأسياً مما يُسهل عملية صقله ثم شطف المعدن بالماء وتجفيفه بالكحول لإزالة آثار الماء وأخيراً يجفف بالهواء الساخن يلي ذلك التآكل التفاضلي **(Etching)** باستخدام حمض النيتريك 7% ومن ذلك تكون العينة جاهزة ومعدة للفحص تحت درجات تكبير مختلفة وجميع الصور بتكبير **100x Mm** لفحص السطح .

2-4- التحليل بحيود الأشعة السينية

X- Ray Diffraction :

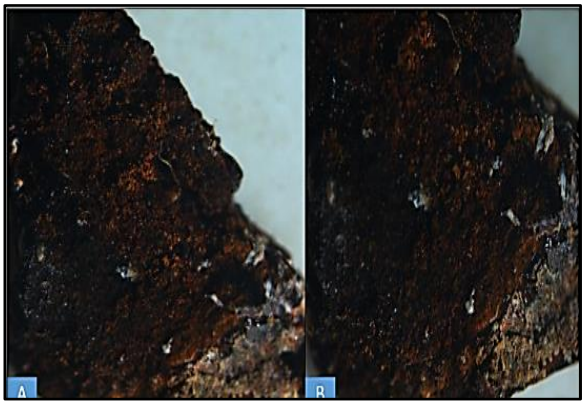
تم تحليل عينة من الذيل باستخدم جهاز التحليل بحيود الأشعة السينية **X-Ray Diffraction** مع استخدام أنبوبة المهبط من النحاس **Tube Anode of Copper** وتيار شدته **(40)** كيلو / فولت وقوته **(55)** مم/ أمبير وطول موجي 1.54.18 Å / Aأنجستروم وزاوية بدء 2θ = 4 وذلك لتحديد مركبات التآكل المتواجده علي التمثال وتركيبها الكيميائي وتم تحليل عينة من ذيل التمثال .

3- مناقشة النتائج

من الفحص البصري اتضح أن التمثال مشكل بالطرق وهذا واضح من آثار الطرق علي بطن التمثال والأقدام والأجنحة والذيل و تم وصل جزئي التمثال بمفصلة وكذلك البرشمة في وصل أرجل التمثال بالأقدام واتضح أيضًا وجود أشرطة تكفيت علي الريش أعلي الرأس والمنقار وأطراف الأجنحة والذيل والأقدام وتبين من خلال الفحص الآتي :

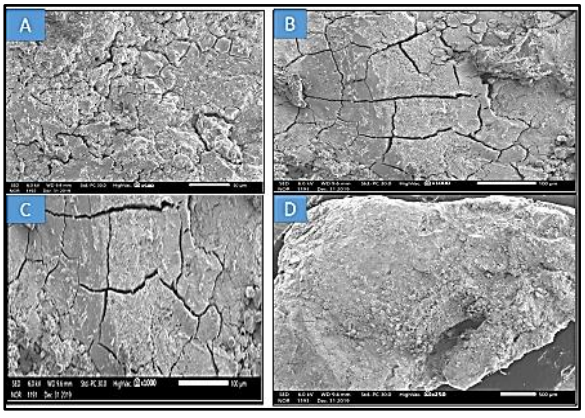
3-1 الميكروسكوب المجسم (الاستريوميكروسكوب Stereo Microscope):

تبين من الفحص باستعمال المجهر المجسم (الاستريو ميكروسكوب)وجود طبقات تآكل علي سطح سبيكة الحديد مختلفة الألوان من الأسود والبني وانتشار كثيف للبثرات البيضاء .

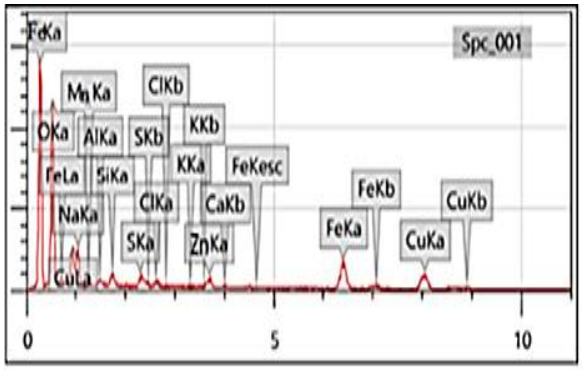


صورة رقم (4) : طبقات التآكل ذات اللون البني الفاتح علي سطح سبيكة الحديد المصنوع منها التمثال، تحت الفحص باستخدام الاستيريوسكوب ، تكبير 100x

3-2-الميكروسكوب الالكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت الأشعة السينيةSEM+EDS : حيث تبين من خلال الفحص بالميكروسكوب الماسح جود طبقات صدأ وتآكل علي سطح العينات وكسور وشروخ ظاهرة في طبقات الصدأ وأيضاً عدم إستواء طبقات التآكل ، كما تبين من خلال التحليل بوحدة تشتت الأشعة السينية EDS أن التمثال من سبيكة حديد الزهر حيث الحديد بنسبة **63.2%** **0.65% والنحاس 6.36%والكربون 6.8% والكبريت 0.67% والسيليكون 0.17% والاكسجين 18.2% والكلور 0.37% و الماغنسيوم 0.37% والكالسيوم 0.19% والزنك 3.66% .**



شكل رقم (1) : يوضح شروخ وكسور في طبقات التآكل وعدم إستواء طبقات التآكل باستخدام الميكروسكوب الالكتروني بتكيرات مختلفة (A:1000x. , B:500x, C:1000x, D:250x).



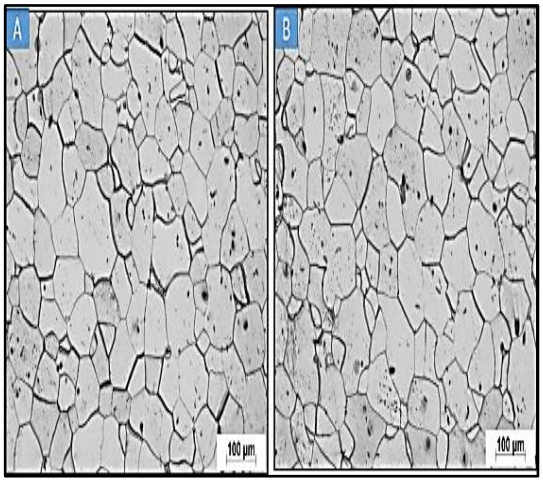
شكل رقم (2) يوضح التحليل باستخدامEDS لعينة مركبات صدا الحديد حيث يظهر الحديد بنسبة 63.2% والنحاس 6.36%والكربون 6.8% والكبريت 0.67% والسيليكون 0.17% والاكسجين 18.2% والكلور 0.37% و الماغنسيوم 0.37% والكالسيوم 0.19% والزنك 3.66% .

جدول (1): يوضح عناصر التآكل والتلف من البيئة الخارجية المحيطة بالتمثال ب EDS

Fe	**63.2**
C	**6.8**
S	**0.67**
Si	**0.17**
O	**18.2**
CL	**0.37**
Mg	**0.37**
Ca	**0.19**
Cu	**6.37**
Zn	**3.66**

وتبين من ذلك أن التمثال من سبيكة حديد الزهر حيث أن سبيكة حديد الزهر **Cast Iron** تكون نسبة الكربون ما بين 6:2% وعند زيادة نسبة الكربون تقل درجة حرارة انصهار الحديد ، وتتولد من ذلك كمية أكبر من الجرافيت مما يعمل على زيادة توفر كمية الكربون فيساعد على تكوين سبيكة حديد **(الزهر)** القابل للتشغيل بسهولة [14] ، وبتواجد عنصر السيليكون **Si** حيث يذوب السيلكون بداخل السبيكة فيعمل كمخفض لصلادة الحديد لأنه يزيد من عدم استقرارية الحديد في طور السمنتيت فيتفكك السمنتيت إلى فرايت **(Ferrite)** وجرافيت [15] ، وعليه أشرطة تكفيت من سبيكة البراس وتتكون من خليط النحاس والزنك وتتراوح نسبة الزنك من **40:10%** [17] ، وتشير زيادة نسبة الكربون في التمثال إلي استخدام شرائح من سبيكة البراس في التكفيت بلصقها علي الحديد باستخدام لاصق عضوي (زلال البيض او الغراء) [18] ، وبتواجد عنصر الكبريت **(S)** فأنه يتحد مع الحديد مكون كبريتيد الحديد **(FeS)** [16].

3-3-الميكروسكوب الفلزات (الميتالوجرافي) : تبين من خلال الفحص بالميكروسكوب الميتالوجرافي وجود اطوار الفريبت Ferrite الفاتحة (المحلول الصلب لالفا الحديد ويحتوي علي كمية صغيرة من الكربون الذائب حوالي 0.008 عند درجة حرارة الغرفة ويحتوي علي كربون بنسبة 0.80%) وطور البيرليت Pearlite وهو خليط يحتوي علي صفائح سمنتيت Cementite وهو كربيد الحديد Fe_3C ، كما يتضح كبر حجم الحبيبات المعدنية وتفلطحها مع وجود تاكل بين حبيبي [19] ، فالتآكل الحبيبي قد يدل علي استخدام تقنية الطرق في تشكيل التمثال حيث ينتج عن عملية الطرق تشوه في التركيب البلوري للسبيكة المعدنية وقبل الوصول إلي نقطة الهشاشية يلجأ الفنان **(الصانع)** إلي عملية التلدين أو التخمير **(Annealing)** [20] ، والتآكل بين الحبيبي هو شكل من أشكال التآكل غير المتجانس أو الموضعي ويتواجد علي حدود الحبيبة أو البلورة **Intercrystalline Corrosion** ويبدا بصورة شائعة علي سطح السبيكة المعدنية ثم ينمو بسرعة للداخل ويسبب تلف في التركيب الداخلي للسبيكة [21] ، أما ظاهرة التوأمية التي تنتج عن تشوه عند تعرض المعدن لقوة ضغط وشد فينتج عنه تحرك الذرات عن مكانها الاصلي بطول خطوط البلورة وذلك نتيجة لحدوث عيوب ميكانيكية من خلال عمليات التصنيع أي أنها عبارة عن الضغط الناتج من عمليات التصنيع للسبيكة وباستمرار زيادة قوة الشد يزداد انفعال الذرات ويبدا تغير بدني في شكل فلز المعدن بحيث تنزلق طبقات من الذرات و مجموعات من الذرات فوق بعضها أو تتحرك مبتعده عن بعضها أي يحدث **تشوه لدن Plastic deformation** وهذا التشوه يؤثر بقوه علي الخواص الميكانيكية والفيزيائية من تغيير أبعاد الخلية ، ويجعل ذرات الفلز في حالة نشطة لمحاولة استرجاع مكانتها الأولي ويزيد من الطاقة المختزلة داخل الخلية ويعرض السبيكة للتآكل السريع الذي يسمي **بتآكل الأنفعال Strain Corrosion** وينتج عن الأنفعال الذي يؤدي إلي التشوه اللدن أن تأخذ بعض المسطحات الذرية اتجاه خاص نتيجة للضغط والقوة الدافعة علي الخلية في اتجاه معين أثناء عمليات التشكيل من السحب والطرق والشد وحدوث **تآكل** الضغط **Stress Corrosion**

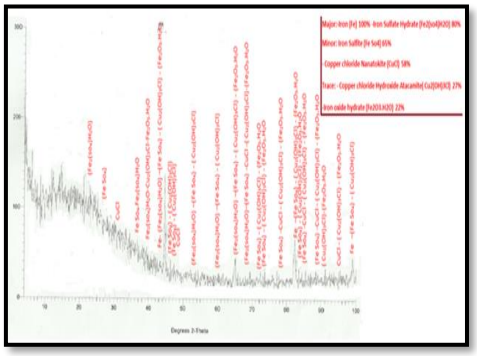


شكل رقم (3) يوضح المظهر السطحي للتمثال وتباين حجم الحبيبات المعدنية وظاهرة التوأمية والتآكل بين الحبيبي باستخدام الميكروسكوب الميتالوجرافي بتكبير 100x

ويكون نتيجة للضغط المشترك من الإجهاد الميكانيكي والوسط الآكل ويؤدي إلي تصدع وتشقق المعدن وتتعرض معظم السبائك لهذا التآكل والإجهادات التي تتسبب في هذه الشقوق نتيجة لتشكيله علي البارد وأثناء عملية اللحام والمعالجات الحرارية أو نتيجة إجهاد مطبق أثناء تشكيل السبيكة وبهذا فإن التآكل للتمثال هو تآكل نشط ومستمر [22] .

.

3-3- الأشعة السينية XRD :



شكل رقم (4) يوضح مركبات التآكل للتمثال
التي تم تحديدها باستخدام حيود الأشعة السينية XRD

المركب	النسبة
Iron (Fe)	50%
Iron oxide hydroxide Geothite ((FeO(OH)	17%
Iron Sulfate Hydrate ($Fe_2(so_4)H_2O$)	15%
Iron chloride($FeCl_3$)Molysit	5%
Copper oxide cuprite (Cu_2O)	5%
Iron oxide hydrate ($Fe_2O_3.H_2O$)	4%
Copper Iron Sulfide ((Fe Cu)S_2)	4%

جدول (2): يوضح مركبات التأكل التي تم تحديدها على التمثال باستخدام تقنية التحليل بحيود الأشعة السينية.

ومن خلال التحليل باستخدام حيود الأشعة السينية اتضح أن التمثال من سبيكة الحديد المكفت بسبيكة البراس ، وعليه مركبات تآكل للحديد والنحاس المتمثلة بكبريتيد الحديد المائي **Iron Sulfate Hydrate ($Fe_2so_4H_2O$)** و اكسيد الحديد المائي **Iron oxide hydrate ($Fe_2O_3.H_2O$)** و كبريتيد الحديد **Iron Sulfite ($Fe\ So_4$)** و أكسيد النحاسوز **(كوبريت) Copper oxide cuprite(Cu_2O)** و كلوريد الحديد **Iron chloride($FeCl_3$)** نتيجة لوجود التمثال في وسط غازي ملوث ، ومن ذلك نذكر أن عندما تتعرض سبائك الحديد للهواء الجاف يتكون عليها طبقة من الأوكسيد فتأخذ صوراً متعددة وتبدأ في تكوين أكسيد الحديدوز **Wusite FeO** في شكل طبقة متماسكة وبزيادة الأوكسجين يتحول هذا الأكسيد إلي أكسيد الحديد المغناطيسي الماجنتيت **Magnetite Fe_3O_4** وهو طبقة تآكل بينية والذي يتحول إلي أكسيد الحديديك الهيماتيت **Hematitite$Fe2O_3$** ويستمر التفاعل بين المعدن والبيئة المحيطة تنتشر طبقة التآكل علي السطح [23] ، في الوسط الرطب تتكون الأكاسيد القاعدية :الليمونيت الأصفر المائل للبني **Limonite FeO(OH)** وليبيدوكروسيت ذو اللون البني **Lipido crocite FeO(OH)** والجيوثيت ذو اللون البني الي البني المحمر **Goethite FeO(OH)** ، ولتواجد غازات التلوث متمثلة في غاز ثاني اكسيد الكبريت So_2 تكونت كبريتات الحديد **Iron Sulfate Hydrate ($Fe_2(so_4)H_2O$)** مع زيادة الرطوبة في الجو تظهر علي سطح القطع الحديدية نواتج تآكل بيضاء أو مائلة للبياض ، وتكون مغطاه بطبقات من التآكل بحيث تكون غير ظاهرة ولكن تظهر في صورة بثرات بيضاء ورواسب فاتحة اللون من كبريتات الحديدوز المائية **Iron Sulfate Hydrate ($Fe_2(so_4)H_2O$)** التي تتحول الي اكسيد الحديد القاعدي **$(FeO(OH)_2$)** وكبريتات الحديدوز المائية ذات اللون الفاتح ، ويتواجد ايون الكلورين CL^-تتعرض الاثار الحديدية لتكون كلوريد الحديد **Molysit(Iron chloride $FeCl_3$) مولسيت** وذلك لأن أيونات الكلور النشط تساعد علي عملية الأكسدة لسبائك الحديد ، كما تعرضت الأشرطة المستخدمة في تكفيت التمثال والتي تتكون من سبيكة البراس للتآكل حيث تكون أكسيد النحاسوز (الكوبريت) (**Copper oxide cuprite(Cu_2O)** أعلي سطح سبيكة البراس عند تعرضها للهواء المحتوي علي الأوكسجين [24] ،وتكون أكسيد النحاسيك الأسود **(التينوريت tenorite CuO)** والذي يتكون فوق طبقة أكسيد النحاسوز **Cu_2O (الكوبريت)** أو نتيجة

لتحوله ويعتمد معدل الأكسدة الذي يتحول عنده أكسيد النحاسوز إلي أكسيد نحاسيك علي ضغط الأكسجين وتركيزه في الوسط المحيط (البيئة) .

وتؤثر مركبات التآكل على هشاشية التركيب البنائي البلوري للسبيكة المعدنية في صورة شقوق وكسور وتفتت والتي تسهم في تكون القشور غير المستقرة طبقا لمركبات التآكل سواء كانت متجانسة أو غير متجانسة .

تبدو سبيكة حديد الزهر تحت الميكروسكوب مكونة من حبيبات متماسكة معا إلا أن وجود الشوائب التي يمكن ان تكون منعزلة داخل السبيكة المعدنية تصبح غير متجانسة في توزيعها داخل السبيمكة وبالتالي فان التركيب الكيميائي لهذه الشوائب تكون مختلف عند تعرضها للصدا خاصة عند حدود الحبيبات حيث يحدث ترسب للكربون عند حدود الحبيبات المعدنية وبالتالي زيادة الجهد عند حدود الحبيبات المعدنية ليمثل هذا القطب الموجب (مصعدي) Anodic في المعدن مما يزيد عنده معدل الصدأ وتؤدي الي ظهور العديد من الكسور والتشقق يترتب عليه فقد في أجزاء من أشرطة البراس المستخدمة في التكفيت [25].

4- الخلاصة :

تبين من خلال الفحص والتحليل للتمثال أنه صنع بالطرق ،والتجميع اليدوي ،وتم وصله بمفصلة وصل البرشمة وأن التمثال من سبيكة الحديد الزهر وعليه أشرطة تكفيت من سبيكة البراس التي تم لصقها عليه باستخدام لاصق عضوي (زلال البض او الغراء) ويرجع الي العصر العثماني في مصر ، وتتواجد بعض مركبات التآكل علي التمثال ، حيث أظهر الميكروسكوب المجسم (الاستريوميكروسكوب)وجود طبقات تآكل علي سطح سبيكة الحديد مختلفة الألوان وأظهر الميكروسكوب الألكتروني الماسح والتحليل بحيود الأشعة السينية عناصر ومركبات التآكل التي تتفاعل مع الوسط المحيط الغازي مسببة نوائج تآكل علي سطح التمثال ، كما تبين من خلال الفحص بالميكروسكوب الميتالوجرافي (ميكروسكوب الفلزات) أن التمثال تم صنعه بالطرق ،وذلك لتباين وكبر وتفلطح الحبيبات مع تواجد للصدأ بين الحبيبي مما عرَّض التمثال للصدأ النشط الناتج عن ضغط العيوب داخل الحبيبات والوسط الأكول *Corrosive*.

5- المراجع :

1- كرستي أرنولد ,ترجمة زكي محمد حسن :"الفنون الاسلامية وتأثيرها عل الفنون الاوربية "،وكالة الصحافة العربية ،الجيزة 2018 ،ص 144.

2- Abo bouself.B.D.,"Veneto-Saracenic Metalware, a Mamluk Art", Mamluk Studies Review, VOL. 9, No. 2, 2005 ,PP.148-171.

3- Hodges,H.," Islamic Metalwork of Sixteenth Century AD",Ltd,London,1998,p.44.

4- Saad.H.,"Radiating Inscription on Mamluk Metalwork', Abgadiyat 2009,P1.

5-Anna,B.," Three Medieval Islamic Brasses and the Egyptian Tradition of Inaid Metalwork" ,Ahona, 2010 ,p.121.

6- AbdelNaby.H.M.S., Magdy.H.," The Representation of Virgin Mary in Islamic Art during the Ayyubid Dynasty (12th – 13th Century)", International Journal of History and Cultural Studies (IJHCS) Vol 4, Issue 4, 2018, PP 20-41

7- La Niece.S.,' Islamic Copper-Based Metal Work from The Eastern Mediterranean Technical Investigation and Conservation Issues", Studies in Conservation , 2010,PP.36-37.

8- Stormenger,E.," Early Metal Welding and the Technology of Metal Work" , Sumer ,2005,PP.72-75.

9- Hubbard,F., "2000 Years of Copper & Zinc and Brass" , Revised Edition , Oxford,2001,PP.45-46.

10- Mattusch,C.," Ancient Egyptian Materials and Industries", Harvard University Art Museums, 2006,p.17.

11- Davey,C.J.," The Metal Work"" , Bulletin of the Institute of Archaeology University ,London, 2003,pp.169-185.

12- Pliny ,E.," Welding Process History" Penguim Books, London , 2010, pp.54-56.

13- Lamb,C.," Ancient Egyptian Materials and Industries, The Archaeological Evidence", Winona Lake,2004, pp.82-83.

14- Higgins,R.A.," Materials for the Engineering Technician ",Hodder& Stoughton ,London,2007, pp.12-20.

15- Mendenhall,J.H.," Understanding Iron Alloys",Handbook,2000,pp.111-123.

16-Thomsen ,E.," Iron and its Alloys" Journal of Engineering for Industry ,vol98,1996,PP. 201-205.

17- Figueiredo,E., Val erio,P., Araujo,F., Silva,R,J,C., Soaresa,A,M,M" Inclusions and metal composition of ancient copper-based artefacts: a diachronic view by micro-EDXRF and SEM-EDS "X-Ray Spectrom, VOL 40, 2012,PP 325-332.

18- Gharib ,A,A.," A Scientific Study of Inlaid Iron Statuettes from 12th -16th Century', Journal of Architecture, Arts and Humanistic Science,vol14,2019,pp1-12.

19- عبير غريب عبدالله ," دراسة علمية للمواد الحديثة المستخدمة في علاج وصيانة الأدوات الزراعية المعدنية الأثرية تطبيقاً على بعض النماذج المختارة في مصر القديمة " , رسالة دكتوراه (غير منشورة) , قسم الترميم , كلية الآثار , جامعة القاهرة , 2009., ص 89.

20- أسامة محمد أبو الخير : "دراسة عملية وتطبيقية في علاج وصيانة بعض الأواني المملوكية النحاسية ", رسالة ماجستير , قسم الترميم , كلية الآثار, جامعة القاهرة , 2006 , ص20.

21- Jivkoy.P.O.,Stevens.N.N.P.C., Marrow.T.J., "Modelling Intergranular Stress Corrosion Cracking in Simulated Three-dimensional Microstructures" Key Engineering Materials, Vol. 345-346 ,2007, pp. 1019-102.

22- Hansen ,E.F., " Protection of Objects from Environmental Deterioration by Reducing Their Exposure to Oxygen,in Oxygen-Free Museum Cases", Edited by Maekawa , S., The Getty Conservation Institute, 1998,P.8

23- Shreir ,L., L., et al ., " Corrosion 1 Environment Reaction" , Britian ,1993, P.33

24- Marouf ,M .A., and Ghoneim, M.A. , "Deteriorating Effects of the Metal Threads on Embroideries: Technical and Analytical Study on Archaeological Textiles", The Annual Meeting of the American Schools of Oriental Research, Louisiana , 2009 , p.p.87:96.

25-عبير غريب عبدالله ،دراسة تجريبة للاجهادات المسببه لهشاشة الآثار الحديدية وطرق علاجها ، المؤتمر الثالث عشر للاتحاد العام للاثريين العرب بالجماهيرية العربية الليبية ،الجزء الثاني، مصر ،2010،ص 1923.