

مجلة الاتحاد العام للآثاريين العرب ١٧  
دراسة تعيين درجة حرارة حرق بعض الأواني الفخارية كأساس علمي  
لتشخيص مظاهرتلفها

( تل آثارالسمارة – عصرماقبل الأسرات - دراسة حالة )

د/ وليد كامل علي الغريب\*

**الملخص:** Abstract

تم تعيين درجة حرارة حرق بعض الكسر الفخارية من تل آثار السمارة بالدقهلية من خلال فحصها وتحليلها بالميكروسكوب المستقطب PLM والإلكتروني الماسح SEM وحيود الأشعة السينية XRD والتحليل الحراري TGA حيث أثبت البحث أن الطفلة المستخدمة هي الطفلة النيلية، أما الإضافات تبين أنها عبارة عن التبن المقرط ومسحوق الفخار ومسحوق الحجر الجيري. كما أثبت البحث أن جو الحرق داخل الفرن للعينة الأولي والثانية كان جوا مؤكسدا، ودلل علي ذلك وجود الهيماتيت  $Fe_2O_3$  والدايوسيد  $CaMgSi_2O_6$ ، أما جو الحرق للعينة الثالثة كان جوا مختزلا، ودلل علي ذلك وجود المجناتيت  $Fe_3O_4$ . ولقد أثبت البحث إختلاف درجة حرارة حرق العينات الفخارية حيث كانت درجة حرارة الحرق حوالي ٨٥٠ م° للعينة الأولي، وحوالي ٧٤٥ م° للعينة الثانية، وحوالي ٦٧٣ م° للعينة الثالثة، وأكد ذلك الفقد في وزن العينة كان شبه ثابتا في هذا المدي الحراري لكل عينة فخارية. كما توصل البحث الي أن هناك علاقة بين درجة حرارة الحرق للفخار وخواصه الفيزيائية والميكانيكية حيث إرتفاع درجة حرارة الحرق للعينة الفخارية الأولي تسبب في إحتواءها علي الدايوسيد وهو من الأطوار الزجاجية التي تملئ المسام ، فمعدل وميكانيكية التلف والعلاج تتوقف علي تلك الخواص الناتجة عن درجة حرارة وجو الحرق للآثار الفخارية.

**الكلمات الدالة:**

(الحرق، الأكسدة ، الأختزال ، التحليل الحراري ، الأطوار الزجاجية، التلف).

## Introduction

يقع تل آثار السمارة بمركز تمي الأمديد على بعد ١٥ كم جنوب المنصورة بمحافظة الدقهلية، ويضم تلين أثريين هما تل الربع و منديس شمالي تمي الأمديد، وتعد المنطقة مركزا لعبادة (أزوريس)، ويتم التعرف علي تكنولوجيا الصناعة من خلال تعيين درجة حرارة وجو الحرق، فخواص الفخار الفيزيائية والميكانيكية والحرارية واللونية تعتمد علي عملية الحرق<sup>١</sup>، ودرجة حرارة الحرق ذات أهمية كبيرة في دراسة الفخار الأثري<sup>٢</sup>، لأنها تمدنا بمعلومات عن طبيعة وجو الحرق ونوعية الأفران المستخدمة<sup>٣</sup>، ومعظم الآثار الفخارية غير متجانسة لونها من جراء جو الحرق غير المنتظم، ويتوقف لون وتلف الفخار الناتج علي نوع الطفلة وتركيبها المعدني<sup>٤</sup>، وتقنية العجن<sup>٥</sup> والتشكيل<sup>٦</sup> والزخرفة<sup>٧</sup> ومعالجة السطح<sup>٨</sup> والتجفيف<sup>٩</sup> والحرق<sup>١٠</sup>. وعملية الحرق لها تأثير كبير علي التغيرات المعدنية بالفخار، فوجود الأليت يشير الي أن درجة حرارة الحرق للفخار حوالي ٩٠٠ م، ويختفي في درجة حرارة حرق حوالي ٩٥٠ م<sup>١١</sup>، ووجود الجهلينيـت  $Ca_2Al_2SiO_7$  "يشير الي أن درجة حرارة حرق الفخار حوالي ٨٥٠ م، ووجود الدايبوسيد  $CaMgSi_2O_6$ " يوكد ارتفاع درجة حرارة حرق الفخار حتي ٩٠٠ م، كما أن عدم وجود الكالسيت  $CaCO_3$  يشير الي ارتفاع درجة حرارة حرق الفخار حتي ٨٨٠ م، ووجوده في درجات الحرارة العالية فوق ٨٥٠ م إنما يرجع الي إعادة كربنة أكسيد الكالسيوم وتكوين كربونات الكالسيوم مما يوضح سبب تلف الآثار الفخارية المدفونة في تربة مشبعة بالمياة والغازات الذائبة ولاسيما ثاني أكسيد الكربون<sup>١٢</sup>. وتم إستخدام الفحص بالميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتت طاقة الأشعة السينية EDX وطريقة حيود الأشعة السينية powder XRD والتحليل الحراري TGA في تعيين درجة حرارة الحرق، ومن ثم تشخيص التلف الناجم عنه

(1) Murat Bayazit et al., " Thermal techniques of potteries ", pp. 14769–14779.

(2) Pankaj Singh, and Sukanya Sharma, " Thermal and spectroscopic characterization pottery ", pp. 557–563

(3) Schiffer, M. B., Behavioral archaeology, pp.5-21.

(4) Maniatis, Y., et al., " The effect of reducing atmosphere on minerals " , pp. 773–781.

(5) Johnson , P.D ., Clay modeling, p.12.

(6) Zakin , R., Ceramics , p.14.

(7) Shepard, A., Ceramics, pp. 50-55.

(8) Arnold , D., " Manufacture in the pottery of Ancient Egypt " , P.84.

(9) Hodge , H., primitive technology , p . 35.

(10) Maritan, L., et al., " Influence of firing conditions on ceramic " , pp.1-15.

(11) Heimann, R., " Firing technologies " , pp.89-96.

(12)Hamdan, M. A. et al., " Ancient Egyptian Pottery " , pp. 987–1008

وفي مصر يعتمد الأثريون في تحديد درجة حرارة حرق الفخار الأثري علي لون الفخار بعد الحرق وليس بإستخدام طرق الفحص والتحليل المختلفة، ويتم وصف الفخار الأثري بكونه جيد أو رديء الحرق فقط دون تحديد لدرجة حرارة الحرق، ولا توجد أي تقارير أو دراسات حاليا عن تحليل وفحص الفخار المستخرج من تل آثار السمارة بالدقهلية، مما يعد تلك الدراسة الأولى من نوعها في تعيين درجة حرارة وجو الحرق للفخار الأثري بالدقهلية وتشخيص مظاهر تلفه بناءا علي خواصه وسلوكه الحراري.

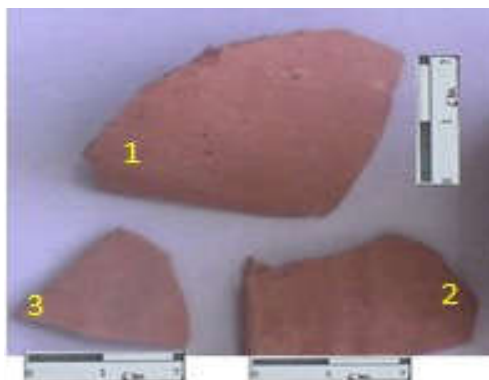
## Materials and Methods

### ٢- مواد وطرق الدراسة :

### Study Materials

### ١-٢ مواد الدراسة :

تم إختيار عدد ثلاث عينات من الكسر الفخارية من تل آثار السمارة كما في الصورة رقم ( ١ )، وهي ذات لون بني مائل الي الإحمرار، ويبلغ سمكها ٢,٧ مم، ولقد تم جمع العينات الفخارية من نفس طبقة الحفائر، وروعي أن تمثل الآثار الفخارية المكتشفة بالتل الأثري، ولقد تم تقسيم كل كسرة الي أربعة كسر، وأستخدمت الكسر الفخارية في الفحوص والتحليل المختلفة التي تم إجراءها بالبحث.



صورة ( ١ ) توضح العينات الفخارية المستخدمة في الفحوص والتحليل المختلفة

## Study Methods

٢-٢-٢ طرق الدراسة :

### Visual Examination

١-٢-٢ الفحص البصري

تعتبر طريقة الفحص البصري أولى مراحل عملية الفحص حيث أستخدمت بعض العدسات التي تصل قوة تكبيرها " 6X " بغرض التعرف نوع الإضافات ولون الفخار الناتج عن الحرق ومظاهر التلف .

### ٢-٢-٢ الفحص بالميكروسكوب المستقطب polarizing microscope

يفيد في التعرف علي درجة حرارة وجو الحرق داخل الفرن، كما يفيد أيضا في تحديد النسيج الفخاري وتلفه<sup>١٣</sup>، و يتم عمل شرائح دقيقة من العينات الفخارية بسمك ٠,٠٣ مم<sup>١٤</sup>، وتم الفحص بإستخدام الميكروسكوب المستقطب ماركة (Nikon Eclipse LV100pol attached with digital camera under magnification 2x up to80X) ، وتم إعداد القطاعات الدقيقة و إجراء الفحص بمعمل الميكروسكوب المستقطب بقسم الجيولوجيا بكلية العلوم بجامعة القاهرة.

### ٢-٢-٣ الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة EDX

يصف الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتت طاقة الأشعة السينية EDX مورفولوجية نسيج الفخار وشكل الحبيبات ، والتركيب المعدني و درجة حرارة الحرق<sup>١٥</sup>، وتم الفحص بإستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح البيئي ماركة JEOL JSM-840 and ESEM Quanta 200 FEG, وكانت ظروف التشغيل " 20 kV and  $1 \times 10^{-9}A$  " ، ومزود بوحدة تحليل طاقة الأشعة السينية EDX ، وتم إجراء هذا الفحص بالمركز القومي للبحوث بالقاهرة.

### ٢-٢-٤ التحليل بطريقة حيود الأشعة السينية XRD

يفيد التحليل بحيود الأشعة السينية XRD في التعرف علي التركيب المعدني والإضافات ودرجة حرارة وجو الحرق للفخار الأثري<sup>١٦</sup>، وتم التحليل بحيود الأشعة

(13) Riley, J., A ., " Analysis of Ceramics " , PP.1-8.

(14) Henderson, J., The science and archaeology, P.11 .

(15) Tite, M.S., " The use of Scanning Electron Microscope " ,PP .109-120.

(16)Garrison, E., G., Archaeological Geology, P.212.

السينية powder XRD ، والجهاز المستخدم ماركة Philips ويحتوي علي وحدة فصل الموجات من نوع الجرافيت وبرامج تشغيل ('X'Pert Graphics and Identify by Philips)، ونمط الحيود ما بين "  $2\theta$  4:70"، وظروف التشغيل تمت باستخدام "45 kV – 40 mA" "Cu-K $\alpha$  radiation"، وتم إجراء هذا التحليل بمركز التحاليل بمعهد الفلزات بحلوان.

### ٢-٢-٥- التحليل الحراري: Thermal Analysis

التحليل الحراري Thermo gravemetric Analysis المعروف بـ TGA يفيد في تعيين درجة حرارة حرق الفخار بالتعرف علي الفقد في وزن العينات الفخارية<sup>١٧</sup>، وتم طحن العينات الفخارية الثلاث علي هيئة مسحوق powder، وتم إجراء التحليل بمعمل التحليل الحراري بكلية العلوم بجامعة القاهرة، والجهاز المستخدم ماركة " Netzsch STA 449F3 instrument supported with Netzsch Proteus software وظروف التشغيل تمت في درجة حرارة الغرفة، وفي جو مؤكسد، ولقد روعي أثناء تسخين مسحوق العينات الفخارية أن يتم رفع درجة الحرارة بمعدل ١٠م/دقيقة حتي ١٠٠٠ م.هـ.

### ٣- النتائج: Results

#### ٣-١- الفحص البصري: Visual Examination

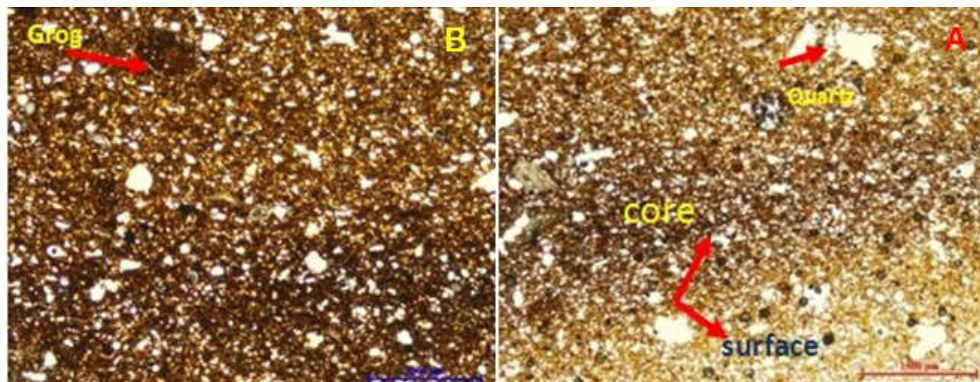
أثبت الفحص البصري أن الكسر الفخارية موضوع الدراسة ذات لون بني محمر، والمواد المضافة من خلال العين المجردة والعدسات هي الرمل ومسحوق الحجر الجيري، كما أثبت الفحص البصري أن طريقة التشكيل هي طريقة التشكيل باليد.

#### ٣-٢- الفحص بالميكروسكوب المستقطب polarizing microscope

لقد تم فحص عدد " ٣ " قطاعات دقيقة thin section من تَل آثار السمارة بالدقهلية بالميكروسكوب المستقطب، حيث أظهر الفحص للعينة الأولى لمنطقة السطح بالضوء المستقطب كما في الصورة رقم ( ٢ - A ) وجود حبيبات الكوارتز ومعظمها دقيقة الحبيبات Fine Grains وسط أرضية غنية بأكسيد الحديد

(17) Drebuschak, V. A., et al., The Investigation of Pottery , pp. 617–626.

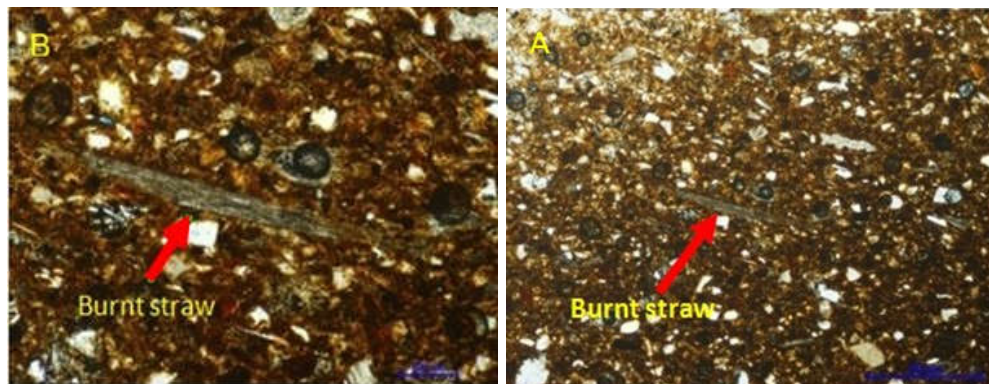
Iron Oxide بقوة تكبير (10X – CN). كما أظهرت الصورة رقم ( ٢ – B ) لمنطقة البدن الفخاري Core وجود حبيبات كوارتز دقيقة Fine Grains ، وبعض الحبيبات تبدو بشكل مختلف ما بين دائري وحاد الزاويا ، فضلا عن وجود مسحوق الفخار Grog وسط أرضية غنية بأكسيد الحديد Iron Oxide بقوة تكبير (10X – CN).



صورة ( ٢ ) الفحص بالميكروسكوب المستقطب يوضح A : نسيج دقيق من الكوارتز والروتيل وأكاسيد الحديد بقوة تكبير (10X–CN) B: نسيج دقيق الحبيبات Fine و الروتيل ومسحوق الفخار grog وسط أرضية غنية بأكاسيد الحديد بقوة تكبير (10X–CN)

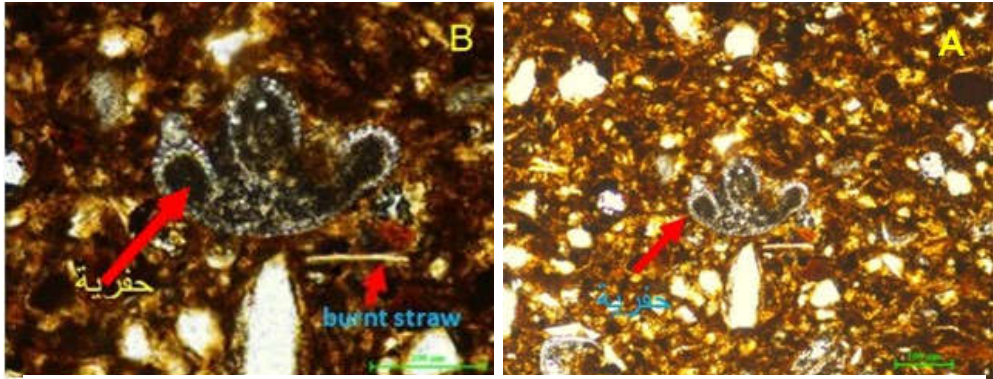
وتوضح الصورة رقم ( ٣ A ) للعينة الثانية وجود حبيبات الكوارتز التي تتدرج ما بين نسيج متوسط الي نسيج خشن Medium and Coarse Fabric ، فضلا عن وجود فجوات من جراء حرق التبن المقرط Burnt Straw والروتيل Rottle والكالسيت Calcite وسط أرضية غنية بأكسيد الحديد Iron Oxide بقوة تكبير (10X – CN) .

أما الصورة رقم (٣ B) تمثل تكبير لجزء من الصورة السابقة بقوة تكبير (40X - CN) توضح وجود حبيبات الكوارتز التي تتدرج ما بين نسيج متوسط الي نسيج خشن Medium and Coarse Fabric ، فضلا عن وجود فجوات من جراء حرق التبن المقرط Burnt Straw والروتيل Rotile والكالسيت Calcite وسط أرضية غنية بأكسيد الحديد Iron Oxide .



صورة (٣) بالميكروسكوب المستقطب يوضح A: وجود نسيج متوسط الي خشن من حبيبات الكوارتز ، فضلا عن وجود فجوات حرق التبن المقرط بقوة تكبير (10X-CN) B : تمثل تكبير لجزء من الصورة السابقة بقوة تكبير (40X-CN)

وتوضح الصورة رقم (٤A) للعينة الثالثة وجود حبيبات كوارتز Quartz خشنة الحبيبات وبعضها حاد الزاويا ومسحوق الحجر الجيري Lime Stone والروتيل ، فضلا عن وجود أحد الحفريات وفجوات من جراء حرق التبن المقرط وسط أرضية غنية بأكسيد الحديد Iron oxide بقوة تكبير (10X - CN). أما الصورة رقم (٤B) تمثل تكبير لجزء من الصورة السابقة حيث توضح وجود حبيبات الكوارتز الخشنة الحبيبات Coarse Grains وبعضها حاد الزاويا و الحجر الجيري والروتيل ، فضلا عن وجود فجوات حرق التبن المقرط ، وأحد الحفريات والذي ترسب عليها الكالسيت وسط أرضية غنية بأكسيد الحديد Iron oxide بقوة تكبير (40X - CN).



صورة (٤) بالميكروسكوب المستقطب يوضح A: وجود نسيج خشن للكوارتز، فضلا عن فجوات حرق التبن المقرط وأحد الحفریات بقوة تكبير B (10X-CN) : تمثل تكبير لجزء من الصورة السابقة بقوة تكبير (40X-CN).

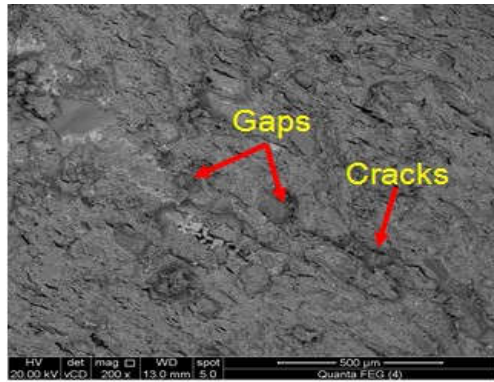
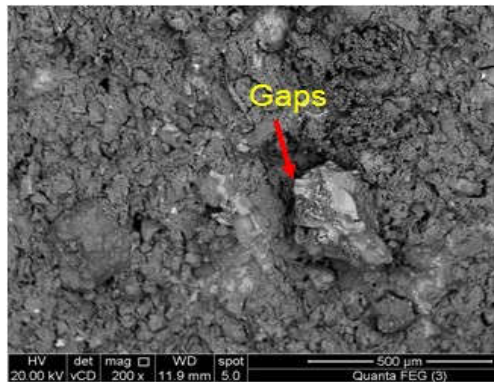
### ٣-٣- الفحص والتحليل بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة EDX

#### ٣-٣-١- الفحص والتحليل بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح

توضح الصورة رقم (٥) بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح للعينة الأولى لمنطقة السطح أن العينة ذات نسيج دقيق الي متوسط ، فضلا عن وجود رديم ورواسب التربة من جراء الدفن بالتربة الطينية والعديد من البثرات والفجوات والشروخ بقوة تكبير (200x).

كما تم فحص جزء آخر لمنطقة السطح كما في الصورة رقم (٦) حيث يوضح الفحص وجود بعض حبيبات الكوارتز بأحجام مختلفة ، فضلا عن وجود بعض البثرات والثقوب أو الفجوات الناتجة من حرق التبن المقرط كأحد المواد المضافة أو من عملية إذابة وتحلل بعض المعادن بقوة تكبير (200X).

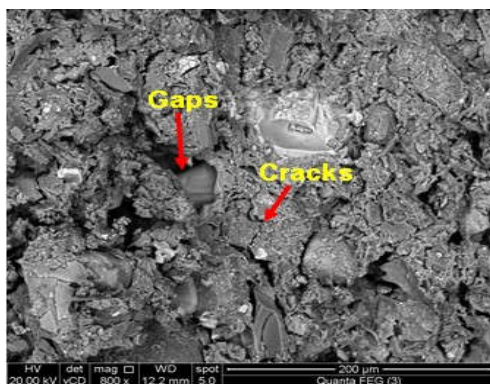




صورة (٦) بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح لجزء آخر لنفس العينة توضح الفجوات وبعض الشوائب بقوة تكبير (200X)

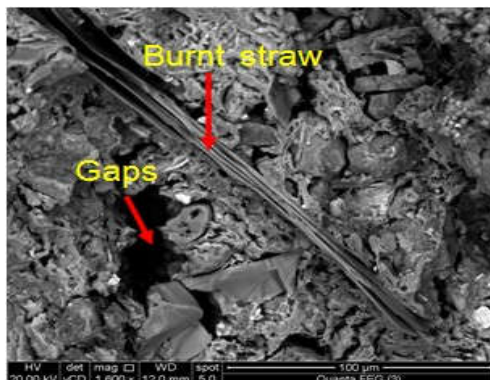
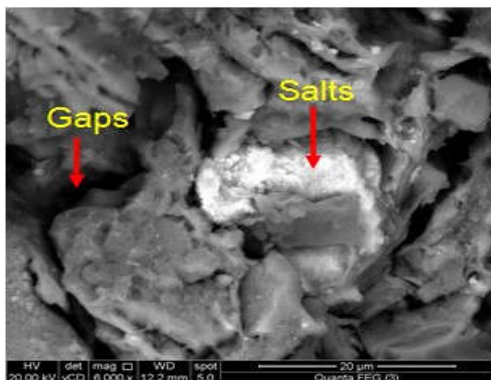
صورة (٥) بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح للعينة الأولى توضح وجود الفجوات والشروخ الدقيقة بقوة تكبير (200X).

أما الصورة رقم (٧) بقوة تكبير (800 X) لمنطقة اللب Core توضح وجود حبيبات الكوارتزما بين متوسطة الي خشنة الحبيبات والعديدمن الشوائب المعدنية وبعض الفجوات والشروخ من جراء حرق التبن المقرط أثناء حرق الفخار أو تطل وإذابة بعض المعادن أثناء الدفن في التربة.



صورة (٧) بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح "SEM" لنفس العينة لمنطقة Core توضح وجود الكوارتز والفجوات والتشروخ بقوة تكبير (800X).

كما تم فحص العينة الثانية كما في الصورة رقم (٨) حيث يوضح الفحص وجود حبيبات كوارتز بأحجام مختلفة و بعض الشوائب المعدنية و البثرات وتبلور الأملاح وفجوات حرق التبن المقط ب قوة تكبير ( 1600X ). أما الصورة رقم ( ٩ ) ب قوة تكبير (6000 X) تمثل الفحص لجزء آخر لنفس العينة توضح وجود تبلور للأملاح داخل المسام .

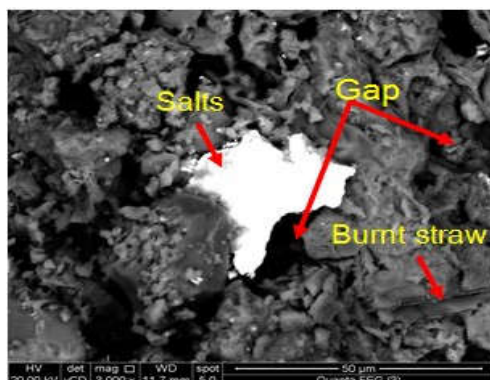


صورة (٩) SEM لنفس العينة توضح تبلور الأملاح والفجوات ب قوة تكبير (6000X)

صورة (٨) SEM للعينة الثانية توضح وجود الكوارتز وفجوات حرق التبن المقط ب قوة تكبير (1600X) .

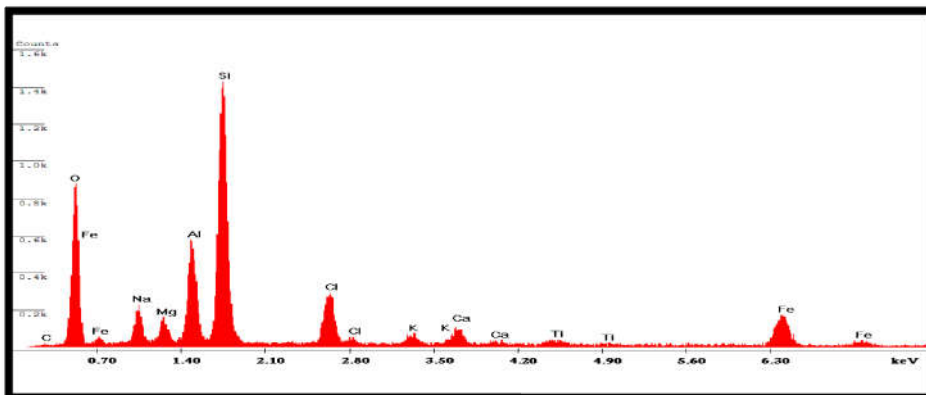
الصورة رقم ( ١٠ ) ب قوة تكبير (3000 X) تمثل الفحص للعينة الثالثة وتوضح وجود نسيج خشن من حبيبات الكوارتز، بالإضافة الي بعض الشوائب المعدنية و تبلور للأملاح داخل المسام ، فضلا عن وجود الفجوات بالعينة.

صورة (١٠) SEM للعينة الثالثة توضح وجود حبيبات الكوارتز الخشنة والفجوات وتبلور الأملاح ب قوة تكبير (3000X) .



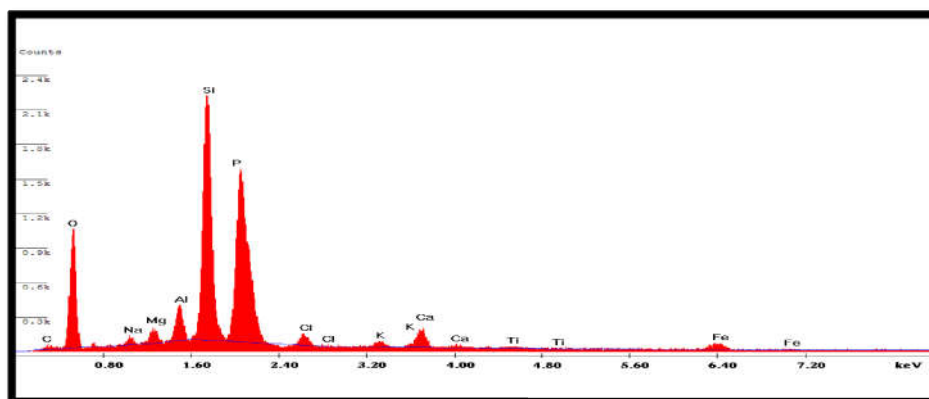
### ٣-٣-٢- التحليل بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة EDX

وكانت نتائج التحليل للعينة الأولى كما في الشكل رقم (١) حيث أثبت وجود الأكسجين ٢٤,٣٧٪ والكربون ٠,٨٢٪ والصوديوم ٣,٣٦٪ و المغنسيوم ٢,١١٪ و الألومنيا ٩,٣٩٪ و السليكا ٢٥,٦٤٪ و الكلور ٧,١٨٪ و البوتاسيوم ١,٧٧٪ و الكالسيوم ٣,٠٥٪ و التيتانيوم ١,٦١٪ و الحديد ٢٠,٨٨٪.



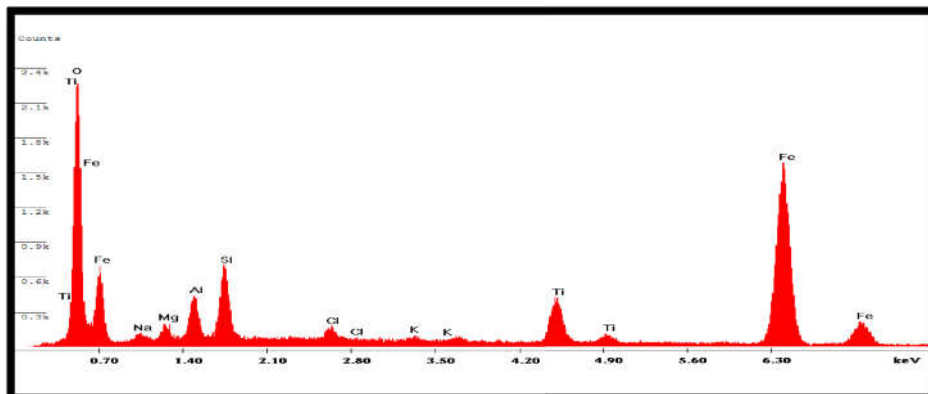
شكل (١) يمثل نمط تشتت طاقة الأشعة السينية EDX للعينة الأولى بتل آثار السمارة بالدقهلية.

أما نتائج التحليل لجزء آخر لنفس العينة الأولى كما في الشكل رقم (٢) يوضح وجود الأكسجين ٢٥,٢٧٪ والكربون ٢,٦٩٪ و الصوديوم ٠,٩٨٪ و المغنسيوم ١,٥٨٪ و الألومنيا ٣,٦٨٪ و السليكا ٢٧,٧٣٪ و الفوسفات ٢٢,٧٣٪ و الكلور ٢,٠٥٪ و البوتاسيوم ١,٤٩٪ و الكالسيوم ٤,٥٢٪ و التيتانيوم ٠,٩٤٪ و الحديد ٦,٣٤٪.



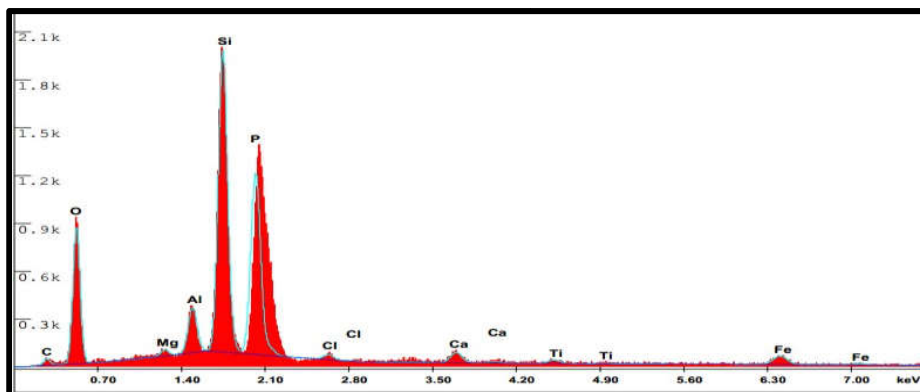
شكل (٢) يمثل نمط تشتت طاقة الأشعة السينية EDX لجزء آخر لنفس العينة الأولى بتل آثار السمارة.

أما نتائج التحليل بوحدة EDX للعينة الثانية كما في الشكل رقم (٣) يوضح وجود الأكسجين ١٧,٣٢٪ و الصوديوم ٠,٧٧٪ و الماغنسيوم ١,١٤٪ و الألمونيوم ٢,٩٨٪ والسليكا ٤,١٥٪ و البوتاسيوم ٠,٣٦٪ و الكلور ٠,٩١٪ و الحديد ٦٥,٧٦٪ و التيتانيوم ٦,٦١٪ .



شكل (٣) يمثل نمط تشتت طاقة الأشعة السينية EDX للعينة الثانية بتل آثار السمارة بالدقهلية

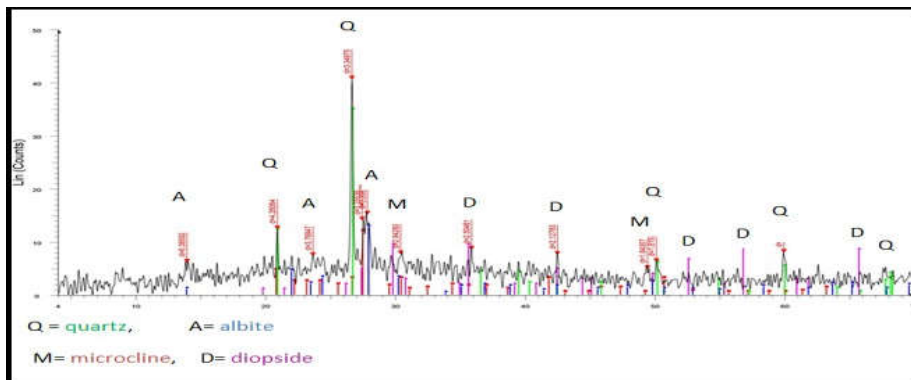
أما نتائج التحليل بوحدة EDX للعينة الثالثة كما في الشكل رقم (٤) حيث يوضح وجود الكربون ٤,٣٤٪ و الأكسجين ٢٥,٥٤٪ و الماغنسيوم ٠,٥٧٪ و الألومينا ٤,٢٤٪ و السليكا ٢٩,٧٤٪ و الفوسفور ٢٤,١٠٪ و الكلور ٠,٨٩٪ و الكالسيوم ٢,٣١٪ و الحديد ٧,٠٤٪ و التيتانيوم ١,٢٣٪.



شكل (٤) : يمثل نمط تشتت طاقة الأشعة السينية EDX للعينة الثالثة بتل آثار السمارة بالدقهلية .

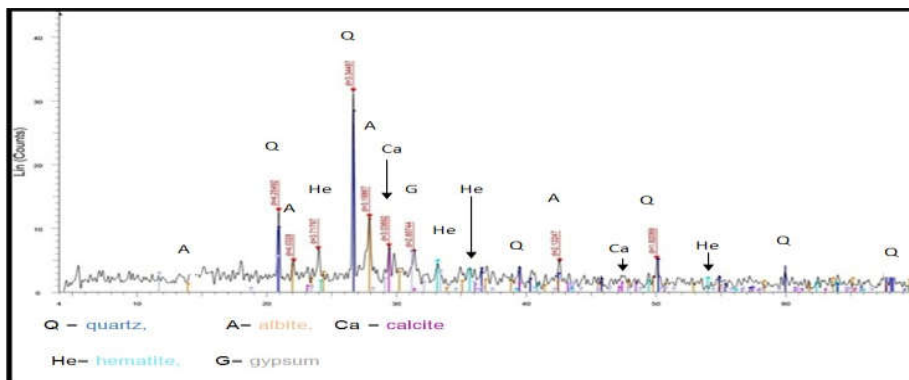
### ٣-٤- التحليل بطريقة حيود الأشعة السينية

أحتوى نمط حيود الأشعة السينية للعينه الفخارية الأولى علي الكوارتز برقم كارت (02-0490) والدايوسيد برقم كارت (02-0656) والألبيت برقم كارت (02-0739) والميكروكلين برقم كارت (01-0705).



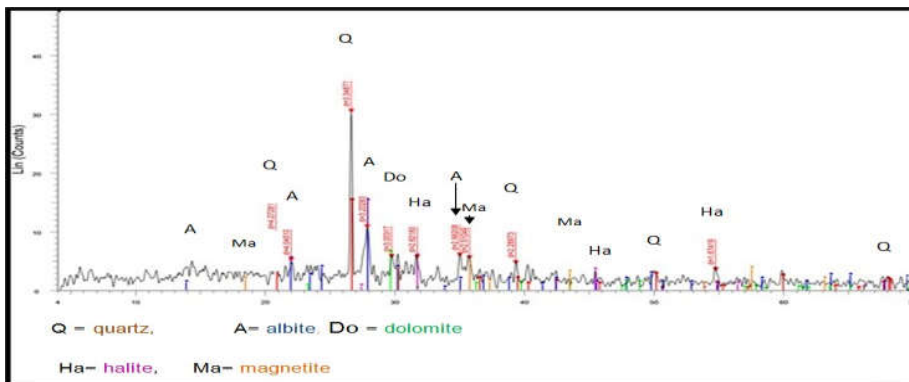
شكل (٥) يمثل نمط حيود الأشعة السينية XRD للعينه الأولى بتل السمارة بالدقهلية.

و الشكل رقم (٦) يمثل نمط حيود الأشعة السينية للعينه الثانية حيث يوضح وجود الكوارتز  $SiO_2$  برقم كارت (5-0490) والألبيت برقم كارت (01-0739) ، والكالسيت برقم كارت (88-1808) ، والهيماتيت برقم كارت (89-0598) ، والجبس برقم كارت (21-0816) .



شكل (٦) يمثل نمط حيود الأشعة السينية XRD للعينه الثانية بتل السمارة بالدقهلية

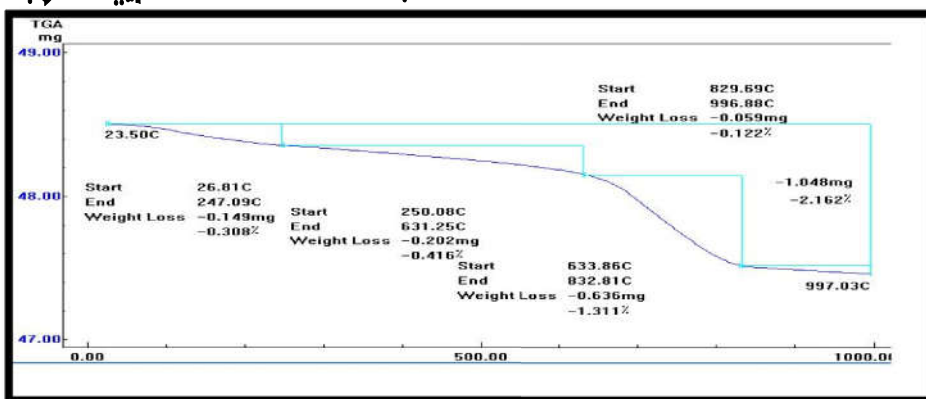
و الشكل (٧) يمثل نمط حيود الأشعة السينية XRD للعينة الفخارية الثالثة حيث يوضح وجود الكوارتز برقم كارت (5-0590)، والدولوميت برقم كارت (89-1306) والماجنتيت برقم كارت (25-1376) والهاليت برقم كارت (75-0306) والأليت برقم كارت (01-0739) .



شكل (٧) يمثل نمط حيود الأشعة السينية XRD للعينة الفخارية الثالثة بتل السمارة .

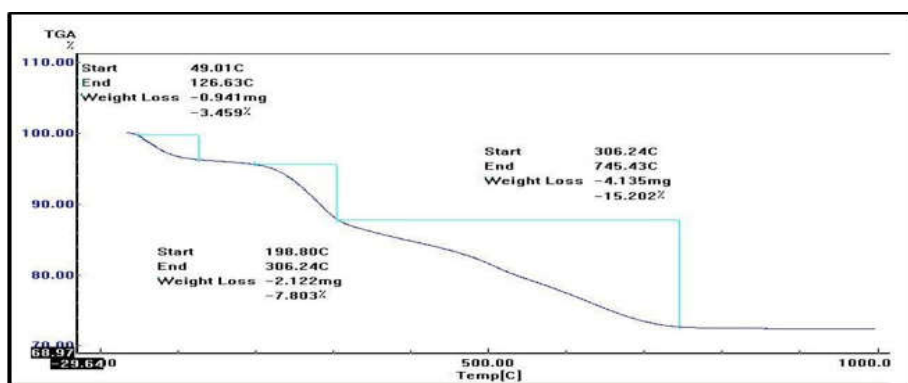
### ٣-٥- التحليل الحراري : Thermogravemetric Analysis

يوضح التحليل الحراري من نوع TGA الفقد في الوزن للعينة الفخارية الأولى من جراء الحرق، وكان الوزن الكلي ٤٨,٣٧ مللي جرام للعينة الأولى قبل الحرق، وكانت نتائج الفقد في الوزن هي (٠,١٤٩) مللي جرام بنسبة مئوية (٠,٣٠٨ %) عند درجة حرارة حرق من ٢٦,٨١ م الي ٢٤٧,٠٩ م ، ثم أستمر الفقد في الوزن ليصل الي (٠,٢٠٢) مللي جرام بنسبة مئوية بلغت (٠,٤١٦ %) عند مدي حراري من ٢٥٠,٠٨ م الي ٦٣١,٢٥ م ، ثم أستمر الفقد في الوزن بدرجة واضحة بلغت (٠,٦٣٦) مللي جرام بنسبة مئوية (١,٣١١ %) ، ولكن في المدي الحراري من ٨٢٩,٦٩ م الي ٩٩٧ م كان الفقد شبه ثابت حيث بلغ (٠,٠٥٩) مللي جرام بنسبة مئوية بلغت (٠,١٢٢ %) ، وكان أجمالي نسبة الفقد في الوزن للعينة الفخارية الأولى (١,٠٤٨ مللي جرام ) بنسبة مئوية (٢,١٦٢ %)، مما يدل أن درجة حرارة الحرق ما بين ٨٢٩ م الي ٨٥٠ م كما في الشكل رقم (٨) .



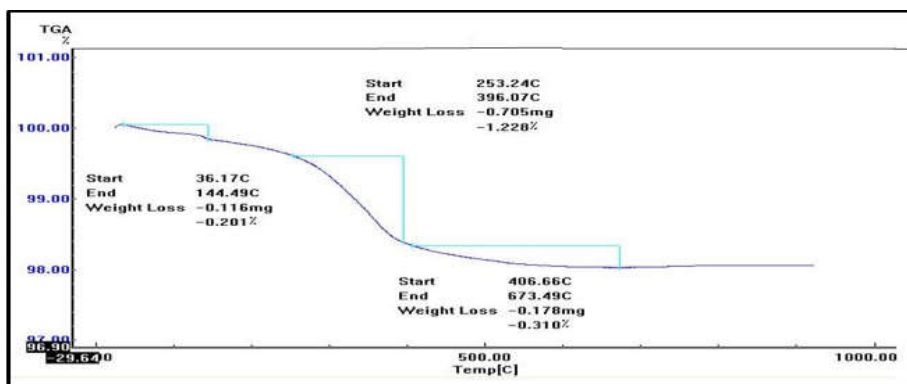
شكل ( ٨ ) يمثل نمط التحليل الحراري TGA للعينة الفخارية الأولى بتل السمارة بالدقهلية .

و التحليل الحراري TGA للعينة الثانية كما في الشكل رقم ( ٩ ) ، وكان الوزن الكلي للعينة ٢٧,٢٠ ملي جرام قبل الحرق ، وكانت نتائج الفقد في الوزن للعينة الفخارية الثانية هي ( ٠,٩٤١ ) ملي جرام بنسبة مئوية ( ٣,٤٥٩ % ) عند درجة حرارة حرق من ٤٩,٠١ م الي ١٢٦,٦٣ م ، ثم أستمر الفقد في وزن العينة ليصل الي ( ٢,١٢٢ ) ملي جرام بنسبة مئوية بلغت ( ٧,٨٠٣ % ) عند مدي حراري من ١٩٨,٨٠ م الي ٣٠٦,٢٤ م ، ثم أستمر الفقد في الوزن بدرجة ملحوظة بلغت ( ٤,١٣٥ ) ملي جرام بنسبة مئوية ( ١٥,٢٠٢ % ) في المدي الحراري من ٣٠٦,٢٤ م الي ٧٤٥,٤٣ م ، وكان الفقد في وزن العينة شبه ثابت من ٧٤٥,٤٣ م حتي ١٠٠٠ م مما يدل أن درجة حرارة الحرق حوالي ٧٤٥ م .



شكل (٩) يمثل نمط التحليل الحراري TGA للعينة الفخارية الثانية بتل السمارة بالدقهلية .

و التحليل الحراري TGA للعينة الثالثة كما في الشكل رقم (١٠)، وكان الوزن الكلي للعينة ٥٧,٧١ مللي جرام قبل الحرق، وكانت نتائج الفقد في الوزن للعينة الفخارية هي (٠,١١٦) مللي جرام بنسبة مئوية (٠,٢٠١%) عند درجة حرارة حرق من ٣٦,١٧ م الي ١٤٤,٤٩ م، ثم أستمر الفقد في الوزن ليصل الي (٠,٧٠٥) مللي جرام بنسبة مئوية بلغت (١,٢٢٨%) عند مدي حراري من ٢٥٣,١٤ م الي ٣٩٦,٠٧ م، ثم حدث نقص في الفقد في الوزن للعينة بلغت (٠,١٧٨) مللي جرام بنسبة مئوية (٠,٣١٠%) في المدي الحراري من ٤٠٦,٦٦ م الي ٦٧٣,٤٩ م، وكان الفقد في وزن العينة شبه ثابت من ٦٧٣,٤٩ م حتي ١٠٠٠ م مما يدل أن درجة حرارة الحرق حوالي ٧٦٣,٤٩ م



شكل (١٠) يمثل نمط التحليل الحراري TGA للعينة للعينة الثالثة بتل السمارة بالدقهلية .

#### ٤- مناقشة النتائج :

أضح من الفحص العيني أن الآثار الفخارية بتل السمارة بالدقهلية مشكلة بطريقة اليد، كما بين الفحص أن لون الكسر الفخارية ما بين اللون البني الي البني المحمر من جراء جو الحرق غير الثابت. ولقد أثبتت الدراسة البتروجرافية بالميكروسكوب المستقطب وجود حبيبات الكوارتز والروتيل، وهذه المعادن مميزة للطفلة النيلية، وقد أكد التحليل بالميكروسكوب الإلكتروني المسح المزود بوحدة تشتت طاقة الأشعة السينية EDX أن الطفلة المستخدمة في صناعة الفخار بتل السمارة بالدقهلية هي الطفلة النيلية Nile Clay لوجود بعض العناصر مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنسيوم والحديد والتيتانيوم، وهي من العناصر المميزة للطفلة النيلية في مصر. وكذلك أثبتت الدراسة البتروجرافية بالميكروسكوب المستقطب وجود الرمل Sand والفجوات الناتجة عن حرق التبن المقروط Burnt Straw



ومسحوق الحجر الجيري lime Stone Powder من نوع الكالسييت في العينة الثانية والدولوميت في العينة الثالثة مما يؤكد أن الحجر الجيري من النوع المضاف وليس طبيعيا في الطفلة ، وأثبت أيضا الفحص وجود مسحوق الفخار grog في العينة الأولى، فضلا عن وجود بعض الحفريات، ويرجع وجود الحفريات لإستخدام الحجر الجيري من نوع الدولوميت كأحد المواد المضافة tempers ، وترسيب الكالسييت عليها يؤكد أن بيئة الدفن هي تربة طينية مشبعة بالمياه والغازات الذائبة.

كما أثبتت الدراسة البتروجرافية بالميكروسكوب المستقطب إختلاف درجات حرق الكسر الفخارية ( موضوع الدراسة ) حيث أثبت الفحص للعينة الأولى مهارة الصانع، وأكد ذلك وجود حبيبات كوارتز دقيقة Fine Grains معظمها دائري ، فضلا عن وجود مسحوق الفخار Grog وسط أرضية غنية بأكسيد الحديد Iron Oxide ، ومما يدل علي أن جو الحرق داخل الفرن للعينة الأولى كان جوا مؤكسدا وجود الدايبوسيد وترتب علي ذلك كون العينة الفخارية ذات خواص فيزوميكانيكية جيدة قادرة علي مقاومة عوامل التلف في الوسط المحيط.

وأثبت الفحص بالميكروسكوب المستقطب للعينة الثانية بتل السمارة بالدقهلية وجود الفجوات من جراء حرق التبن المقرط Burnt Straw ، كما أنها متوسطة الحرق ، وأكد ذلك وجود حبيبات الكوارتز التي تتدرج ما بين نسيج متوسط الي نسيج خشن ، فضلا عن عدم تحلل الكوارتز الي الأطوار الزجاجية يؤكد أن درجة حرارة الحرق أقل من ٨٥٠ م ، ، أما وجود الكالسييت Calcite يؤكد أن درجة حرارة الحرق أقل من ٨٨٠ م ، ووجود الهيماتيت يدل علي أن جو الحرق داخل الفرن للعينة الثانية كان جوا مؤكسدا ، و العينة الفخارية ذات خواص فيزوميكانيكية وحرارية متوسطة ، ومعدل التلف بالعينة الثانية أكبر من العينة الأولى حيث أنها متوسطة في مساميتها وصلابتها. وأثبت الفحص بالميكروسكوب المستقطب للعينة الثالثة بتل السمارة بالدقهلية أنها رديئة الحرق ، وأكد ذلك وجود حبيبات كوارتز خشنة ومسحوق الحجر الجيري Lime Stone ، فضلا عن وجود أحد الحفريات ، وعدم تحلل الكوارتز الي المعادن التي تتكون عند درجات الحرارة العالية يؤكد أن درجة حرارة الحرق أقل من ٨٥٠ م ، أما وجود بعض الحفريات والكالسييت Calcite بالعينة يؤكد أن درجة حرارة الحرق أقل من ٨٠٠ م لأن الكالسييت يتواجد بالعينة حتي ٨٨٠ م فقط ، ثم يتحلل ويكون أطوارا زجاجية في درجات حرارة أعلى من ٨٨٠ م ، ووجود المجناتيت يدل علي أن جو الحرق كان جوا مختزلا ، وترتب عليه أن أصبحت العينة الفخارية ذات خواص فيزوميكانيكية ضعيفة .

وقد أكد الفحص والتحليل بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة EDX أن العينة الأولى ذات نسيج دقيق Fine Fabric والعينة الثانية نسيجها ما بين المتوسط الي الخشن، والعينة الثالثة ذات نسيج خشن Coarse Fabric مما يشير الي إختلاف درجة حرارة الحرق. وأثبت الفحص جودة الحرق للعينة الفخارية الأولى لوجود ثاني أكسيد الكربون بنسبه منخفضة بلغت ٠,٨٢ ٪ ، كما بين أن درجة حرارة الحرق للعينة الثانية بتل السمارة متوسطة ، وأكد ذلك وجود الحديد بنسبة عالية بلغت ٦٥,٢٦ ٪، في حين أثبت التحليل انخفاض درجة حرارة الحرق للعينة الثالثة، وأكد ذلك وجود الكربون بنسبة ٤,٣٤ ٪، فضلا عن وجود الألومنيا والسليكا دون أن يحدث لهما تطل من جراء إنخفاض درجة حرارة الحرق داخل الفرن ، فضلا عن وجود الكالسيوم الذي يتحلل تماما عند ٨٨٠ م ، ووضح التحليل ايضا وجود الفوسفور، وربما مصدره الحفرية التي ثبت وجودها بالعينة الفخارية أو من جراء الدفن في تربة زراعية.

وأثبت التحليل بطريقة حيود الأشعة السينية جودة الحرق للعينة الأولى بتل السمارة لوجود الدايبوسيد  $CaMgSi_2O_6$  والذي يتكون عند درجات حرارة أعلي من ٨٥٠ م ، كما أثبت أن جو الحرق داخل الفرن كان جوا مؤكسدا ، كما أثبت التحليل للعينة الثانية بتل السمارة أن درجة حرارة الحرق متوسطة حيث أكد ذلك عدم وجود الأطوار الزجاجية التي تتكون عند درجات الحرارة العالية ، فضلا عن وجود الهيماتيت الذي يدل علي أن جو الحرق كان جوا مؤكسدا ، أما وجود كبريتات الكالسيوم من جراء الدفن في التربة ، ووجود الأليبت راجع الي بيئة الدفن بتل السمارة بالدقهلية، ولقد أثبت التحليل بحيود الأشعة السينية للعينة الثالثة إنخفاض درجة الحرق لوجود الكوارتز والذلوميت دون أن يحدث لهما تحلل الي الأطوار الزجاجية مثل الجهلينيت  $Ca_2Al_2SiO_7$  أو الدايبوسيد  $CaMgSi_2O_6$  ، أما وجود المجناتيت  $Fe_3O_4$  يشير الي إنخفاض درجة حرارة الحرق، ويؤكد أن جو الحرق داخل الفرن للعينة الثالثة كان جوا مختزلا.

وأثبت التحليل الحراري TGA للعينة الفخارية الأولى أن درجة حرارة حرق الفخار ما بين ٨٣٠ م الي ٨٥٠ م ، حيث تم فقد الماء المتحد ميكانيكيا Mechanical Combined Water في المدى الحراري من ٢٦,٨١ م الي ٢٤٧,٠٩ م ، ثم أستمر الفقد في الوزن من جراء فقد الماء المتحد ميكانيكيا وكيميائيا والبقايا العضوية والمواد الكربوناتيية وأكاسيد الحديد المختلفة في المدى الحراري من ٢٥٠,٠٨ م الي ٦٣١,٢٥ م ، ثم أستمر الفقد في الوزن بدرجة ملحوظة للفخار في المدى الحراري

من ٦٣٣,٨٦ م إلى ٨٣٢,٨١ م، ويرجع الفقد في الوزن إلى تحلل كلوريد الحديد و كربونات الكالسيوم المضافة إلى أكسيد الكالسيوم CaO وثاني أكسيد الكربون CO<sub>2</sub>، ولكن في المدى الحراري من ٨٢٩,٦٩ م إلى ٩٩٧ م كان الفقد في وزن العينة شبه ثابت حيث بلغ (٠,٠٥٩) ميلي جرام بنسبة مئوية بلغت (٠,١٢٢ %) ، مما يدل على أن درجة حرارة حرق الفخار ما بين ٨٣٠ م : ٨٥٠ م، وأكد ذلك التحليل بحيود الأشعة السينية حيث أثبت وجود الدايبوسيد الذي يتكون عند درجة حرارة حرق حوالي ٨٥٠ م.

والتحليل الحراري للعينة الثانية أثبت أن درجة حرارة الحرق حوالي ٧٤٥ م ، حيث تم فقد الماء المتحد ميكانيكيا في المدى الحراري من ٤٩,٠١ م إلى ١٢٦,٦٣ م ، ثم أستمر الفقد في وزن العينة من جراء فقد الماء المتحد ميكانيكيا وكيميائيا والبقايا العضوية في المدى الحراري من ١٩٨,٨٠ م إلى ٣٠٦,٢٤ م ، ثم أستمر الفقد في الوزن للعينة بدرجة ملحوظة من جراء فقد الماء المتحد كيميائيا والبقايا العضوية و الكربوناتية وأكاسيد الحديد في المدى الحراري من ٣٠٦,٢٤ م إلى ٧٤٥,٤٣ م ، وكان الفقد في وزن العينة الثانية شبه ثابت في المدى الحراري من ٧٤٥,٤٣ م حتى ١٠٠٠ م مما يدل أن درجة حرارة الحرق حوالي ٧٤٥ م، وأكد ذلك التحليل بحيود الأشعة السينية حيث أثبت عدم وجود الأطوار الزجاجية التي تتكون عند ٨٥٠ م، فضلا عن وجود الكالسييت الذي يتحلل تماما عند درجة حرارة حرق حوالي ٨٨٠ م ويعطي الجهلنيت أو الدايبوسيد.

وأثبت التحليل الحراري للعينة الثالثة أن درجة الحرق حوالي ٦٧٣,٤٩ م ، حيث تم فقد الماء المتحد ميكانيكيا في المدى الحراري من ٣٦,١٧ م إلى ١٤٤,٤٩ م ، ثم أستمر الفقد في وزن العينة من جراء فقد الماء المتحد ميكانيكيا وكيميائيا والبقايا العضوية في المدى الحراري من ٢٥٣,١٤ م إلى ٣٩٦,٠٧ م ، ثم أستمر الفقد في الوزن للعينة من جراء فقد الماء المتحد كيميائيا والبقايا العضوية والمواد الكربوناتية وأكاسيد الحديد في المدى الحراري من ٤٠٦,٦٦ م إلى ٦٧٣,٤٩ م ، وكان الفقد في وزن العينة شبه ثابت في المدى الحراري من ٦٧٣,٤٩ م حتى ١٠٠٠ م مما يدل أن درجة حرارة الحرق حوالي ٦٧٣,٤٩ م، وأكد ذلك التحليل بحيود الأشعة السينية حيث أثبت وجود المجناتيت والدولوميت مما يؤكد إنخفاض درجة حرارة الحرق .

## Conclusion

## الخلاصة :

ولقد توصل البحث لمجموعة من النتائج في التعرف علي نوع الطفلة حيث ثبت أنها من الطفلة النيلية، وأكد ذلك اللون الناتج عن عملية حرق الفخار، وأن تقنية التشكيل باليد هي الطريقة التي أستخدمت في عملية التشكيل لفخار تل السمارة بالدقهلية، أما الإضافات تبين أنها عبارة عن الرمل والتبن المقرط ومسحوق الفخار ومسحوق الحجر الجيري من نوع الكالسيت في العينة الثانية والدلوميت في العينة الثالثة. كما أثبت البحث أن جو الحرق داخل الفرن للعينة الفخارية الأولى والثانية كان جوا مؤكسدا لوجودالدايوسيد  $CaMgSi_2O_6$  بالعينة الأولى، والهيماتيت بالعينة الثانية، أما جو الحرق للعينة الثالثة كان جوا مختزلا لوجود المجناتيت  $Fe_3O_4$ .

كما توصل البحث الي تعيين درجة حرارة حرق العينات الفخارية بتل آثار السمارة بالدقهلية ، ففي العينة الأولى كانت درجة حرارة الحرق حوالي ٨٥٠ م. لثبات الفقد في وزن العينة في هذا المدى الحراري، وكذلك وجود الدايوسيد بها. في حين أثبت البحث أن درجة حرارة الحرق للعينة الفخارية الثانية حوالي ٧٤٥ م لعدم وجود الأطوار الزجاجية التي تتكون عند ٨٥٠ م، فضلا عن وجود الكالسيت Calcite الذي يتحلل تماما عند ٨٨٠ م.

كما أثبت البحث أن درجة حرارة الحرق للعينة الفخارية الثالثة بتل السمارة حوالي ٦٧٣ م لوجود المجناتيت  $Fe_3O_4$  الذي يتكون في جو مختزل، فضلا عن وجود الحجر الجيري من نوع الدولوميت الذي يتحلل تماما عند ٨٨٠ م ويعطي الجهلينيت  $Ca_2Al_2SiO_7$  أو الدايوسيد  $CaMgSi_2O_6$ . كما توصل البحث الي أن هناك علاقة بين درجة حرارة الحرق للعينات الفخارية وخواصها الفيزيائية والميكانيكية حيث إرتفاع درجة حرارة الحرق للعينة الفخارية الأولى تسبب في إحتواءها علي الدايوسيد وهو من الأطوار الزجاجية التي تملء المسام مما يشير الي إنخفاض خاصية أمتصاصها للماء وضعف مساميتها وصلابتها ، فمعدل وميكانيكية التلف والعلاج تتوقفان علي تلك الخواص الناتجة عن درجة حرارة وجو حرق الفخار الأثري.

## Acknowledgement

## الشكر:

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلي ا.د / محمد عبد الهادي ، أستاذ ترميم وصيانة الآثار بكلية الآثار بجامعة القاهرة لما قدمه لي من نصائح ومساعدات علمية اثناء إعداد البحث، كما أتقدم بأسمى آيات الشكر والعرفان إلي أ / سامح الطائر المدرس المساعد بمعمل التحليل الحراري بكلية العلوم بجامعة القاهرة .

- Arnold , D., " Techniques and traditions of manufacture in the pottery of Ancient Egypt " , in an introduction to Ancient Egyptian pottery , edited by Arnold , D., and Bourriau , J ., German in stitute of Antiquities , Cairo, 1993,p.84.
- Drebuschak, V. A., Mylnikova, L. N., Drebuschak, T. N., and Boldyrev, V. V., " The Investigation of Ancient Pottery and Application of thermal analysis" , Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 82, Springer Healthcare LLC, U.S.A,2005,pp.617-626.
- Garrison, E., G., Techniques in Archaeological Geology, Springer, Germany, 2003.
- Hamdan, M. A. Martinez, S. M. Garcia Valles, M. T. Nogues, J. M. Hassan, , F. A. Flower, R. J., Aly, M. H., Senussi A. and Ibrahim, E. S., " Ancient Egyptian Pottery From The Subsurface Flood Plain of The Saqqara–Memphis Area: Its Mineralogical and Geochemical Implications" , Archaeometry, Vol. 56, N. 6, John Wiley & Sons Ltd., U.k,2014,pp.987-1008.
- Heimann, R., " Firing technologies and their possible assessment by modern analytical methods",in Archaeological ceramics, edited by Olin J. S. and Franklin, A. D., Smithsonian Institution Press, Washington,1982,pp.86-96.
- Henderson, J., The science and archaeology of Materials, Routledge, London, 2000.
- Hodge , H., Artifacts , An introduction to primitivetechnology , London ,1964.
- Johnson , P.D ., Clay modeling for every one , Newzeland , 1988 .
- Maniatis, Y., Simopoulos, A., Perdikatsis, V., and Kostikas, A., " The effect of reducing atmosphere on minerals and iron oxides developed in fired clays" , Journal of the American Ceramic Society, Vol. 66,U.S.A, 1983,pp.773-781.
- Maritan, L., Nodari, L., Mazzoli, C., Milano, A., and Russo, U., "Influence of firing conditions on ceramic products: experimental study on clay rich in organic matter" , Applied Clay Science, Vol. 31,No.1,Amsterdam, Netherlands,2006,pp.1-15.
- Murat Bayazit, Iskender Işık, Ali Issi, Elif Genç, "Spectroscopic and thermal techniques for the characterization of the first millennium AD potteries from Kuriki-Turkey", Ceramics International, Vol. 40, Amsterdam, Netherlands, 2014, pp.14769-779.

- Pankaj Singh, and Sukanya Sharma,"Thermal and spectroscopic characterization of archeological pottery from Ambari, Assam ",journal of archaeological science, Amsterdam, Netherlands, 2016,pp.557-563.
- Riley, J.,A ., "The Petrological analysis of Aegean Ceramics" , Occasional Paper, No.32 , Thin Section studies, British Museum, edited by Freestone, I. ,london, 1982,pp.1-8 .
- Schiffer, M. B., Behavioral archaeology, Academic Press, New York,1976.
- Shepard, A., Ceramics for the archaeologist, Washington, 1981.
- Tite, M.S., " The use of Scanning Electron Microscope" , in Archaeological ceramics , edited by Olin, J. & Franklin, A. , Smithsonian Institution Press, Washington D.C , 1982,pp.109-120.
- Zakin , R., Ceramics , mastering the craft , pennsylvania , 1997 .

## **Determination Study of firing temperature degree for some of pottery vessels as a scientific basis for diagnosis of their phenomena of deterioration**

**(Tel al-samara - pre dynastic - Case Study)**

**Dr.Walid Kamel Ali Elghareb\***

### **Abstract:**

Firing temperature degree of some pottery has been determined from Tel al-samara in Dakahlia through their examination and analysis by polarized microscope "PLM", scanning electron microscope SEM, X-ray diffraction XRD and thermal analysis TGA where the search proved that the used clay is Nile clay, the tempers are sand, burnt straw, grog and limestone powder. The research also proved that the firing atmosphere for the first and second sample was oxidized for presence of hematite "Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>" and diopside "CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>" but for the third sample was reduced by the presence of magnetite "Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>". The search proved different firing temperature degree of pottery where it was about 850 °C for the first sample, approximately 745 °C for the second, and approximately 673 °C for the third sample, it is confirmed by the loss in the sample weight was almost constant in this temperature range. The research proved a relationship between the firing temperature of pottery samples and their mechanical and physical properties as high firing temperature for the first sample pottery caused containing diopside as a glass phase filling the pores indicating a decrease in its water absorption property and poor porosity. The rate, mechanism deterioration and treatment depend on the properties resulting firing temperature and atmosphere for archaeological pottery.

### **keywords:**

(Firing, Oxidation, Reduction, Thermal Analysis, Glass Phases).

---

\* Faculty of Archaeology, Aswan University