تقييم استخدام نانوهيدروكسيد الكالسيوم في تقوية الالباستر المصري بمعابد الكرنك بالأقصر – مصر

Evaluation the Calcium hydroxide Nanoparticles for the Consolidation of Alabaster on Karnak Temples Luxor – Egypt

أ.م.د/ احمد محمد سلام حسن
أستاذ مشارك جامعة اسوان - كلية الاثار - قسم ترميم الاثار
Assist. Prof. Dr. Ahmed Mohamed Sallam Hassan
Associate Professor, Aswan University - Faculty of Archeology - Department of Antiquities Restoration
dr_ahmedsalam@aswu.edu.eg
م.د/ مني محمود السيد خليل
مدرس جامعة اسوان
Dr. Mona Mahmoud EL Sayed Khalil
Lecturer at Aswan University
khalilmona74@yahoo.com

-الملخص:
يواجه الالباستر المصري العديد من التحديات البيئية التي من المهدادت الخطرة علي الاثار التي صنعت من الالباستر المصري حيث تعددت استخدامات الالباستر المصري منذ عصور الأسرات حتي الاسرة التاسعة عشر حيث استخدم الالباستر سواء في الاثار المنقولة مثل صناعة التماثيل الصغيرة والادوات المنزلية او في المباني حيث استخدم في تبطين وتكسية الغرف والممرات كعنصر من عناصر المبني الاثري. الالباستر المصري من الصخور الرسوبية ذات التكوين الكيمائي والتكوين المعدني الاساسي للألباستر المصري من معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم $(CaCO_3)$ المكون الرئيسي واكاسيد الحديد كشوائب ثانوية. استخدم الالباستر المصري علي نطاق واسع في معابد الكرنك بالأقصر حيث وجد في المتحف المفتوح في الكرنك في مقصورة امنحتب الاول وتحوتمس الاول والرابع بالدولة الحديثة. تقدم الدراسة اهم اليات التلف الخارجية المؤثرة علي الالباستر المصري بمعابد الكرنك والمظاهر الناتجة تمهيداً لعمليات الحماية والتقوية من المهددات البيئية التي تعرض لها الالباستر المصري ولذلك طبقت مادة نانوهيدروكسيد الكالسيوم في تقوية الالباستر المصري لتوافقها مع التركيب المعدني للالباستر المصري والتي حسنت من خاصية الانضغاط الميكانيكي بعد التقوية للالباستر المصري بمعابد الكرنك بالاقصر.

-الكلمات الافتتاحية:
(الالباستر المصري – التصوير المقطعي - التحليل – الفحص- التقوية).

Abstract
Alabaster is an ornamental stone that was widely used in ancient Egypt and it had a lot of deterioration factors. The present Study deals with the type of alabaster that located at the quarries, and their durability and geotechnical characteristics. These characteristics were examined before and after treatment using analytical methods. The mechanical property (the compressive strength) were carried out on samples from quarries. The study was also aimed to evaluate the efficiency of the Calcium hydroxide nanoparticles dispersed in ethanol at

concentration of 10 g/L. This study Presents a novel technique like the compute X-ray tomography (CT scan) as a non-destructive technique to capture the morphology of the alabaster internal structure, as well as the stone's grain texture and the surface features through 3D images and videos. Additionally, this research examines the ability of a Calcium hydroxide nanoparticles to consolidate the alabaster, which is also a novel approach that this study is introducing. It is worth noting that the alabaster at the Karnak temples has suffered harsh weather conditions such as groundwater and high temperature, which caused weakness of mechanical property (compressive strength). This study presents a comprehensive Morphological and spectroscopic study to confirm the efficiency of the nanomaterial in the consolidation of the alabaster structures. This study used cross-examination method using CT scan, SEM, and XRF analysis before and after consolidation. The final result shows that the Calcium hydroxide nanoparticles enhanced significantly the mechanical properties of the alabaster.

- Key Words:
(Alabaster – analysis –CT scan - investigation - consolidation)

اولا:المقدمة:

الالباستر المصري من أحجار الزينة التي كانت تستخدم على نطاق واسع في مصر القديمة والتي تعرضت للعديد من عمليات التدهور. واستخدم فى عصور ملوك الفراعنة الألباستر فى صناعة الأوانى التى تقدم فيها المشروبات قربانا للآلهة فى المعابد القديمة استخدم الألباستر فى الحياة اليومية بالمنازل كانت تصنع منه أوانى العطور والزيوت تستقر صناعة الألباستر فى مدينة القرنة منذ عشرات السنين بمنطقة جبل القرنة ومداخل مقابر وادى الملوك والملكات ومعبد حتشبسوت بغربى الاقصر. من ناحية أخري التغيرات الفيزيائية والميكانيكية التي ينشأ عنها تغيرات كمية وكيفية لمكونات الالباستر المصري مما يتطلب استخدام تقنية علمية حديثة للفحص والتحليل. لذا استعانت الدراسة من خلال الفحوص البنائية لدراسة الشكل المفورلوجي بواسطة الميكروسكوب الاليكتروني الماسح (SEM) والميكروسكوب الاليكتروني النافذ (TEM) والتصوير المقطعي ثلاثي الابعاد ٣D CT Scan تقنية حديثة لدراسة البنية الداخلية والخارجية للالباستر المصري ومن خلال التحاليل العنصرية كتفلور الاشعة السينية (XRF) أو تحليل المركبات بطريقة حيود الاشعة السينية (XRD) والخواص الميكانيكية قبل وبعد التقوية بتطبيق مادة نانوهيدروكسيد الكالسيوم في عمليات التقوية والحماية. تم تجهيز العينات لفحصها وتحليلها ولاجراء اختبارات الانضغاط الميكانيكي.

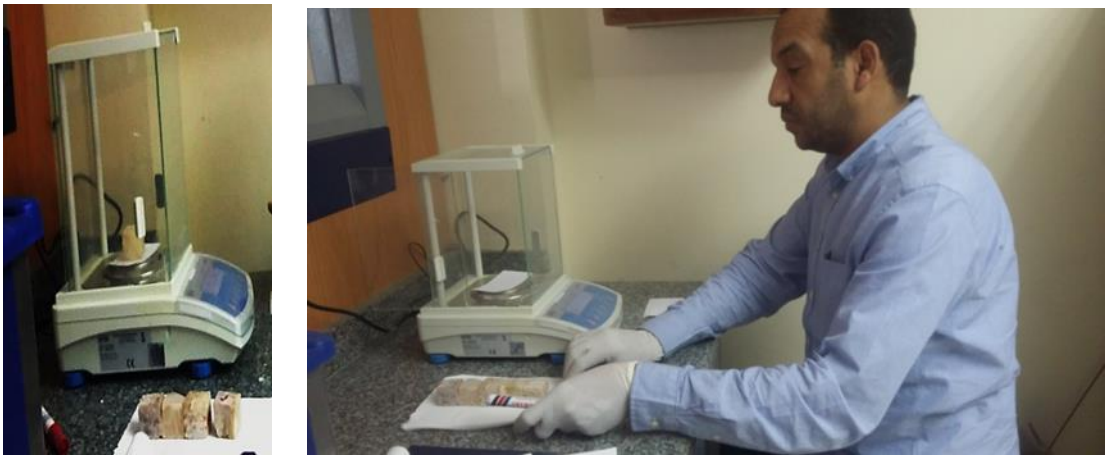
ثانيا: اهمية و منهجية البحث:

-البحث يهدف الي دراسة الالباستر المصري الموجود بمعابد الكرنك بالأقصر ومدي تأثره بالتغيرات المناخية ورصد أهم اليات التلف المختلفة وتأثيرها علي خاصية الانضغاط الميكانيكي والتي ضعفت بتأثير المهددات البيئية المحيطة. كما هدفت الدراسة إلى تقييم كفاءة نانوهيدروكسيد الكالسيوم في تقوية الالباستر المصري.

من خلال البحث لدراسة الالباستر المصري لتلك الموجودة بمعابد الكرنك بالأقصر وتأثرها بالتغيرات المناخية واليات التلف المختلفة وتأثيرها علي الخواص الميكانيكية ومنها خاصية الانضغاط الميكانيكي والتي ضعفت بتأثير المهددات البيئية

المحيطة. من خلال تفلور الاشعة السينية XRF ومن خلال الميكروسكوب الاليكتروني الماسح SEM وبطريقة الاشعة المقطعية CT scan والاخيرة من الطرق المتقدمة لتقييم التركيب الداخلي والخارجي للالباستر المصري.

تمت عملية التقييم لكفاءة نانوهيدروكسيد الكالسيوم من أجل التوصية بـعلاج وقائي لتقوية والحافظ للالباستر من حيث التحسين من خاصية الانضغاط الميكانيكي للالباستر المصري بعد التقوية ولمقاومة التحديات البيئية في معابد الكرنك بالاقصر. (صورة رقم ١ ,٢).



صورة رقم (١،٢) توضح اعداد العينات للفحص والتحليل

وصف واشكال الالباستر المصري Egyptian Alabaster Description

. يصنف الالباستر المصري الذي يتكون من معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) كمكون رئيسي بالإضافة إلي الاكاسيد الحديدية التي توجد كشوائب في ذلك الصخر من الصخور الرسوبية الكيميائية النشأة حيث يعمل ثاني أكسيد الكربون المختلط بالمياه الجوفية المتواجدة بالأحجار الجيرية Limestone ادي الي إذابة الأحجار الجيرية اذابة جزئيية ومع إعادة ترسيب الكالسيت عند درجة حرارة ما بين ١٠٠م° إلي ١٧٠م° وتم ترسيب الالباستر[1] ويعد وادي سنور بمحافظة بني سويف ممن افضل محاجر الالباستر يليه وادي الاسيوطي[2]

اشكال الالباستر : يوجد الالباستر المصري المستخدم في مصر القديمة في ثلاث أشكال هي:

١- النوع المعتم Opaque ذو حبيبات دقيقة (اقل من ١مم) واللون الأبيض الحليبي ويتميز بوجود طبقات رقيقة جدا .

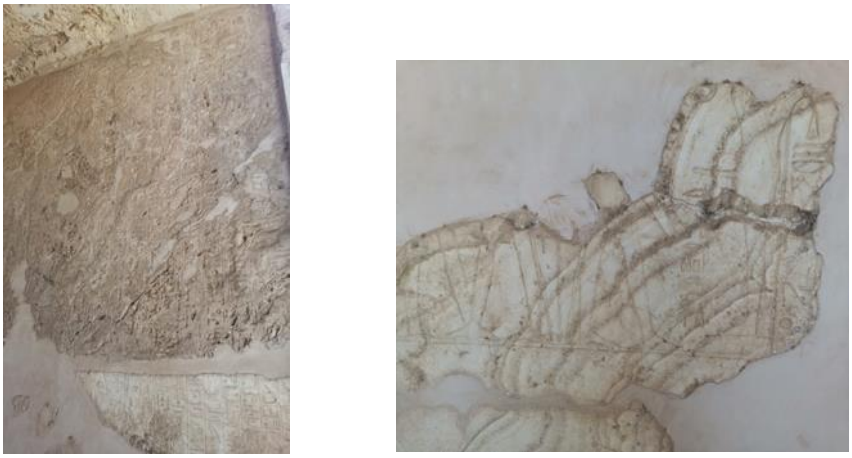
٢- النوع النصف شفاف Translucent ويختلف عن الاول من حيث الحبيبات الخشنة (حجم البلورات من ١مم إلي عدة سم) ويتميز هذا النوع بأنه ذو شكل الالياف وظلال من اللون البني الباهت إلي البرتقالي البني .

٣- النوع الثالث وسطاً بين النوع الاول والثاني يتميز بأنه ذو حزم [3]

استخدامات الألباستر المصري:

واستخدم علي نطاق واسع في الاثار المنقولة مثل صناعة التماثيل الصغيرة والادوات المنزلية وفي المقاصير الصغيرة بالدولة الحديثة حيث أستخدم في أنحاء معبد الكرنك (مقاصير أمنحوتب الأول وتحتمس الأول وتحتمس الرابع في المتحف المفتوح في الكرنك) واستخدم في تبطين دهليز مؤدي الي البحيرة المقدسة بالكرنك (الاسرة الثامنة عشرة) استخدم في معبد سنوسرت الاول بالكرنك (الاسرة الثانية عشرة) استخدم في هياكل معابد امنوفيس الاول وامنوفيس الثاني وتحتمس

الرابع علي التوالي وكلها بالكرنك (الاسرة الثامنة عشرة) و استخدم في تبطين الجزء الاوسط من معبد تيتي الجنائزي بسقارة (الاسرة السادسة) استخدم في تبطين دهليز وفناء كبير وممر بمعبد اوناس الجنائزي بسقارة (الاسرة الخامسة) غرفة بمعبد الوادي الخاص بالملك خفرع (الاسرة الرابعة) وفي معبده الجنائزي كما يستدل من الكتل الموجوده حوله غرفة بهرم سقارة المدرج (الاسرة الثالثة)[4] انظر صورة (٤،٣).



صورة(٣- ا,ب) تبين مقصورة امنحوتب الاول بالمتحف المفتوح بمعابد الكرنك - الأقصر اعيد بنائها عام ١٩٤٧م

صورة(٤) تبين مقصورة الملك تحتمس الرابع ، المتحف المفتوح بمعابد الكرنك - الأقصر

ثالثا : اليات التلف المؤثرة علي الالباستر المصري:

تتعرض المباني الأثرية بصفة عامة والحجرية بصفة خاصة للعديد من عوامل التلف المستمرة و المختلفة ، وذلك نتيجة لعدة عوامل قد تكون إنشائية أومعمارية أو بيئية أو فيزيائية أو كيميائية (فيزيوكيميائية) أو ميكروبيولوجية أوبيولوجية أو بشرية ، وتتحد كل هذه العوامل مكونة ميكانيكية تلف معقدة تؤدي إلي تلف المباني الأثرية بشكل مباشر او غير مباشر، وقد ينتج عنها التدمير الكامل او الجزئي للأثر علي المدي البعيد ، ويعتمد ذلك على موقع هذه المباني والمواد المستخدمة في عملية البناء و خواصها الكيميائية و الفيزيائية .

- ويتراوح مقدار التلف ما بين التلف الحبيبي إلي الانفصال في صورة طبقات ، وأحيانا يصل إلي سقوط بعض الأجزاء.

1- عوامل التلف الفيزيوكيميائية

Physio – chemical deterioration factor

يعاني الالباستر المصري في معابد الكرنك بالاقصر من العديد من مظاهر التلف المرتبطة بآليات التجوية المعقدة فهناك العديد من الأسباب الطبيعية الأنثروبولوجية التي تواجه الالباستر حيث تتعرض لآلية التجوية الداخلية Endogenous Weathering الناشئة عن التجوية الفيزيوكيميائية (التذبذب في درجات الحرارة والرطوبة والضوء والرياح) والتي ينتج عنها تغييرات في الأبعاد Cause Dimensional Fluctuation راجع ذلك للتركيب المعدني لنسيج الصخر وخواصه كل ذلك له معامل تمدد وانكماش مميز له وذلك تغير في أبعاد مسطحات المواد في الاتجاهات الثلاثة X, Y, Z . ولا تعتبر آلية التجوية الفيزيائية فردية ولكنها متحدة مع آلية التجوية الكيميائية من أهمها الملوثات الجوية وما يصاحب من هذه الآلية من تغييرات حجميه Volumetric Change مما ينشأ عن ذلك ضغوط ميكانيكية داخل النسيج الصخري[5] بينما آلية التلف الأنثروبولوجية فهي مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالتلف البشري كاعمال التخريب والتشويه وتشتمل آليات التجوية على العديد من عوامل التلف الخارجية المرتبطة بدورات الحرارة والرطوبة والرياح والأمطار Exogenous Deterioration Factors . يتكون الالباستر من معدن الكالسيت والذي تبلغ صلادته ٣ بمقياس موه لذا فهو من الصخور متوسط المقاومة لاجهادات الضغط و يعتبر ذلك من الأسباب التي أدت الي تعرض الحجر للشروخ والتشققات نتيجة الضغوط الواقعة عليه وتتعرض أسطح الالباستر المصري بمعابد الكرنك لأشعة الشمس تعرضاً مباشراً حيث تصل درجات الحرارة صيفاً حوالي ٥٠٥م وتنخفض درجات الحرارة شتاءاً لأقل من 55م قد تصل إلى ٢٥م حيث تقع الاقصر ضمن المناطق الجافة حيث تتأثر بالتغير الشديد في درجة الحرارة يومياً (الليل والنهار) وفصلياً ومناخياً ويصل معدل الفارق الكبير بين الحرارة العظمى والصغرى بمدينة الاقصر حيث يتراوح الفارق بحوالي ٢٨,٢ ْ م وينشأ عن تلك التغيرات للأحجار صدمة حرارية, كما تسبب تفاوت درجات الحرارة لحدوث تفاعلات كيميائية تؤدي للتلف الميكانيكي نتيجة لتبلر الأملاح كما يلعب المناخ الحار والجاف وهو المميز في الاقصر دوراً هاماً في زيادة آلية التجوية مما يعجل في انفصال الحبيبات وظهور شروخ ناشئة عن اختلاف معامل التمدد والانكماش للتركيب المعدني . ويوجد نوعان من التمدد هما : التمدد الحراري، والتمدد الناشئ عن الرطوبة . ويكون لجميع الصخور معاملات تمدد وانكماش فالتمدد الحراري مرتبط بالنسيج الصخري والتركيب المعدني ويؤثر الماء داخل المسام على قيم التمدد الحراري . كما تتسبب التغيرات الدورية في درجات الحرارة في تولد ضغوط لتمدد الماء حوالي ٢٦ Mpa كما أن الضغط الناشئ عن التبلر داخل المسام الصغيرة للجبس يصل إلى ١٠٠ Mpa بينما يصل في الإنهدريت إلى ٢٠ Mpa وفي الهاليت إلى ٢٠ Mpa مما ينشأ عن ذلك شروخ وتشققات وانفصال.كما يؤدي ارتفاع درجة الحرارة لتحول الجبس للانهدريت بذلك يغير ٣٢ % من حجمه وحوالي ١٦ % من وزنه يفقد ماء التبلمر والجبس له معامل تمدد حراري أكبر خمس مرات من الكالسيت كما يحدث تمدد للكالسيت بمعدل ٢ % موازياً للمحور وبالتبريد يتمكن بمعدل ٠,٥ % عمودياً على المحور لذلك تحدث انفصال حبيبي وشروخ رأسية وتعمل الشوائب المعدنية على زيادة فاعلية تلك الشروخ وتحدث إجهادات ميكانيكية مصدرها التفاعل ما بين بلورات الكالسيت نتيجة للتمدد الحراري وحيث أن لبلورات الكالسيت معدل تمدد عالي بالإضافة لعدم تجانس الخصائص البلورية خصوصاً في اتجاه المحور البلوري (C) يصاحب ذلك زيادة في المسام مع حدوث تغير في الشكل نتيجة للتمدد الحراري ، كما تعمل زيادة درجات الحرارة على تحول معدن الجبس للانهدريت نتيجة لفقد الماء.

وينشأ عن التغير في درجات الحرارة والرطوبة النسبية نوعين من الشروخ الأولى : هي الشروخ الدقيقة Premature Cracks ، والثانية : الشروخ الميكانيكية Mechanical Cracks Or Age Cracks وهو أخطر من النوع الأول

كما وجد ان الاحجار الجيرية الغير صلده والمعرضه بطريقة مباشره لتأثير عوامل التلف تفقد حوالي ٧ملليجرامات من مكوناتها المعدنية كل قرن من الزمان بينما تبلغ نسبة الفقد حوالي ٠,٢٠ملليجرام / قرن في الاحجار الجيرية الصلدة. كما أن الرياح تعلب دوراً في تكوين الظروف الجوية للحرارة والرطوبة المحيطة بمعابد الكرنك فبزيادة سرعة الرياح تسبب التآكل النحرى Alveolar Weathering والتآكل الحفري وتعمل على جعل أسطح الالباستر جاف مما يعجل من تكوين الأملاح كما تلعب الرطوبة النسبية بمصادرها المختلفة سواء الناتجة عن المياه الأرضية أو الأمطار أو التكثيف أو لنشاط الكائنات الحية الدقيقة آلية التلف الفيزيائية وما ينشأ عنها من ضغوط و إجهادات على التركيب المعدني أو من خلال آلية التلف الكيميائية وما ينتج عنها من ذوبان للأملاح وما ينشأ عن ذلك لتشويه وضعف الالباستر ويمكن تصنيف الرطوبة بناء على مصادرها فمنها ناشئ عن تسرب الماء من خلال الرطوبة الناتجة عن ندى الهواء الدافئ والذي يتعرض لانخفاض لدرجات الحرارة ويتحول لقطرات ماء على الجدران أو من تسرب الماء عبر الثقوب المتواجدة بالأسقف أو الجدران كما أن الحد الأقصى المسموح به في الحوائط ٣ : ٥ % وعندما تصل لأكثر من ٢٠% تكون الحوائط في هذه الحالة شديدة الرطوبة (11) (10) (9) (8) (7) (6). أنظر صورة (٦،٥)

صور(٦،٥) تبين الألباستر المصري ذو التجاويف والفجوات والتغير في سطح الالباستر مقصورة تحتمس الرابع بمعابد الكرنك بالأقصر.

2- مظاهر التلف:

تشتمل علي فقد عناصر ومواد الحجر وتشويه السطح وحدوث تضاريس فيه Relief ارتفاع وانخفاضات وكسور سطحية ووجود فجوات وتجاويف مع حدوث تلف لبعض المكونات المعدنية للحجر في أماكن محددة دون الأماكن الأخرى ، وتترك سطوح مخرمة مع الخشونة نتيجة لفقد اجزاء صغيرة ودقيقة من سطح الحجر. (11). بعد التعرف علي اليات التلف وتأثيرها علي الالباستر لا بد من إجراء الدراسات التجريبية لتقييم سلوك مواد التقوية وذلك لتحسين خصائصها ومدي استجابة العينات لعملية التقوية علي أن تتوافر فيها الشروط الاتية:

ويتوقف نجاح عملية التقوية علي عوامل عدة أهمها :

- ملائمة مواد التقوية للتراكيب المعدنية والخصائص الفيزيائية المكونة للأثر.
- مراعاة الظروف البيئية المحيطة بالأثر.
- التغلغل العالي والثبات للظروف الجوية والبيئية المحيطة بالأثر.
- ظروف التشغيل الملائمة للتطبيق.
- لا تحدث أي تغيرات لونية أو تترك أثار سلبية علي الأسطح المعالجة .

رابعاً : مواد وطرق الدراسة **: Materials and Methods**

تعد عملية التقوية من العمليات الهامه والتي من خلالها يمكن تحسين خاصية الانضغاط الميكانيكية للمواد الاثرية بصفه عامه والاثار الحجرية بصفه خاصة ، حيث تعرضت هذه المواد الاثرية الي تأثيرات بيئية مختلفة أدت الي ضعف خواصها الميكانيكية وضعف الترابط بين الحبيبات المعدنية داخل الحجر ، ومن هنا يأتي دور مواد التقوية في تحسين الخواص الميكانيكية ومنها خاصية الانضغاط الميكانيكي للحجر عن طريق احلال مادة التقوية مكان ما فقد من الحجر او لربط الحبيبات المعدنية بعضها ببعض وبذلك تجعلها اكثر ثباتاً للتأثيرات البيئية.

استخدام نانوهيدروكسيد الكالسيوم في تقوية الالباستر المصري

Ca(OH)2 nanoparticles for the consolidation

والاسم التجاري Nanorestore plus وتم استيرادة من ايطاليا . حبيبات النانوهيدروكسيد الكالسيوم المذابة في الايثانول بتركيز ١٠% .الهدف من استخدام Ca(OH)2 هو تحسين الخواص الميكانيكية للالباستر المصري حيث يتحول هيدروكسيد الكالسيوم لكربونات الكالسيوم وهو ما يعرف بعملية الكربنة والتي تتم من اسبوعين الي ثلاثة اسابيع طبقاً للظروف الجوية وللرطوبة وتتم التقوية بالفرشاة بعد تغطية الجزء المعالج من الالباستر المصري بالورق الياباني وتغليف الاسطح بعد التقوية بالبولي ايثلين لتقليل معدل البخر. اظهرت النتائج تحسن في الخواص الميكانيكية للالباستر بنسبة كبيرة.(14) (13) (12)

تجهيز العينة**Preparation samples**

بعد تقطيع العينة الي مكعبات ٣*٣* يتم تجفيفها عند درجة حرارة ١٠٨ درجة مئوية ولمدة ٢٤ ساعة.

دراسة خاصية الانضغاط الميكانيكيـة قبل التقوية The mechanical property (the compressive strength)

الهدف من دراسة الخواص الميكانيكية ومنها خاصية الانضغاط الميكانيكي قبل وبعد التقوية تقييم مادة التقوية وبدراسة الانضغاط الميكانيكي للالباستر المصري أظهرت النتائج ان خاصية الانضغاط الميكانيكي قبل التقوية هي :336.7 (MPa)) وتمت دراسة خاصية الانضغاط الميكانيكي بواسطة The Compression test was using a Universal Testing Machine بمعمل كلية الهندسة بجامعة جنوب الوادي.

The Compression test was done using a Universal Testing Machine at the Central Laboratory, South Valley University, Qena, Egypt.

الفحوص البنائية:

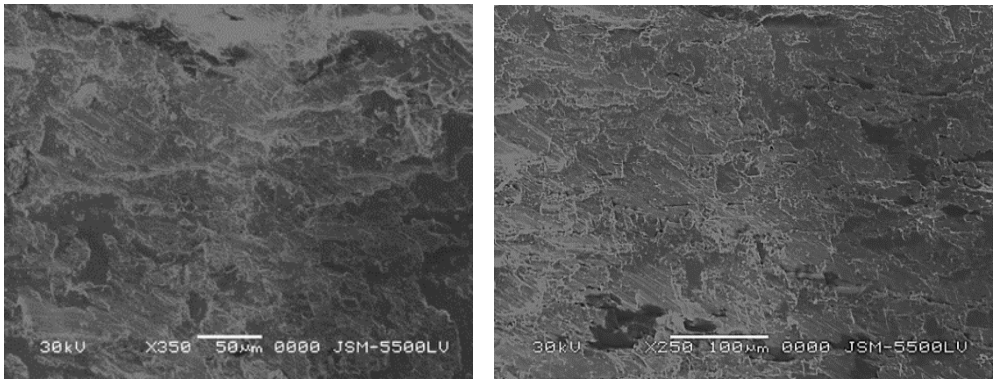
الفحص بواسطة الميكروسكوب الاليكتروني الماسح SEM ـ

وتمت دراسة الفحوص البنائية بالمعمل المركزي الهندسة بجامعة جنوب الوادي

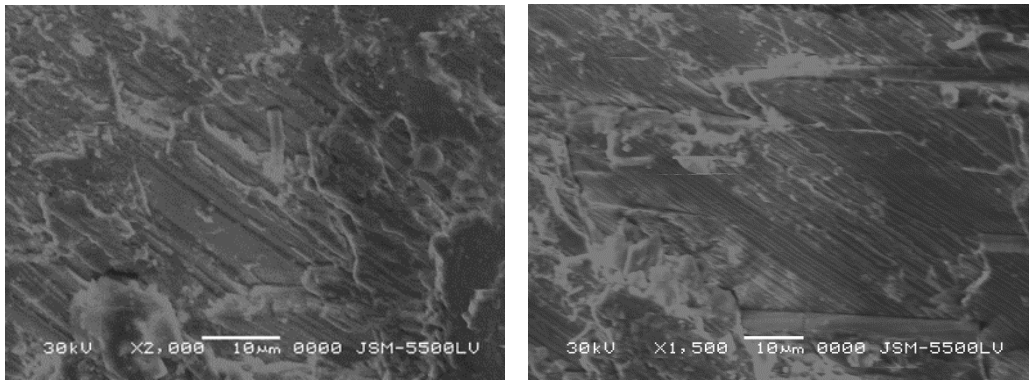
SEM (JEOL/JSM-5500LV). The Acel. Volt. was 15 kV. Central Laboratory, South Valley University, Qena, Egypt.

من خلال الدراسة بالميكروسكوب الاليكتروني الماسح تبين زيادة في حجم مسام الحجر و تبين تلف في بلورات الكالسيت و حدوث شروخ وتشققات بسبب ضغط التبلور الناتج عن تبلور الجبس داخل المسام . ويظهر أيضا بالصور تدهور وتآكل

في بلورت الكالسيت و حدوث شروخ وتشققات دقيقة في التركيب الداخلي للحبيبات المعدنية للكالسيت بالإضافة للتحول الجزئي لبلورات الكالسيت إلي بلورات الجبس و زيادة في مسامية الحجر وانتشار الفراغات بين البلورات . صور(١٠:٧).



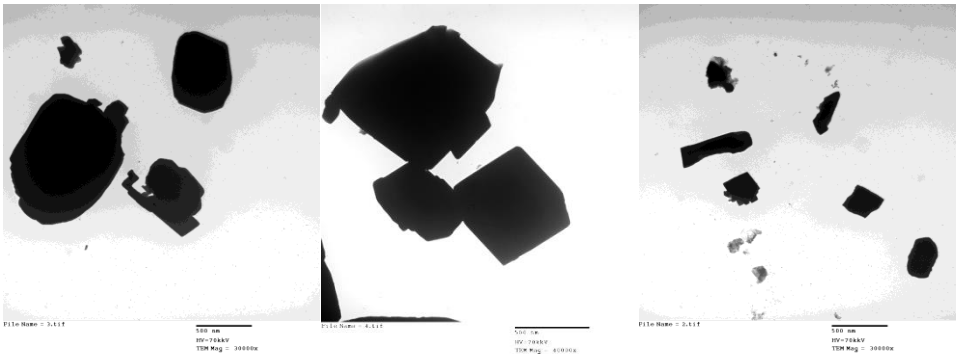
صور (٨،٧) عينة من الالباستر المصري تحت الميكروسكوب الاليكتروني الماسح SEM بتكبير ,X250, X350 تبين فقد في بلورات الكالسيت بصور مختلفة نتيجة للتجوية



صور (١٠،٩) عينة من الالباستر المصري تحت الميكروسكوب الاليكتروني الماسح SEM بتكبيرX1500, X2000 تبين الشكل المعدني للالبستر المصري

الفحص بواسطة الميكروسكوب الاليكتروني النافذ TEM

تمت الاستعانة بالميكروسكوب النافذ لدراسة الشكل البلوري لنانو هيدروكسيد الكالسوم بقوي تكبير مختلفة وتمت الدراسة البنائية الداخلية بالمعمل المركزي بجامعة جنوب الوادي و استخدم فى هذه الدراسة جهاز ماركة JEOL1010 ويمتاز بقوة تكبير عالية تصل إلى مليون مره تقريبا ويستخدم في الدراسة والفحص للشكل المورفولوجي لحجم وشكل ذرات المادة Shape and size وللروابط و للعناصر Elements and compounds صورة (١١) توضح الشكل البلوري لنانو هيدروكسيد الكالسوم (Nanorestore plus) تم فحصها قبل تطبيقها علي الالباستر المصري.



صورة (١١) عينة نانو هيدروكسيد المالسيوم تحت الميكروسكوب الاليكتروني النافذ TEM بتكبير X3000, X30000, X4000

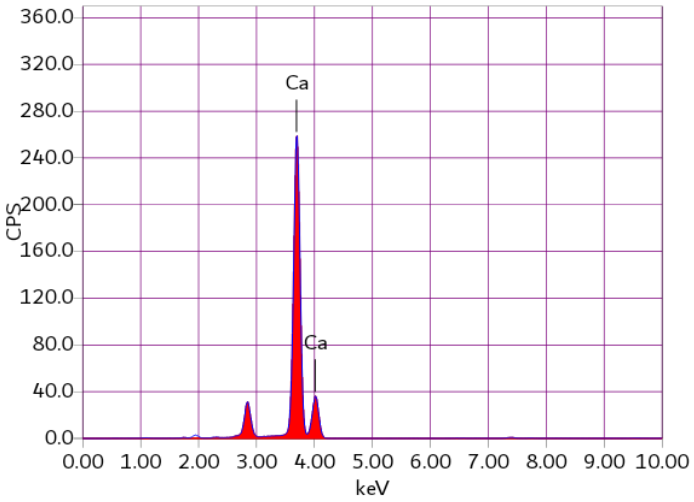
الفحص بطريقة التصوير المقطعي CT

يتكون نظام التصوير المقطعي المحوسب من مصدر أشعة سينية مزود بمحرك يدور حول فتحة دائرية. تعتمد جميع صور الأشعة السينية على امتصاص الأشعة السينية أثناء مرورها عبر الأجزاء المختلفة من العينة. يتم التقاط المعلومات بواسطة أجهزة الكشف وإرسالها إلى جهاز الكمبيوتر لإعادة بناء جميع الزوايا التي تم جمعها خلال دورة كاملة. تم فحص العينات وفحصها باستخدام الأشعة المقطعية الدقيقة.تم إجراء الفحص من خلال CT لعينات من الالباستر المصري في معهد كارولينسكا ، ستوكهولم ، السويد.USA، (Quantum FX, PerkinElmer, Waltham,MA
كيلو فولت تم إجراء عمليات المسح تحت جهد الأنبوب ٩٠ µ 160 A تيار الأنبوب، ٢٠ مم وقت المسح ٤,٥ دقيقة.طبقاً لمعرفتنا لأول مرة يتم الفحص بطريقة التصوير المقطعي CT لتقييم مادة النانوهيدروكسيد الكالسيوم في تقوية الالباستر.

طرق التحليل:

التحليل بواسطة تفلور الاشعة السينية XRF

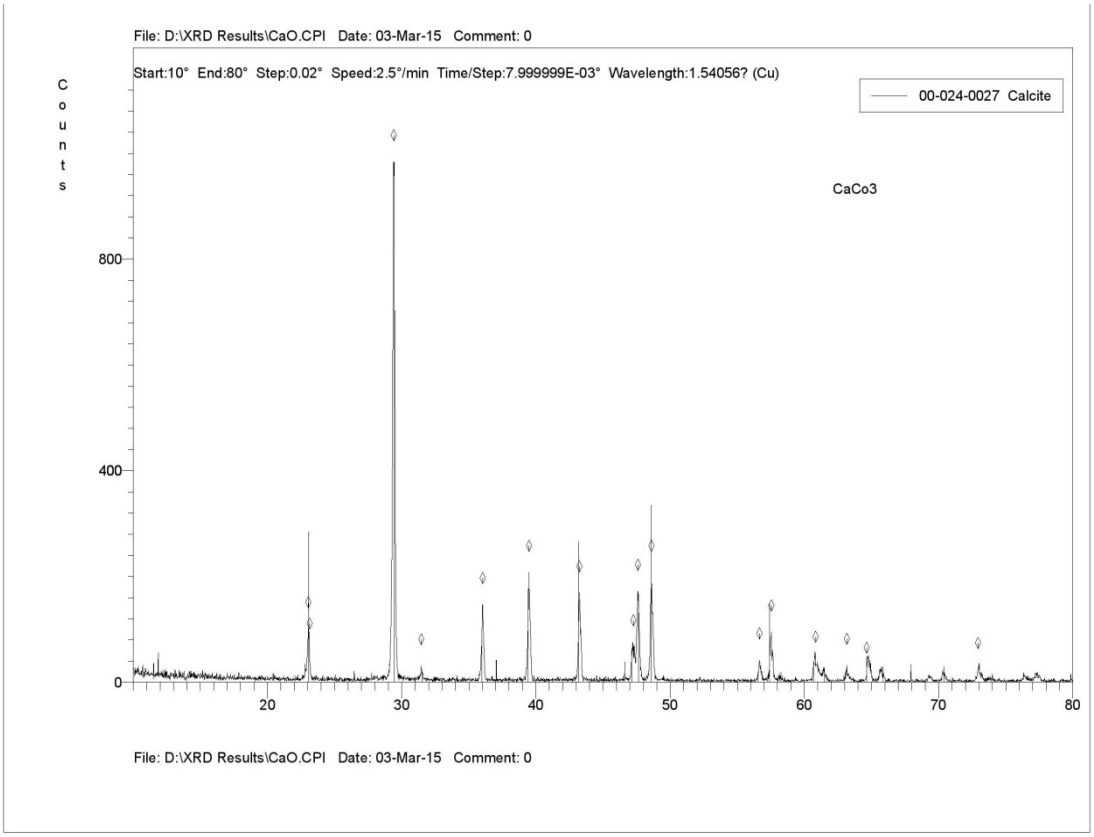
تمت دراسة التركيب المعدني للالباستر المصري من خلال تفلور الاشعة السينية بالمعمل المركزي -جامعة جنوب الوادي ويمدنا بالتركيب المعدني في صورة عناصر ويوضح التحليل بتفلور الاشعة السينية حيث للالباستر المصري من معدن الكالسيت كعنصر معدني اساسي ورئيسي وبذلك يوضح أن الالباستر المصري يتكون من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) . شكل (١).



شكل (١) تحليل تفلور الاشعة السينية XRF ويوضح العنصر المعدني للالباستر من معدن الكالسيت.

التحليل بواسطة حيود الاشعة السينية XRD

وضح التركيب المعدني للالباستر المصري من خلال حيود الاشعة السينية أن الالباستر المصري يتكون من معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) كمكون اساسي ورئيسي مما يؤكد من نتائج تحليل تفلور الاشعة السينية .تم التحليل بالمعمل المركزي بجامعة جنوب الوادي انظر شكل (٢)



شكل (٢) تحليل حيود الاشعة السينية XRD ويوضح التركيب المعدني للالباستر من كربونات الكالسيوم

3- النتائج: Results

نتائج الخواص الميكانيكيـة بعد التقوية Mechanical properties

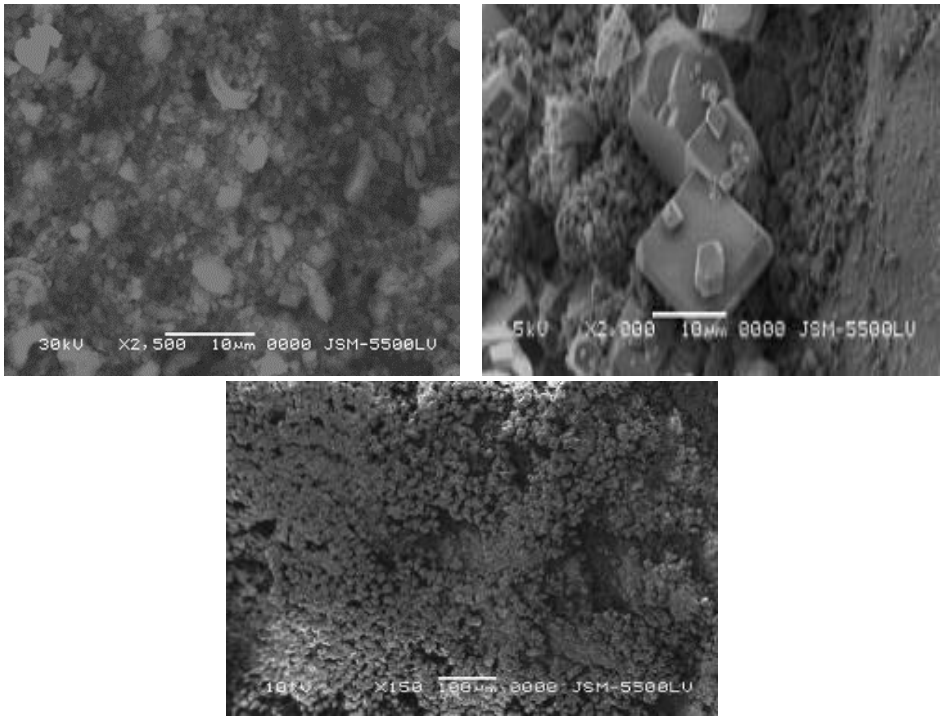
اظهرت النتائج تحسن في الخواص الميكانيكية بعد التقوية بمادة نانوهيدرواكسيد الكالسيوم للالباستر المصري حيث زادت الخواص الميكانيكية من 336.7 (MPa) الي (MPa) 571.4 بنسبة تحسن ٦٩,٧% نجحت مادة نانوهيدروكسيد الكالسيوم في زيادة قوة التحمل الميكانيكي مما يعزز قدرة الالباستر المصري لمواجهة المهددات البيئية المحيطة بمعابد الكرنك. جدول رقم (١).

جدول رقم (١) يوضح قياس خاصية الانضغاط الميكانيكي قبل وبعد التقوية

Alabster Specimens	MaxStrength (MPa)	Increase value %
Untreated Specimens	336.7	69.70
Treated specimens with Nanohydroxide calcium	571.4	

نتائج الفحص بواسطة الميكروسكوب الاليكتروني الماسح SEM _

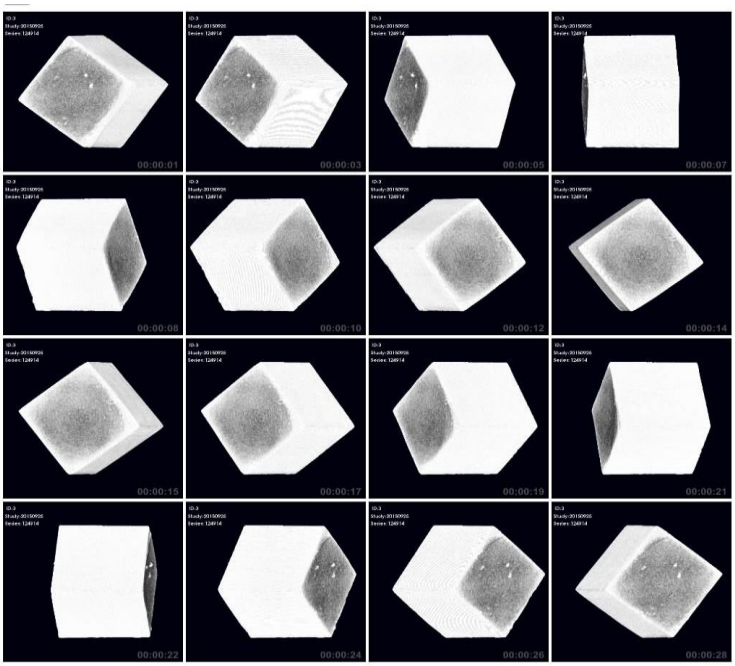
من خلال الفحص الميكروسكوبي SEM للالباستر المصري بعد المعالجة نانوهيدرواكسيد الكالسيوم الانتشار الجيد والتغلغل الجيد بين مسام الالباستر وزيادة القدرة في ربط الحبيبات المعدنية. صورة (١٢, ١٣،١٤)



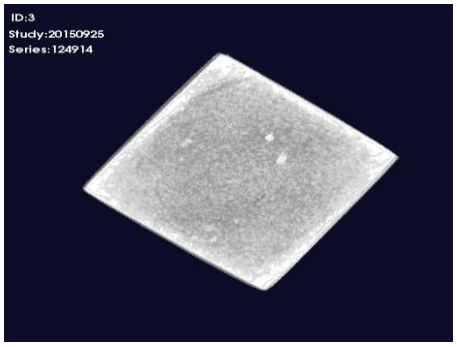
صور (١٢, ١٣،١٤) من خلال الفحص بالميكروسكوب الاليكتروني الماسح حقق نانوهيدروكسيد الكالسيوم نجاحا وثباتا ملحوظا في تقوية الالباستر من حيث القدرة علي الربط المتجانس لنانوهيدروكسيد الكالسيوم داخل المسام.

نتائج الفحص بطريقة التصوير المقطعي Scan CT

من خلال الفحص بطريقة التصوير المقطعي CT والذي يمدنا بصورة ثلاثية الابعاد بتفاصيل دقيقة عن البنية الداخلية والخارجية للالباستر المصري بعد المعالجة نانوهيدرواكسيد الكالسيوم الانتشار المتجانس والتغلغل الدقيق بين مسام الالباستر وزيادة القدرة في ربط الحبيبات المعدنية وسد المسام بعد الفقد الحبيبي الناشئ عن اليات التلف. صور (١٥،١٦)



صورة (١٥) ثلاثية الابعاد ٣D CT بتقنية التصوير المقطعي للعينة بعد التقوية وتوضح الانتشار المتجانس لنانوهيدروكسيد الكالسيوم علي السطح الخارجي للالباستر المصري ويتضح ذلك من خلال الزوايا المتعددة والمختلفة لعينات الالباستر المصري



صورة (١٦) ثلاثية الابعاد 3D بتقنية التصوير المقطعي CT للعينة بعد التقوية وتظهر مدي قدرة و تغلغل مادة التقوية نانوهيدروكسيد الكالسيوم داخل الالباستر المصري بشكل متجانس والانتشار بعمق داخل المسام والربط بين الحبيبات بشكل مرض وجيد

نتائج التحليل بواسطة تفلور الاشعة السينية XRF

التحليل بتفلور الاشعة السينية وضح التركيب المعدني للالباستر المصري من معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) كمكون اساسي.

نتائج التحليل بواسطة حيود الاشعة السينية XRD

من خلال حيود الاشعة السينية اتضح أن الالباستر المصري يتكون من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) كمكون رئيسي مما يؤكد من نتائج تحليل تفلور الاشعة السينية .

خامسا : مناقشة نتائج البحث:

من خلال الدراسة بالميكروسكوب الاليكتروني الماسح تبين زيادة في حجم المسام و تبين تلف في بلورات الكالسيت و حدوث شروخ وتشققات . مما يظهر الحاجة الي مواد التقوية التي تعمل علي تحسين الخواص الميكانيكية ومنها خاصية الانضغاط الميكانيكي للحجر عن طريق احلال مادة التقوية مكان ما فقد من الحجر او لربط الحبيبات المعدنية بعضها، واظهرت النتائج تحسن في الخواص الميكانيكية بعد التقوية بمادة نانوهيدرواكسيد الكالسيوم للالباستر المصري حيث زادت الخواص الميكانيكية من (336.7) الي (571.4 MPa) بنسبة تحسن 69.7% حيث نجحت مادة نانوهيدروكسيد الكالسيوم من زيادة قوة التحمل الميكانيكي. واتضح ان الالباستر المصري بعد المعالجة بأستخدام نانوهيدرواكسيد الكالسيوم اظهر الانتشار الجيد والتغلغل الجيد بين مسام الالباستر وزيادة القدرة في ربط الحبيبات المعدنية.

سادسا : الخلاصة والتوصيات:

1. اظهرت النتائج تحسن في خاصية الانضغاط الميكانيكي بعد التقوية بمادة نانوهيدرواكسيد الكالسيوم للالباستر المصري بنسبة % 69.70 والتي تعتبر نتيجة مرضية للتحسن في خاصية الانضغاط الميكانيكي للالباستر المصري لذا يوصي بتطبيقها علي الالبستر المصري بمعابد الكرنك بالاقصر.
2. طبقاً لمعرفتنا لأول مرة يتم الفحص بطريقة التصوير المقطعي CT لتقييم مادة النانوهيدروكسيد الكالسيوم في تقوية الالباستر المصري وهي من الطرق الحديثة والمتقدمة غير المتلفة للاثار.
3. يوصي باستخدام مادة نانوهيدرواكسيد الكالسيوم للالباستر المصري في معابد الكرنك في عمليات التقوية والعلاج وذلك لتحسين الخواص الميكانيكية ومقاومة عوامل التلف المختلفة.

4. كما يوصي باستخدام طريقة التصوير المقطعي CT في عمليات الترميم لانه من الطرق غير المتلفة في عمليات فحص الاثار.

5. يوصي مستقبلاً ان يتم التوسع في دراسات مركبات نانونية تتلائم مع التركيب المعدني للالباستر المصري.

سابعا: المراجع

Bibliography

1. **(Al-Dosari)**, M. A, et al, Ca $(OH)_2$ nanoparticles based on acrylic copolymers for the consolidation and protection of Ancient Egypt calcareous stone monuments, Journal of Physics, Conference Series, 2017.

2. **(Bottoni**), M. and Fabretti, G., A model for the analysis of sun radiation on structures exposed in open air,6th inter. Conf. On Non-destructive testing and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and Environmental Heritage, Italian society for non-destructive Testing Monitoring Diagnostic, Rome, 1999.

3. **(Doehne**) E., Price C. A, Stone Conservation an Overview of Current Research, Second Edition, 2010.

4. **(El-Derby)**, A., Two Examples of Egyptian Alabaster Weathering Deterioration and damage from ancient Egyptian building and Islamic building in Egypt and some recommendations of preservation, journal of the general associate Arab archaeology, Arab council for graduates' studies and scientific research, AGGSSR and supreme council of antiquities, 2009.

5. **(Mora)**, P. et al, op. cit. P., Conservation of wall painting, ICCROM, P. 166, 1984.

6. **(Theban Tombs publications project)**, Tombs 72 Ray and 121 Ahmose Summary Report on the condition of wall painting, Univ. of Charleston and Serapes Research Institute, 1998.

الرسائل العربية:

7. **(إسماعيل)**، بدوي محمد . عمليات التجوية وتلف الآثار الحجرية الفرعونية القديمة في مصر وطرق العلاج والصيانة المقترحة ، بحث غير منشور . ٢٠٠٥.

('iismaeil), badawi muhamad . eamaliaat altajwiat wataluf aluathar alhajariat alfireawniat alqadimat fi misr waturuq aleilaj walsiyanat almuqtarahat, bahth ghayr manshur. 2005.

8. **(حشمت)** ، محمد عصام ,واخرون . دراسة بيئية لتأثير الملوثات الجوية علي الالباستر المصري المستخدم بجامع محمد علي بالقلعة واقتراحات العلاج والصيانة، حولية الاتحاد العام للآثاريين العرب ، دراسات فى آثار الوطن العربى، المجلد ١٥، العدد ١٥، يناير و فبراير . ٢٠١٢ .

(hshamat), muhamad eisam ,wakharun . dirasat biyiyat litathir almulawathat aljawiyat eali alalbastar almisrii almustakhdam bijamie muhamad eali bialqaleat waiqtirahat aleilaj walsiyanati, hawliat alaitihad aleami lilathariin ale Arab, dirasat faa athar alwatan alearbaa, almujalad 15, aleadad 15, yanayir w fibrayir . 2012.

9. **(حشمت)** ، محمد عصام . علاج وترميم وصيانة الالباستر المصري المستخدم في المنشأت الاثرية ، رسالة ماجستير ، قسم ترميم الاثار ، كلية الاداب بقنا ، جامعة جنوب الوادي ، سنة .٢٠١٠ .

(hshamat) , muhamad eisam . eilaj watarmim wasianat alalbastar almisriu almustakhdam fi almansha'at alathriat , risalat majistir , qism tarmim alathar , kuliyat aladab biqana , jamieat janub alwadi , sana .2010 .

10. **(رجائي)** ، جودة حمد ، احمد سامح . مقدمة في الجيولوجيا العامة والهندسية، كلية الهندسة، جامعة أسيوط. ٢٠٠٤.
(rajayiy), jwdat hamd , aihmad samih . muqadimat fi aljiulujia aleamat walhandasiati, kuliyat alhandasati, jamieat 'asyut. 2004.

11.**(عبد السميع)** ، عاطف عبد اللطيف . دراسة مقارنة لعلاج مقابر نبلاء إيلفنتين الصخرية (قبة الهوا) بأسوان ، رسالة دكتوراه ، جامعة القاهرة ، كلية الآثار ، قسم ترميم . ٢٠٠١م .
(eabd alsamiei), eatif eabd allatif . dirasat muqaranat lieilaj maqabir nubala' 'iilfintin alsakhria (qabat alhawa) bi'aswan , risalat dukturah , jamieat alqahirat , kuliyat aluathar , qism tarmim . 2001m

12.**(عثمان)**، هبه، احمد شعيب،. دراسة تجريبية لتقييم كفاءة مواد التقوية لعلاج الحجر الجيري ،مجلة العمارة والفنون والعلوم الانسانية، المقالة ٣٦، المجلد ٥، العدد ١٩، يناير و فبراير. ٢٠٢٠ .
(ethaman), habh, aihmad shueayb,. dirasat tajribiat litaqyim kfa'at mawadi altaqwiat lieilaj alhajar aljirii ,majalat aleimarat walfunun waleulum alansaniati, almuqalat 36, almujalad 5, aleadad 19, yanayir w fibrayir. 2020 .