تحديد التركيب المعدنى والكيميائى ودرجة حرارة الحرق لآنيتين من الفخار ترجعان لعصر ما قبل الاسرات - جبانة حلوان - مصر

Mineral, Chemical Composition and Firing temperature degree determination of two Pottery vessels – Return to Pre-dynastic period - Helwan cemetery- Egypt

أ.د./ محمد مصطفى إبراهيم

أستاذ بقسم الترميم – كلية الآثار – جامعة القاهرة

Prof. Mohamed Moustafa Ibrahim

Professor in Conservation Department – Faculty of Archaeology - Cairo University

م.د/ الشيماء عبد الرحيم

مدرس بقسم الترميم – كلية الآثار – جامعة القاهرة

Dr. Elshaimaa Abd Elrahim*

Lecturer in Conservation Department –Faculty of Archaeology - Cairo University

elshaimaa76@yahoo.com

الباحثة/ ماجده محمد صالح

مدير الترميم الأثري بحلوان - وزارة الآثار

Researcher. Magda Mohamed Saleh

Director of Archaeological Restoration of Helwan- Ministry of Antiquities

magesaleha@gmail.com

الملخص :

يتناول هذا البحث دراسة التركيب المعدنى والكيميائى وتحديد درجة الحرق لآنيتين من الفخار - عصر ما قبل الاسرات - جبانة حلوان . كانت منطقة حلوان من المناطق التى شهدت نشاطاً حضارياً مبكرا منذ العصر الحجرى القديم حتى نهاية العصر العتيق في مصر . وتعد حضارة حلوان إحدى حضارات العصر الحجرى الحديث ، وتقع في محافظة القاهرة بين حلوان الحالية ونهاية وادى حوف أو مصبه . وتمت الدراسة لآنيتين من الفخار - عصر ما قبل الاسرات - جبانة حلوان محافظة القاهرة وفحصها وتحليلها بوسائل مختلفه منها : الفحص البصرى Visual Investigation – الميكروسكوب الضوئى الرقمي Digital Optical Light Microscope USB - الميكروسكوب المستقطب Light Microscope Polarizing – التحليل بحيود الأشعة السينية XRD - التحليل بطريقة التفاضل الحرارى Differential Thermal Analysis (DTA). وتعتبر عمليات الفحص والتحليل من المراحل الهامة فى مجال الدراسات الأثرية عامة والفخارية خاصة ، فهى أساس عمليات الترميم حيث نحصل من خلالها على بيانات ومعلومات تاريخيه عن الأثر وعن تقنيات صناعته . كما يمكن ارجاع الأثر الى الفترة التاريخيه التي صنع فيها من خلال التحاليل المعدنية والكيميائية والحرارية لإكمال اهداف الدراسه ، وهى ترجع الى العصر العتيق – عصر الأسرة الأولى واكدتها نتائج حفائر البعثة الأسترالية . ويتم التعرف على مكونات الفخار وخصائصه ودرجة حرارة حرقه ، ومعرفة طبيعة تلفه ، وما حدث من تغيرات معدنية مما يساهم فى تنفيذ خطوات العلاج والصيانة بصورة جيدة .

وأظهرت وسائل الفحص والتحليل المختلفه نتائج جيده جدا ، حيث بينت التركيب المعدنى والكيميائى للأوانى الفخاريه الأثرية ، التي يجب ان يعرفها جيدا المرممين في اى من المواقع المختلفه قبل قيامهم بأعمال الترميم . حيث أظهرت وجود كل من معدن الكوارتز SiO_2 ، الجهلنيت $Ca_2AL_2SiO_7$ ، الدايوبسيد $MgCaSi_2O_6$ ، الولاستونيت $Ca5SiO_3$ ،

إضافة الى الكالسيت $CaCO_3$ – الهيماتيت Fe_2O_3 – الهاليت NaCl بنسب مختلفه لكل عينه ، حسب نوع الطين وتركيبه الكيميائى والمعدنى وظروف الحرق والدفن .

الكلمات الداله :
التركيب المعدنى والكيميائي ، درجة حرارة الحرق ، الجهلنيت ، الدايوبسيد ، الولاستونيت .

Abstract:

This research deals with the study of the mineral and chemical composition and determination of firing temperature degree of two pottery vessels - the pre-dynastic era - Helwan cemetery. Helwan was one of the areas that witnessed early civilizational activity from the ancient Stone Age until the end of the ancient era in Egypt. Helwan civilization considered one of the Neolithic civilizations. In addition, is located in the Cairo governorate between present-day Helwan and the end of the Wadi Houf or its mouth. Two pottery vessels - the pre-dynastic era - Helwan cemetery in Cairo governorate was studied, examined and analyzed by various means, including: Visual Investigation - Digital Optical Light Microscope USB - Polarizing Light Microscope - X-ray diffraction analysis XRD - Differential Thermal Analysis (DTA). The examination and analysis processes considered among the important stages in the field of archaeological studies in general and pottery in particular, as they are the basis of restoration processes, through which we obtain historical data and information about the antiquity and its manufacturing techniques. The artifact can also return back to the historical period in which it was made through mineral, chemical and thermal analyzes to complete the objectives of the study. It goes back to the Archaic Era - the era of the First Dynasty and confirmed by the results of the Australian mission excavations. Mineral changes, which contribute to better treatment and maintenance steps. The various methods of examination and analysis showed very good results, as they showed the mineral and chemical composition of the ancient pottery vessels, which the restorers must know well in any of the different sites before they carry out the restoration work. Where it showed the presence of Quartz SiO_2, Gehlnite $Ca_2AL_2SiO_7$, Diopside $MgCaSi_2O_6$, and Wollastonite $Ca.5SiO_3$, in addition to Calcite $CaCO_3$ – Hematite Fe_2O_3 – Halite NaCl with different proportions for each sample, according to the type of clay, its chemical and mineral composition, and the conditions of burning and burial.

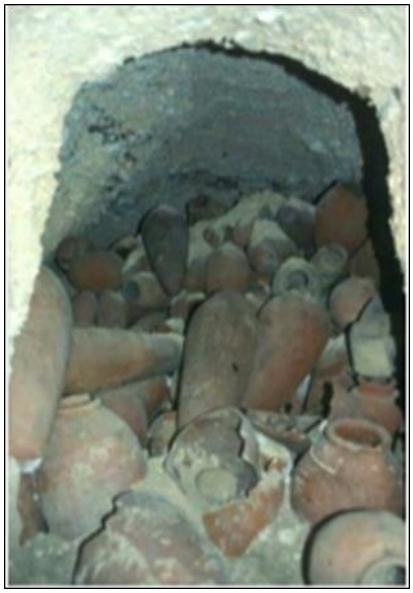
Key Words:

Mineral and chemical composition, Firing temperature, Gehlnite, Diopside, Wollastonite.

١- المقدمه :

تمت الدراسة لآنيتين من الفخار - عصر ما قبل الاسرات - جبانة حلوان محافظة القاهرة - ارقام ٨٦٠-٢٣ ، ٨٦٠-٦٨. ويبدو أن منطقة حلوان ما قبل التاريخ كانت منطقة جذابة للغاية في تاريخ مصر القديمة في وادي حوف بالقرب من حلوان ، وفي بداية فترة السلالة كانت جبانة حلوان إحدى ضواحي المدينة هي عاصمة (ممفيس) التي تقع علي الجانب الآخر من نهر النيل ، هذا الاستنتاج وراء العدد الضخم من المقابر التي عثر عليها زكي سعد في عزبة الوالدة شمال غرب حلوان (Abo-Elyazied 2016, 82) . وتأتي أهمية حلوان أنها كانت محطة حضارية مهمة للنشاط البشري والتكنولوجى الممتد في الشمال

الأفريقي كله وشرق البحر المتوسط ، وقد يدعم ذلك ما لاحظه ديبونو من بقايا المواقد وعظام الحيوانات وقشر بيض النعام إلي جانب بعض الأصداف (رضوان ١٩٩٣، ٢٦) ، **(صورة رقم ١)** .

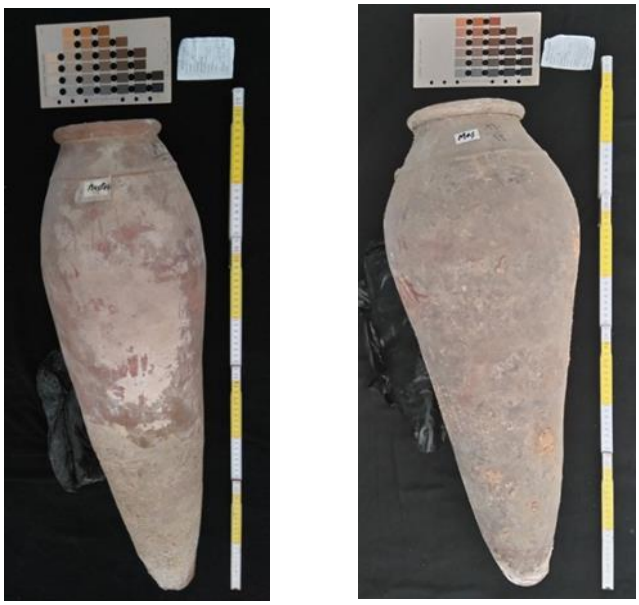


صورة رقم (١) توضح مقبرة التخزين بحلوان ممتلئة بالفخار من موقع حفائر زكى سعد
(After : Kohler, E., The necropolis of Helwan and the chronologies of early Egypt, institute for Egyptology, 2018, p.23)

منطقة حلوان كانت من المناطق التى شهدت نشاطاً حضارياً مبكراً منذ العصر الحجرى القديم حتى نهاية العصر العتيق ، وتقع جبانة حلوان حالياً بين قرى عزبة كامل صدقى الحديثة القبلية فى الشمال وعزبة الوالدة فى الجنوب ، وعلى الجانب الشرقى نهر النيل الذى يمتد على مسافة واحد ونصف كيلومتر من الشمال إلى الجنوب على طول ضفة النهر الأقرب لوادى حوف (Köhler 2019, 113) . وكانت جبانة حلوان محطة حضارية مهمة للنشاط البشرى الممتد في منطقة الشمال الأفريقى وشرق البحر المتوسط (بياتركسرينييه ٢٠٠١ ، ١٢١) . وكانت منطقة حلوان ذات نشاط حضارى فى العصر الحجرى الحديث متمثلة فى موقعين مهمين إحداهما موقع العمرى عند مصب وادى حوف الذى كشف عنه بوفييه لابيير(١٩١٥م) نسبة إلى الشاب المصرى أمين العمرى المتخصص فى علم المعادن والذى كان مصاحب له ضمن فريق العمل ، والموقع الأخر عثر عليه ديبونو (أبواليزيد ٢٠١٣ ، ٢٤) .

ومن أهم ما عثر عليه فى منطقة الحفائر عديد من الآثار القيمة التي تدل على حالة الصناعة في عصر الأسرة الأولى من أوانى من الفخار الكبيرة الحجم الجميلة الصنع ، وأطباق وموائد وأوانى صنعت من الأحجار المختلفة مثل الإردواز والمرمر والبازلت والألباستر . كما أنهم عرفوا النحاس وصنعوا منه أوانى دقيقة وأزاميل ، كذلك صنعوا من سن الفيل مقابض (Saad 1951, p.20) .

تم اختيار الانيتين الفخاريتين وفحصهما وتحليلهما بوسائل مختلفه منها : الفحص البصرى Visual Investigation – الميكروسكوب الضوئى الرقمي Digital Optical Light Microscope USB - الميكروسكوب المستقطب Light Polarizing Microscope - حيود الأشعة السينية XRD **صوره رقم (٢ ،٣)** .



صورة رقم (٢ ،٣) توضح الانيتين الفخاريتين ارقام ٨٦٠-٢٣ ، ٨٦٠-٦٨ ، وشكل نسيج السطح .

ومن خلال الميكروسكوب الضوئى الرقمي Digital Optical Light Microscope USB الذى استخدم تم التعرف على شكل السطح وإظهار القوه والبنيه للأواني الفخاريه محل الدراسه .

أنواع الطينات والنسيج الفخاري المستخدم في صناعة الفخار في جبانة حلوان

١- نوع النسيج الغرينى الطيني Alluvial silty fabric type وينقسم إلي :

(أ) طين غريني ناعم ويرمز لها (Asft:c) : به كميات قليلة من الشوائب العضوية والدقيقة والكوارتز والحجر الجيري ، وعادة ما يكون لون هذا الطين البنى المائل للحمرة (Knobluch 2012, 131) ، ويوجد في أكبر مجموعة متنوعة من الأوعية وهو يمثل نوع (النيل ب) في نظام تقسيم فيينا (Smythe 2004, 318) ، **لوحة رقم (١)** .

لوحة رقم (١) توضح ١٨ نوع من النسيج الطينى الفخارى المختلف فى جبانة حلوان
(After : Kohler, E., The necropolis of Helwan and the chronologies of early Egypt, institute for Egyptology, 2018, p.24)

(ب) طين غريني خشن ويرمز لها (Asft:b) : يكون متوسط النعومة إلي الخشونة ، ويوجد به حجر جيري خشن ورمل وبعض الحصا والميكا (Knobluch 2012, 131) ، ويمثل هذا النسيج بشكل جيد فعليا نظرا لوجوده في عينات الدراسه (Smythe 2004, 318) . ويمكن التعرف على مورفولوجيه سطح العينات الفخاريه بالميكروسكوب الالكترونى الماسح SEM (Baumgart 1984, 8-12) .

(جـ) طين غريني ويرمز له (Asft:a) : الطين متوسط إلي ناعم ، عالي الكثافة وغالبا يصنع منه (Wine Jars) ، وهو يمثل نوع (النيل أ) نظام تقسيم فيينا ، ويحتوي علي كمية كبيرة - تقريباً نصف العينة - مصنوعة من الطين الغريني مع الحجر الجيري ، وهو يُمثل العملية الثالثة في منطقة حلوان (op3/1) ، ويمكن التعرف علي هذا المزيج بسهولة باستخدام عدسة يدوية منخفضة الطاقة (Smythe 2004, 318) ، وتمزج كمية كبيرة من الحجر الجيري أو الكالسيت كإضافة إلي طينة الغرين (Knobluch 2012, 131) .

٢- المارل Marl وينقسم إلي :

(أ) مارل خشن : وبه كمية من الجير وشوائب الحجر والرمل (Knobluch 2012, 131) ، ويرمز له **(Mcft:a)** وهو يُمثل تقسيم فيينا (Smythe 2004, 318) .

(أ) مارل متوسط : وهو متوسط النعومة وبه شوائب متوسطة من الحجر الجيري والرمل ولونه بني محمر (Knobluch 2012, 131) ، ويرمز له **(Mcft:b)** ، وهو يُمثل ٢٥% من العملية الثالثة في جبانة حلوان **(op3/1)** , ويسمح بإضافة كمية من المواد العضوية وكميه من القش ذات أحجام متساوية إلي مزيج الطين بواسطة الخزاف ، ويبدو أن لا نظير لها – اى متفرده (Smythe 2004, 318) .

٢- منهجية البحث Research Methodology

اعتمدت الدراسه على مزيج من مناهج البحث منها المنهج الوصفى والتحليلى والإستقرائى والتجريبى والتطبيقى لتغطيه جميع جوانب واهداف البحث .

٢-١ مواد وطرق الدراسة Material and Methods

تم دراسة اثنين من الأوانى الفخارية رقم سجل (٨٦٠ -٢٣، ٨٦٠ -٦٨)

٢-١-١ التوثيق والوصف الأثري

Description, Archaeological documentation

تعتبر طريقة الفحص البصرى أولى مراحل عملية الفحص ، حيث يتم الاستعانة أحيانا ببعض العدسات المكبره (عدسة مكبرة بقوة تكبير مختلفه 4x- 8x- 10x) ، مزودة بوحدة اضاءة مناسبة تساعد في فحص التفاصيل الدقيقة التي يصعب رؤيتها بالعين المجردة ، كما تم في الأواني الفخاريه المختاره موضوع الدراسة حيث بين مظاهر التلف السطحيه المختلفة . ويعد الفحص البصري من اكثر الاختبارات غير المتلفه لسهولة تطبيقه وقله تكاليفه .

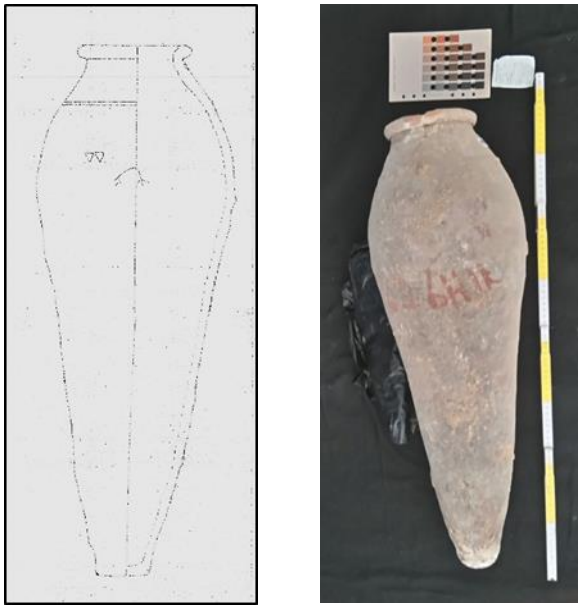
الآنية الفخارية الأولى رقم سجل ٨٦٠ -٢٣

تحمل هذه الآنية رقم سجل ٨٦٠ -٢٣ ، وترجع الي العصر العتيق - الأسرة الأولي . وهى تمثل إناء علي شكل امفورة ، ومن الواضح أنه كان يستخدم لحفظ النبيذ أو الحبوب ، عبارة عن قطعة واحدة كامل ، استخرج سابقا من حفائر البعثة الأسترالية بتاريخ ٣-١٢-٢٠٠٣م ، وابعاده كالتالي **جدول رقم (١)** :

الطول	**٦٩ سم**
قطر الفوهة	**١٤ سم**
قطر البدن	**٢٤ سم**
قطر القاعدة	**٨,٤ سم**

جدول رقم (١) يوضح ابعاد الآنية الفخارية الأولى

٢-١-٢ التوصيف الفني : تم التوثيق الفوتوغرافى للآنية الفخارية الأولى بكل تفاصيلها ، ثم الفحص البصري بالعين المجردة والعدسات المكبرة ، وتبين انها مصنوعه من الطمي النيلى والرسوبى ، ودرجة لونها 2,5 yr 5/4 بنى محمر ، وذلك من خلال جداول الالوان الترابية . وهى محروقه حرقا كاملا وذلك يتضح من لون الاناء فمن الخارج بنى محمر ، وفى الداخل أيضا بنى محمر وهى جيدة الصقل . ومكتوب عليها الرقم الذي سجله زكي سعد علي الفخار أثناء اكتشافه من الدفنه كما موضح **صورة رقم (٤أ ،٤ب)** .



صورة رقم (٤أ ،٤ب) توضح الآنية الفخارية الأولى وتظهر الاتساخات والأتربة والتزهر الملحى على السطح وكتابات باللون الأحمر ، واسكتش يدوى لها من حفائر زكى سعد

٢-١-٣ وصف مظاهر التلف

- **يعد هذا الاناء فى حالة غير جيدة بالإضافة إلى العديد من مظاهر التلف وهى كالتالى :**
- الأتربة والاتساخات : وهى مظهر تلف سائد على سطح الإناء من جميع الجهات ، ناتج من تربة الدفن .
- تظهر على سطح الإناء بالكامل من الفوهه الى القاعدة وملتصقة بشدة على سطح الإناء من كل الجهات .

- أملاح متبلورة : تغطى جزء كبير من البدن الى القاعدة على جميع جهات الإناء .
- تفكك حبيبى : يظهر فى أجزاء من الإناء على شكل ثقوب .
- كتابة رقم سجل البعثة على قاعدة الإناء بلون أسود وهذا يشوه السطح وذلك من طرق تسجيل البعثة الأسترالية .
- كتابة رقم الإناء على سطح الإناء وذلك كان من طرق تسجيل حفائر زكى سعد وهو يشوه سطح الإناء .
- قشور متساقطة : تظهر فى قاعدة الإناء وعلى جزء من الفوهه .

الآنية الفخارية الثانية رقم سجل ٨٦٠ -٦٨

تحمل هذه الآنية رقم سجل ٨٦٠ -٦٨، وترجع الي العصر العتيق - الأسرة الأولي .

هو إناء علي شكل امفورة ، ومن الواضح أنه كان يستخدم لحفظ النبيذ أو الحبوب ، عبارة عن قطعة واحدة كامله ، استخرج سابقا من حفائر البعثة الأسترالية بتاريخ ٤-١٢-٢٠٠٣م ، وأبعاده كالتالي **جدول رقم (٢)** :

الطول	**٧١ .٧سم**
قطر الفوهة	**١٤ سم**
قطر البدن	**٢٢ سم**
قطر القاعدة	**٦ سم**

جدول رقم (٢) يوضح ابعاد الآنية الفخارية الثانية

٢-١-٤ التوصيف الفني : تم التوثيق الفوتوغرافى للآنية الفخارية الثانية بكل تفاصيلها ، ثم الفحص البصري بالعين المجردة والعدسات المكبرة ، وتبين انها مصنوعه من الطمي النيلى والرسوبى ، ودرجة لونها 5/4 yr ٥ بنى محمر ، وذلك من خلال جداول الالوان الترابية . وهى محروقه حرق كامل وذلك يتضح من لون الاناء فمن الخارج بنى محمر وفى الداخل بنى محمر وهى جيدة الصقل . ويوجد عليها علامات يعتقد أنها من الصانع أو المنطقة التي وجدت منها كما موضح **صورة رقم (٥أ ،٥ب)** .

صورة رقم (٥أ ،٥ب) توضح الآنية الفخارية الثانية
وتظهر الاتساخات والأتربة والتزهر الملحى على السطح ، واسكتش يدوى لها

٢-١-٥ وصف مظاهر التلف

تعانى الآنية الفخارية من ضعف عام بالإضافة إلى العديد من مظاهر التلف وهى كالتالى :

- الأتربة والاتساخات : وهى مظهر تلف سائد من تربة الدفن يوجد على سطح الإناء الفخارى .
- تزهر أملاح : تغطى سطح الجهه الأولى من الإناء أملاح متزهره على جزء كبير منها انتقلت إلى داخل جسم الإناء .
- أملاح متبلورة : تغطى جزء كبير من البدن الى القاعدة على جميع جهات الإناء .
- قشور متساقطة : توجد على قاعدة الإناء قشور متساقطة .

٢-٢-١ لفحص بالميكروسكوب الضوئي الرقمي Digital Optical Microscope Examination USB

هو عبارة عن مجهر (ميكروسكوب رقمى) يمكن توصيله بالحاسب الآلى ، بحيث يمكن عرض الشرائح المجهرية على شاشة الحاسب الآلى ، وعن طريقه يمكن تخزين عدد كبير من الشرائح (الصبحى والعبدلى ، المجهر الرقمى) . ويتم عرض الشرائح المجهرية أو الداتا شو مع إمكانية حفظ الصور الملتقطة للشريحة الكترونيا (Jones 2008, 9) ، وهو يستخدم للتصوير التفصيلي لسطح الأثر للتعرف على مظاهر التلف غير الظاهرة بالعين المجردة ، ومن خلاله تم الفحص والتصوير للأوانى الفخارية موضوع الدراسة لمعرفة مظاهر ونواتج التلف الموجودة بها ، والتى يصعب رؤيتها بالعين المجردة من خلال قدرته على التكبير وتوصيله بالكمبيوتر ، ورؤية وتسجيل الجزء المراد دراسته ، نوع الجهاز المستخدم في الفحص Digital Microscope USB .

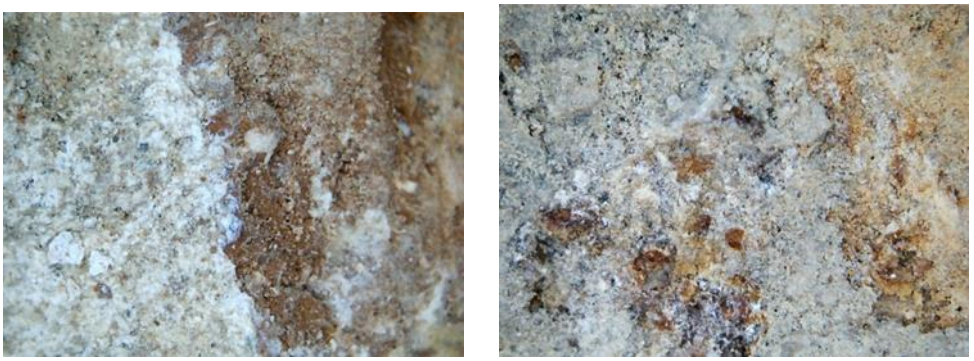
ظروف تشغيل الجهاز :

- INNOVATION BEYOND DIGITAL MICROSCOPE IMAGINATION
- (Measurement calibration) High brightness.
- Industry – Education – collection/ Research –Biological/ Mineral.
- LED Adjustable. - Calibration Ruler.
- USB 2.0 MP video 1000 x. - HD: Color cmos sensor.

ومن خلال الفحص والتصوير بالميكروسكوب الرقمي للأوانى الفخاريه تم التوصل إلي النتائج التاليه :

٢-٢-٢ الآنية الفخارية الأولى رقم السجل ٨٦٠ -٢٣

توضح نسيج سطح الانيه الخشن نسبيا ، وتراكم الاملاح بشكل كبير وتزهرها على سطح الإناء باللون البنى المحمر ، ويظهر السطح الخشن نسبيا للإناء المغطى بالأملاح ، واختلاف أشكال الأملاح وتوزيعها على سطح الإناء **صورة رقم (٦ ، ٧)** .



صورة رقم (٦ ، ٧) يوضح الفحص والتصوير بالميكروسكوب الضوئى الرقمى لسطح الانيه الفخارية الأولى الخشن نسبيا ، قوة التكبير ٢٥٠x

٢-٢-٣ الآنية الفخارية الثانيه رقم السجل ٨٦٠ -٦٨

توضح نسيج سطح الانيه الانعم نسبيا باللون البنى المحمر ، وتبلور وتزهر الأملاح على السطح وتداخلها مع الاتساخات الناتجة من تربة الدفن على سطح البدن الانعم نسبيا ، واختلاف الاملاح ما بين التبلور والتزهر وتداخلها مع سطح الاناء ، واختلاف شكل تبلور الاملاح **صورة رقم (٨ ، ٩)** .

صورة رقم (٨ ، ٩) يوضح الفحص والتصوير بالميكروسكوب الضوئي الرقمى لسطح الانيه الفخارية الثانيه الانعم نسبيا ، قوة التكبير ٢٥٠x

٢-٣-١ الفحص بالميكروسكوب المستقطب Polarizing Light Microscope

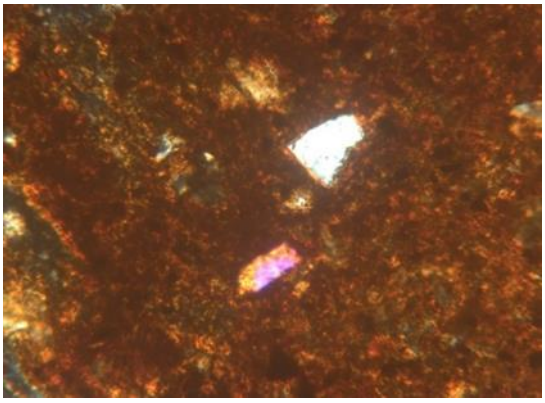
هو من أهم أنواع المجاهر المستخدمة فى دراسة الشرائح الرقيقة للصخور وحبيبات المعادن ، وكذلك دراسة التربة وعلم الفلزات (عبد الرحيم ٢٠٠٣، ١٠٩)(دراسة المعادن والصخور بالمجهر المستقطب، ٢٠١٠) . وتكشف الدراسة بالميكروسكوب المستقطب الكثير عن الخصائص الضوئية للمعادن ، ومن ثم التعرف على أنواع المعادن المختلفه التي توجد بسطح الفخار (مجهر بتروغرافى -https://ar.m.wikipedia.org/wik)(حسن أفندى والغريب ٢٠١٣، ١٦) .

طرق الفحص المجهرية لها دور فى غاية الأهمية فى دراسة التركيب البتروجرافى للمعادن المختلفه ومنها ما توجد بالفخار، ودراسة كل ما يتعلق بطبيعة المكونات المعدنية وتركيبها للأوانى الفخارية ، وما حدث من تغيرات معدنية أثناء مراحل الحرق المختلفة ، أو أثناء فترة الدفن فى التربة ، وطبيعة المواد المضافة والمعالجات السطحية وطبيعة عملية الحرق ودلائلها من حيث الأكسدة والاختزال (حسن أفندى والغريب ٢٠١٣، ١٦) ، ومعرفة أنواع الطفلة وطرق صناعتها ، كما يفيد فى ادراك أى تلف ناتج عن تشوهات بحبيبات العينة .

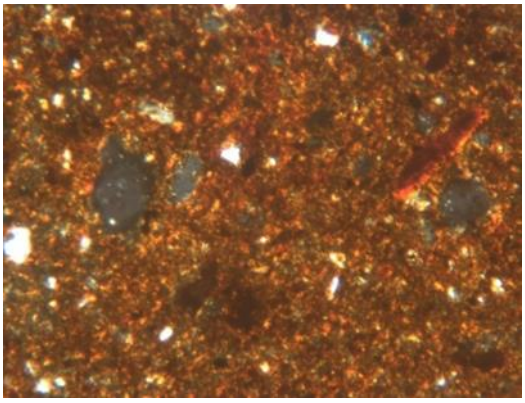
تم فحص عينات من الأوانى الفخارية موضوع البحث ، وإعدادها وتجهيزها بصورة شرائح رقيقة من عينات بدن الفخار بمعمل قسم الجيولوجيا بكلية العلوم - جامعة القاهرة . وتمت الدراسة والفحص بمعمل الميكروسكوب المستقطب بالهيئة المصرية العامة للثروة المعدنية - التابعة لوزارة البترول ، على جهاز من نوع :

Germany, Polarized microscopy (Leitz Orthoplan microscope 110760), made in attached with color digital video camera JVC.

٢-٣-٢ الآنية الفخارية الأولى رقم سجل ٨٦٠ -٢٣



صورة رقم (١٠) توضح سطح العينة A وتظهر بها حبيبات الكوارتز والميكا وسط أرضية غنية بالهيماتيت بتكبير (160x C.N)

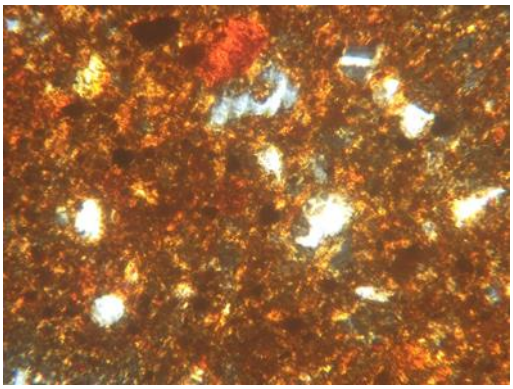


صورة رقم (١١) توضح سطح العينة B وتظهر بها حبيبات الكوارتز والميكا والهيماتيت بتكبير (63x C.N)

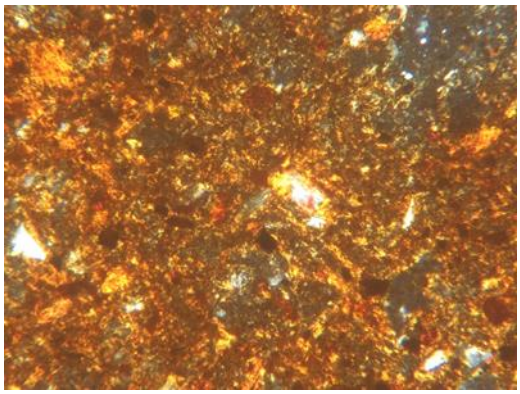
العينه A : توضح نسيج من حبيبات بلورات معدن الكوارتز كبيرة الحجم مختلفة الأشكال ، وتوجد بعض حبيبات من الميكا والمسكوفيت وسط أرضية غنية بالهيماتيت (160x C.N) ، **صورة رقم (١٠)** . ويظهر سطح العينه الخشن نسبيا .

العينه B : توضح نسيج من حبيبات بلورات معدن الكوارتز المتجانس نسبيا في التوزيع والحجم ، مختلفة الأشكال ، ويوجد بعض الحبيبات من الميكا فى وسط ارضية غنية بالهيماتيت والفلسبارات ومعادن معتمة (63x C.N) ، **صورة رقم (١١)**.

٢-٣-٣ الآنية الفخارية الثانيه رقم سجل ٨٦٠ -٦٨



صورة رقم (١٢) توضح سطح العينة وتظهر بها حبيبات الكوارتز والبلاجيوكليز والميكا والهيماتيت ، بتكبير (160x C.N)



صورة رقم (١٣) توضح سطح العينة وتظهر بها حبيبات الكالسيت والكوارتز ومعادن معتمة ، بتكبير (160x C.N)

العينه A : توضح نسيج من حبيبات بلورات معدن الكوارتز مختلف الأشكال ومتوسط التجانس في التوزيع والحجم ، إضافة الى البلاجيوكليز ، وتوجد بعض الحبيبات من الميكا (بيوتيت ومسكوفيت) وسط ارضية غنية بالهيماتيت والفلسبارات ومعادن معتمة (160x C.N) ، **صورة رقم (١٢)** . ويظهر سطح العينه الانعم نسبيا .

العينه B : فحص لجزء اخر يوضح نسيج من حبيبات متجانسة في التوزيع والحجم ، وتوجد حبيبات من الميكا والكوارتز والمسكوفيت وسط ارضية غنية بالهيماتيت والفلسبارات ومعادن معتمة (160xC.N) ، **صورة رقم (١٣)** .

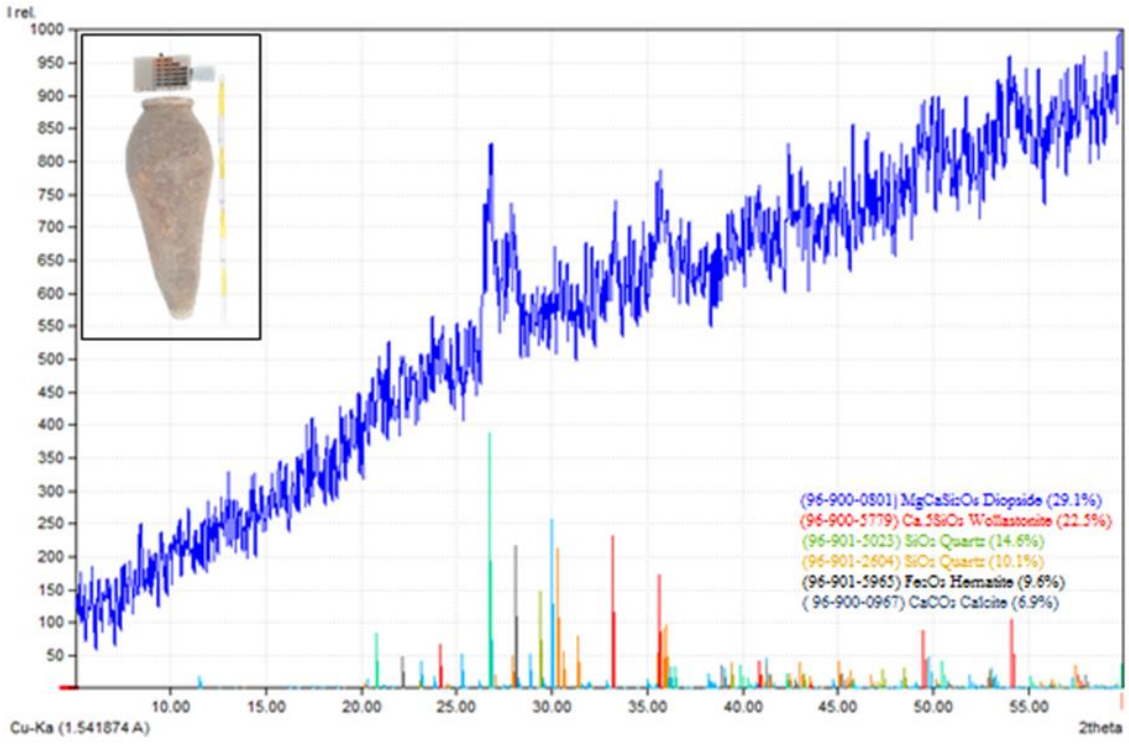
٢-٤-١ التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية Analysis by X-ray Diffraction Method

يعتبر التحليل بطريقة حيود الأشعة السينية وسيلة جيدة لدراسة طبيعة المواد المتبلورة ، كما أنها الطريقة المعتادة فى التعرف على المكونات المعدنية للطفلة وكافة المواد المتبلورة (Wyckoff 1963, 85-237)(Wolf 1980, 52-55) . المنتجات الفخاريه من المواقع الأثرية المختلفة لها تركيبات كيميائية متنوعة بسبب الاختلافات في العناصر الموجودة في الطين في تلك المنطقة او غيرها ، أو في التركيبات والنسب التي يستخدمها الخزافون في خلط الطين ، "يستخدم كل موقع فرن الحرق الخاص به ، وبالمواد والمكونات الخاصة بهذا النوع من المنتجات - وهذا ما يصنع لكل نوع منه نموذجا فريدا من نوعه " . وإذا تطابقت بصمة العينة مع بصمة موقع الفرن ، فمن المحتمل جدًا أن يكون هذا هو المكان الذى جاءت منه العينة او أحرقت فيه (Field Museum, 2019) .

التحليل بطريقة حيود الأشعة السينية يعطى صورة تفصيلية للتركيب البلورى المعدنى فى صورة مركبات ، ويساعد في التعرف على اطوار المعدن المختلفه في العينات (kumar 2009, 198) ، وما حدث من تغيرات معدنية بسبب الدفن فى التربة ، مما يساعد فى فهم طبيعة تكنولوجيا الصناعة ، ومعرفة المواد المكونة للطفلة المستخدمة ، والشوائب الموجودة بالأثر مما يبين ويحدد مظاهر التلف وبالتالى يحدد مراحل العلاج . وتم إجراء هذا التحليل بطريقة حيود الأشعة السينية فى معمل التحليل بالأشعة السينية – كلية الاثار - جامعة القاهرة ، نوع جهاز التحليل بالأشعة السينية المستخدم Philips analytical X-ray b.v. - Diffractometer-PW 1480-Netherland . وحجم العينات للآنيه الأولى size 0.041 g، والثانيهsize 0.040 g ، وهى من الأجزاء الصغيره جدا التي كانت منفصله من الاناء نتيجة ظروف الدفن .

٢-٤-٢ الآنية الفخاريه الأولى :

وهى عينه من البدن ذو لون بنى أحمر ، وتتضح نتيجة التحليل من خلال **(الشكل رقم ١ ، والجدول رقم ٣)** .



شكل رقم (١) يوضح نمط حيود الاشعة السينية للعينة من بدن الآنية الفخاريه الأولى

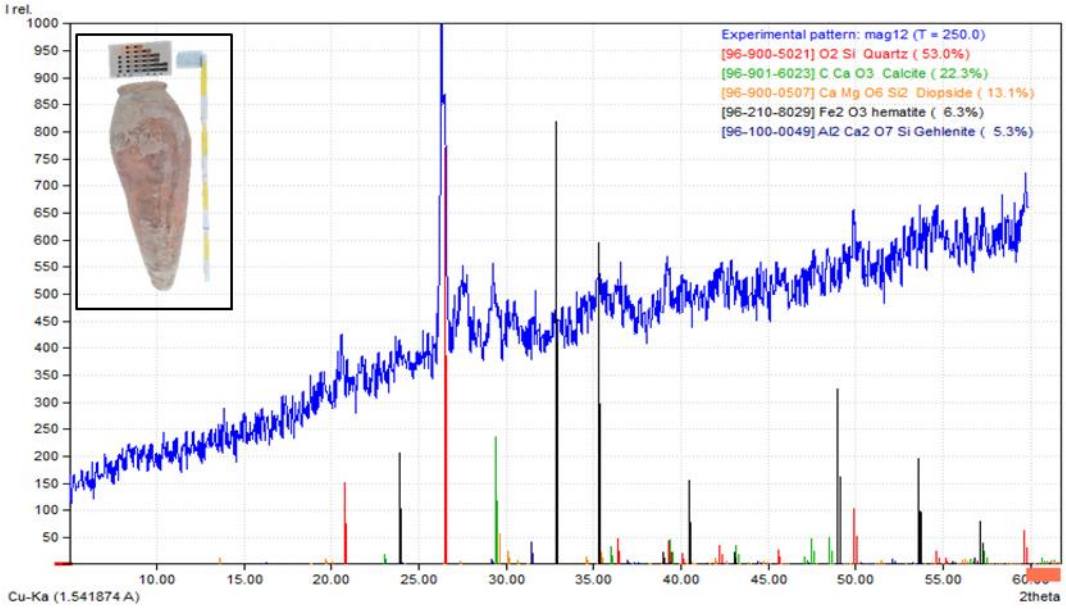
جدول رقم (٣) يوضح نتيجة تحليل حيود الاشعة السينية للعينة من بدن الآنية الفخاريه الأولى

م	الاسم العلمي	التركيب الكيميائي	الرمز الكيميائي	رقم الكارت	نسبة المركب بالعينة%
1	**دايوبسيد** Diopside	سليكات الكالسيوم والماغنيسيوم	$MgCaSi_2O_6$	96-900-0801	29.1
2	**ولاستونيت** Wollastonite	سليكات الكالسيوم	$Ca.5SiO_3$	96-900-5779	22.5
3	**كوارتز** Quartz	ثاني أكسيد السيليكون	SiO2	96-901-5023	24.7
4	**الهيماتيت** Hematite	أكسيد الحديد	Fe_2O_3	96-901-5965	9.6
5	**الكالسيت** Calcite	كربونات الكالسيوم	$CaCO_3$	96-900-0967	6.9

تبين من خلال نتائج نمط حيود الأشعة السينية أن العينة من بدن الإناء الفخارى الأول تحتوى على الدايوبسيد ($MgCaSi_2O_6$) بنسبة عالية 29.1 % ، ترتب على ذلك كون العينة الفخارية ذات خواص فيزوميكانيكية جيدة قادرة على مقاومة عوامل التلف فى الوسط المحيط (الغريب ٢٠١٦، ٤٧٣) ، ووجود نسبة من الولاستونيت 22.5 ($Ca.5SiO_3$) % ، ووجود نسبة متوسطة من الكوارتز (SiO_2) وهى من مكونات الفخار الأساسية 24.7 %. إضافة الى نسبة من معدن الهيماتيت (Fe_2O_3) 9.6 % دل على جو الحرق المؤكسد الذى تعرضت له الانيه ، ووجدت نسبة بسيطة من الكالسيت ($CaCO_3$) 6.9 % .

٢-٤-٣ الآنية الفخاريه الثانية :

وهى عينه من البدن ذو لون بنى أحمر ، وتتضح نتيجة التحليل من خلال **(الشكل رقم ٢ ، والجدول رقم ٤)** .



شكل رقم (٢) يوضح نمط حيود الاشعة السينية للعينة من بدن الآنية الفخاريه الثانية

جدول رقم (٤) يوضح نتيجة تحليل حيود الاشعة السينية للعينة من بدن الآنية الفخاريه الثانية

م	الاسم العلمي	التركيب الكيميائي	الرمز الكيميائي	رقم الكارت	نسبة المركب بالعينة%
1	**الكوارتز** Quartz	ثاني أكسيد السيليكون	SiO_2	96-900-5021	53.0
2	**الكالسيت** Calcite	كربونات الكالسيوم	$CaCO_3$	96-901-6023	22.3
3	**دايوبسيد** Diopside	سليكات الكالسيوم والماغنيسيوم	$MgCaSi_2O_6$	96-900-0507	13.1
4	**الهيماتيت** Hematite	أكسيد الحديد	Fe_2O_3	96-210-8029	6.3
5	**الجهلنيت** Gehlnite	سليكات الكالسيوم والألومنيوم	$Ca2AL2SiO_7$	96-100-0049	5.3

تبين خلال نتائج نمط حيود الأشعة السينية أن العينة من بدن الإناء الفخارى الثانى تحتوى على نسبة كبيرة من الكوارتز (SiO_2) كمكون أساسي ضمن مكونات الفخار المختلفه 53.0 % ، إضافة الى الكالسيت ($CaCO_3$) بنسبة متوسطة 22.3% الناتج من إضافته الى خليط الفخار ، والدايوبسيد ($MgCaSi_2O_6$) 13.1% وهو من الأطوار الزجاجية التى تملأ المسام . كما ظهر الهيماتيت (Fe_2O_3) بنسب بسيطة 6.3 % ، والجهلنيت ($Ca_2AL_2SiO_7$) 5.3 % .

٤-٤-٢ مناقشة نتائج التحليل بطريقة حيود الاشعة السينية لعينات الفخار الأثرية موضوع الدراسة

اثبت التحليل للعينات الفخارية الأثرية المختاره انها تتكون من المركبات الآتية :

الكوارتز Quartz SiO_2 : ظهر بنسبة من ١٤ الى ٥٣ % فى كل عينات الدراسة فهو مكون أساسي ، تمت اضافته لعينات الدراسة كماده مالئه لتحسين اللدونه وتقليل دهنية الطين ، ووجود الكوارتز يبين ان درجة حرارة الحرق اقل من ٨٥٠ بسبب عدم تحلل الكوارتز الى الأطوار الزجاجية (الغريب ٢٠١٦، ٤٧٣) .

الكالسيت Calcite $CaCO_3$: ظهر بنسبة قليلة فى العينة الأولى ونسبه متوسطه فى العينه الثانيه ، وهو ناتج من إضافة كربونات الكالسيوم للبدن الفخارى ، وهو يتحلل تماما عند عند درجة حرارة من ٨٠٠ الى ٨٥٠ واحيانا اقل من ٨٨٠ (Abd-allah 2010, 104) ، ويبدأ فى التكوين عند درجة حرارة من ٦٠٠ الى ٨٠٠ درجة مئوية ، ووجود الكالسيت فى العينتان يشير لان درجة حرارة الحرق كانت حوالى من ٨٠٠ الى ٨٥٠ درجة مئوية .

دايوبسيد Diopside $MgCaSi_2O_6$: ظهر في العينة الأولى والثانية بنسبة عالية ، ويدل ذلك على أن الحرق جيد ، حيث أن الدايوبسيد يظهر فى درجة حرارة فوق ٨٠٠ (مصطفى ١٩٩٠، ٩٨) ، ونلاحظ أن الكالسيت يتحلل عند درجة حرارة ٨٨٠ ويعطى الدايوبسيد . وهذا يعنى ان وجود الكالسيت فى العينتان كانت حوالى من ٨٠٠ الى ٨٥٠ درجة مئوية .

الهيماتيت Hematite Fe_2O_3 : ظهر فى كل عينات الدراسة كمكون ثانوى ، ويشير إلى أن عملية حرق الأواني الفخاريه تمت فى جو مؤكسد (Akyuz 2008, 279) .

الجيهلنيت Gehlnite $Ca_2AL_2SiO_7$: ظهر فى العينة الثانية بنسبة ضئيلة ، وهو يدل على أن درجة حرارة الحرق ٨٥٠ درجة مئوية (سيد ومجاهد ٢٠٠٨، ٢١) .

الولاستونيت $Ca.5SiO_3$ Wollastonite : ظهر فى العينة الاولى بنسبة متوسطة ، وهو يتشكل عند درجة حرارة ٨٧٠ درجة مئوية ، ويشير ظهوره عند ٨٥٠ درجة مئوية أن درجة حرارة حرق هاتان العينتان بين ٨٠٠ الى ٩٠٠ درجه مئوية .

٢-٥-١ التحليل بطريقة التفاضل الحرارى Differential Thermal Analysis (DTA)

يفيد التفاضل الحرارى فى تعيين درجة حرارة حرق الفخار التقريبيه (عبد الرحيم ٢٠٠٣ ، ١١٨) ، والتحليل الحرارى يفيد فى تعيين درجة حرارة حرق الفخار بالتعرف على الفقد فى وزن العينات الفخارية ، وتحدث تلك التغيرات بدرجات حرارة تميز كل نوع من أنواع المواد (Roy 2014, 181) . وتم اجراء التحليل بمركز التحاليل الدقيقه – كلية العلوم – جامعة القاهره على جهاز من نوع :

Netzsch STA 449f3 instrument supported with Netzsch Poteus software -

- Differential thermal analysis DTA

- Rate of heating 10 c° / min

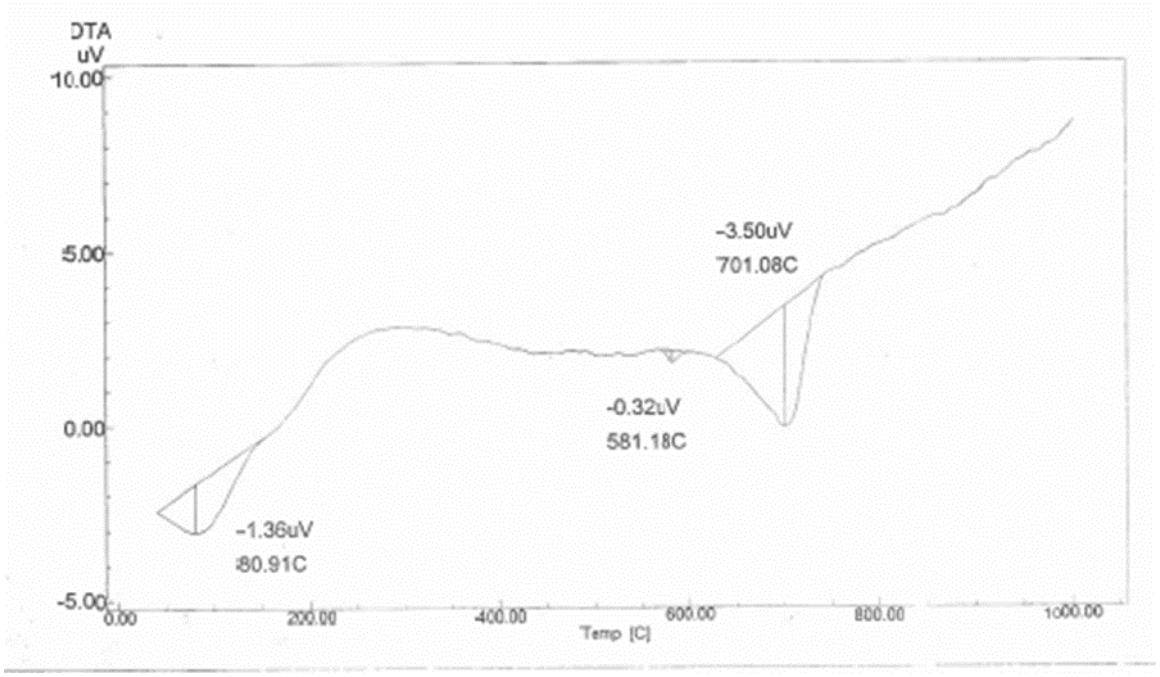
- Gas Flow: 20ml/min

Atmosphere: N_2 -

تم اختيار العينات الفخاريه ممثله من بدن الأواني موضوع الدراسه ، وطحنها على هيئة مسحوق powder ، وكان وزن العينه الأولى ٧,٤٦٣ مجم ، والعينه الثانيه ٥,٩٧٩ مجم .

٢-٥-٢ العينة الأولى من الإناء الأول رقم ٨٦٠ -٢٣ :

من البدن الفخارى وهو محروق حرقا جيدا ، لون طفلته بعد الحرق أقرب ما يكون من البنى المحمر إلى البرتقالى ، وفى منتصف سمك البدن توجد مناطق على صورة خطوط صغيرة سوداء غير ممتدة فى كل الجدار ، **شكل رقم (٣)** كما يلى :



شكل رقم (٣) يوضح نمط التحليل الحرارى DTA للعينة الفخارية الأولى

• من ٩٠ – ١٣٩,٨٠ مْ عملية " dehydration " ، تفاعل " endo " .

• عند ٥٧٣ مْ تحول الكوارتز من الطور ∝ ← إلى الطور **β** ، فى تفاعل " endo ".

• وفى حوالى ٨٤٨,٩٨ مْ يحدث :

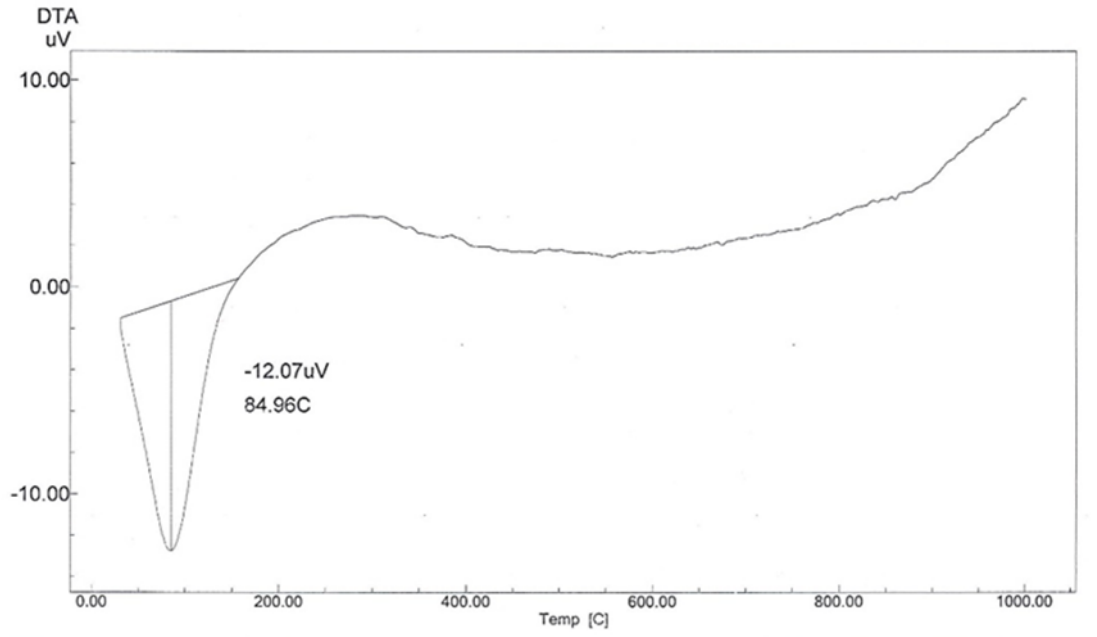
- تحلل الكربونات " Decomposition ، ماص للحرارة " endo " .

- تحلل الباقى من المونتموريللونيت فى تفاعل طارد للحرارة " exo " .

- ومما سبق نستنتج أن درجة حرق هذا الإناء كانت جيدة جدا حوالى من ٨٥٠ مْ الى ٩٠٠ مْ .

٢-٥-٣ العينة الثانية من الإناء الثانى رقم ٨٦٠ -٦٨ :

من البدن الفخارى وهو محروق حرقا جيدا ، لون طفلته بعد الحرق أقرب ما يكون من البنى إلى البرتقالى ، وفى منتصف سمك البدن توجد مناطق على صورة خطوط صغيرة سوداء غير ممتدة فى كل الجدار ، **شكل رقم (٤)** كما يلى :



شكل رقم (٤) يوضح نمط التحليل الحرارى DTA للعينة الفخارية الثانيهDTA

واستنتج من خلال تحليل DTA محور درجات الحرارة ما يلى :

• من ٥٠ – ١٥٠ مْ عملية " dehydration " ، تفاعل "endo " .

• عند ٢٢٠ ، ٣٣٥,٥٠ ، ٤٣٠ مْ احتراق للمواد العضوية الكربونية (Carbonaceous , organic Matter) ، تفاعل طارد للحرارة " exo " .

• عند ٥٧٣ مْ يتحول الكوارتز من الطور ∝ ← إلى الطور **β** ، تفاعل " endo " .

• عند حوالى ٦٠٠ ، ٧٠٠ ، ٨٠٠ مْ حدث تحلل للكربونات Carbonates Matter فى تفاعل " endo "

ومما سبق نستنتج أن الإناء تم إحراقه فى درجة حرارة جيدة جدا حوالى ٨٥٠ مْ .

ويوضح **جدول رقم (٥)** اختصارا لنتائج تحليل عينات الفخار الأثرى بطريقة DTA كما يلى :

عينة رقم	رقم تسجيل الإناء	معدل حرق الأوانى	حرق ردىء	حرق جيد	حرق جيد جدا
١	٨٦٠ ـ ٢٣	٨٥٠-٩٠٠ مْ			√
٢	٨٦٠ ـ ٦٨	٨٥٠ مْ		√	

جدول رقم (٥) يوضح ظروف الحرق ونتائج تحليل عينات الفخار الأثرى بطريقة DTA

٣- مناقشة النتائج :

نتائج التوثيق والوصف الأثري والفحص البصري

and Visual investigation Description, Archaeological documentation

يعتبر الفحص البصري من اكثر الاختبارات غير المتلفه لسهولة تطبيقه وقله تكاليفه . وامكن التعرف على تفاصيل مختلفة عن تقنيات صناعه الأواني الفخاريه – من خلال طريقة التشكيل اليدوى والصقل ، ويظهر لون الأواني الفخاريه الناتج من وجود الاكاسيد المعدنيه الملونه ، كما تظهر الأملاح المتزهره ملتصقة بسطح الأوانى الفخاريه حيث أنها تحتوى على نسبة عالية من الأملاح ، والتي تم التعرف عليها بالفحص البصرى .

٣-١ نتائج الدراسة بالميكروسكوب الرقمي وتشخيص حالة الاواني الفخارية موضوع الدراسة

اظهر الفحص والدراسة بالميكروسكوب الرقمى لسطح الأوانى الفخارية موضوع الدراسة شكل النسيج والبلورات المكونه للطين المصنوع منه الأواني ، ووجود العديد من مظاهر التلف التى يصعب رؤيتها بالعين المجردة مثل الاتساخات الناتجة من تربة الدفن ، ووجود تزهرات وتبلورات ملحية على الأواني الفخارية ، كذلك اختلاف أشكال الأملاح واختلاف توزيعها على سطح الإناء .

٣-٢ نتائج الفحص والتصوير بالميكروسكوب المستقطب للأوانى الفخاريه

٣-٢-١ الآنية الفخارية الأولى

توضح نسيج سطح الانيه الناعم نسبيا ومدى التجانس الكبير في توزيع المعادن المختلفه وتقارب احجامها الى حد كبير ، وتوضح نسيج من حبيبات بلورات معدن الكوارتز كبيرة الحجم مختلفة الأشكال ، وتوجد بعض حبيبات من الميكا والمسكوفيت وسط أرضية غنية بالهيماتيت والفلسبارات ومعادن معتمة (160x C.N) ، ويظهر السطح الانعم نسبيا للإناء المغطى بالأملاح ، واختلاف أشكال الأملاح وتوزيعها على سطح الإناء .

٣-٢-٢ الآنية الفخارية الثانيه

توضح نسيج سطح الانيه الخشن نسبيا والتجانس المتوسط في توزيع المعادن المختلفه واختلاف احجامها الى حد كبير ، توضح نسيج من حبيبات بلورات معدن الكوارتز مختلف الأشكال ومتوسط التجانس في التوزيع والحجم ، إضافة الى البلاجيوكليز ، وتوجد بعض الحبيبات من الميكا (بيوتيت ومسكوفيت) وسط ارضية غنية بالهيماتيت والفلسبارات ومعادن معتمة (160x C.N) ، **صورة رقم (١٢)** . ويظهر سطح العينه الانعم نسبيا مع الاتساخات الناتجة من تربة الدفن على سطح البدن ، واختلاف الاملاح ما بين التبلور والتزهر وتداخلها مع سطح الاناء الاخشن نسبيا، واختلاف شكل تبلور الاملاح .

٣-٣ نتائج التحليل بطريقة حيود الاشعة السينية لعينات الفخار الأثرية موضوع الدراسة

اثبت التحليل للعينات الفخارية الأثرية المختاره ان اهم المركبات المعدنيه الموجوده هى :

الكوارتز SiO_2 Quartz - الكالسيت $CaCO_3$ Calcite – دايوبسيد $MgCaSi_2O_6$ Diopside – الهيماتيت Fe_2O_3 Hematite – الهاليت NaCl Halite – الجيهلنيت $Ca_2AL_2SiO_7$ Gehlnite - ولاستونيت $Ca.5SiO_3$ Wollastonite .

وتظهر انعكاسات حيود الكوارتز بوضوح في جميع العينات ، وان الدراسات التحليلية للفخار القديم تظهر تحلل الفلسبار عند درجة حرارة ٩٠٠-٩٥٠ درجة مئوية ، وايضا وجود معدن الهيماتيت في جميع العينات وهو الذى يعطى اللون الأحمر للبدن المكون للأواني موضوع البحث . وأفاد Schwertmamn et al (kumar 2009, 202) أن الهيماتيت هو واحد من أقوى مواد التلوين وان فقط ١-١,٥٪ من الهيماتيت تكفي لإعطاء اللون الأحمر للمنتجات الفخاريه .

٣-٤ نتائج التحليل بطريقة التفاضل الحرارى

اظهرت نتائج التحليل بطريقة التفاضل الحرارى أن درجة حرق الإناء الأول كانت جيدة جدا حوالى من ٨٥٠ مْ الى ٩٠٠مْ. وأن الإناء الثانى تم إحراقه فى درجة حرارة جيدة حوالى ٨٥٠ مْ .

تظهر منحنيات DTA للعينات مختلفة ما بين تفاعلات ماصة للحرارة endothermic وطاردة للحرارة exothermic في درجات الحرارة المختلفة . يحدث التفاعل الماص للحرارة من حوالي ١٠٠ إلى ٢٠٠ درجة مئوية بسبب الماء المدمص فيزيائيا ويصل احيانا الى ٢٥٠ درجة مئوية تفاعل ماص . ويحدث تفاعل طارد في معدل من حوالى٢٠٠ : ٥٠٠ درجة مئوية بسبب احتراق المواد العضوية التي ربما تضاف عمدا كماده رابطه اثناء تحضير خليط الطين ، او ان الماده الخام نفسها محتويه على نسبه طبيعيه من المواد العضويه (kumar 2009, 203,204) .

٤- خلاصة وتوصيات البحث

تحقق الهدف الرئيسي من البحث وهو التعرف على اهم المكونات المعدنيه والكيميائيه وتحديد درجة حرارة الحرق التقريبيه للأواني الفخاريه المختاره ، وذلك من خلال الفحص البصرى Visual Investigation – الميكروسكوب الضوئى الرقمي Digital Optical Light Microscope USB - الميكروسكوب المستقطب Light Microscope Polarizing - حيود الأشعة السينية XRD - التحليل بطريقة التفاضل الحرارى Differential Thermal Analysis (DTA) .

ومن التوصيات الهامه ان يولى الباحثون مزيد من الابحاث في مجال الدراسات المعدنيه والكيميائيه للآثار الفخاريه والخزفيه عموما في عصورها المختلفه ، من خلال الدراسات البتروجرافيه والتحاليل الكيميائيه وأساليب الفحص والتحليل المساعده المتنوعه ، مع مراعاة الا تؤثر هذه الطرق على التركيب الكيميائى والخصائص الفيزيائيه والميكانيكيه المختلفه . وان يستطيع العاملون فى هذا المجال ان يفسروا ويحللوا النتائج ويربطوها بالأساليب والتقنيات المختلفه لكل أثر ، كذلك ان يكونوا على دراية بأحدث الطرق والأساليب وما يستجد منها في هذا الحقل العلمى المهم .

المراجع

1- (Abo-Elyazied), A., Helwan Pottery collection of national Museum of Egyptian civilization reader, https://books.ub.uniheidelberg.de, 2016.

2- (Abd-allah), R. et all, Cleaning strategies of pottery objects excavated from khirbet , edh-dharih and hayyan al-mushref, Jordan, four case studies, Mediterranean Archaeology and Archaeometry - MAA, Vol. 10, No. 2, pp. 97-110, 2010.

3- (Baumgart), W. et all, Process Mineralogy of Ceramic Materials, Ferdinand Enke publishers Stuttgart, 1984.

4-(Field Museum), "X-ray gun" helps researchers pinpoint the origins of pottery found on ancient shipwreck, FEBRUARY 8, 2019.

5- (Jones), D. M., Investigative Conservation, Guidelines on how the detailed examination of artefacts from archaeological sites can shed light on their manufacture and use, English Heritage Publishing, 2008.

6- (Knobluch), Ch., Middle kingdom ceramics from the Australian center for Egyptology excavations at Helwan-Ezbet El-Walda, Wein, Handbook of the pottery of the Egyptian middle kingdom, volume II osterreische Akademie Derwissinschasten, Band Lxxii, 2012.

7- (Kohler), E., The necropolis of Helwan and the chronologies of early Egypt, institute for Egyptology, 2018.

8- (Kohler), E., The Helwan cemetery, ARCHEO-NIL, Macquarie university, Sydney https//www . Archeonil.fr, March 2008, 2\1\2019.

9- (KUMAR), U. R. and PALANIVEL, R., THERMAL AND SPECTROSCOPIC ANALYSIS OF ANCIENT POTTERIES, Department of Physics, Annamalai University, Annamalainagar, Tamilnadu –608002, 2009.

10- (Roy), H., Determination of Surface Area of Ceramic Clay by Differential Thermal Analysis, Transactions of the Indian Ceramic Society, Volume 23, 1964 - Issue 1, 2014.

11- (Saad), Z.Y., Royal Excavations at Helwan (1945-1947), Sasa14, Cairo, 1951.

12- (Smythe), J., The pottery from operation 3- tomb1 at Helwan, Egypt at its origins. Studies in memory of Barbara Adams. Proceedings of the international conference "origin of the state predynastic and early dynastic Egypt karkow ber analecta 138, Paris, 2004.

13- (Akyuz), S., et all, Analysis of ancient potteries using FT-IR, micro-Raman and EDXRF spectrometry, Journal homepage, vibrational spectroscopy 48, 2008.

14- (Wolf son), M. M., An introduction to x –ray crystal, group , Cambridge University Press, 1980 .

15- (Wyckoff), R. W. G., Crystal Structures 1, "Second edition. Interscience Publishers, New York, New York rocksalt structure", 85-237, (1963).

المراجع والرسائل العربية

١٦- (أبواليزيد) ، أشرف . *دراسة الأنماط الفخارية من حفائر عزبة الوالدة حلوان ، رسالة ماجستير ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة* . ٢٠١٣ .

(abualyzyd) , 'ashraf . dirasat al'anmat alfakhkhariat min hafayir eizbat alwalidat hulwan , risalat majstir , kuliyat alathar , jamieat alqahira . 2013 .

١٧- (بياتركسرينييه) . *عصور ماقبل التاريخ فى مصر ، ترجمة ماهر جويجانى ، القاهرة* . ٢٠٠١ .

(byatrksrinyiyh) . eusur maqbil alttarikh fa misr , tarjamat mahir juyjana , alqahira . 2001 .

١٨- (رضوان) ، علي . *الخطوط العامة لعصور ما قبل التاريخ وبداية الأسرات في مصر ، القاهرة* . ١٩٩٣.

(rdwan) , ali . alkhutut aleamat lieusur ma qabl alttarikh wabidayat al'usrat fi misr , alqahira . 1993.

١٩- (عبد الرحيم) ، الشيماء . *دراسة تقنية وعلاج وصيانة الآثار الفخارية القبطية الملونة تطبيقاً على بعض النماذج الفخارية من المتحف القبطى ، رسالة ماجستير ، قسم الترميم ، كلية الآثار ، جامعة القاهرة* . ٢٠٠٣ .

(ebad alrhym) , alshyma' . dirasatan taqniat waeilaj wasianat alathar alfakhkhariat alqibtiat almulawanat ttbyqa ealaa bed alnamadhij alfakhkhariat min almutahaf alqabtaa , risalat majstir , qism altarmim , kuliyat alathar , jamieat alqahira . 2003.

٢٠- (حسن أفندى) ، عبد اللطيف ، و(الغريب) ، وليد كامل . فحص وصيانة وترميم تابوت فخارى مستخرج من حفائر سقارة ، مجلة السياحة والآثار ، جامعة الملك سعود . ٢٠١٣ .

(hsn 'afndaa) , eabd allatif , (alghryb) , walid kamil . fahas wasianat watarmim tabut fkhara mustakhraj min hafayir saqarat , majalat alsiyahat walathar , jamieat almalik sueud . 2013.

٢١- (الغريب) ، وليد كامل . دراسة تعيين درجة حرارة حرق بعض الأوانى الفخارية كأساس علمى لتشخيص مظاهر تلفها (تل السمارة - عصر ما قبل الأسرات دراسة حالة) ، جامعة أسوان ، مجلة الاتحاد العام للآثاريين العرب ١٧ . ٢٠١٦ .

(alghryb) , walid kamil . dirasat taeyin darajat hararat harq bed al'awanaa alfakhkhariat ka'asas eulmaa litashkhis mazahir talafiha (til alsamarat - easr ma qabl al'usrat dirasatan hal) , jamieatan 'aswan , majalat alaitihad aleami lilathariayn alearab 17. 2016.

٢٢- (مصطفى) ، محمد محمد . دراسة مقارنة لأنواع الفخار والسيراميك خلال العصور المختلفة فى مصر مع ترميم وصيانة قطع فخارية أثرية ، رسالة ماجستير ، جامعة القاهرة . ١٩٩٠.

(msutfaa) , muhamad muhamad . dirasat mqarnt li'anwae alfakhar walsayramik khilal aleusur almukhtalifat fa misr mae tarmim wasianat qate fakhariat 'athriat , risalat majstayr , jamieat alqahira . 1990.

٢٣- (سيد) نجوي ، و(مجاهد) محمد معتمد . دراسة مقارنة وعلاج وصيانة لبعض القطع الأثرية الفخارية من منطقتى المطرية وشمال سيناء ، المؤتمر الدولى الأول بكلية الآثار – جامعة القاهرة . فى الفترة من ٤-٦ مارس ٢٠٠٨ .

(syd) najawi , w(mjahd) muhamad muetamad . dirasat mqarnt waeilaj wasianat libaed alqate al'athariat alfakhkhariat min mintaqataa almitriat washamal sayna' , almutamar alduwalaa al'awal bikuliat alathar - jamieat alqahira . fa alfatrat min 4-6 maris 2008.

المواقع الإلكترونية

(الصبحى) طلعت ، و(العبدلى) فيصل ، المجهر الرقمى . مكتب التربية والتعليم بشمال جدة ، وزارة التعليم .
https://www.imamu.edu.sa

مجهر بتروغرافى - ويكيبديا الموسوعة الحرة https://ar.m.wikipedia.org/wik

(الزهراء) بوسيحة ، (عائشة) زرافة ، (محجوبة) طرشانى . دراسة المعادن والصخور بالمجهر المستقطب . يونيو٢٠١٠.
http://hdi.handl.net/123456789