# علاج وصيانة كتلة حجرية أثرية بقاعة العرض بالقنطرة شرق

# Treatment and conservation of an antique stone block In the exhibition hall of Al-Qantara east

**أ.د / محمد كمال خلاف**

**أستاذ ترميم الآثار ووكيل كلية الآثار لشئون التعليم والطلاب - جامعة الفيوم**

**Prof. Mohamed Kamal Khalaf**

**Professor at the Department of Restoration and Vice Dean for Education and Student Affairs Faculty of Archaeology Fayoum University**

**mkk00@fayoum.edu.eg**

**أ.د / جهاد جنيدي محمد**

**أستاذ الكيمياء غير العضوية والتحليلية كلية العلوم - جامعة القاهرة**

**Prof. Gehad Genidy Mohamed**

**Professor of Inorganic and Analytical Chemistry, chemistry Department Faculty of Science Cairo University**

**ggenidymohamed@sci.cu.edu.eg**

**د/ أحمد رشدي السخري**

**أخصائي ترميم آثار- وزارة السياحة والآثـــار**

**Dr. Ahmed Roshdy Elsakhry**

**Conservator at the Ministry of Tourism and Antiquities**

**roshdyahmed1001@gmail.com**

## ملخص البحث

كتلة حجرية أثرية تعود إلى عصر الدولة الحديثة ومعروضة بقاعة العرض بالقنطرة شرق،ومسجلة برقم ٩٣٠ ونتيجة لعرضها عرض غير ملائم واستخدام الإضاءة الطبيعية في العرض والمتمثلة في ضوء الشمس عن طريق النوافذ المفتوحة ليل نهار،وتكمن خطورة تلك التغيرات اليومية ما بين درجات الليل والنهار على مدار اليوم الواحد ثم على مدار فصول السنة تؤدي إلى تمدد الصخور وانكماشها ومن ثم اضعاف تماسكها وتفتيتها. وهذا بالفعل هو الوضع الراهن لهذه الكتلة المعروضة بالقاعة بالإضافة إلى بهتان الألوان، وكذلك التلف البشري غير المتعمد المتمثل في استخدام مادة ترميم عالية اللزوجة في التقوية أدت إلى جذب الأتربة والاتساخات والتصاقها بالسطح، وتعاني الكتلة الحجرية من بعض مظاهر التلف مثل تقشر جزء من طبقة الباتينا وانفصالها عن جسم الأثر، بهتان لوني نتيجة التعرض المباشر للأشعة فوق البنفسجية الناتجة من أشعة الشمس، طمس بقايا الألوان الموجودة نتيجة وضع مادة تقوية، فأدت إلى جذب الأتربة والاتساخات ومن ثم طمس للألوان الموجودة على النقش. تم اجراء الفحوص والتحاليل على الكتلة وقد أظهرت نتائج الفحص بالميكروسكوب المستقطب انها من الحجر الجيري الأوليتي الذي يدخل في تكوينه الحفريات والكائنات الحية الدقيقة مما يساعد على التلف.كما اظهرت التحليل باستخدام جهاز الرامان أن المادة العالية اللزوجة والمستخدمة في الترميم قديماً هي مادة الباراليويد B72 .كما تم عمل تقوية للكتلة الحجرية باستخدام مادتي نانو هيدروكسيد الكالسيوم مع مادة النانو سيليكا في صورة (Core shell) وبتركيز ١٠% وتم تطبيقها باستخدام الفرشاة.

## الكلمات المفتاحية

القنطرة شرق- كتلة حجرية-علاج– مواد نانوية - نانو سيليكا

## Abstract

An archaeological stone block dating back to the era of new kingdom and displayed in the exhibition hall in Al Qantara East, registered with No. 930 and as a result of its display in an inappropriate display as a result of the use of natural lighting in the display, Represented in sunlight through windows opened day and night. The danger of these daily changes between the temperature degrees of night and day both daily and seasonally, which lead to the expansion and contraction of the rocks and then weakening their cohesion causing fragmentation. This is indeed the current situation of this block displayed in the hall, in addition to the fading of colors, as well as the use of a high-viscosity restoration material in the reinforcement that led to the attraction of dust and dirt and its adhesion to the surface. The color faded as a result of the lack of lighting control inside the exhibition hall, the remnants of the existing colors were blurred as a result of applying a reinforcement material with a high viscosity, which led to the attraction of dust and dirt, and then blurring the colors on the inscription. Examinations and analyzes were carried out on the block, and the results of the examination with a polarized microscope showed that it is of primitive limestone, which contains fossils and microorganisms, which helps to damage. The analysis using the Raman device also showed that the high viscosity material used in restoration in the past is Paralloid B72. The stone block was reinforced by using two materials; Nano calcium hydroxide with Nano silica in the form of (Core shell) at a concentration of 10% and it was applied using the brush.

## Keywords

Al Qantara East; stone block, Treatment; Nano Materials; Nano Silica.

### مقدمة

تعتبر تهيئة الظروف المُثلى لحفظ وعرض المقتنيات الحجرية في قاعات العرض من الأمور التي يجب على القائمين على الصيانة والترميم مراعاتها (رشدي ،٢٠١٨)، وهذه الكتلة معروضة بقاعة العرض بالقنطرة شرق ولكنها مستخرجة من حفائر شمال سيناء بالتحديد من تل حبوة وتكمن الأهمية الاستراتيجية لموقع تل حبوة وما كشف به من آثار معمارية هامة خاصة بالتاريخ العسكري والعمارة العسكرية على حدود مصر الشرقية نجد أن القلعة المكتشفة بتل حبوه هى الأكبر بالنسبة للمدن المحصنة المكتشفة في مصر من حيث المساحة لهذا التحصين الهام في ذلك الموقع الاستراتيجى الهام على مدخل الدلتا الشرقى على رأس الطريق المعروف باسم طريق حورس(Gardinar a,1920). وقد جاء اكتشاف موقع تل حبوه ليصحح ويدعم وكذلك ليحقق الموقع الصحيح على أقرب الاحتمالات لموقع قلعة ثارو في بداية طريق حورس كنقطة لانطلاق الجيوش المصرية لتأمين حدود مصر الشرقية في عصر الدولة الحديثة (كمال، ٢٠٠١)، وهذه الكتلة الحجرية كانت تعاني من بعض مظاهر التلف وزادت معدلاته نتيجة عرضها عرض غير مُلائم، والتي منها على سبيل المثال عرض بعض الكتل الحجرية على قواعد خشبية متهالكة تكون مصدر للتلف الميكروبيولوجي التي تؤثر على الكتل المعروضة،كذلك استخدام الإضاءة الطبيعية المتمثلة في ضوء الشمس وتفاوت درجة الحرارة، كما أن من خصائص هذه الأحجار أنها رديئة التوصيل للحرارة فان تأثير التغير الحراري ينحصر في مستوياتها العليا دون السفلى وينشأ عن ذلك ضغط Stress خلال مكونات الصخور تؤدى إلى إحداث كسر موازى لأسطحها وتتفكك الصخور حينئذ في هيئة أشرطة توازى أسطحها وعملية التفكك بهذا الوصف تسمى عادة بالتقشر Exfoliation وكلما أزيلت طبقة تقشرت أخرى وهكذا. بالإضافة إلى التقوية المبدئية التي تمت بالموقع المستخرج منه الكتلة الحجرية أدت إلى جذب الأتربة والاتساخات والتصاقها بالسطح،ولذا يهدف

هذا البحث إلى علاج وصيانة أحد الكتل الحجرية المعروضة بقاعة العرض بالقنطرة شرق وذلك باستخدام الطرق والمواد الحديثة المستخدمة حديثاً في مجال ترميم الآثار مثل المواد النانومترية مادة نانو هيدروكسيد الكالسيوم ومادة النانو سيليكا وذلك بعد تجريبها على نماذج حجرية وظروف جوية مشابهة لحالة الأثر.

## 1- التسجيل والتوثيق

### ١-١الوصف الأثري للكتلة الحجرية رقم (٩٣٠)

كتلة حجرية جيرية كبيرة بها كورنيش به ثقبان، بها نقوش هيروغليفية غائرة، ترجمتها الإله الطيب المختار من رع ملك مصر العليا والسفلى، سيد الشروق محبوب آمون الذي انجبه رع الذهبي، سيد الأرضين، أما عن ابعاد الكتلة فبعد رفع مقاساتها وجد أن أقصى طول لها هو ٢ متر، وأقصى عرض حوالي ٧٠ سم ومتوسط سمك حوالي٢٠ سم تقريباً. وهي توجد في حالة سيئة نتيجة عرضها عرض غير مُلائم دون التحكم في الظروف البيئية المحيطة، بالإضافة إلى الترميم الخاطئ المتمثل في استخدام مادة تقوية المستخدمة بتركيز عال مما أدى إلى غلق لمسام الحجر بالإضافة إلى جذب الأتربة والاتساخات.

### ١-٢ترجمة النقش الهيروغليفي الموجود على سطح الكتلة الحجرية

وهي عبارة عن كتلة حجرية كبيرة بها كورنيش به ثقبان، بها نقوش هيروغليفية غائرة، ترجمتها الإله الطيب المختار من رع ملك مصر العليا والسفلى، سيد الشروق محبوب آمون الذي انجبه رع الذهبي، سيد الأرضين!

*nb ḥ ʿw rʿ-msw-mry-imn nsw bity*

سيد الشروق، محبوب امون- الذي انجبه رع، ملك مصر العليا والسفلي

*ḥr k3-nḫt-mry-m3ʿt* *nfr nṯr wsr-m3ʿt-rʿ-stp-n-rʿ nsw bity*

حورس الثور القوي محبوب العدالة الاله الطيب، قوية عدالة رع - المختار من رع، ملك مصر العليا والسفلي

*nb t3wy wsr-m3ʿt-rʿ-stp-n-rʿ nwb*

سيد الارضين، قوية عدالة رع- المختار من رع، الذهبي

*ḥr k3-nḫt-mry-m3ʿt*

حورس الثور القوي، محبوب العدالة

### ١-٣ التسجيل الفوتوغرافي Photography Recording

يعتبر التصوير الفوتوغرافي من أهم وسائل تسجيل الآثار الحجرية وأكثرها شيوعاً، ويتم ذلك النوع من التسجيل عن طريق كاميرات ديجيتال وأخذ لقطات تفصيلية لكل جزء في الكتل لتوضيح مظاهر التلف وذلك بعد وضع مقياس رسم ١: ٥٠ سم، وكذلك مراحل العلاج، وأيضاً شكل الكتلة الحجرية بعد الانتهاء من جميع مراحل العلاج، وتوضح الصورتين رقم (١،٢) عملية التسجيل الفوتوغرافي للكتلة الحجرية.

**صورتان رقم (١ ، ٢) توضحان عملية التسجيل الفوتوغرافي والحالة الراهنة للكتلة وما بها من اتساخات وطمس للألوان الموجودة على السطح**

### ١-٣ تسجيل مظاهر التلف للكتلة الحجرية

1- تقشر جزء من طبقة الباتينا وانفصالها عن جسم الأثر.

2- بهتان لوني نتيجة عدم التحكم بالإضاءة داخل قاعة العرض.

3- طمس الألوان الموجودة على النقش.

**صورة رقم (٣) توضح مظاهر التلف بالكتلة الحجرية**

### ٢-المواد والطرق Materials and methods

يعتمد اختيار مواد وطرق العلاج المناسبة لترميم وصيانة الآثار على معرفة مكونات الأثر وكذلك دراسة عوامل ومظاهر التلف المؤثرة وذلك من خلال إجراء الفحوص والتحاليل المختلفة, للتعرف على مكونات الأثر ودراسة عوامل ومظاهر التلف المؤثرة عليه, لذلك فقد تم دراسة وفحص وتحليل عينات من مكونات أحد الكتل الحجرية المعروضة بقاعة العرض بالقنطرة شرق، وذلك للتعرف على نوع الحجر المكون الأساسي للحجر وكذلك المواد الملونة المستخدمة في تلوين النقوش

وكذلك نوع البوليمر المستخدم في الترميم السابق، كما تم عمل فحص وتحليل لبعض عينات المواد المختارة لعمليات الترميم المختلفة مثل مواد التقوية مثل (Core shell) Nano $Ca(OH)_2$ + Nano $SiO_2$ وذلك باستخدام طرق الفحص والتحليل المختلفة مثل الفحص بالميكروسكوب المجسم Stereo Microscope, الفحص بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني،والفحص بواسطة الميكروسكوب المستقطب والتحليل بحيود الأشعة السينية (XRD)، وكذلك التحليل باستخدام جهاز الرامان. ثم تحضير مجموعة من الكتل الحجرية من موقع تل حبوة بشمال سيناء، ثم تقطيع تلك الكتل على هيئة مكعبات منتظمة الشكل أبعادها ٥سم x ٥سم x ٥سم، وذلك لاستخدامها في الدراسة التجريبية لمواد التقوية بواقع ثلاثة مكعبات لكل تركيز بمعنى أن الأرقام الزوجية للتركيز الأقل ٥%،الأرقام الفردية للتركيز الأعلى ١٠% من مادة التقوية، كما تم وزن العينات (المكعبات) قبل الغمر في محلول التقوية، وكذلك تعيين الخواص الفيزيائية والميكانيكية قبل البدء في عملية التقوية وكذلك بعد غمر العينات في محلول التقوية ثم خروجها من المحلول وتركها لمدة ٢١يوم لإتمام عملية البلمرة.

## ٢-١الفحوص والتحاليل Examination and Analysis

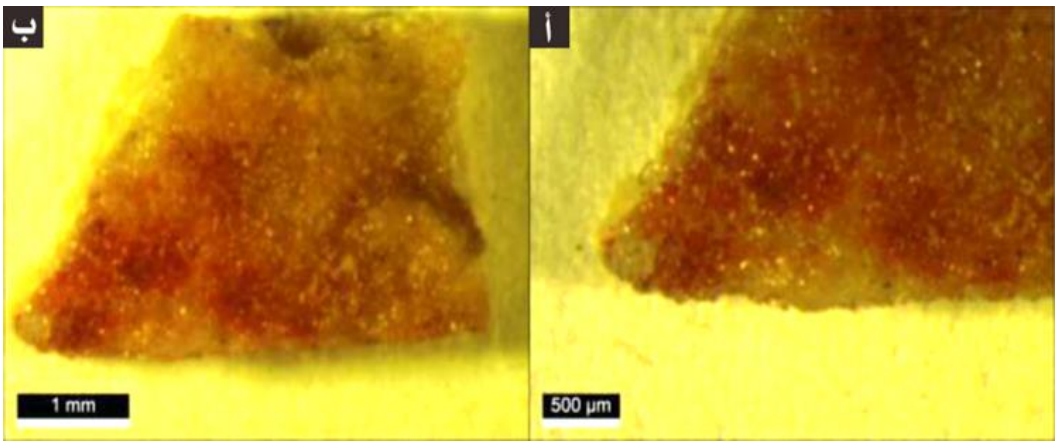
يعتمد نجاح عمليات العلاج والصيانة للآثار الحجرية، بالدرجة الأولى على دراسة مكوناتها بشكل متكامل، وكذلك دراسة حالتها من حيث نواتج التلف الموجودة بها، لتحديد أنسب المواد والطرق التي يمكن إستخدامها لتطبيق العلاج الأمثل للآثار الحجرية. ومن الجدير بالذكر أنه لا يمكن تحقيق تلك الإجراءات إلا من خلال مجموعة من الأساليب العلمية الحديثة المستخدمة في الفحص والتحليل. وقد تم الإستعانة في تلك الدراسة ببعض هذه الأساليب الفحص وتحليل ودراسة مكونات الأثر ومظاهر التلف به، والتي يمكن تناولها كما يلي:-

### ٢-١-١الفحوص

**أولاً الفحص باستخدام الميكروسكوب المُجسم Stereo Microscope**

**أ- عينة مادة ملونة رقم (١) للكتلة الحجرية رقم ٩٣٠**

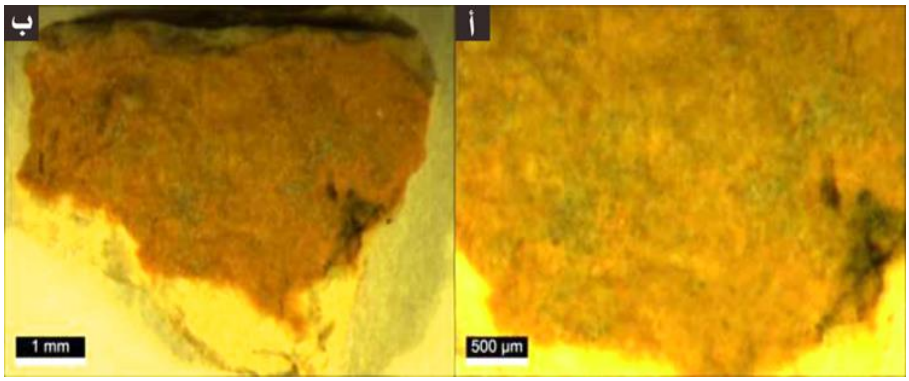
وهي عبارة عن عينة مادة ملونة حمراء، كما هو موضح بالصورة رقم (٤).




**صورة رقم ( ٤) لعينة من الحجر مكبرة بالميكروسكوب المجسم عليها مادة ملونة حمراء**

**ب-عينة مادة ملونة رقم (٢) كتلة ٩٣٠**

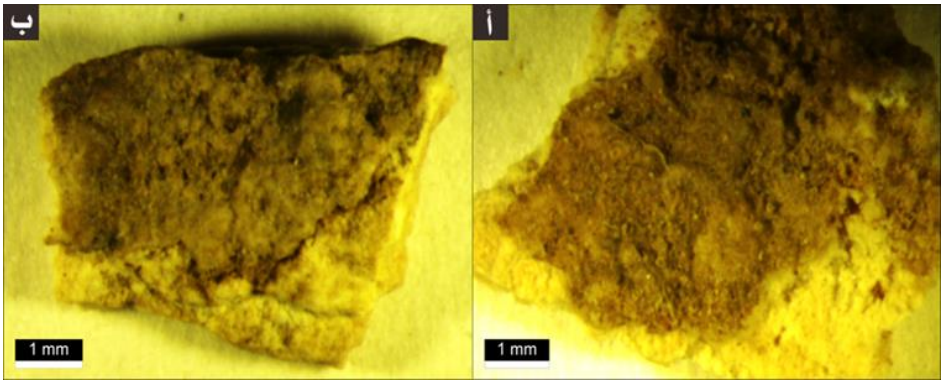
عبارة عن عينة مادة ملونة صفراء على سطح الحجر، كما هو موضح بالصورة رقم (٥).




**صورة رقم (٥) توضح عينة من الحجر عليها لون أصفر داكن مائل إلى البني**

**جـ-عينة إتساخات رقم (٣) كتلة حجرية رقم ٩٣٠**

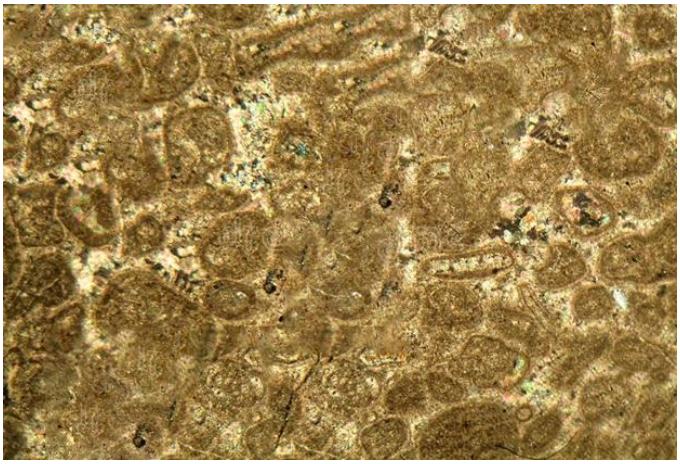
هي عبارة عن كتلة حجرية ملتصق بسطحها اتساخات سوداء، كما هو موضح بالصورة رقم (٦).




**صورة رقم (٦) لعينة من الحجر عليها اتساخات صلبة سوداء تلتصق بالسطح**

**ب- الفحص بـالميكروسكوب المستقطب Polarizing Microscope**

تبين من خلال الفحص بالميكروسكوب المستقطب لقطاعات الحجر المنحوت منه الكتلة المعروضة بقاعة العرض بالقنطرة شرق، تبين أن هذا الحجر يصنف على أنه حجر جيري أوليتي Oolitic limestone ، حيث يتكون بشكل أساسي من الكالسيت، وكذلك الحفريات وبعض الكائنات الحية الدقيقة والتي تساعد في تلف الحجر.كما هو موضح بالصورة رقم (٧).



**صورة رقم (٧) لعينة من الكتلة الحجرية في الضوء المستقطب (X50 , CN) توضح أن الحجر حجر جيري أوليتي Oolitic limestone (ميكريت) به حفريات وكائنات حيه دقيقة**

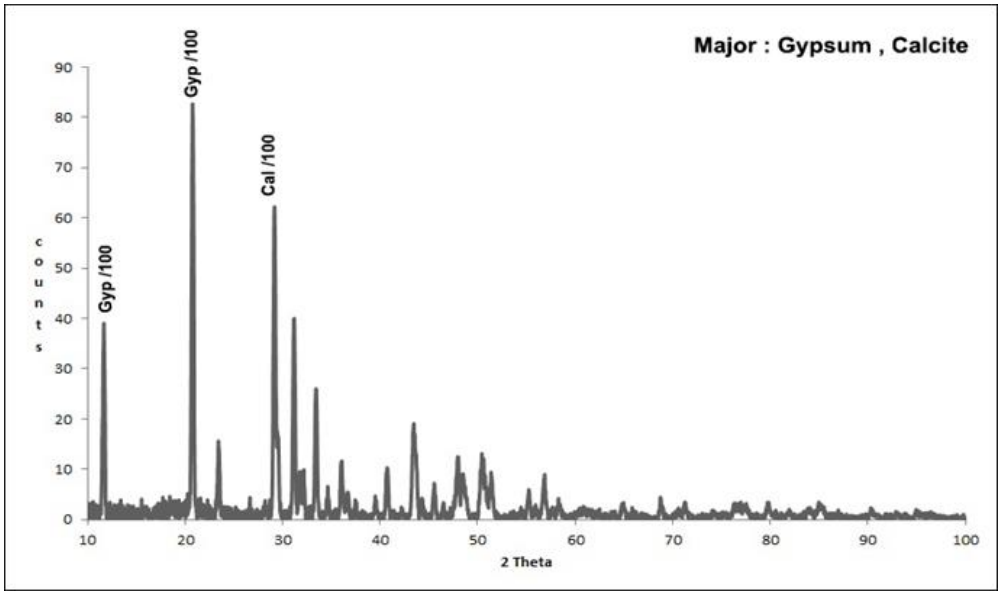
## ثانياً التحاليل

### أ- التحليل بحيود الأشعة السينية

تم عمل حيود الأشعة السينية باستخدام جهاز XRD من انتاج شركة Bruker D8-Discover الألمانية، وهو يعد من أحدث الأجهزة المتخصصة في حيود الأشعة السينية على العينات الأثرية حيث أن العينة المستخدمة في القياس هي عينة غير قابلة للتلف، ويتم قياس العينات بحجم يصل إلى ٥سمx٥سمx٥سم، وباستخدام كاميرا ومؤشر ليزر يمكن تحديد جزء معين لقياس حيود الأشعة السينية به، وبالتالي فإنه لا يمكن إتلاف العينة حيث تستخدم العينة كما هي بدون طحن، وقد تم قياس العينات تحت الشروط التالية 2Theta من ٥: ٨٠ في وجود ٤٠كيلو فولت،و ٤٠ مل أمبير.

**عينة رقم (١)**

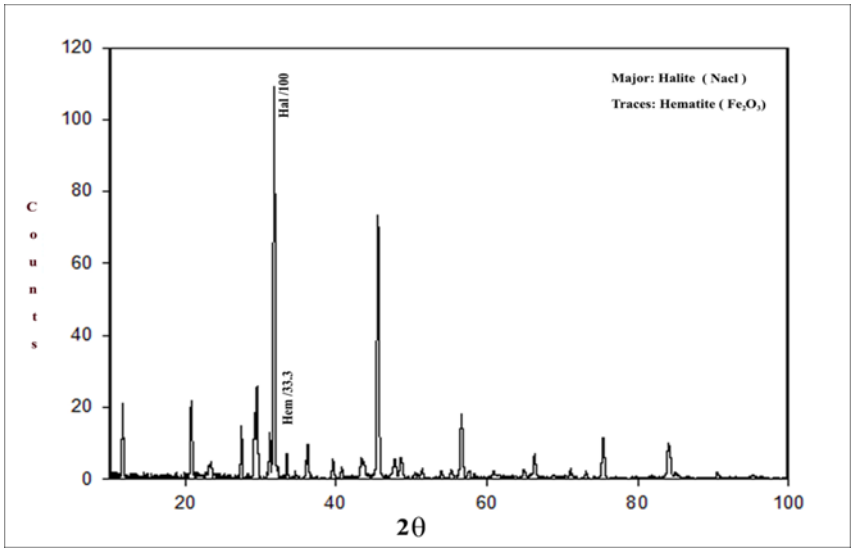
وقد تم أخذ العينة بحرص ودقة شديدة من جزء صغير جداً منفصل عن الكتلة الحجرية، ومن خلال دراسة نمط حيود الأشعة السينية لهذه العينة اتضح أنها تتكون من معدن الكالسيت بصفة أساسية والجبس الملتصق بعينة الحجر نتيجة طبقة الملاط. كما هو موضح بالشكل رقم (١).




**شكل رقم (١) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة من الحجر الجيرى المكون الرئيس للكتلة الحجرية رقم ٩٣٠ وهو الكالسيت بصفة أساسية والجبس.**

**عينة رقم (٢) للكتلة الحجرية رقم ٩٣٠**

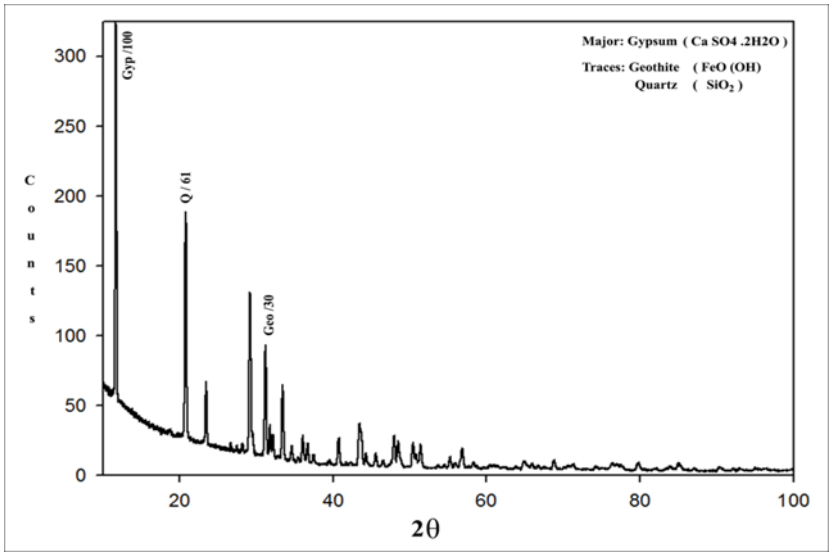
وقد تم أخذ العينة بحرص ودقة شديدة من جزء صغير جداً من المادة الملونة الحمراء، ومن خلال دراسة نمط حيود الأشعة السينية لهذه العينة اتضح أنها تتكون من الهيماتيت($Fe_2O_3$) مختلط بملح الهاليت. كما هو موضح بالشكل رقم (٢).




**شكل رقم (٢) يوضح نمط لحيود الأشعة السينية للعينة رقم (٢)**
**مادة ملونة حمراء "الهيماتيت" للكتلة الحجرية رقم ٩٣٠**

**عينة رقم (٣) للكتلة الحجرية المسجلة برقم ٩٣٠**

وقد تم أخذ العينة بحرص ودقة شديدة من جزء صغير جداً من المادة الملونة الصفراء، ومن خلال دراسة نمط حيود الأشعة السينية لهذه العينة اتضح أنها تتكون من معدن الجوثيت $Fe_2O_3$. FeO(OH) بالإضافة إلى الجبس والكوارتز بصورة أساسية. كما هو موضح بالشكل رقم (٣).

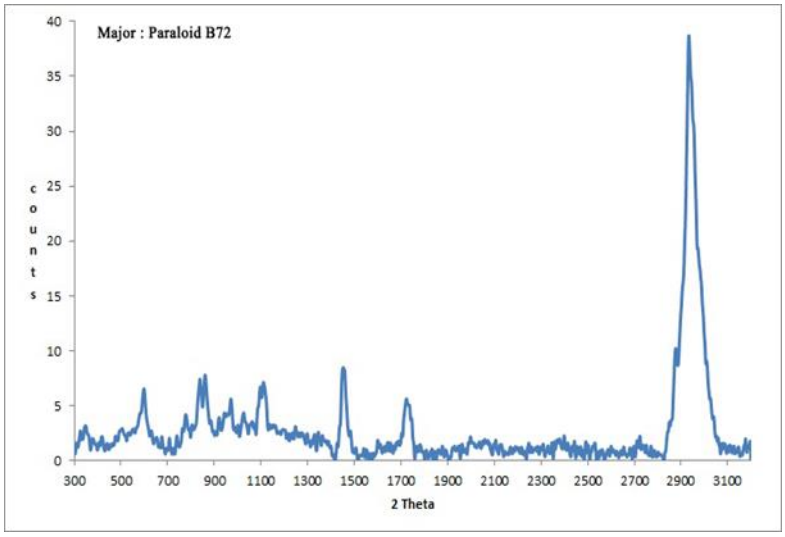



**شكل رقم (٣) يوضح نمط لحيود الأشعة السينية للعينة رقم (٣)**
**مادة ملونة صفراء "الجوثيت" للكتلة الحجرية رقم ٩٣٠**

**ب- التحليل باستخدام جهاز الرامان**

**عينة رقم (٤)**

حيث ثم أخذ عينة من الاتساخات الصلبة السوداء الملتصقة بالسطح بحرص شديد، والتي تبين من خلال التحليل بجهاز الرامان انها عبارة عن اتساخات ملتصقة بالسطح عن طريق مادة ترميم سابقة تتمثل في البارالويد B72 (Gharib.A, et al, 2019). كما هو موضح بالشكل رقم (٤).




**شكل رقم (٤) يوضح التحليل باستخدام جهاز الرامان لمادة ترميم سابقة تتمثل في البارالويد**

## ٣- عمليات العلاج والصيانة للآثار الحجرية المختارة بالقنطرة شرق

### ٣-١عمليات التنظيف Cleaning Processes

تعتبر عمليات التنظيف هي أول الخطوات التي تتخذ لإجراء عمليات العلاج والصيانة، ويجب أن يتم وضع بعض الاعتبارات التي تتبع عند اختيار طريقة للتنظيف في الذهن ومن أهمها أن تحافظ على طبقة الباتينا Patina (طه,ايمان،٢٠١٣) والتي تعتبر طبقة الحماية التي تكونت بمرور الوقت على سطح الأثر نتيجة تفاعل الأثر مع البيئة المحيطة به، وتعتبر بمثابة طبقة الحماية من التفاعل مع العوامل الجوية المختلفة، ولا يجب أن تتسبب عمليات التنظيف في تكوين مركبات ثانوية تسبب التلف فيما بعد، كما يجب التحكم في سرعة التنظيف واستبعاد المواد غير المعروفة التركيب وإجراء اختبارات موضعية قبل التنظيف(Ashurst, J, 1982).

### ٣-١-١ التنظيف الميكانيكي Mechanical Cleaning

تختلف الطرق التي تستخدم عند إجراء عمليات التنظيف الميكانيكي، حيث يوجد منها الطرق التقليدية والتي تستخدم فيها الفرش المختلفة والمشارط والفرر إلى جانب استخدام الطرق الحديثة والتي تستخدم فيها طرق التنظيف بالسفع بالرمال والتنظيف بالليزر وغيرها من الطرق الحديثة.(Siedle, H., 2000) وقد تم في هذه المرحلة اجراء عمليات تنظيف شاملة للكتلة الحجرية باستخدام بعض الفرش الناعمة التي لا تؤثر على السطح وذلك لإزالة الأتربة الموجودة على الأثر.كما هو موضح بالصورة رقم (٤).

صورة رقم (٤) توضح عملية التنظيف الميكانيكي للكتلة الحجرية

### ٣-١-٢ التنظيف الكيميائي Chemical Cleaning

يتم اللجوء للتنظيف الكيميائي بعد الانتهاء من عمليات التنظيف الميكانيكي، واختزال الرواسب والاتساخات المتكلسة إلى أقصى درجة يمكن الوصول إليها، وبعد ذلك يتم استخدام التنظيف الكيميائي، ذلك الأسلوب الذي يعتمد في فعاليته، وكما يتضح من الاسم، يتم استخدام الماء والمحاليل الكيميائية المختلفة، لكسر الروابط الأولية التي تربط جزيئات الاتساخات ببعضها البعض، وكذلك كسر الروابط الثانوية التي تربط بين الاتساخات وسطح الأثر. إلا أن المشكلة التي يواجهها أي اخصائي ترميم أثناء التنظيف الكيميائي هي إيجاد المنظف المناسب القادر على مهاجمة الاتساخات دون الاقتراب من الأثر، وحيث إنه يصعب تطبيق هذه النظرية فعلياً في حالات عديدة، لذا يجب الاكتفاء باستخدام بعض المذيبات العضوية والمنظفات الصناعية التي تهاجم الاتساخات بشكل أسرع من مهاجمتها لمادة الأثر، ليكون الضرر أقل ما يمكن. ففي بعض الأحيان يكون التنظيف الكيميائي مضر للأثر لأنه يمكن أن يترك بعض الترسيبات علي السطح أو يغير لون طبقة الباتينا أو يتوغل في مسام الأثر لذلك يجب استخدامه بحذر شديد، وفي مساحات محددة (jean Delivre, 2003) وقد تم استخدام الماء الذي يعتبر أكثر المواد الكيميائية أماناً وكذلك بعض المذيبات العضوية حيث تم استخدام التنظيف الكيميائي كالآتي :

- القطن المبلل بالماء المقطر في تنظيف بعض الاتساخات بطريقة موضعية.
- تم استخدام القطن المبلل ببعض المذيبات العضوية مثل الأسيتون والطولوين، في تنظيف بعض الاتساخات غير القابلة للذوبان في الماء وبالتحديد في إزالة طبقة الاتساخات الصلبة الملتصقة بالسطح عن طريق مادة البارالويد العالية اللزوجة الموجودة على السطح والتي استخدمت في ترميم الأثر قديماً.
- استخدام خليط من الماء والاسيتون بنسبة١:٣، وكذلك خليط من الماء مع الطولوين وكذلك التراي كلوروايثلين،ولكن أكثر المواد فاعلية كانت مادة الاسيتون.كما هو بالصورة رقم (٥).

**صورة رقم (٥) توضح عملية التنظيف الكيميائي باستخدام المذيبات العضوية لإزالة الاتساخات المُلتصقة بالسطح**

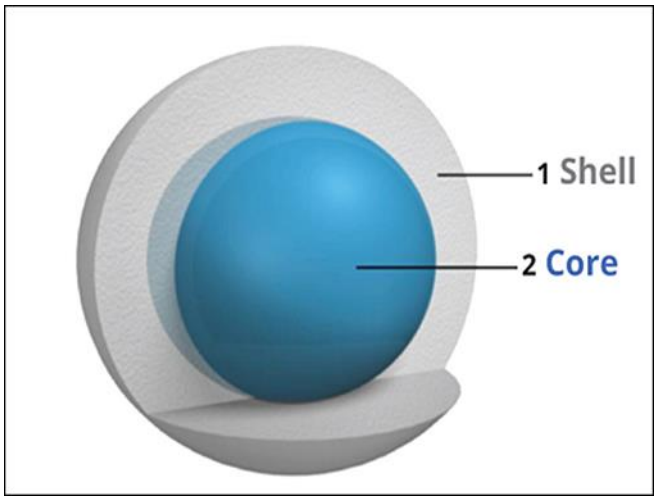
### ٣-٢ التقوية Consolidation

المقصود بالتقوية تلك الإجراءات التي يتم من خلالها تشريب الحجر الأثري ببعض المواد التي يمكن من خلالها ربط الحبيبات المعدنية المكونة له، مما يؤدى إلى إعادة قوة وتماسك البنية الداخلية للأثر الحجري، فضلاً عن إكسابه بعض الخصائص الجديدة التي تزيد من مقاومته لعوامل التلف المختلفة، وتؤدي التقوية الي زيادة قوة الكتلة الحجرية وذلك بتكوين شبكه من الروابط المتقاطعة للمادة المقوية (ربيع ،٢٠١٨)، ويجب أن تكون مادة التقوية مستقرة وتتغلغل إلي عمق كاف وألا تتسبب في تغير لون أو مظهر الحجر ولا تسد مسام الأثر فتمنع التقوية المستقبلية (Ji& I Burs, Petrkotlik, 2007) وتكمن فاعلية مادة التقوية في مدى انتشارها أو تغلغلها بعمق كاف داخل لب الأثر لتحمي الأجزاء التالفة والقابلة للانفصال بسهولة (أبوالحسن،٢٠٠١).

### ٣-٢-١التقوية باستخدام تكنولوجيا النانو Consolidation Using Nano Technology

لقد حققت تكنولوجيا النانو نجاحاً كبيراً في عمليات ترميم وصيانة الآثار الحجرية بمختلف أنواعها.حيث أن المواد النانوية هي تلك المواد التي تتراوح أبعادها من ١:١٠ نانومتر حيث أن النانومتر Nano Meter هو وحدة لقياس أطوال الأشياء الصغيرة (Michael. F, et al,2004)، وتتميز المواد النانوية بأنها تتمتع بمساحة سطح كبير مقارنة بحجمها حيث أن من المعروف كلما صغر حجم المادة زادت نسبة مساحة السطح إلي الحجم، وبالتالي فإن تصغير حجم المواد والوصول بها إلى المقاييس النانوية يصاحبه زيادة في مساحة السطح للمادة وبالتالي زيادة في عدد ذرات المادة الموجودة علي الأسطح الخارجية لها (Kennerh. G. B, Micheal K. B, 2010). كما لعبت تكنولوجيا النانو Nanotechnology، دوراً هاماً وفعالا في تحسين خصائص المواد المستخدمة في تقوية وحماية الكتل الحجرية، سواء مواد التقوية غير العضوية Inorganic Consolidates أو العضوية Organic Consolidates، مما جعل عمليات التقوية والحماية في الآونة الأخيرة، تعتمد بشكل كبير على استخدام المواد النانوية كذلك مادة التقوية والمتمثلة في مادة استخدام Nano lime حيث أن له العديد من المزايا في تقوية الحجر الجيري، وخاصة أن تركيبه الكيميائي هيدروكسيد الكالسيوم يتوافق مع مكونات الحجر الجيري كربونات الكالسيوم، مما يسمح بربط حبيبات الحجر(Costa and Rodrigues, 2012) حيث يعتمد

هذا النوع من التقوية على أنه بعد ترسيب مادة هيدروكسيد الكالسيوم داخل مسام الحجر Stone Pores، وبعد تبخر المذيب Solvent Evaporation تتحول مادة هيدروكسيد الكالسيوم Calcium Hydroxide إلى مادة كربونات الكالسيوم Calcium Carbonate،عن طريق عملية الكربنة Carbonization بواسطة ثاني أكسيد الكربون بالإضافة إلى ذلك فإن الجسيمات النانوية $Ca(OH)_2$ و $SiO_2$ هي من أكثر مواد التقوية النانوية شيوعًا المستخدمة في معالجة الآثار الحجرية (Aldoasri etal.2017 والشكل رقم(٥) يوضح فكرة مادة التقوية (Core Shell) حيث تمثل مادة نانو هيدروكسيد الكالسيوم القشرة الخارجية بينما مادة النانو سيليكا فتمثل اللب الداخلي.




**شكل رقم (٥) يوضح فكرة ال Core Shell، حيث أن (١) بالرسم يمثل مادة Nano Lime، أما رقم (٢) فيمثل Nano Silica**
**عن www.pcimag.com/articles/98223-core-shell-nanoparticle**

**٣-٢-٢الفحوص والتحاليل لتقييم عملية التقوية**

**أولاً تعيين الخصائص الفيزيائية**

يتم دراسة وتعيين الخصائص الفيزيائية للعينات التجريبية قبل وبعد إجراء عملية التقوية والمعالجة، وذلك للتعرف على مدى تأثير مواد التقوية على خصائص الأحجار المعالجة، فضلاً عن المقارنة بين هذه المواد لإختيار أنسبها في عمليات التقوية، وكذلك حتى نتعرف على التغيرات التي تحدث للأحجار بعد استخدام مادة التقوية وخاصة المسامية، فيجب الحفاظ على قدرة الحجر على التنفس وعدم غلق مسام الحجر، وكذلك قياس الكثافة للتعرف على مدى تشبع الحجر بمادة التقوية وكلما زاد تشبع الحجر بمادة التقوية زادت كثافته.

- الكثافة: أظهرت البيانات التي تم الحصول عليها أن العينة المعالجة Nano $SiO_2$ (Core shell) + Nano $Ca(OH)_2$ بتركيز ٥٪ أعطت أقل قيمة كثافة (٢,٣١ جم / سم$^3$)، بينما أعطت عينة الحجر الجيري المعالجة عند ١٠٪ أعلى قيمة (٢,٤٥ جم / سم$^3$). قد يكشف الانخفاض في قيمة الكثافة للعينة المعالجة بنسبة ٥٪ عن مقاومة جيدة ضد عمليات التقادم الحرارية مقارنةً بالعينة المعالجة بنسبة ١٠٪.

- المسامية: لوحظ من البيانات التي تم الحصول عليها أن العينة المعالجة بنسبة ١٠٪ أعطت أقل مسامية (١٥,٥٧٪)، تليها عينة الحجر الجيري المعالجة بنسبة ٥٪ (١٧,٤) والعينة القياسية التي سجلت أعلى قيمة (١٩,٩٪). لوحظ أن المسامية تتناقص مع زيادة التركيز.

- امتصاص الماء: أظهرت نتائج اختبار امتصاص الماء أن العينة المعالجة بتركيز١٠٪ أعطت أقل قيمة (٦,٢٦٪)، تليها العينة المعالجة بتركيز ٥٪ أعطت قيمة (٧,٣٪) والعينة القياسية التي أعطت أعلى قيمة (٨,٤٪). من النتائج السابقة يمكن

القول أن امتصاص الماء انخفض مع تناقص التركيز. وتجدر الإشارة إلى أن انخفاض قيم امتصاص الماء لعينات الحجر الجيري المعالج بنسبة ٥٪ ،١٠٪ قد يرجع إلى وجود مادة النانو سيليكا في مادة التقوية المحضرة، حيث تتميز السيليكا بمقاومة أكبر لامتصاص الماء بعد عمليات التقادم الحرارية.

| العينة | الكثافة جم/سم٣ | المسامية % | امتصاص الماء % |
|---|---|---|---|
| عينة قياسية | ٢,٣٨ | ١٩,٩ | ٨,٤ |
| عينة معالجة بمادة تقوية بتركيز ٥% | ٢,٣١ | ١٧,٤ | ٧,٣ |
| عينة معالجة بمادة تقوية بتركيز ١٠% | ٢,٤٥ | ١٥,٥٧ | ٦,٢٦ |

**جدول رقم(١) يوضح نتائج قياس الخصائص الفيزيائية لعينات الحجر الجيري القياسية (قبل المعالجة) والعينات المعالجة بتركيز ٥%، ١٠% بعد التقادم**

**ثانياً قياس الخصائص الميكانيكية**

يتم دراسة الخصائص الميكانيكية وذلك للتعرف على مقدرة الحجر على مقاومة الأحمال والضغوط الواقعة عليه في الاتجاهات المختلفة قبل أن يتشقق الحجر أو يتحول إلى حبيبات منفصلة.

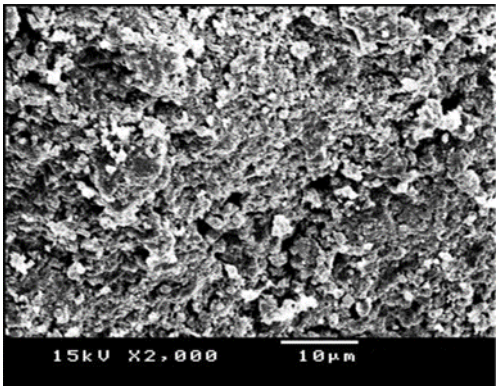
- وقد أظهرت النتائج أن العينات المُعالجة بمادة نانو Nano $Ca(OH)_2$ + Nano $SiO_2$ (Core shell) بتركيز ١٠ % أعطت قيمة أعلى بالنسبة للمقاومة للضغط أعطت قيمة أعلى (٢١,٢٣) من العينة المعالجة عند ٥٪ (١٦,٣). كما أظهرت أقل قيمة مقاومة للضغط (١١,٤) تم الحصول عليها من عينة الحجر الجيري غير المعالجة الدور الإيجابي لمادة النانو المستخدمة في عملية التقوية لعينات الحجر الجيري.

| العينة | مقاومة الضغط / ميجا باسكال |
|---|---|
| عينة قياسية | ١١,٤٠ |
| عينة معالجة بمادة تقوية بتركيز ٥% | ١٦,٢٣ |
| عينة معالجة بمادة تقوية بتركيز ١٠% | ٢١,٢٣ |

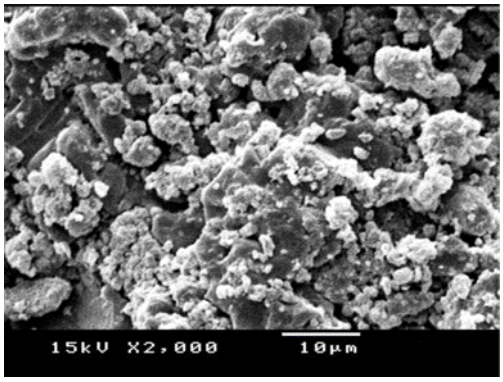
**جدول رقم(٢) يوضح نتائج قياس مقاومة الضغط لأحد العينات القياسية، وكذلك والعينات المعالجة بتركيز ٥%، ١٠% بعد التقادم**

**ثالثاً الفحص بالميكروسكوب الالكتروني الماسح**

بعد فحص عينات حجر معالجة بتركيزات مختلفة من مادة التقوية Nano $Ca(OH)_2$ + Nano $Sio_2$ (Core shell) بتركيزين مختلفين (٥ جم / لتر، ١٠ جم /لتر) حتى يظهر تأثير التركيزات المختلفة من مادة التقوية على عينات الأحجار، وقد أظهرت نتائج الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح أن تركيز ١٠جم/لتر من مادة Nano $Sio_2$ (Core shell) + Nano $Ca(OH)_2$ نجحت في تقوية نسيج الحجر وتغليف البلورات أكثر من التركيز الأقل ٥ جم/لتر. كما هو موضح بالصورتين رقم (٦،٧).




صورة رقم (٦) بالميكروسكوب الالكتروني لعينة حجر جيري بعد تطبيق مادة التقوية تركيز ٥ جم / لتر




صورة رقم (٧) بالميكروسكوب الالكتروني لعينة حجر جيري بعد تطبيق مادة التقوية تركيز ١٠ جم / لتر

**تطبيق مادة التقوية**

بعد الانتهاء من عملية التنظيف لوحظ أن الأثر يحتاج إلى تقوية لتثبيت الألوان وكذلك بعض الأجزاء من الحجر، حيث تم استخدام مادة (Core shell) Nano $Ca(OH)_2$ + Nano $Sio_2$ بتركيز ١٠جم/ لتر لأن معظم النتائج التحليلية تشير إلى أفضليتها وفاعليتها، وقد تم تطبيقها باستخدام الفرشاة كما هو موضح بالصورة رقم (٨).

ب أ

صورة رقم (٨) توضحعملية تقوية الكتلة الحجرية بمادة نانو Nano $Ca(OH)_2$ + Nano $Sio_2$ (Core shell) باستخدام الفرشاة بتركيز ١٠جم/لتر

صورة رقم (٨) توضح الكتلة الحجرية بعد التنظيف وإزالة الاتساخات وظهور الألوان كاللون الأحمر والأصفر والتي طمست بسبب طبقة الاتساخات السوداء الملتصقة بسطح الكتلة الحجرية عن طريق مادة التقوية عالية اللزوجة،ثم التقوية بمادة نانو Nano $Sio_2$ (Core shell + Nano $Ca(OH)_2$)

## النتائج

من خلال الفحوص والتحاليل التي اجريت على بعض العينات من الكتلة الحجرية وكذلك المواد النانومترية المستخدمة في التقوية، فقد تم استخلاص العديد من النتائج التي يمكن مناقشتها كما يلي:

- بعد فحص أحد عينات الحجر بالميكروسكوب المستقطب تبين أن هذا الحجر يصنف على أنه حجر جيري أوليتي Oolitic limestone، حيث يتكون بشكل أساسي من الكالسيت، وكذلك الحفريات وبعض الكائنات الحية الدقيقة والتي تساعد في تلف الحجر.
- بعد تحليل أحد العينات الحجرية باستخدام جهاز (XRD) اتضح أنها تتكون من معدن الكالسيت بصفة أساسية والجبس الملتصق بعينة الحجر نتيجة طبقة الملاط.
- تم أيضاً تحليل لعينة مادة ملونة حمراء باستخدام جهاز (XRD) تبين انها تتكون بشكل أساسي من معدن الهيماتيت،اما العينة الأخرى والتي كانت لمادة ملونة صفراء تبين أنها من معدن الجوثيت.
- بعد تحليل لعينة من مادة البوليمر المستخدمة في التقوية (ترميم سابق) باستخدام جهاز الرامان تبين أنها عبارة عن مادة الباراليويد B72.
- **نتائج الفحص بالميكروسكوب الالكتروني الماسح لمادة التقوية المستخدمة**

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها بعد الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح خشونة السطح وعدم تجانسه للعينة المعالجة بمادة نانو Nano $Ca(OH)_2$ + Nano $SiO_2$ (Core shell) بتركيز ٥ ٪. ومن ناحية أخرى لوحظ نعومة السطح باستخدام صورة مجهرية SEM لعينة الحجر الجيري المعالجة بنسبة ١٠٪. بالإضافة إلى ذلك تغطية مادة التقوية لسطح العينة المعالجة بنسبة ١٠٪ بالإضافة إلي تغليف بللورات الحجر. ومن خلال النتائج السالفة الذكر فقد أثبتت مادة Nano $Ca(OH)_2$ + Nano $SiO_2$ (Core shell) بتركيز ١٠ % فعاليتها في تقوية الحجر الجيري.

## التوصيات

بعد إتمام العديد من الفحوص والتحاليل والدراسة التطبيقية فقد توصل البحث إلى مجموعة من التوصيات هى :

(1) دراسة عوامل التلف المختلفة التى تؤثر على الآثار داخل قاعات العرض وفهم ميكانيكية التلف التى تحدث بها مما يؤدي إلى تطور طرق صيانتها.

(2) الاهتمام بدراسة المواد النانو مترية المختلفة، وكيفية الاستفادة منها في مجال ترميم وصيانة المواد الأثرية بمختلف أنواعها، لما تتمتع به هذه النوعية من المواد من خصائص فيزيائية وميكانيكية متميزة جداً.

(3) استخدام مادة نانو جير مع نانو سيليكا في تقوية الأحجار الجيرية حيث أعطت نتيجة فعالة في تقوية الأحجار، وترابط الحبيبات وعدم غلقها لمسام الأثر.

(4) ضرورة توفير العرض الملائم لعرض الكتل الحجرية من خلال التحكم في الحرارة والرطوبة والتلوث الجوي، وذلك باستخدام أجهزة التكييف الحديثة.

## قائمة المراجع

### أولاً المراجع العربية

1) أحمد رشدي عمر: دراسة استخدام التقنيات الحديثة في العرض المتحفي للحفاظ على المجموعات الأثرية المتحفية تطبيقاً على أحد المتاحف المختارة، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة الفيوم، ٢٠١٨.

(١ahmad rushdi eumra: dirasat aistikhdam altiqniaat alhadithat fi almutahafiz almutahafiz ealaa almajmueat al'athariat almuthafiyat ttbyqaan ealaa 'ahad almatahif , risalat majistir , kuliyat aluathar , jamieat alfayuwm , 2018.

2) إيمان محمد طه: دراسة في ترميم وصيانة الرخام المذهب والمزخرف بأسلوب الحفر والتنزيل في بعض المباني الأثرية الإسلامية تطبيقا على نماذج مختارة، ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة ، قسم الترميم ٢٠١٣.

(٢iiman muhamad tah: dirasat fi tarmim wasianat alrukham walmadhhab walmuzakhraf bi'uslub alhafr waltanqib fi baed almabani al'athariat al'iislamiat , namadhij namadhij mukhtarat , majistir , kuliyat aluathar , jamieat alqahirat , qism altarmim 2013.

3) رجب أبو الحسن: دراسة علاج وصيانة الآثار المستخرجة من الحفائر تطبيقا على منطقة حفائر تل حسن داوود عصر ما قبل الأسرات، ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة، ٢٠٠١.

(٣dirasat wasianat aluathar almustakhrajat min alhafayir tatbiqan ealaa mintaqat athar , majistir , kuliyat aluathar , jamieat alqahirat , 2001.

4) سمر ربيع : دراسة مظاهر تلف وعلاج وصيانة الأبواب الوهمية الحجرية في بعض مقابر الدولة القديمة بسقارة تطبيقاً على احد النماذج المختارة، رسالة ماجستير، قسم الترميم، كلية الآثار، جامعة الفيوم، ٢٠١٨.

(٤samar rabiea: dirasat mazahir talafin waeilaj wasianat al'abwab alwahmiat alhajariat fi baed maqabir aldawlat alqadimat , risalat majistir , qism altarmim , kuliyat aluathar , jamieat alfayuwm , 2018.

5) محمد كمال إبراهيم: تل أبو صيفي، دراسة أثرية وتاريخية، رسالة ماجستير، المعهد العالي لحضارات الشرق الأدنى القديم، جامعة الزقازيق، ٢٠٠١.

(٥muhamad kamal 'iibrahim: tal 'abu sayfi dirasat 'athariat watarikhiat , risalat majistir , almaehad aleali lihadarat alsharq al'adnaa alqadim , jamieat alzaqaziq , 2001.

### ثانياً المراجع الأجنبية :

6) Ashurst, J.: Cleaning and Surface Repair , In: Conservation of Historic Stone Buildings and monuments, National Press, Washington D.C , 1982.

7) M.A. Aldoasri, S.S. Darwish, M.A. Adam, N.A. Elmarzugi, S.M. Ahmed. Sustainability, 9, 2002, 1-15 (2017).

8) Costa, D., Rodrigues, J. D., Consolidation of a porous limestone with nanolime, 12th Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone. New York (USA), November 2012.

9) Gardinar (a) : The Military Road Between Egypt And Palestine,JEA 6,1920.

10) Gharib.A, et al Effect Titanium Dioxide / Paraloid B.72 Nano composite Coating on Protection of Treated Cu-Zn Archaeological Alloys, International Journal of Archaeology,2019.

11) jean Delivre: Laser cleaning: is there specific laser ethetics? Journal of cultural Heritage, 2003.

12)Ji& I Burs, Petrkotlik: consolidation of stone by mixture of alkoxy silane and acrylic polymer, studies in conservation vol. 41, No2, 2007, p.109.

13)Kennerh. G. B, Micheal K. B: engineering materials.: properties and selection. Pearson, 2010.
14)Pedro Gaspar Charlotte Hubbard , David MC_Phail Alan Cummings.op.cit.2003.
15)Michael. F. A. and Paulo. J.F. and Daniel. L. S.: Nano materiales: Nano Technologies and Design. Elsevier, 2004.
16) Siedle , H. : Results of Laser Cleaning Encrusted Oolithic Limestone of Angel Sculptures From The cogne Cathedral , In : 9th International and Congress On deterioration Conservation of Stone, Venice , 2000.

**ثالثاً شبكة المعلومات (الانترنت)**

www.pcimag.com/articles/98223-core-shell-nanoparticle17)

[1] النص من ترجمة : د. محمود إبراهيم، مدرس بقسم الآثار المصرية، كلية الآثار، جامعة جنوب الوادي.