دراسة تحليلية لكسر خزفية إسلامية من متحف زبيد باليمن

محمد مصطفى إبراهيم[١]، شريف عمر محمد[١] ، منى علي عبدربه القاضي[٢]
[١] قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة
[٢] قسم الآثار، كلية الآداب، جامعة صنعاء

ملخص البحث:

يتناول هذا البحث دراسة فحصية وتحليلية أجريت على بعض العينات الخزفية من متحف زبيد في اليمن تعود للعصر الاسلامي مؤرخة من (٧٠٠-١٧٥٠م) وهي تمثل كسر لأواني مختلفة اختيرت على أساس الاختلاف في الالوان وتقنيات الصناعة. وتهدف الدراسة الى التعرف على المواد الخام المكونة للخزف الاسلامي في اليمن وتقنيات الصناعة ومظاهر التلف المختلفة التي لحقت بطبقة التزجيج. وقد تم الفحص والتحليل باستخدام الفحص البصري لدراسة المظهر العام للعينات، كما تم الفحص بالميكروسكوب الضوئي الرقمي لدراسة مظاهر التلف المختلفة على طبقة الطلاء الزجاجي والتي كان منها الشروخ الدقيقة والتقزح اللوني. كما تم الفحص بالميكروسكوب المستقطب للعينات الأثرية للتعرف على شكل الحبيبات المكونة لنسيج العينة الخزفية والذي أثبت وجود الكوارتز، وأكاسيد الحديد، والتعرف على بعض مظاهر التلف مثل التآكل. كما تم استخدام الميكروسكوب الالكتروني الماسح المزود بوحدة تشتت الطاقة لفحص طبقة الطلاء الزجاجي والتعرف على بعض مظاهر التلف كما تم التعرف على العناصر المكونة للتزجيج. ومن خلال التحليل بطريقة حيود الأشعة السينية تم التعرف على المعادن المكونة للعينات الخزفية.

الكلمات الدالة: خزف زبيد - الطلاء الزجاجي - تقنيات الصناعة - الفحص – التحليل – الميكروسكوب المستقطب - مظاهر التلف.

المقدمة:

أظهرت الحفريات الأثرية أن اليمنين القدماء قد مارسوا حرفة صناعة الخزف على مستويات مختلفة. كما كشفت حفريات "زبيدzabid" في سهل تهامة في اليمن كميات كبيرة من أنواع الفخار المزخرف والمزجج، هذه المنطقة التي تمتد مساحتها حوالي ١٠٠ كيلو متر مربع يعود تاريخ صناعة الخزف فيها من ٧٠٠-١٧٥٠م (Hallett, 1987). وهي من المدن العربية والاسلامية التي شهدت تطوراً كبيراً في صناعة الفخار منذ ما قبل الإسلام. وفي الفترة الاسلامية التي مرت بها زبيد فقد ثبت بالأدلة القاطعة انتشار صناعة الخزف فيها والمناطق المجاورة لها. وذلك من خلال ما تم العثور عليه في الحفريات والتنقيبات الأثرية التي قامت بها البعثة الأثرية الكندية (محمود إبراهيم،١٩٩١). وجاءت صناعة الخزف في اليمن خلال العصر الإسلامي المبكر انعكاساً للأنماط والسمات العامة لخزف حضارة جنوب الجزيرة العربية، وامتداداً للخزف في الفترة البيزنطية، كما أنها في الفترات اللاحقة أضافت طابعها المحلي الخاص الذي تمثل في ابتكار عناصر وأنماط جديدة ميزتها عن غيرها. ومن الملاحظ من خلال الاكتشافات والدراسات المنشورة إن الخزف في اليمن لم ينل القدر الكافي من الدراسة المتخصصة التي تتناول فحص وتحليل الآثار الخزفية. ومن هذا المنطلق فقد اتجهت الدراسة إلى تناول هذا الموضوع بهدف التعرف على المزيد من المعلومات عن المواد المستخدمة في صناعة الخزف اليمني وتقنيات الصناعة ومظاهر التلف التي لحقت به.

مواد وطرق الدراسة:

١ـمواد الدراسة:

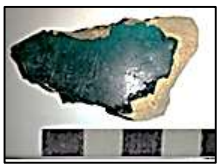
تمت الدراسة على ثمان عينات وهي عبارة عن كسر لأواني مختلفة اختيرت على أساس الاختلاف في الالوان وتقنيات الصناعة. وهي تمثل كسر خزفية صغيرة في الحجم يتراوح سمكها ما بين (٢,٥مم: ا سم). واللوحة (١) توضح عينات الخزف التي تمت الدراسة عليها.

لوحة (١) توضح صور للعينات الخزفية موضوع الدراسة

٢ـطرق الدراسة:

٢ـ١الفحص البصري:

تم التعرف على الطريقة المتبعة في تشكيل هذه الأواني وهي التشكيل بطريقة الدولاب، حيث لوحظ بوضوح شديد وجود خطوط دائرية متوازية وبارزة (العينتين ١ ، ٤) وحالة البدن لبعض العينات جيدة. كما أمكن من خلال الفحص البصري التعرف على العديد من مظاهر التلف (Cronyn, 1992). وقد تم الاستعانة بالعدسة اليدوية المكبرة لملاحظة المظهر السطحي للعينات واللوحة (١) توضح وصف العينات ومظاهر التلف التي لحقت بها.

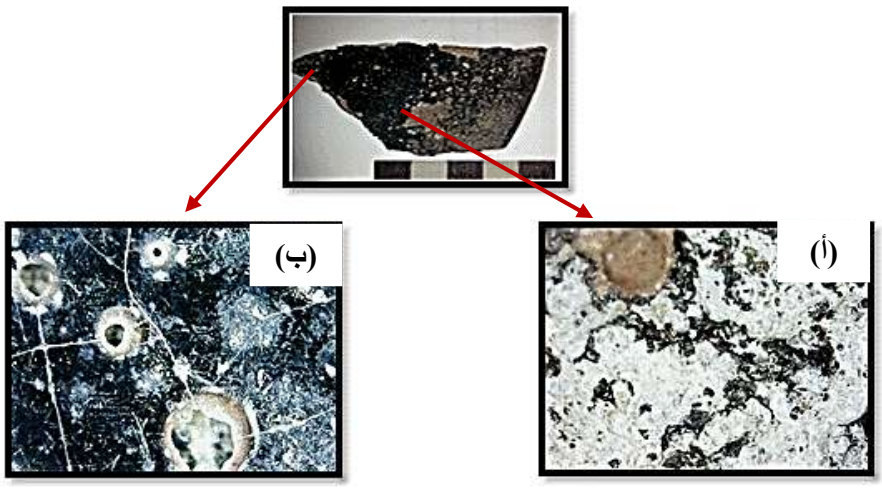
١		جزء من حافة إناء بارزة للخارج ببدن أحمر، أعلى سمك في البدن ٧مم وأقل سمك٦,٥ مم ، سمك الحافة٥,٥ مم، أضيفت طبقة تزجيج خشنة بلون أسود ، ويظهر الطلاء متآكل ومنتشر عليه بشكل كبير الثقوب الإبرية.
٢		جزء من حافة لإناء ببدن أحمر، أعلى سمك في البدن ٩,٥مم وأقل سمك ٨ مم سمك الحافة ٩,٣ مم. أضيفت طبقة تزجيج من الداخل لامعة وشفافة على بطانة بيضاء على الحافة ورسمت عليها زخارف بشكل خطوط بنية مائلة ومتوازية تحتوي على آثار واضحة للتشكيل بالعجلة.
٣		جزء من بدن وقاعدة لطبق ذو بنية متجانسة. البدن لونه بيج فاتح، أعلى سمك في للبدن١ سم وأقل سمك ٦,٥مم، وسمك القاعدة ١سم. الطبق مغطى من الخارج بطلاء زجاجي لامع وأملس ورقيق متوسط السمك، بألوان متداخلة بني وعسلي وأخضر فاتح، الزخارف بخطوط متراصة بطريقة الحز، تحتوي على آثار واضحة للتشكيل بالعجلة.
٤		جزء من بدن بلون أبيض داكن بسمك ١سم، أضيف طلاء زجاجي أملس تركوازي سميك وداكن من الخارج وطلاء سميك تركوازي باهت من الداخل، تظهر شروخ دقيقة على الطلاء وتساقط أجزاء منه.
٥		جزء من حافة إناء ذو بدن أحمر، وسمك البدن ٣,٨مم ، وسمك الحافة ٣,٥ مم، أضيفت طبقة تزجيج خشنة بلون أخضر زيتوني باهتة اللون مختلطة باللون الاسود من الخارج.
٦		جزء من بدن وقاعدة لكوب، البدن أبيض فاتح، أعلى سمك في البدن ٣مم وأقل سمك٢،٥مم وسمك القاعدة (٤,٧مم) مغطى بطلاء أملس رقيق بلون أصفر داكن (لون التزجيج) من الخارج أما من الداخل بلون أخضر داكن، تحتوي على آثار واضحة للتشكيل بالعجلة بشكل خطوط متوازية.
٧		جزء من حافة إناء ببدن أحمر سمك البدن ٤مم، وسمك الحافة ٣,٩مم تم تغطية البدن ببطانة بيضاء رسم عليها زخارف بالطلاء الزجاجي ذو خطوط متوازية باللون الأزرق الداكن والفيروزي، الالوان باهتة ويظهر تآكل في الجزء الخارجي والتزجيج خشن.
٨		جزء من قاعدة إناء مقعرة ببدن أحمر، أعلى سمك للبدن ١سم وأقل سمك٩مم، سمك القاعدة١سم، البدن خشن وغير متجانس التركيب من الخارج، أضيف طلاء شفاف على أرضية صفراء باهتة عليها زخارف بشكل خطوط سوداء داكنة مستقيمة ومتعرجة، عليها شروخ دقيقة تشمل كل الطلاء.

لوحة (١) توضح صور ووصف عينات الدراسة وبعض مظاهر التلف الخاصة بها

٢-٢ الفحص بالميكروسكوب الضوئي الرقمي:

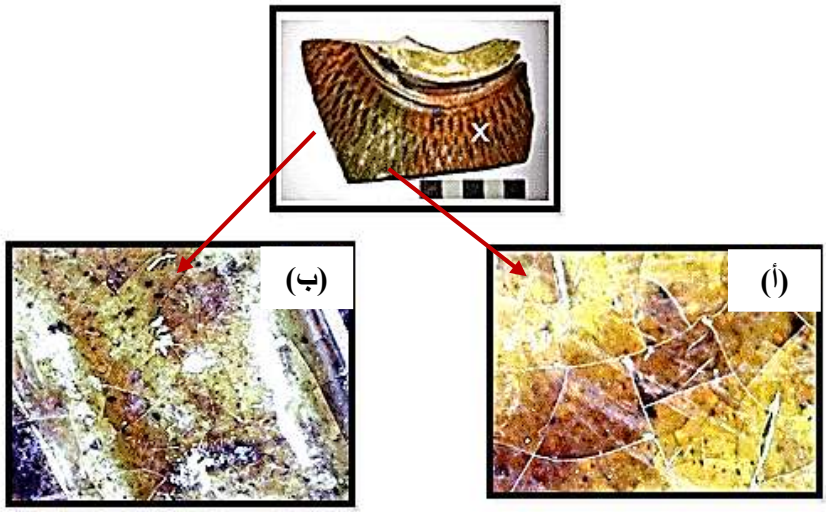
تم استخدام ميكروسكوب بقوة تكبير تتراوح من 10X الى 500X لفحص وتصوير بعض العينات المختارة محل الدراسة ومن خلاله تم التعرف على حالة العينات و مظاهر التلف بها. ويمكن توضيح النتائج لبعض العينات كالتالي:

٢-٢-١ فحص العينة رقم (١): وتظهر نتيجة الفحص باللوحة (٢) وتوضح الصورة(أ) وجود الترسبات الملحية على البدن وتآكل طبقة التزجيج. أما الصورة(ب) فتوضح وجود الثقوب الإبرية.



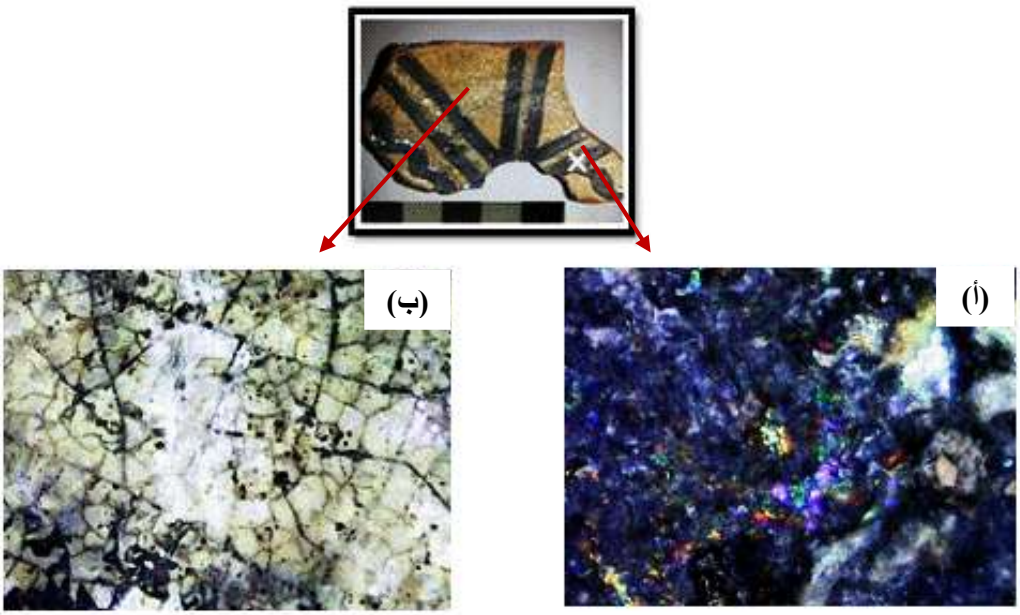
لوحة (٢) توضح دراسة طبقة الطلاء الزجاجي باستخدام الميكرسكوب الضوئي (للعينة رقم١) حيث توضح الصورة (أ) وجود ترسبات ملحية، الصورة(ب) توضح الثقوب الإبرية والتي تؤدي لتآكل طبقة الطلاء

٢-٢-٢ فحص العينة رقم (٣): واللوحة (٣) توضح نتيجة الفحص والصورة (أ): تبين الشروخ الدقيقة المنتشرة على طبقة التزجيج، والصورة(ب): توضح بقع لونية داكنة أسفل طبقة التزجيج ناتجة عن الخلط غير الجيد للأكاسيد الملونة، كما يظهر تآكل في بعض أجزاء طبقة التزجيج.



لوحة (٣) توضح دراسة طبقة الطلاء الزجاجي بالميكرسكوب الضوئي (للعينة رقم ٣) الصورة (أ) توضح تشرخ طبقة التزجيج والصورة(ب) التاكل في بعض الأجزاء مع وجود بقايا للحبيبات اللونية غير المخلوطة جيداً

٢-٢-٣ فحص العينة رقم (٨): واللوحة (٤) توضح نتيجة الفحص حيث تبين الصورة (أ) جزء من اللون الأسود يظهر به ظاهرة تلاعب الألوان (التقزح اللوني)، والصورة(ب) توضح جزء من البطانة ويظهر عليها الشروخ الدقيقة المنتشرة بشكل كبير ويتخللها اللون الأسود.



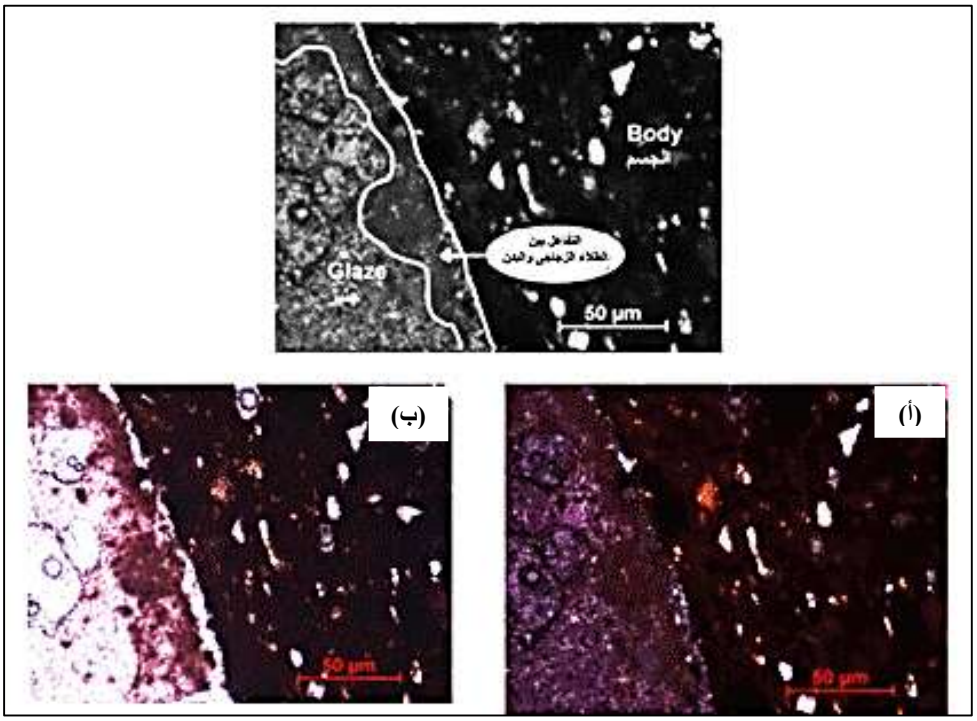
لوحة (٤) توضح دراسة طبقة الطلاء الزجاجي باستخدام الميكروسكوب الضوئي (للعينة رقم٧) حيث توضح الصورة(أ) ظاهرة التقزح وتلاعب الالوان، الصورة (ب) توضح انتشار الشروخ الدقيقة بطبقة التزجيج

٢-٣ الفحص بالميكروسكوب المستقطب:

تعتبر الدراسة البتروجرافية بالميكروسكوب المستقطب من الطرق الهامة لدراسة وتحليل الخزف (Joukowsky 1980,). حيث يساعد في التعرف على المعادن الموجودة مثل الكوارتز والفلسبارات والامفيبول وغيرها، وعلاقة هذه المعادن ببعضها البعض وكذلك التعرف على شكل وحجم الحبيبات والزوايا وترتيبها والنسيج الداخلي لها (Mason, 1993). كما يمكن استنتاج درجة حرارة الحرق من خلال ملاحظة التغيرات المعدنية عند درجات الحرارة المرتفعة مثل تحول الكالسيت إلى سيليكات الكالسيوم، ومثل تحول الكوارتز إلى كريستوباليت، أو تكون أطوار زجاجية (رمضان، ٢٠٠٥). كما يمكن من خلاله ايضاً التعرف علي العلاقة بين طبقة التزجيج والبدن والخط الفاصل بينهما (Fabbri , 2000). وقد استخدم في الدراسة الميكروسكوب من نوع (OlympusBX50, Japan) ، بالمركز القومي للبحوث- مصر.

٢-٣-١ الدراسة البتروجرافية للعينة رقم (٣):

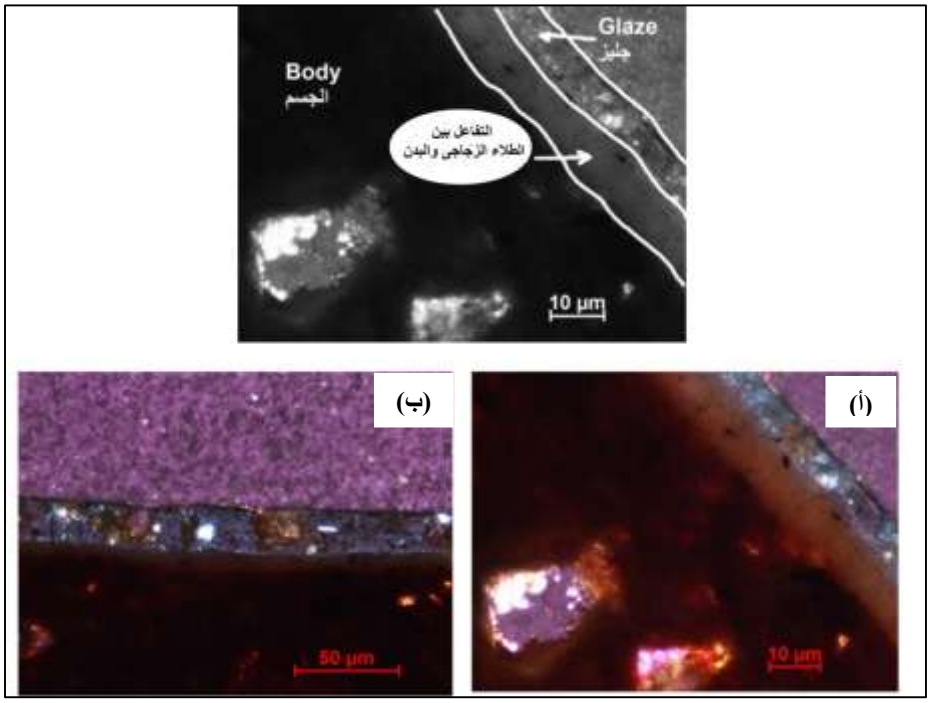
وتتضح نتائج الفحص من خلال اللوحة (٥) حيث يظهر البدن فيها عبارة عن أرضية من المعادن الطينية المحروقة، وتحتوي على بلورات كبيرة إلى متوسطة الحجم، ذات حوافّ زاوية أو دائرية من معدن الكوارتز، كما تحتوي على بلورات دقيقة الحجم من معدن الكوارتز، يتخللها بلورات طولية متوسطة الحجم من معدن الالبيت، كما تحتوي على بعض البلورات متوسطة الحجم من أكاسيد الحديد ذات اللون البني والبرتقالي. كما تظهر طبقة التزجيج بلون بنفسجي غامق متآكلة ويظهر ذلك بشكل نقر متفاوتة الحجم.



لوحة (٥) صور بتروجرافية للعينة رقم ٣(أ) تحت المستقطبين المتعامدين CN ، (ب) تحت الضوء العادي PL

٢-٣-٢ الدراسة البتروجرافية للعينة رقم (٤):

تظهر نتائج الفحص من خلال اللوحة (٦) وفيها البدن عبارة عن أرضية من المعادن الطينية المحروقة، وتحتوي على بلورات كبيرة الحجم، ذات حوافّ غير منتظمة الشكل من معدن الكوارتز، والبدن ذو مسامية منخفضة وصلادة عالية جداً. كما يحتوي على أكاسيد الحديد ذات اللون البرتقالي والبني، وتظهر المادة الملونة أعلى البدن بشكل مستوي تتخللها حبيبات سوداء صغيرة الحجم من أكاسيد الحديد. وطبقة التزجيج منتظمة وذات سمك مستوي، كما تظهر فيه حبيبات بنية اللون كبيرة غير منتظمة من أكاسيد الحديد.



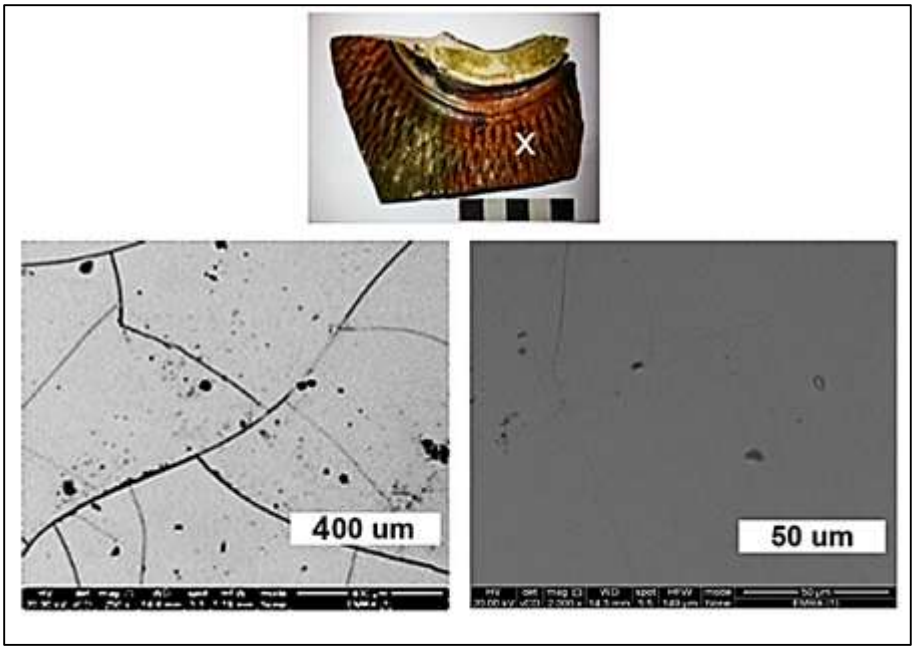
لوحة (٦) صور بتروجرافية للعينة ٤(أ) تحت المستقطبين المتعامدين CN ، (ب) تحت الضوء العادي PL

٢-٤ الفحص والتحليل باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتت الطاقة (SEM-EDX):

هو من الطرق الهامة والتي يستخدم في فحص وتحليل طبقة التزجيج (Tite, 1991). ويتميز بالدقة في التعرف على العناصر وبكونه غير متلف (Khnndpur,2016). وذلك من خلال وحدة التحليل العنصري الملحقة به والتي تستخدم للتعرف على مكونات العينة (Zimmermann,2016). كما يمكن دراسة حالة العينة من حيث القوة والضعف ويعد من الطرق الهامة للكشف عن عدم تجانس لمكونات كل من البدن والتزجيج (Beauchamp ,1993). كما يستخدم أيضا في العناصر الملونة المكون للطلاء الزجاجي (Colomban ,2003). كذلك يمكن من خلاله الحصول على معلومات عن طبقة البطانة والألوان بالإضافة إلى إمكانية دراسة الخواص الفيزيائية (مدكور،١٩٩٩). والجهاز المستخدم في عملية الفحص والتحليل من طراز *(Quanta 250 FEG (Field Emission Gun*) بالهيئة المصرية العامة للثروة المعدنية (وزارة البترول-مصر).

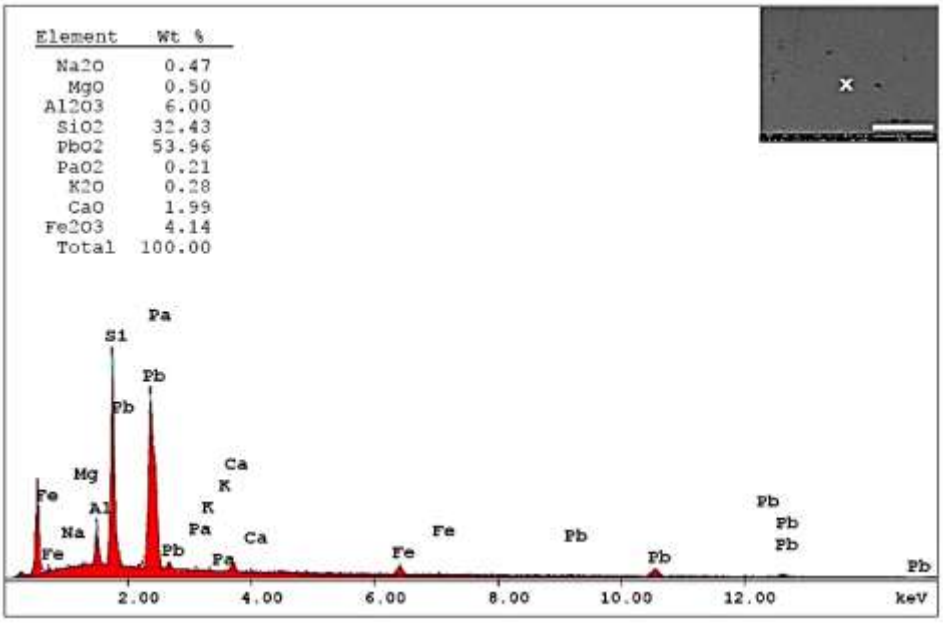
٢-٤-١ الفحص والتحليل باستخدام (SEM-EDX) للعينة رقم(٣):

أوضحت نتائج فحص الميكروسكوب الإلكتروني الماسح وذلك كما يتضح من اللوحة (٧) ان طبقة التزجيج بحالة جيدة إلى حد كبير حيث تظهر مستوية موزعة بشكل جيد، يظهر عليها بعض الشروخ الدقيقة المتباعدة مع بعض الحبيبات الداكنة (حبيبات من المادة الملونة) المنتشرة وذلك بقوة تكبير 250x و2000x.



لوحة (٧) توضح فحص طبقة التزجيج باستخدامSEM للعينة رقم (٣) (قوة تكبير 2000x-250x)

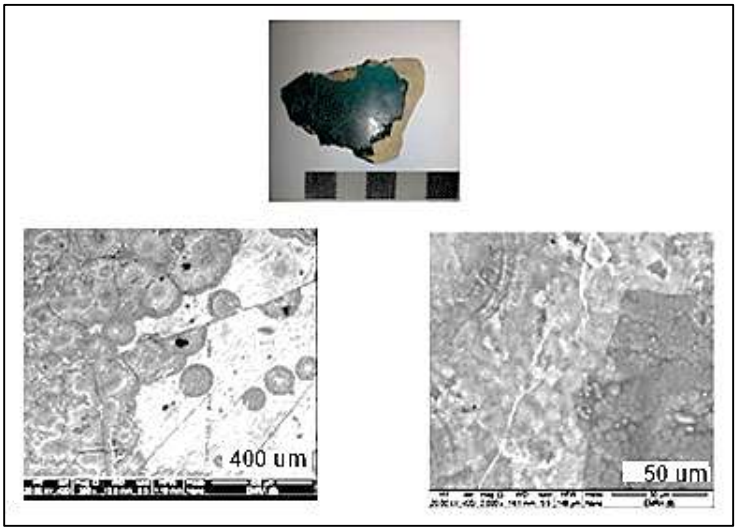
أما نتيجة التحليل لطبقة التزجيج باستخدام وحدة EDX، وكما يتضح من خلال الشكل (١) أن نسبة أكسيد الرصاصPbO_2 وصلت (حوالى ٥٤ %) وهي نسبة عالية، يليه السيليكاSiO_2 بنسبة (حوالى ٣٣%) ، والالومينا بنسبة (حوالى ٦%) أيضا وجود نسبة من أكسيد الحديد (حوالى ٤%) ، ويتضح من ذلك ان نوع التزجيج لهذا العينة من النوع (الرصاصي).



شكل (١) يوضح نتيجة التحليل بوحدة EDX للتزجيج الخاص بالعينة رقم(٣)

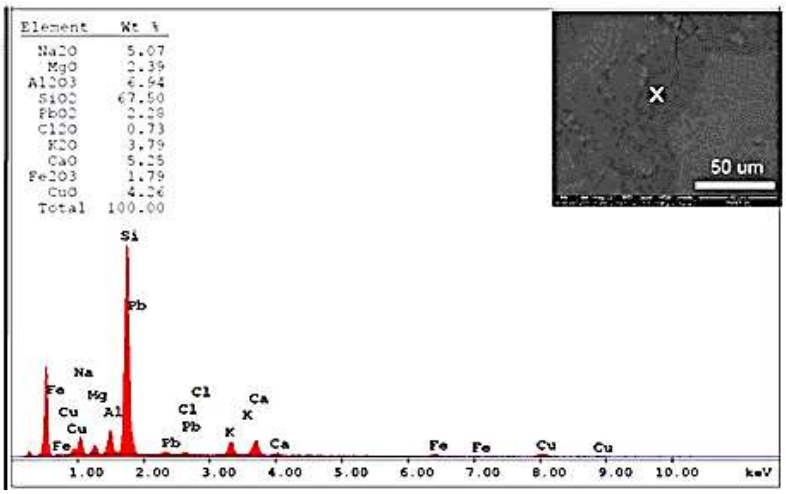
٢-٤-٢ الفحص والتحليل باستخدام (SEM-EDX) للعينة رقم(٤):

تتميز هذه العينة باللون التركوازى الداكن لطبقة الطلاء الزجاجي، ويمكن توضيح نتائج فحص الميكروسكوب الإلكتروني الماسح للعينة من خلال اللوحة (٨) ويتضح أن طبقة التزجيج فقدت الكثير من خواصها حيث أنها فاقدة لبريقها كما أنها غير متجانسة وذات مسامية عالية وتظهر بها بعض الحفر والشروخ الدقيقة.



لوحة (٨) توضح نتيجة فحص طبقة التزجيج للعينة رقم (٤) بقوة تكبير (250x -2000x)

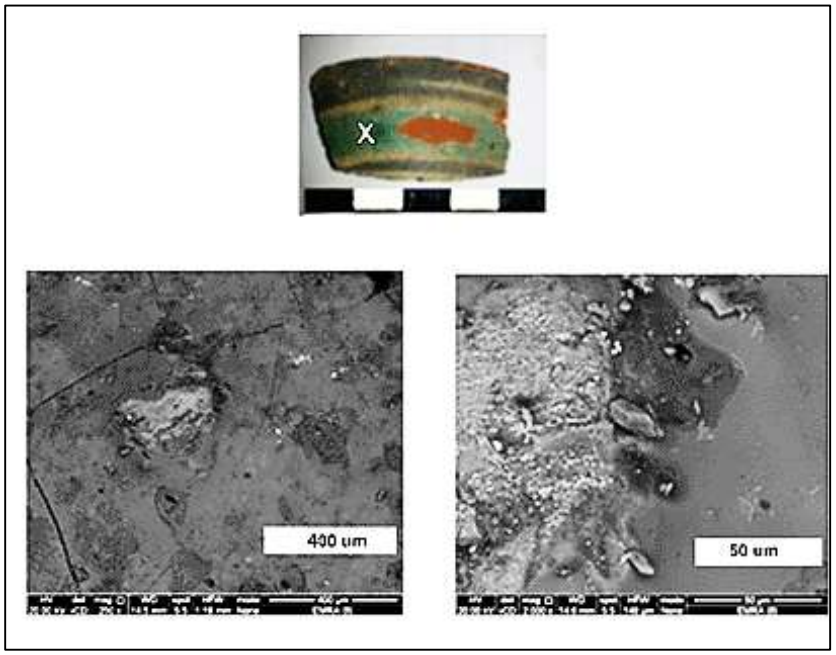
ونتيجة التحليل لطبقة التزجيج في هذه العينة تتضح من الشكل (٢) حيث انخفضت نسبة أكسيد الرصاصPbO_2 ووصلت الي (حوالى ٢ %) مع ارتفاع نسبة السيليكاSiO_2 ووصلت الى (حوالى ٦٨%) والالومينا (حوالى٧%)، أيضا وجود كمية من أكسيد الحديد (حوالى٢%) مع ارتفاع نسبة أكسيد النحاس (حوالي٥%) المسئول عن اللون التركوازى في التزجيج، كما تصل نسب الاكاسيد القلوية اكسيدي الصوديوم والبوتاسيوم (حوالى ٩%) أما أكسيد المغنسيوم والكالسيوم (حوالى٨%). ومن ثم فان التزجيج من نوع (القلوي – الرصاصي).



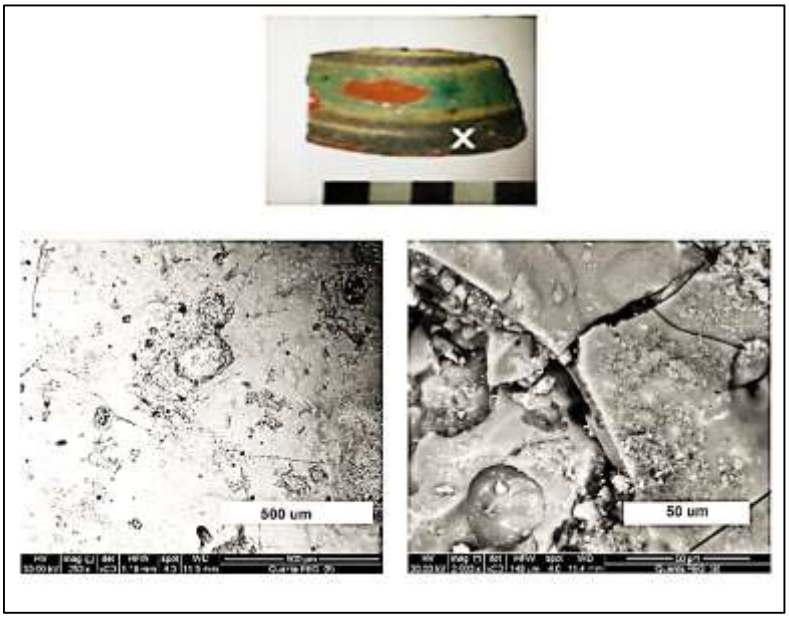
شكل (٢) يوضح نتيجة التحليل بوحدة EDX للتزجيج الخاص بالعينة رقم(٤)

٢-٤-٣ الفحص والتحليل باستخدام (SEM-EDX) للعينة رقم(٧):

تتميز هذه العينة بوجود لونين هما اللون الفيروزي واللون الازرق الفاتح، وقد ظهرت نتائج الفحص لكليهما كما هو موضح في اللوحتين (٩)، (١٠) أن طبقة التزجيج فقدت الكثير من خواصها حيث أنها فاقدة لبريقها كما أنها غير متجانسة وذات مسامية عالية ووجود بعض الحفر والشروخ المتفاوتة الحجم.

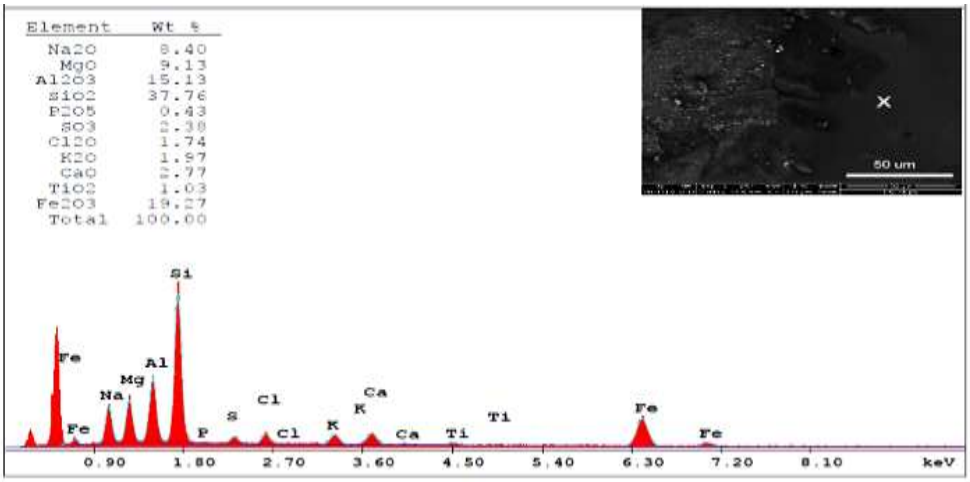


لوحة (٩) توضح نتيجة فحص اللون الفيروزي للعينة رقم (٨) بقوة تكبير (250x -2000x)



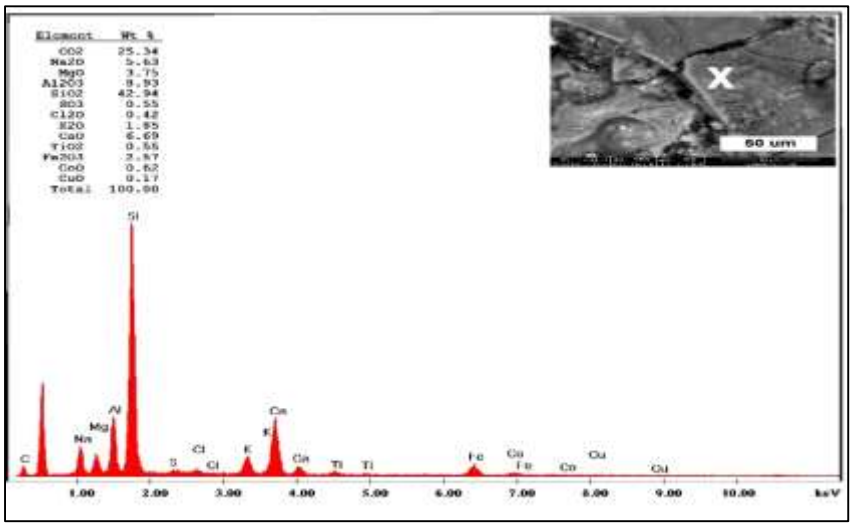
لوحة (١٠) توضح نتيجة فحص اللون الأزرق الفاتح للعينة رقم (٨) بقوة تكبير (250x -2000x)

والتحليل العنصري للون الفيروزي كما يظهر في الشكل (٣) يبين أن نسبة السيليكا بلغت حوالى ٣٨ % ، مع وجود نسبه كبيره من أكسيد الحديديك وصلت الى حوالى ١٩ % حيث ساعد ذلك على اعتام اللون مع اختفاء البريق، كما تواجد الالومنيا بنسبه ١٥ % والاكاسيد القلوية الصاهرة والتي بلغت حوالي ٢٢ % والنسبة العالية فيها لأكسيدي الماغنسيوم والكالسيوم (حوالى ١٢ %) اما أكسيدي الصوديوم والبوتاسيوم فنسبتهم حوالى ١٠ % . يوجد ايضا قليل من اكسيد الكبريت (حوالي ٢%) كما يوجد ايضا قليل من الكلور والفوسفات واكسيد التيتانيوم. وجود الحديد بنسبه كبيرة جعل اللون داكن يميل الى اللون الأسود. ومن ثم فان التزجيج من نوع (القلوي).



شكل (٣) يوضح نتيجة التحليل بوحدة EDX للتزجيج الفيروزي الخاص بالعينة رقم (٧)

اما نتيجة التحليل العنصري للون الأزرق الفاتح من نفس العينة وكما هو موضح من الشكل (٤) حيث يتضح وجود السيليكا بنسبة ٤٢,٩٤% والالومينا بنسبة ٨,٩٣%، مع وجود أكسيد الصوديوم بنسبة ٥,٦٣% وأكسيد المغنيسيوم بنسبة ٣,٧٥% وأكسيد البوتاسيوم بنسبة ١,٨٥%، وأكسيد الكالسيوم بنسبة ٦,٦٩%، أما أكسيد الحديد فقد وجد بنسبة ٢,٥٧%، كما وجدت نسب ضئيلة من أكسيد النحاس بنسبة ٠,١٧% وأكسيد التيتانيوم ٠,٥٧% وأكسيد الكوبلت بنسبة ٠,٦٢% الذي يعطي اللون الأزرق بدرجاته المختلفة.



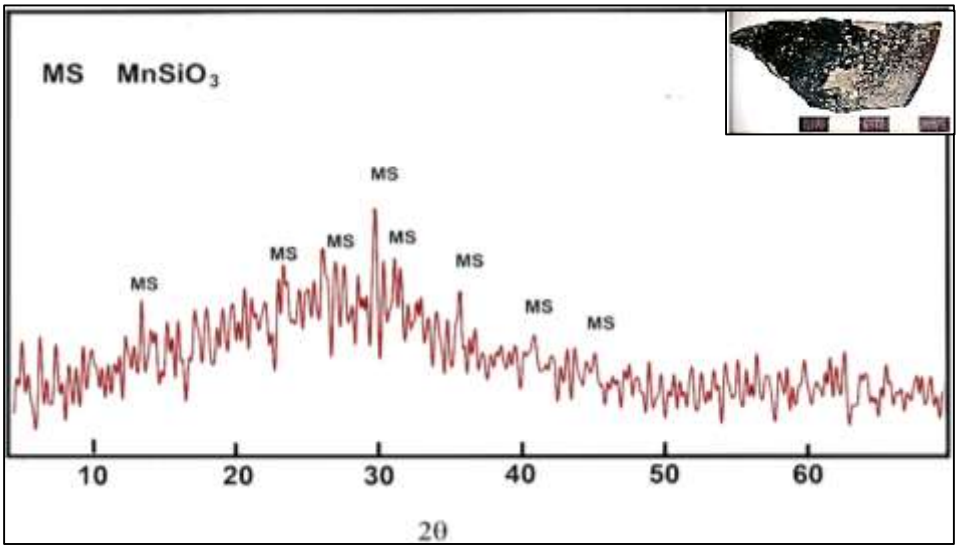
شكل (٤) يوضح نتيجة التحليل بوحدة EDX للتزجيج الأزرق الفاتح والخاص بالعينة رقم (٧)

٢-٥ التحليل باستخدام طريقة حيود الأشعة السينية:

يمكن من خلالها التعرف على المكونات المعدنية للعينة (Worrall,1987). وهي من الطرق الهامة والمفيدة في التعرف على الوان التزجيج الخاص بالخزف القديم (Bugoi , et al, 2008) وتتميز هذه الطريقة بالدقة في النتائج التي يتم الحصول عليها في فترة زمنية قصيرة(Valoon,1987). نوع الجهاز: *(XRD,x-ray diffractometer model BRUKER Axs,D8, ADVANCE , Germany*) بمعمل الاشعة السينية - معمل الخدمات - مركز بحوث وتطوير الفلزات – التبين –حلوان-مصر.

٢-٥-١ تحليل العينة (رقم ١) باستخدام طريقة حيود الاشعة السينية:

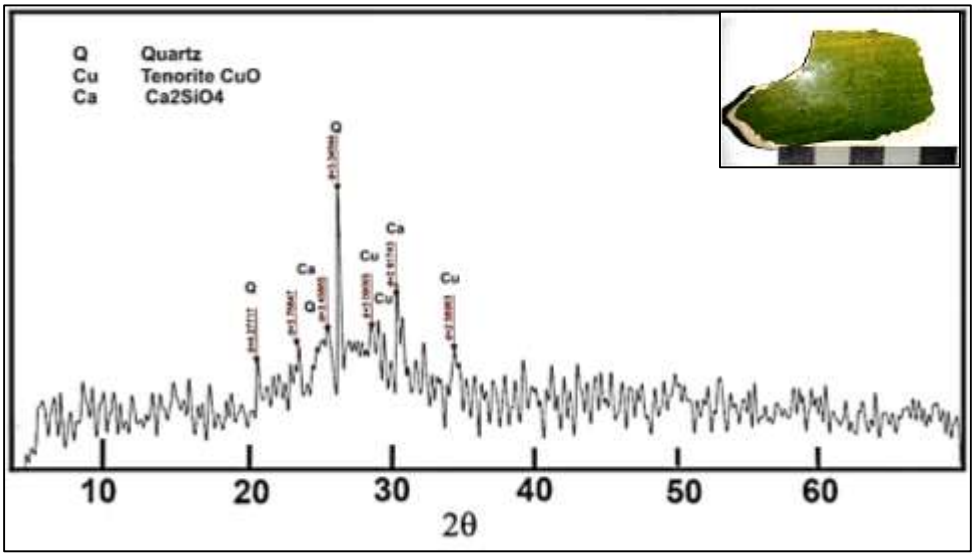
وقد تبين من خلال التحليل باستخدام طريقة حيود الأشعة السينية (XRD) شكل رقم (٥) للعينة (رقم١) ذات اللون الأسود انها تتكون بصفة أساسية من سيليكات المنجنيز ($MnSiO_3$).



شكل (٥) يوضح نمط حيود الاشعة السينية لطبقة الطلاء الزجاجي للعينة رقم (١)

٢-٥-٢ تحليل العينة (رقم ٦) باستخدام طريقة حيود الاشعة السينية:

وقد تبين من خلال التحليل باستخدام طريقة حيود الأشعة السينية (XRD) شكل رقم (٦) للعينة (رقم٦) وجود اكسيد النحاس او معدن التنوريت (Tenorite CuO) بالإضافة الى الكوارتز (Quartz , SiO_2) و الاوليفين (Ca_2SiO_4).



شكل (٦) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لطبقة الطلاء الزجاجي الخضراء مع جزء من البدن للعينة رقم ٦

مناقشة النتائج:

- تبين من خلال الفحص البصري لعينات الدراسة استخدام عجلة التشكيل في بعض العينات، ووجود العديد من مظاهر التلف بطبقة التزجيج مثل وجود الشروخ الدقيقة، والانفصال عن سطح البدن لبعض العينات.
- أوضحت الدراسة باستخدام الميكروسكوب الضوئي الرقمي وجود العديد من مظاهر التلف بالعينات الخزفية موضوع الدراسة، والتي تتمثل في الشروخ الدقيقة المنتشرة على طبقة التزجيج، والتآكل في بعض أجزائها. هذا الي جانب وجود الثقوب الإبرية، مع ظهور بهتان وتغير لون طبقة التزجيج، كذلك وجود ظاهرة تلاعب الألوان (التقزح اللوني).
- كما ظهرت ايضاً بعض عيوب الصناعة ويتضح ذلك من خلال وجود دكانة في بعض الأجزاء من طبقة التزجيج مما يدل على عدم التجانس والانصهار غير الجيد لمكونات التزجيج، مع وجود بقع لونية داكنة أسفلها ناتجة عن الخلط غير الجيد للأكاسيد الملونة. كما توضح التغير الكبير في خواص طبقة التزجيج حيث تظهر بمسامية عالية وشبة مطفية وفاقدة لبريقها.
- أتضح من خلال الدراسة البتروجرافية بواسطة الميكروسكوب المستقطب ان العينات الخزفية تحتوي على بلورات كبيرة إلى متوسطة الحجم ذات حواف زاوية أو دائرية من معدن الكوارتز، كما تحتوي على بلورات أخري دقيقة الحجم من معدن الكوارتز يتخللها بلورات طولية متوسطة الحجم من معدن الالبيت، كما تحتوي على بعض البلورات متوسطة الحجم من أكاسيد الحديد.
- تبين من خلال الفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM ان طبقة التزجيج في بعض العينات كانت حالتها جيدة إلى حد كبير حيث تظهر مستوية وموزعة بشكل جيد. وهناك عينات أخري ظهر عليها بعض الشروخ الدقيقة المتباعدة مع انتشار بعض الحبيبات الداكنة (حبيبات من المادة الملونة). كما أوضحت النتائج ايضاً ان البعض الاخر من العينات بها شروخ وتآكل كبيرفي طبقة التزجيج والذي يظهر بشكل ظلال بيضاء ممتدة. وأحياناً تظهر طبقة التزجيج تالفة حيث فقدت الكثير من خواصها وهي غير متجانسة ومتآكلة وذات مسامية عالية مع وجود بعض الحفر والشروخ الدقيقة. كما أوضحت الدراسة في بعض عينات البدن عدم

تجانس مكونات اللب الداخلي، وظهور الحبيبات المكونة له بأحجام مختلفة وهذا يدل على الطحن غير الجيد لمكوناته أثناء عملية التجهيز قبل تشكيل البدن.

- كما تبين من خلال وحدة التحليل العنصري EDX لعينات كل من البدن الأحمر والبدن الأبيض انهما يتكونان بشكل أساسي من الكوارتز ونسب عالية من اكسيد الكالسيوم وأكسيد الحديد مع نسب بسيطة من الأكاسيد الأخرى مثل أكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والمنجنيز. أما بالنسبة لتحليل طبقة الطلاء الزجاجي للعينات المختلفة فهي تتركب بشكل أساسي من السيليكا والالومينا مع نسب متفاوتة من مساعدات الصهر المختلفة فمنها ما هو تزجيج رصاصي لارتفاع نسبة أكسيد الرصاص بها أو قلوي لارتفاع نسبة أكسيدالصوديوم وأكسيدالبوتاسيوم، أو قلوي - رصاصي.
- استخدم الخزاف اليمني في منطقة زبيد أكسيد النحاس مع الكوبالت للحصول على اللون الأزرق الفاتح، كما استخدم أكسيد الحديد وأكسيد المنجنيز للحصول على اللون الأسود وأكسيد النحاس للحصول على اللون الأخضر في التزجيجات الرصاصية.
- وقد تبين من خلال التحليل باستخدام طريقة حيود الأشعة السينية (XRD) للعينة ذات اللون الأسود انها تتكون بصفة أساسية من سيليكات المنجنيز ($MnSiO_3$). ويشير ذلك الي استخدام أكسيد المنجنيز للحصول على اللون الأسود.

قائمة المراجع:

- حمادة صادق رمضان، دراسة تقنية وعلاج وصيانة أدوات الإضاءة الخزفية الأثرية الإسلامية تطبيقاً على بعض النماذج المختارة، رسالة ماجستير، قسم ترميم، كلية الآثار، جامعة القاهرة،٢٠٠٥، ص ٢٤-٢٥.
- فاطمة صلاح مدكور، دراسة تقنية وعلاج وصيانة البلاطات الخزفية الأثرية في مصر مع التطبيق العملي على بعض النماذج من العصر العثماني وعهد محمد على، رسالة ماجستير، قسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة، ١٩٩٩، ص٩٧.
- محمود إبراهيم حسين، الفخار والخزف اليمني في العصور الاسلامية دراسة لبعض اللقى الأثرية ومحاولة التاريخ، مجلة كلية الآداب، جامعة صنعاء، العدد ١٣، ١٩٩١، ص٢٥٠.

- Beauchamp, E. k., Mechanical Properties and Fracture in: characterization of ceramics, by Loeh man , R & Fitzpatrick , L., Butter worth – Heinemann , London , 1993, pp.169-187.
- Bugoi, R., et al, Investigation of Neolithic ceramic pigments using synchrotron radiation X-ray diffraction, Powder Diffraction , Vol. 23, No. 3, ,2008 , pp.195-199
- Colomban, P. et al, Microstructure, composition and processing of 15thcentury Vietnamese Porcelains and Celadon , Journal of cultural Heritage , Vol. 4 (3) 2003 , P.180.
- Cronyn , J.M. ,The Elements of Archaeological conservation , Routledge , London and New York , 1992 , p.147 .

- Fabbri , B., S., et al , Archaeometric investigation of Sgraffito Ceramic Tiles (fifteen-sexteenth centuries). Recovered from Excavation in Udine (north-east Italy), Archaeometry, Vol. 42, (2) 2000, pp.317-324.
- Hallett, J., Keall, E.J., Vitali , V., and Hancoc, R. G. V., Chemical analysis of Yemeni archaeological ceramics and the Egyptian Enigma, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 110, No. I, l987, pp. 293- 302.
- Joukowsky , M. , A Complete Manual of field Archaeology, tools & techniques of field work for Archaeology , U. S. A. , 1980 , pp.338 - 374 .
- Khnndpur, R. S., Handbook of analytical instrument. Company limited, London, 1997, p. 324.
- Mason, R. B., Petrography of Islamic Ceramics, in Recent Developments in Ceramic Petrology, eds., A. Middleton and I. Freestone, Oxford, 1993.
- Tite, M.S. The impact of electron microscopy on ceramic studies. Proc. Br. Acad. 1991, 77, pp.111–131.
- Valoon, G., Analytical methods for geochemical exploration, London, 1987, p. 45.
- Worrall, L., clay and ceramic raw materials, New York, second edition, 1987, p. 188.
- Zimmermann, U., et al., Provenance and composition of unusually chrome and nickel-rich Bucket-shaped pottery from Rogaland (southwestern Norway), Sedimentary Geology, 2016, p.186.