

استخدام خليط من البوليمرات والنانو سيليكات لحماية جدران مسجد الأحمدي بطنطا من تأثير الرطوبة

Using a mixture of polymers and Nano-silica to protect the walls of Al-Ahmadi Mosque in Tanta from the effect of moisture

أ.د / محمد كمال خلاف

أستاذ ترميم الآثار بقسم 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.م.د / احمد عبد العظيم احمد

أستاذ مساعد بقسم الهندسة المدنية كلية الهندسة _ جامعة الفيوم

Assist.Prof.Dr.AhmedAbdelazim Ahmed

Ass.proffesor of Civil Department, Faculty of Engineering,Fayoum University

aaa26@fayoum.edu.eg

الباحث باسم لطفي حسين منصور

أخصائي ترميم بوزارة السياحة والآثار

Researcher.BassemLotfy Hussien Mansour

Conservator at the Ministry of Tourism and Antiquities

Basem9187@gmail.com

الملخص

تهدف الدراسة إلى إجراء دراسة تجريبية يتم من خلالها تقييم كفاءة وفعالية الطرق والمواد المختلفة سواء التقليدية المعروفة أو المواد الحديثة بعمل تركيبات تجريبية مختلفة من هذه المواد التقليدية والحديثة بنسب مختلفة وبتراكيز مختلفة كذلك عمل معالجات باستخدام مواد متعددة كخليط أو منفردة في خطوات متتالية مقننة لتحقيق فاعلية عالية خاصة في عمليات العزل السطحي لأسطح المباني الأثرية وتطبيقها بالطرق الممكنة سواء التقليدية أو الطرق الحديثة لكي نستطيع التغلب على مشكلات الرطوبة في المباني الأثرية بشكل فعال. وقد تم دراسة الرطوبة وأنواعها وتأثيرها على المباني الأثرية الحجرية وكذلك مصادر الرطوبة المختلفة ومعرفة كل مصدر ومدى تأثيره على المباني الأثرية الحجرية وأيضا العوامل المؤثرة على محتوى الرطوبة داخل جدران المباني الأثرية الحجرية , وكذلك ديناميكية وآليات حركة الرطوبة داخل المباني الأثرية الحجرية وطرق قياس الرطوبة المختلفة وأيضا مظاهر التلف التي تسببها الرطوبة على المباني الحجرية وأيضا دور الفطريات والطحالب والأشنه في تلف المباني الحجرية الأثرية، وتم إعداد الدراسة التجريبية بهدف الوصول إلى أفضل المواد والتركيزات المناسبة لتخفيض معدل امتصاص الرطوبة في المباني الحجرية وتم إجراء الفحوص والتحليل لمواد البناء وتم الفحص البيتروجرافى عن طريق إعداد مقاطع Thin section باستخدام الميكروسكوب المستقطب Polarizing Microscope ، كما تم الفحص باستخدام حيود الأشعة السينية XRD لعينات الحجر الجيرى وتبين أنه يتكون من معدن الكالسيت $CaCO_3$ إلى جانب وجود معدن الكوارتز SiO_2 وبعض المعادن الأخرى . وتضمنت الدراسة التجريبية استخدام ثلاثة أنواع من المواد العازلة للرطوبة

والتي تنوعت ما بين المواد ذات الأساس المائي Water based ومواد ذات الأساس العضوي Organic based وذلك للمقارنة بينهما والحصول على أفضل النتائج بالإضافة إلى مادة النانو سيليكات SiO_2 .

الكلمات المفتاحية

المباني الأثرية - المواد الطاردة للماء- العزل الكيميائي-نانو سيليكات

Abstract

The study aims to conduct an experimental study through which the efficiency and effectiveness of different methods and materials, whether known traditional or modern materials, are evaluated by making different experimental formulations of these traditional and modern materials in different proportions and different concentrations, as well as making treatments using multiple materials as a mixture or individually in successive steps that are standardized to achieve high effectiveness. Especially in the processes of surface insulation of the roofs of ancient buildings and their application by possible methods, whether traditional or modern methods, so that we can effectively overcome the problems of moisture in ancient buildings. Moisture, its types and its impact on ancient stone buildings, as well as various sources of moisture, have been studied and each source and its impact on ancient buildings has been known. Stone buildings, as well as the factors affecting the moisture content inside the walls of ancient stone buildings, as well as the dynamics and mechanisms of moisture movement inside ancient stone buildings, different methods of measuring moisture, as well as manifestations of damage caused by moisture on stone buildings, as well as the role of fungi, algae and lichens in the damage of ancient stone buildings, and an experimental study was prepared In order to reach the best materials For appropriate concentrations to reduce the rate of moisture absorption in stone buildings, and analyzes of building materials were carried out. The petrographic examination was done by preparing thin section sectors using a polarizing microscope. The examination was also done using X-ray diffraction (XRD) of limestone samples, and it was found that it consists of calcite CaCO_3 along with The presence of SiO_2 quartz and some other minerals. The experimental study included the use of three types of moisture-insulating materials, which varied between water-based materials and organic-based materials, in order to compare them and obtain the best results, in addition to the nano-silica material SiO_2

Keywords

Archaeological buildings - water repellent materials - chemical insulation - Nano silica

المقدمة:

تتسبب الرطوبة بمصادرها المختلفة سواء الرطوبة الأرضية المتمثلة في المياه الأرضية أو الرطوبة الجوية المتمثلة في مياه الأمطار أو مياه التكتف في حدوث التلف والتدهور للمباني الأثرية ، حيث تصعد أو تتوغل داخل الجدران بما تحمله من أملاح ذائبة علي هيئة محاليل ملحية تتبلور بين مكونات الأحجار وتؤدي إلي تفككها وتلفها بعد تبخر المياه كذلك تؤدي إلي تلف الجدران بما تحمله من كائنات حيه دقيقة وبما تحدثه من تأثير في تنشيط التفاعلات الكيميائية وبالتالي حدوث المزيد من التلف والتدهور وتتنوع مظاهر التلف الناتجة عن تأثير الرطوبة وبالتالي تحتاج المباني الأثرية إلي علاجها وصيانتها من تأثير الرطوبة المتلف، وقد تم إجراء الدراسة على جدران المسجد الأحمدي بطنطا والتي تعاني من تأثير الرطوبة ، وقد تم فحص عينات من احجار المسجد الأحمدي باستخدام الميكروسكوب المستقطب والميكروسكوب الالكترونى الماسح وحيود

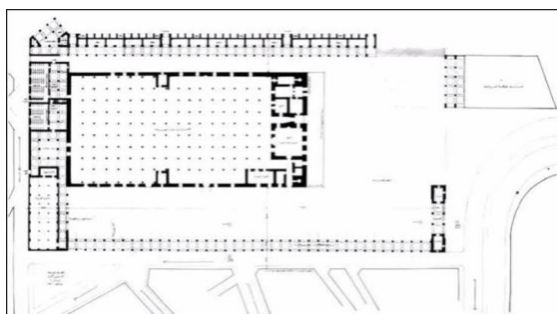
الأشعة السينية ، كما تم قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات التجريبية المماثلة لأحجار المسجد الأحمدي وأيضاً قياس زاوية التماس بين سطح الأحجار المعالجة بالدراسة التجريبية لمعرفة مدى فاعلية المواد الطاردة للماء ثم تم تطبيق المعالجة وفقاً لنتائج الدراسة التجريبية على أحجار المسجد الأحمدي بطنطا.

السيد احمد البدوي :

هو احمد بن علي بن ابراهيم بن محمد المعروف (السيد البدوي) احد مشاهير الصوفية في القرن السابع الهجري ولد في المغرب عام ٥٩٦هـ ونشأ في اسرة هاشمية علوية، تنتمي إلى قبيلة بني بربى وحفظ القرآن، وتفقه قليلاً على مذهب الامام مالك الذي كان سائداً في المغرب، وفي عام ٦٠٣هـ انتقلت اسرة البدوي الى الحجاز واستقرت بمكة حيث جود البدوي القرآن ، وقرا شيئاً من فقه الشافعي، وتعلم الفروسية وأجادها، واشتهر بالزهد وإيثار حياة العزلة للعبادة ، ثم سافر هو وأخوه الأكبر عام ٦٣٤هـ إلى العراق الذي كان مركزاً للتصوف في الشرق الاسلامي، وذلك قبل انتقاله إلى طنطا عام ٦٣٧هـ.

تخطيط المسجد :

لقد اختلفت أشكال التخطيط في العمارة الاسلامية عامة، وعمارة المساجد خاصة حيث كانت العمارة الاسلامية وما زالت تأخذ مكانة بين طرز العمارة المختلفة، والتي أبرزت لنا مدى عبقرية المعمارى المسلم ، وقد استطاعت العمارة الاسلامية أن تنتشر في بلدان كثيرة وسرعان ما جعلت لها طابعاً متميزاً.



شكل (١) يوضح تخطيط مسجد الاحمدى



صورة (١) توضح واجهة مسجد الاحمدى

ويتبع تخطيط مسجد احمد البدوي شكل (١) نظام الأروقة حول الصحن حيث أن ساحة الصلاة تشتمل على قسمين قسم جنوبى غربى وقسم شمالى شرقى وكل قسم به صحن مغطى بشخشيخة يحيط به اربعة اروقة ويفصل بين القسمين ثمانية دعائم ، وأكبر الأروقة بالمسجد هو رواق القبلة حيث يتكون من مساحة مستطيلة تشتمل على ثلاث بانكات موازية لجدار القبلة والأروقة الثلاث الأخرى تشتمل على بانكتين.

وقد اتبع هذا التخطيط في كل من مسجد الأمير مصطفى جوربجي ١١١٠/١٦٩٨م ومسجد الأمير عثمان كتحذا المعروف بجامع الكخيا ١١٤٧/١٧٣٤م ومسجد الفكهاني ١١٤٨/١٧٣٥م ومسجد السادات الوفائية ١١٩٠-١١٩٩/١٧٧٧-١٧٨٤م.

المواد وطرق العمل : Materials and methods

أولاً : خواص مواد العزل الكيميائي النانوية وأسباب اختيارها

لقد تم اختيار ماد النانو سيليكاً SiO_2 كمادة نانوية بالدراسة وذلك نتيجة للعديد من الصفات التي تتميز بها المواد النانوية وهى كما يلي :

١- دقة الحبيبات النانوية وتحقيقها للتغطية الجيدة على أسطح الأحجار.

٢- جودة الخواص البصرية للمواد النانوية بالإضافة إلى جودة الخواص الكهرومغناطيسية لتلك المواد وتحسينها للمواد المضافة إليها

٣- تتميز المواد النانوية بالثبات الكيميائي وبتكوين ذو سلاسل جزيئية نانومترية .

٤- معظم المواد النانوية مواد آمنة لا تؤثر على النظام البيئي بالإضافة لتنوع مصادر الحماية ما بين الحماية من الأتربة وضد أشعة U.V و ضد تأثير الكائنات الحية الدقيقة.

ثانياً : مواصفات المواد المستخدمة بالدراسة :

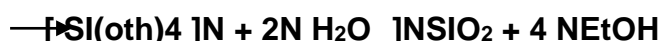
(أ) _ سیکا جارد ٧٠١ Sika gard 701 W

تم استخدام Sika gard 701 W من إنتاج شركة سیکا المصرية وخصائص المادة كالتالي :

المظهر الفيزيائي	سائل اصفر اللون
التركيب الكيميائي	Alkyl AlkoxySiloxaneMicroemulsion
التركيب المورفولوجي	سائل
الكثافة	٢٠٥ م عن ١ كجم/ل
النقطة المضيئة	٢٧٥ م

Estel 1100 (ب) _ إستيل ١١٠٠

يستخدم في تقوية الأحجار ويتمتع بخاصية مقاومة الماء للأحجار الطبيعية من إنتاج شركة Cts ويتكون Estel 1100 من Ethyl silicate and polysiloxane oligomers وذلك للحصول على درجة عالية من الامتصاص وتفاعل إسترات الإيثيل لحمض السيليك [N[Si (oth)4] مع الرطوبة الحجرية وتتحول إلى هلام السيليكا والكحول الإيثيلي وذلك من خلال المعادلة الآتية :



ويعطى هلام السيليكا بفضل الرابطة الكيميائية القوية والتي تعطى خواص ميكانيكية كبيرة للسطح .

المظهر الفيزيائي	سائل عديم اللون
التركيب الكيميائي	Ethyl silicate and Polysiloxane
التركيب المورفولوجي	سائل
الكثافة	0.97 م عند ٢٠٥ م لكل ١ كجم/ل
اللزوجة	12cp عند درجة حرارة ٢٥٥ م

(ج) _ تراى ميثيل ميثوكسى سيلان Trimethylmethoxysilane (MTMS)

هي عبارة عن مركب عضوي من السيليكون من إنتاج شركة Sigma Aldrich ويستخدم على نطاق واسع لتحضير المواد القائمة على السيليكا والتي تطبق في مختلف المجالات خاصة في التجميع الجزيئي وربط كتل البناء النانوية والتوليف الانتقائي لمركبات Oligosiloxane ويمكن استخدامه ايضا كعامل ربط متشابك في تخليق بوليمرات البولي سيلوكسان.

المظهر الفيزيائي	سائل
------------------	------

التركيب الكيميائي	$CH_3Si(OCH_3)_3$
النقاء	٩٨%
الكثافة	0.955 عند درجة حرارة ٢٥٥ لكل جم/مليالتر
الوزن الجزيئي	١٣٦,٢٢

إعداد عينات الأحجار للمعالجة

تم تحضير عدد ٣٦ عينة من الأحجار الجيرية بواقع ١٨ حجر لكل نوع من الأنواع المختارة للدراسة وذلك لإجراء الدراسة التجريبية عليها وقد تم إجراء الفحص والتحليل بالنسبة للعينات المختارة باستخدام الميكروسكوب المستقطب Polarizing Microscope للتعرف على مكوناتها المعدنية ونسيجها الدقيق وكذلك نمط حيود الأشعة السينية الطيفية والحيودية XRD , وذلك لمعرفة المكونات والعناصر المكونة للعينات المختارة, وقد تم التحليل باستخدام جهاز X-Ray Diffraction equipment model X'Pert PRO with Monochromator , Cu_α radiation ($\lambda=1.542\text{Å}$) at 45 K.V, M.A. and scanning speed 0.030/sec . Were used. The reflection peaks between $2\theta=2^\circ$ and 60°

نتائج الفحص :

الفحص باستخدام الميكروسكوب المستقطب Polarizing Microscope

تم إجراء الفحص البيتروجرافى باستخدام الميكروسكوب المستقطب Nikon Eclipse LV100POL المزود بكاميرا عن طريق اعداد قطاعات رقيقة Thin section من احجار مسجد السيد البدوى وذلك للتعرف على مكوناتها المعدنية ونسيجها الدقيق من حيث الشكل وأحجام الحبيبات وقد اتضح من الفحص أن العينات تتكون من الكالسيت دقيق الحبيبات بالإضافة إلى وجود بعض المعادن الطينية ووجود نسبة من الرمال متدرجة الحبيبات وبقايا من الحفريات .

الفحص باستخدام نمط حيود الأشعة السينية الطيفية والحيودية XRD , XRF

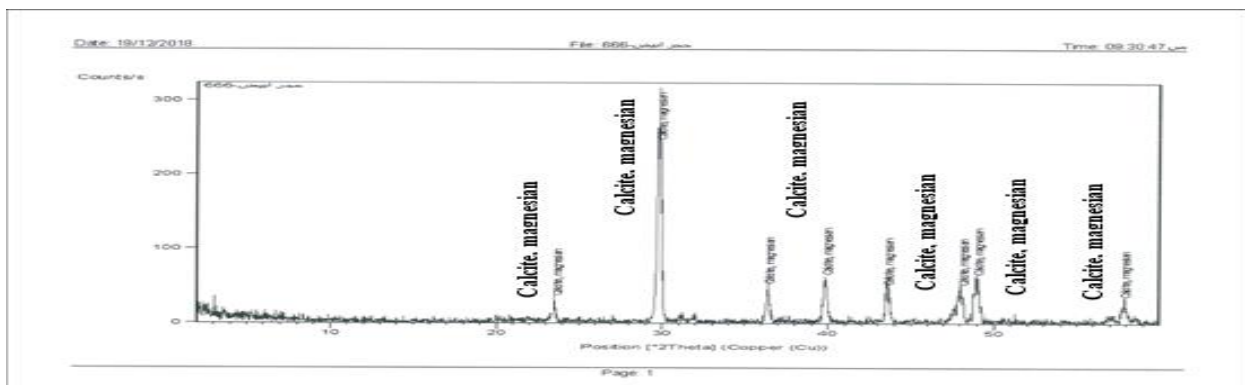
كانت نتائج الفحص للعينات كالاتى :

-العينة (١)

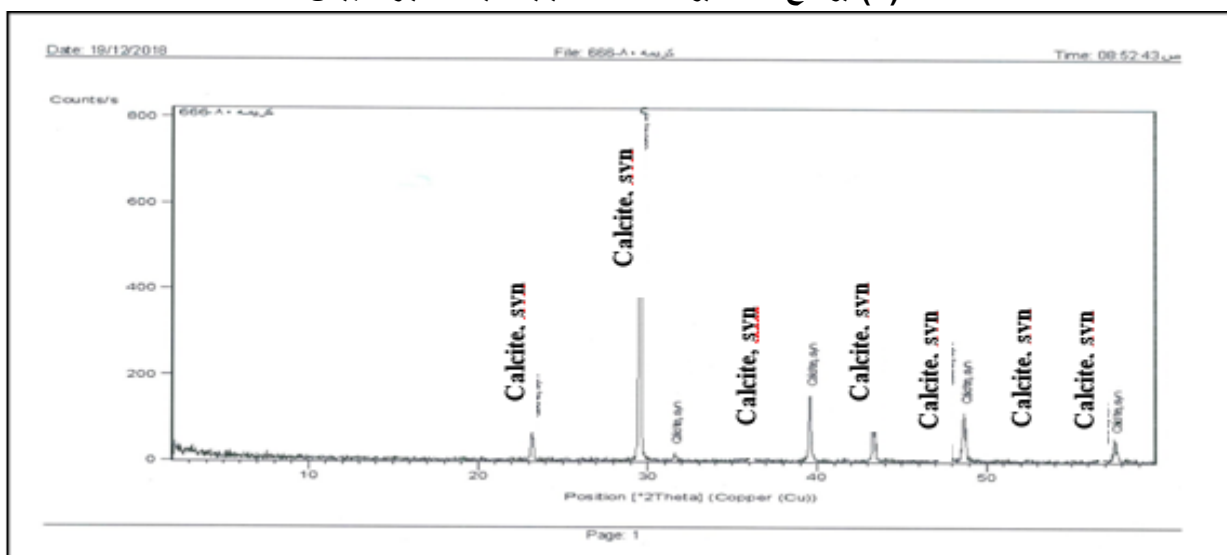
تحتوى على السيليكا SiO_2 ويتواجد بنسبة ٥,٢٠ % والتيتانيوم TiO_2 يتواجد بنسبة ٠,٠٨ % وثلاثى اكسيد الالومنيوم Al_2O_3 بنسبة ٠,٤٤ % وثلاثى اكسيد الحديد Fe_2O_3 بنسبة ٠,٦٦ % واكسيد المنجنيز Mn بنسبة $<0,01$ % واكسيد المغنسيوم MgO بنسبة ٠,٢١ % واكسيد الكالسيوم CaO بنسبة ٥٢,٤٣ % واكسيد الصوديوم Na_2O بنسبة $<0,01$ % واكسيد البوتاسيوم K_2O بنسبة $<0,01$ % وثانى اكسيد الفسفور P_2O_5 بنسبة ٠,٠٦ % والكور CL بنسبة $<0,01$ % وثلاثى اكسيد الكبريت SO_3 بنسبة $<0,01$ %.

-العينة (٢)

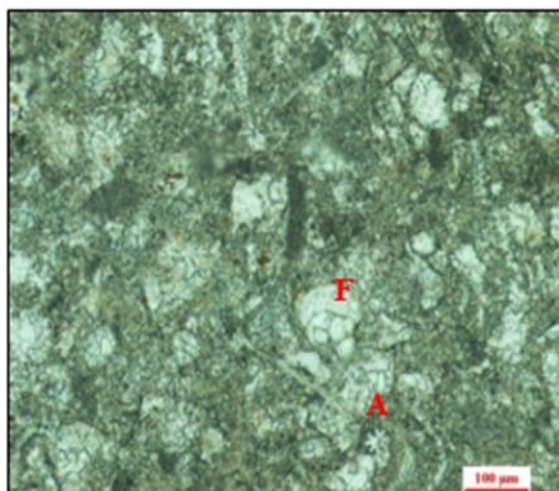
تحتوى على السيليكا SiO_2 ويتواجد بنسبة ٠,١٥ % والتيتانيوم TiO_2 يتواجد بنسبة ٠,٠٣ % وثلاثى اكسيد الالومنيوم Al_2O_3 بنسبة $<0,01$ % وثلاثى اكسيد الحديد Fe_2O_3 بنسبة 0.16 % واكسيد المنجنيز MnO بنسبة ٠,٠١ % واكسيد المغنسيوم MgO بنسبة <0.01 % واكسيد الكالسيوم CaO بنسبة ٥٥,٧٥ % واكسيد الصوديوم Na_2O بنسبة $<0,01$ % واكسيد البوتاسيوم K_2O بنسبة $<0,01$ % وثانى اكسيد الفسفور P_2O_5 بنسبة $<0,01$ % والكور CL بنسبة $<0,01$ % وثلاثى اكسيد الكبريت SO_3 بنسبة $<0,01$ %.



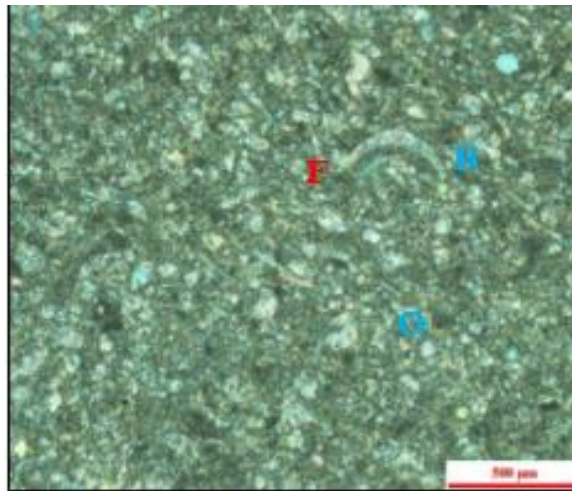
شكل (١) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة الحجر الأبيض



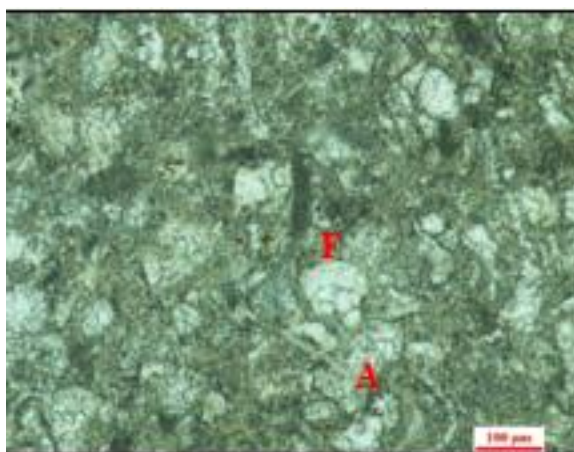
شكل (٢) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة الحجر الأصفر



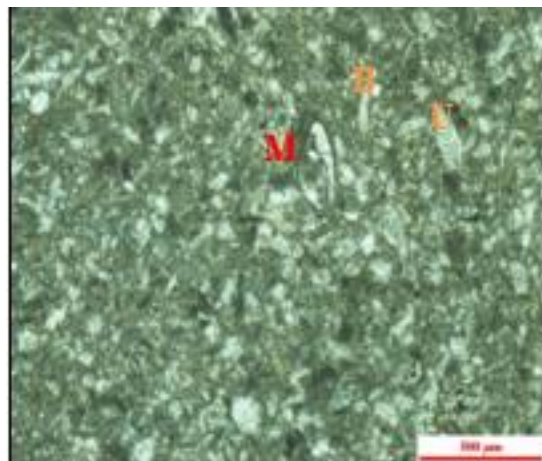
صورة (٣) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الأبيض (X100) بالإضافة إلى حفريات الفورامينفرا وبعض الطحالب ومعادن الطين



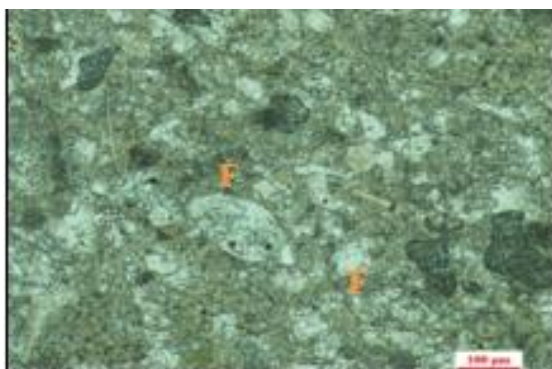
صورة (٢) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الأبيض (x500) بالإضافة إلى حفريات الفورامينفرا وبعض الصدفيات



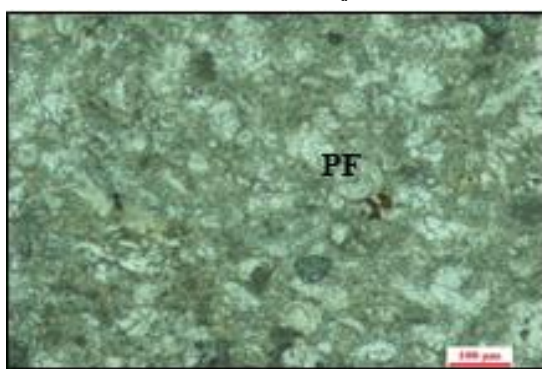
صورة (٥) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الابيض (X100) بالاضافة إلى حفريات الفورامينفرا



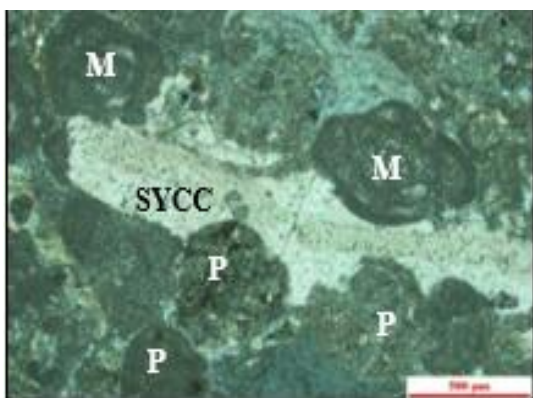
صورة (٤) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الابيض (X500) بالاضافة إلى حفريات الفورامينفرا وخلاياها الحيوية المنتشرة عشوائيا



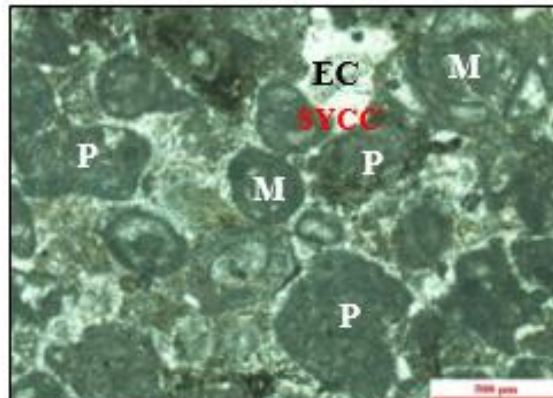
صورة (٧) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الابيض (X100) بالاضافة إلى معادن طينية وبعض الطحالب وحفريات الفورامينفرا



صورة (٦) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الابيض (X100) بالاضافة إلى حبيبات السيليكا الناعمة جدا بالإضافة إلى حفريات الفورامينفرا

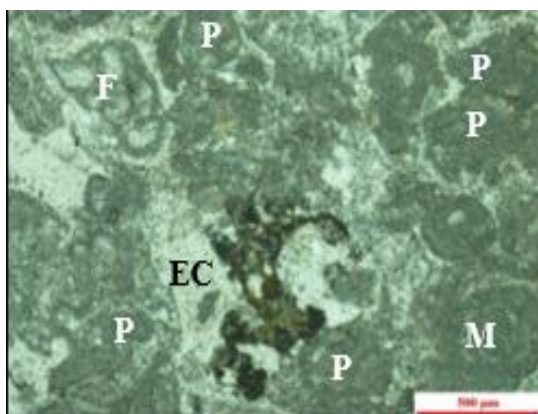


صورة (٩) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الاصفر (X500) بالاضافة إلى حبيبات السيليكا المتوسطة بالإضافة إلى بعض الشوكيات

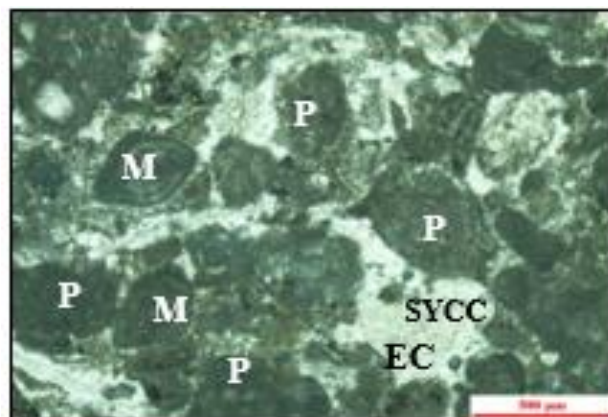


صورة (٨) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الاصفر (X500) بالاضافة إلى حبيبات السيليكا الخشنة والمتوسطة وحفريات الفورامينفرا

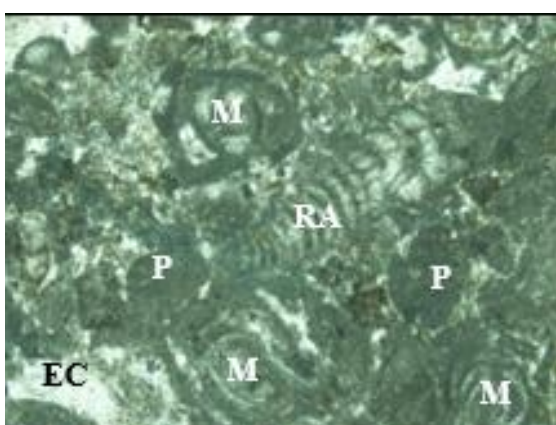
F



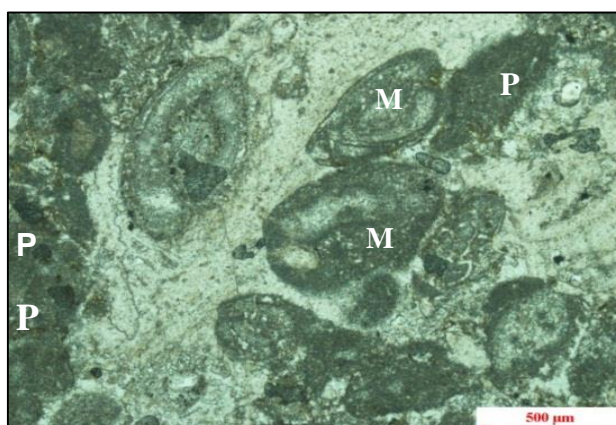
صورة (١١) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الاصفر (X500) بالإضافة إلى حبيبات السيليكات المتوسطة إلى الخشنة وبعض الحفريات



صورة (١٠) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الاصفر (X500) بالإضافة إلى حبيبات السيليكات المتوسطة الناعمة جدا وبعض الحفريات



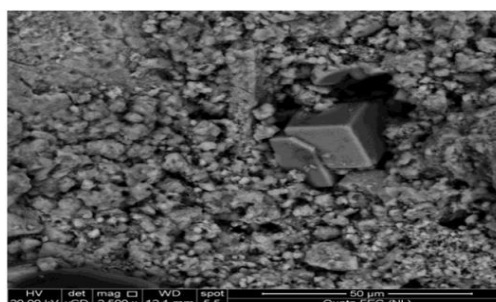
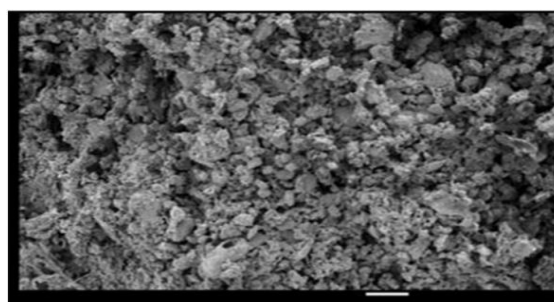
صورة (١٣) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الاصفر (X500) بالإضافة إلى بعض الحفريات الشوكية



صورة (١٢) توضح حبيبات الكالسيت الدقيقة المكونة للحجر الجيري الاصفر (X500) بالإضافة إلى بعض الحفريات

الفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح Scanning Electron Microscope

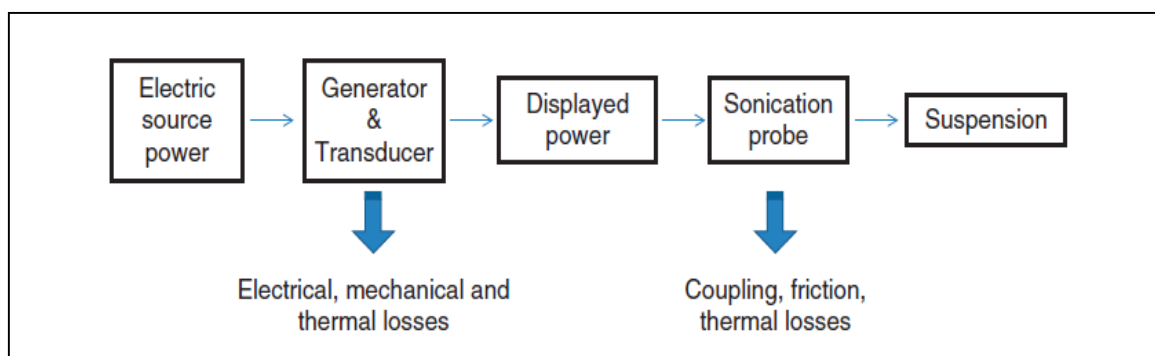
تم استخدام الفحص باستخدام جهاز الميكروسكوب الإلكتروني الماسح Analytical FE- Zeiss Sigma 500 vp SEM وتبين من الفحص نسيج العينات الحجرية لمسجد الاحمدى كما بالصور



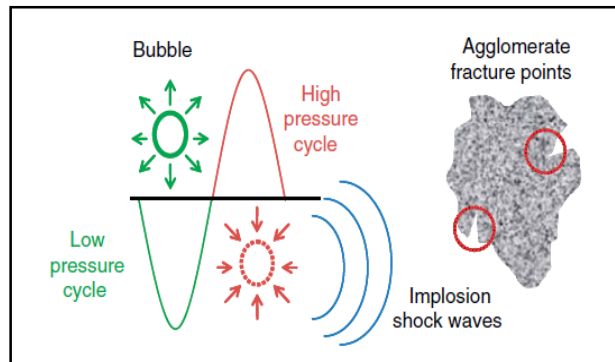
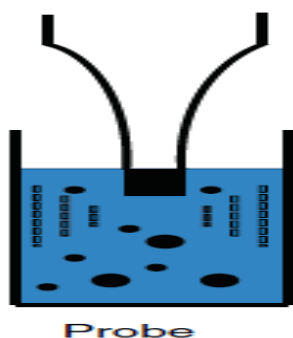
صور (١٤)، (١٥) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بقوة تكبير ٢٥٠٠x وهي توضح نسيج العينات الطبيعية من الحجر الجيري المستخدم في الدراسة التجريبية ويتضح تجانس الحبيبات المعدنية للكالسيت واندماجها بشكل كبير

تحضير السيليكا / والبوليمرات النانوية العازلة Preparation of Silica / Polymer Nano composites

تم تحضير المواد العازلة البوليمرية عن طريق الخلط المباشر وذلك للمواد ذات الأساس المائي Water base والمواد ذات الأساس العضوي Organic base وذلك بتركيز ٣% ، ٥% ، ٧% في حجم ١٠٠ مللي من المذيب وذلك لعدد ١٨ عينة من الأحجار مقاس (٥ X ٥ X ٥) وقد تم إضافة ١ جرام من النانو سيليكا بحجم ٤٠ nm إلى كل تركيز، وتم الخلط باستخدام جهاز الاتراسونيك UP 200S وذلك لمدة ٣٠ دقيقة بطاقة ترددية ٤٠ KHz وتم استخدام الموجات فوق الصوتية لاتمام عملية التجانس باستخدام الطريقة المباشرة حتى يتم الحصول على خليط متجانس من البوليمر والنانو سيليكا بصورة (١٦)،(١٧)،(١٨)،(١٩) وذلك من أجل الحصول على مادة عازلة Super Hydrophobic والتحسين من خواص البوليمر للعزل ضد الرطوبة ويوضح الشكل (٢)،(٣) التالي عملية تحويل الطاقة الى تردد صوتي في استخدام الطريقة المباشرة لعملية الخلط



شكل (٢) يوضح عملية تحويل الطاقة الى التردد الصوتي في جهاز الاترا سونيك المباشر



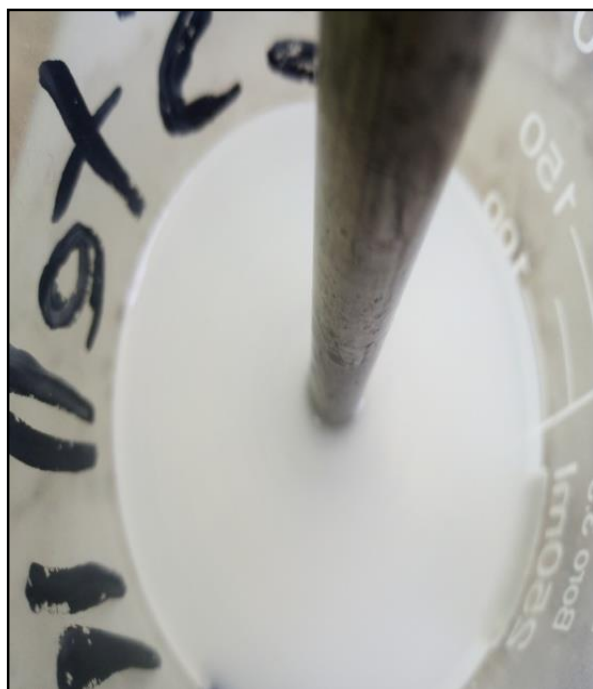
شكل (٣) يوضح الاستخدام المباشر لجهاز الاتراسونيك والموجة فوق صوتية التي يسببها كسر التجويف والتكتل لجسيمات المواد



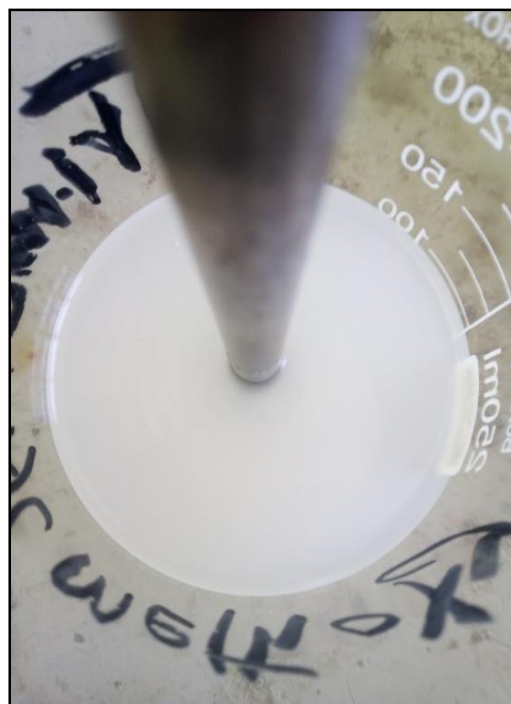
صورة (١٧) توضح طريقة الخلط باستخدام الاتراسونيك



صورة (١٦) توضح جهاز الاتراسونيك المستخدم



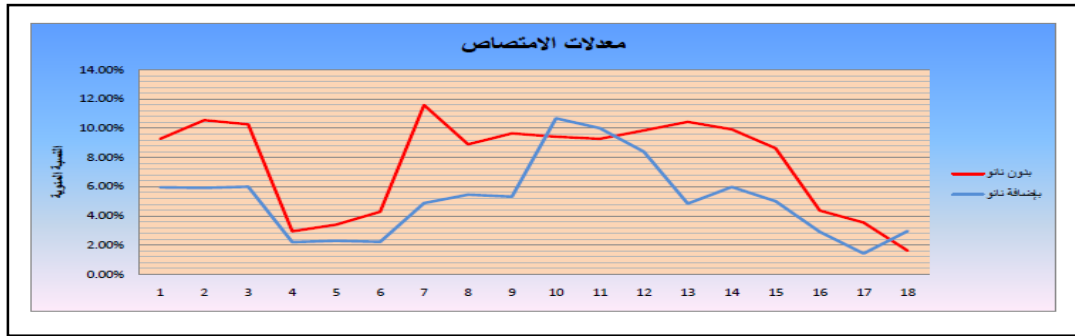
صورة (١٩) توضح الشكل النهائي لتجانس خلط السيليكا مع البوليمرات العازلة باستخدام الاتراسونيك



صورة (١٨) توضح الموجات الترددية داخل الخليط

امتصاص الماء Water absorption

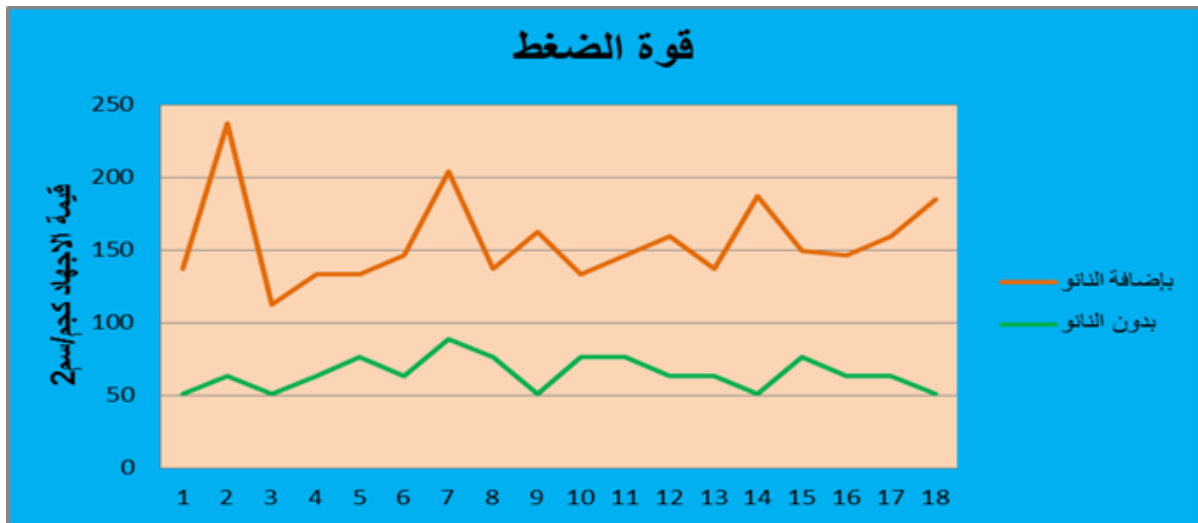
لتقييم الفاعلية الوقائية للمعالجات المقاومة للماء والمطبقة على المواد الحجرية تطلب ذلك قياس امتصاص الماء الشعري وذلك نظرا لأن الماء يعتبر عامل تدهور رئيسي لذلك من المهم أن تكون مواد الحماية قادرة على تقليل تغلغل الماء في كتلة الحجر وذلك من خلال قياس قيم امتصاص الماء للعينات المعالجة بالبوليمرات النقية والمواد النانوية وقد أظهرت النتائج أن إضافة المواد النانوية إلى المواد العازلة أدى إلى انخفاض في معدلات الإمتصاص للماء مع التركيزات المختلفة شكل (٤) مما يؤدي إلى تحسين الخواص الفيزيائية والكيميائية للمواد العازلة بواسطة المواد النانوية.



شكل (٤) يوضح معدلات الامتصاص للأحجار المعالجة بالمواد الطاردة وبإضافة النانو سيليكا

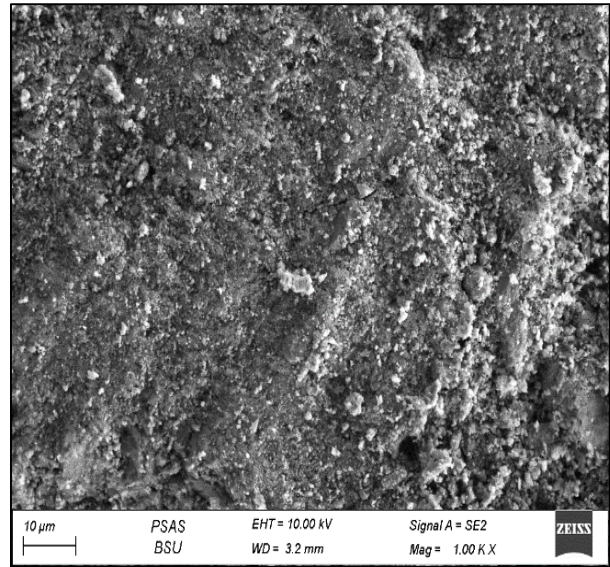
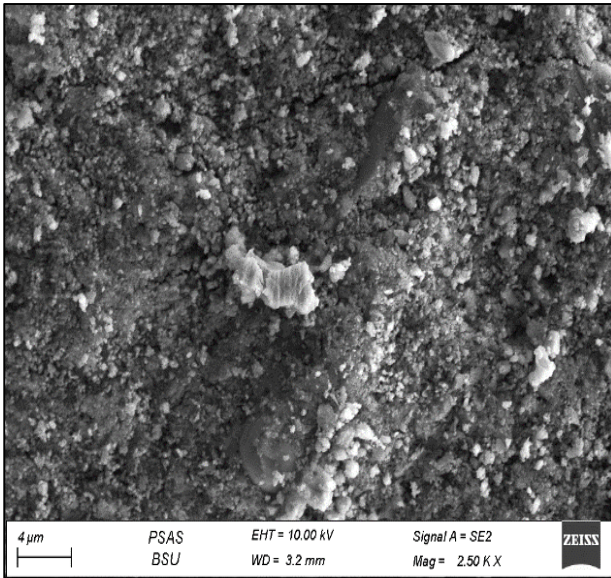
اختبار قوة تحمل الضغط Compressive strength

تم إجراء قياس قوة الإنضغاط لعينات الأحجار الغير معالجة والمعالجة بالمواد الطاردة للماء والمضاف إليها النانو سيليكا وقد تم إجراء اختبار قوة الضغط للعينات الحجرية شكل(٥)وقد أظهرت النتائج أن إضافة النانو سيليكا إلى المواد الطاردة للمياه يزيد من قوة الانضغاط للأحجار بعد المعالجة وتعزيز قوة الأحجار وأيضا تحسين قوة البوليمرات الطاردة للمياه وتحسين تفاعلها مع حبيبات الأحجار.



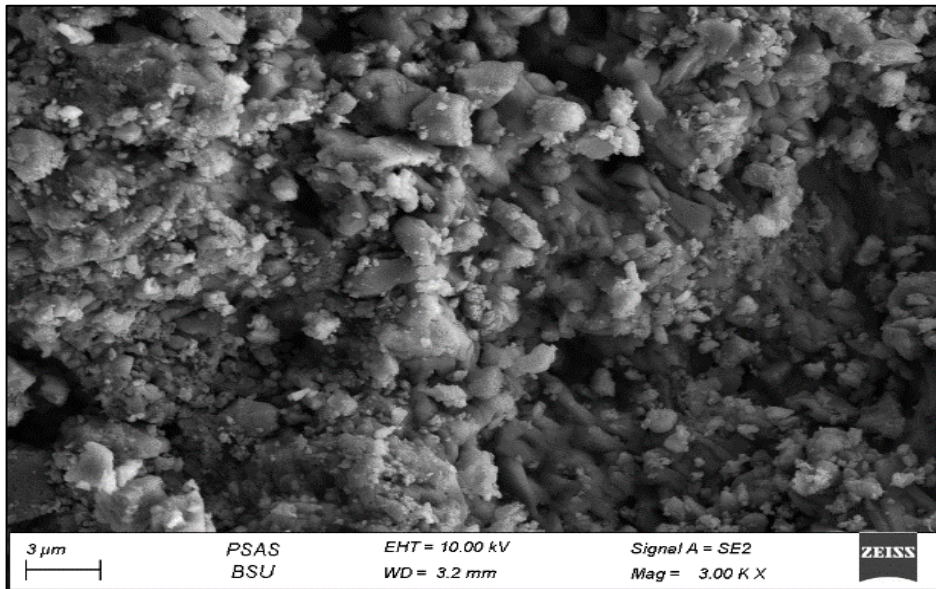
شكل (٥) يوضح زيادة معدلات الانضغاط للأحجار المعالجة بالمواد الطاردة وبإضافة النانو سيليكا

الفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح Scanning Electron Microscope بعد إجراء المعالجة بالمواد الطاردة للماء بإضافة النانو سيليكا : تم الفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM للعينات الحجرية المعالجة بالبوليمرات الطاردة للماء والمضاف إليها النانو سيليكا لمعرفة مدى تأثير المواد على حبيبات الأحجار كما يتضح من الصور (٢٠)، (٢١)، (٢٢) للعينات المعالجة بمادة Sikagard بتركيز ١:٥.



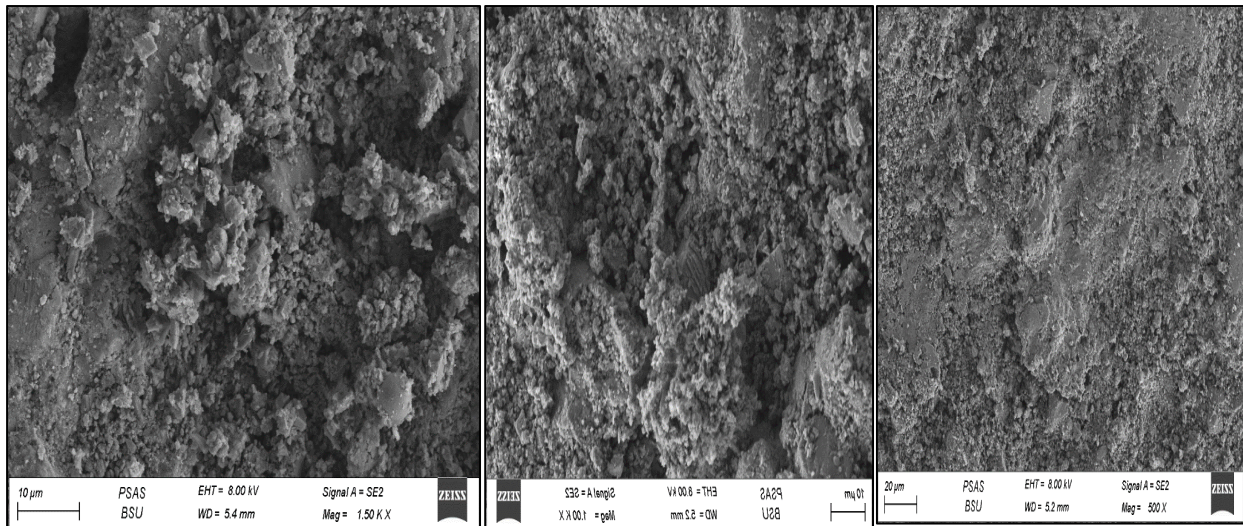
صورة (٢١) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بنفس العينة بقوة تكبير $\times 250$ للعينة المعالجة بمادة Sikagard بتركيز 5:1 ويتضح الشروخ الموجودة في الطبقة السطحية وفشلها في ربط الحبيبات الكبيرة

صورة (٢٠) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بقوة تكبير $\times 100$ للعينة المعالجة بمادة Sikagard بتركيز ٥:١ ويتضح الانتشار غير المتجانس للمادة الطاردة وقدرتها في تغليف الحبيبات الدقيقة بينما فشلت في ربط الحبيبات الكبيرة



صورة (٢٢) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بقوة تكبير $\times 300$ للعينة المعالجة بمادة Sikagard بتركيز ٥:١ توضح الانتشار الغير متجانس للمادة وعدم تغليفها وربطها للحبيبات الكبيرة

الفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM للعينات المعالجة بمادة Estel1100 بتركيز ٣% والمضاف إليها النانو سيليكات لمعرفة تأثير المادة على حبيبات الاحجار كما يتضح من الصور (٢٣)، (٢٤)، (٢٥).

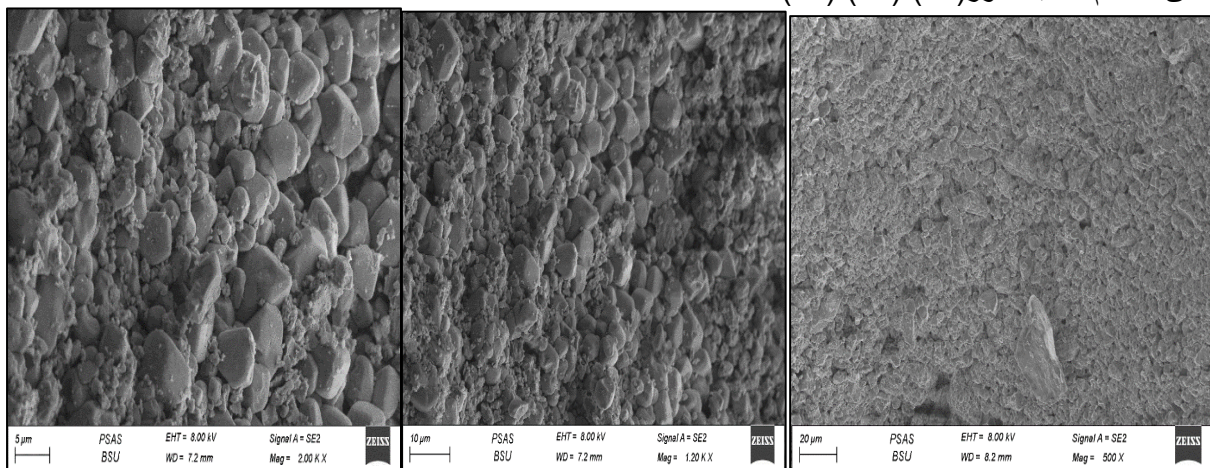


صورة (٢٥) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بقوة تكبير ١٥٠٠ توضح الانتشار الغير متجانس للمادة وعدم تغليفها وربطها للحبيبات الكبيرة وعدم ملئها للمسام

صورة (٢٤) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بقوة تكبير 1000 لنفس العينة توضح الانتشار الغير متجانس للمادة وعدم قدرتها على ملء المسام السطحية

صورة (٢٣) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بقوة تكبير ٥٠٠ x للعينة المعالجة بمادة Estel 1100 بتركيز 3% توضح الانتشار الغير متجانس للمادة وعدم تغليفها وربطها للحبيبات الكبيرة

الفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM للعينات المعالجة بمادة Trimethylmethoxysilane والمضاف إليها النانو سيليكات بتركيز ٧% والتي توضح الانتشار الممتاز والمتجانس للمادة وتغليفها لحبيبات الأحجار دون غلق المسام كما بالصور (٢٦)، (٢٧)، (٢٨).



صورة (٢٨) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بقوة تكبير ٢٠٠٠ توضح الانتشار الجيد للمادة الطاردة وتغليفها للحبيبات السطحية المفككة

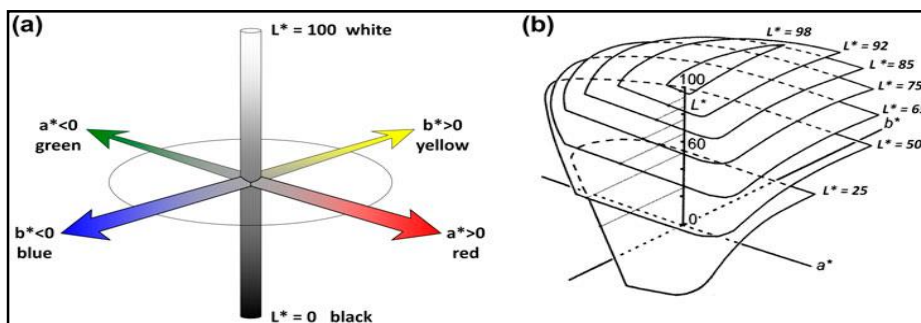
صورة (٢٧) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بقوة تكبير ١٢٠٠ لنفس العينة توضح ايضا الانتشار المتجانس للمادة الطاردة وملئها للمسام الدقيقة

صورة (٢٦) باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بقوة تكبير ٥٠٠ x للعينة المعالجة بمادة Trimethylmethoxysilane بتركيز ٧% توضح الانتشار الجيد والمتجانس للمادة وملئها للمسام الدقيقة دون غلقها

قياس التغير اللوني Colorimetric Measurement

تم اجراء القياسات اللونية على عينات الاحجار المعالجة وغير المعالجة وذلك باستخدام مقياس الطيف الضوئي Optima TCH 3100 صورة (٢٩) وذلك لتقييم الاختلافات اللونية ويتم التعبير عن القيم اللونية *CIE L*, *A*, *b* حيث *L*

هو احداثى الاضاءة / الظلام (١٠٠ = ابيض , ٠ = اسود) و A^* هي الاحداثى الأحمر حيث ($a^* > 0$ يشير الى الاحمر , - a^* يشير الى الأخضر) و b^* هي تنسيق اصفر / ازرق حيث ($b^* > 0$ يشير الى الاصفر , - b^* يشير الى الازرق) وقد تم فحص الاسطح الحجرية المعالجة وغير المعالجة وذلك من أجل تقييم تغيرات اللون ويجب أن تكون قيمة $\Delta E < 5$ ويتم حساب تعديل اللون ΔE من خلال العلاقة التالية $\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$ حيث أن ΔL^* , Δa^* and Δb^* هي احداثيات الاختلافات فى اللون كما بالشكل (٦) وهذه العملية مهمة لأسباب جمالية من أجل الحفاظ على اللون الأصلي للأسطح .



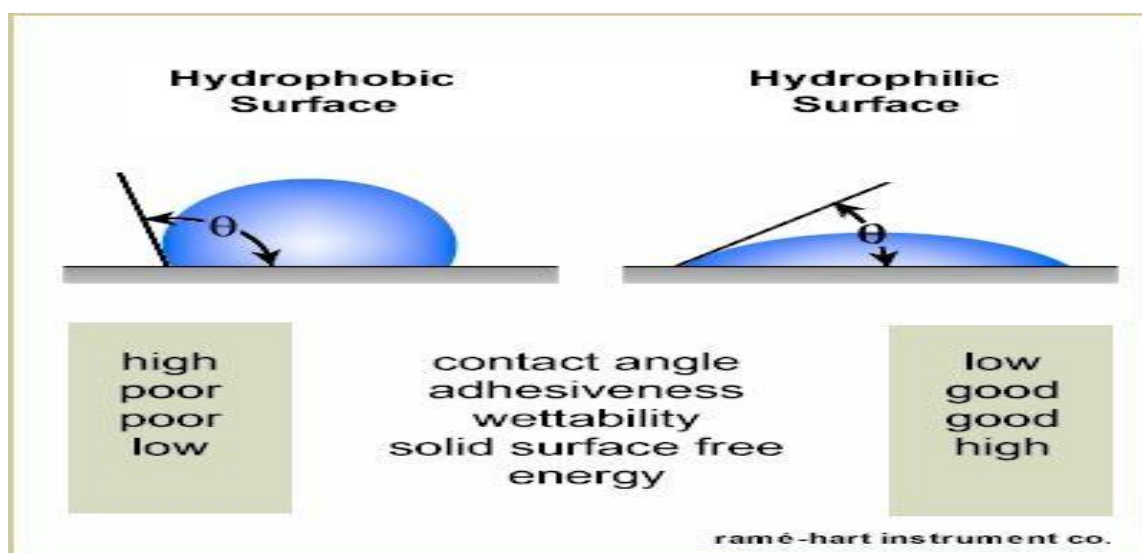
شكل (٦) يوضح حدود ونظام الألوان المثلى



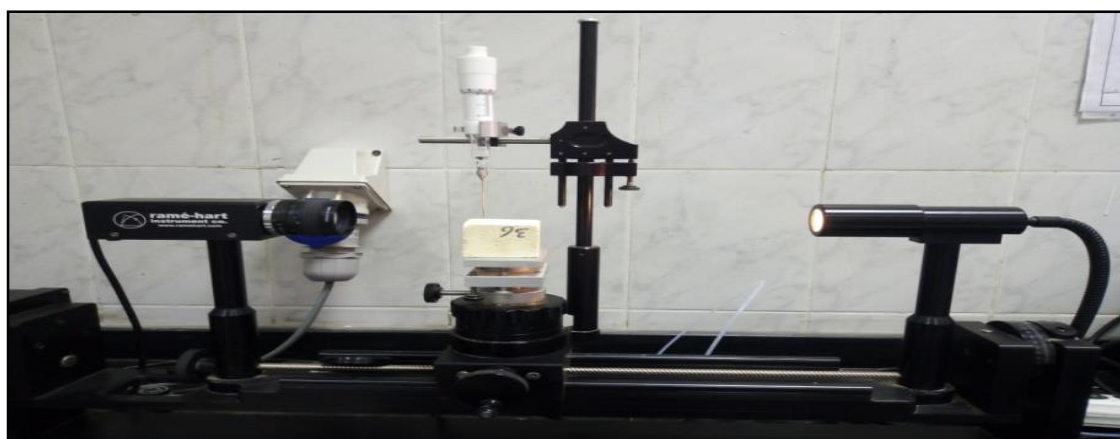
صورة (٢٩) توضح جهاز قياس التغير اللوني للعينات الحجرية

قياس زاوية التماس للعينات المعالجة مع الماء Water contact angle measurement

نظرا لأن الدراسة تتضمن مواد كيميائية طاردة للماء فإن زاوية الاتصال هي أحد أهم العناصر فى تقييم الأحجار الجيرية المعالجة وتم تقييم مقاومة الماء لعينات الحجر الجبرى المعالجة وغير المعالجة والمعالجة بإضافة النانو سيليكات اليها عن طريق قياس زاوية التلامس بين الماء و سطح الحجر وتم إجراء قياسات زاوية الإتصال على العينات الحجرية المعالجة باستخدام جهاز Rame-hart صورة (٣٠) فعندما تصبح زاوية التلامس أكبر من ٩٠ درجة يعتبر السطح كارها للماء ويظهر ذلك فى ضعف الترطيب على سطح الاحجار وضعف الإلتصاق , أما فى حالة قياس زاوية تلامس أقل يكون السطح المعالج محبا للماء ويظهر به ترطيبا أفضل والتصاق أفضل لقطرة الماء شكل (٧) .



شكل رقم (٧) يوضح زاوية التلامس بين قطرة الماء والسطح المعالج

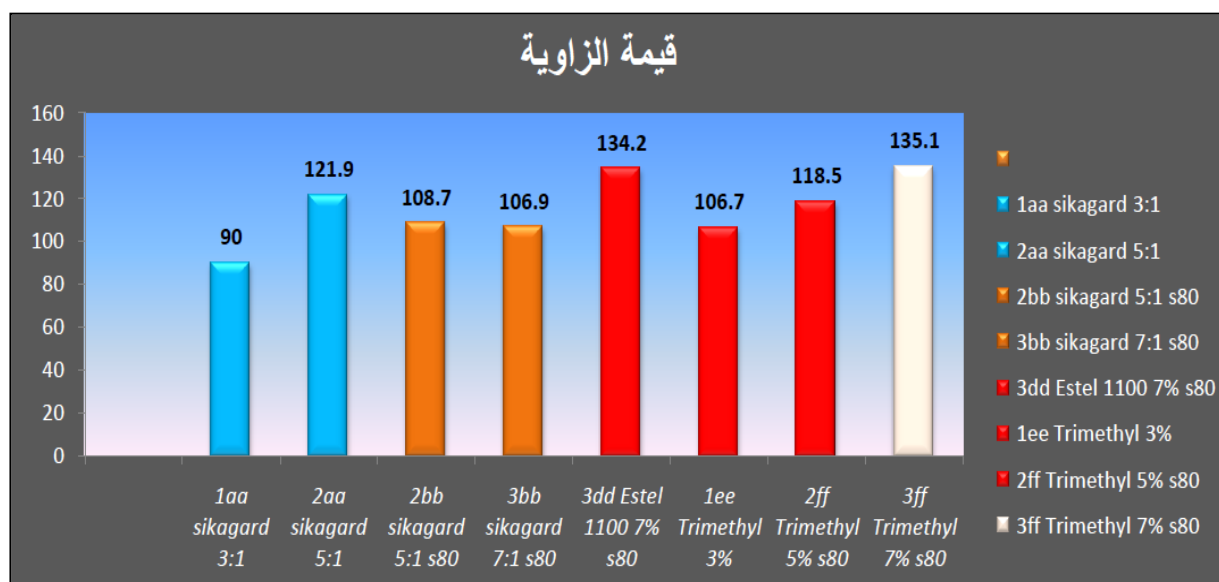


صورة رقم (٣٠) توضح جهاز الـ Contact angle المستخدم في قياس زاوية التلامس

ومن خلال المقارنة بين قياسات زوايا الاتصال بين قطرة الماء وسطح الاحجار تم التعرف على أفضل التركيزات المضاف اليها النانو سيليكيا مع المواد الطاردة للماء والتي أدت إلى ارتفاع في زاوية الاتصال مما يجعل سطح الاحجار كارها للماء بشكل أفضل Super hydrophobic والتي تتضح من خلال الجدول التالي وكما بالشكل (٨):

رقم العينة	مادة العزل	نوع الجيرى	الحجر	التركيز	زاوية التماس
aa ^١	Sika gard	ابيض		٣:١	°90.0
aa ^٢	Sika gard	ابيض		٥:١	°121.9
bb ^٢	Sika gard	حجر أصفر		٥:١	°108.7
bb ^٣	Sika gard	حجر أصفر		٧:١	°106.9
dd ^٣	Estel 1100	حجر أصفر		%٧	°134.2

°106.7	%٣	ابيض	Trimethylmethoxysilane 98%	ee ^١
°118.5	%٥	حجر أصفر	Trimethylmethoxysilane 98%	ff ^٢
°135.1	%٧	حجر أصفر	Trimethylmethoxysilane 98%	ff ^٣



شكل (٨) يوضح أفضل قيم لزوايا الاتصال بين قطرة الماء وسطح الأحجار المعالجة بإضافة النانو سيليكات

٤_٢ عمليات التنظيف Cleaning

وتعتبر عملية التنظيف هي الخطوة الأولى في عملية الترميم حيث يترتب على عملية التنظيف اتخاذ الإجراءات التالية في عملية صيانة مواد البناء. وتهدف عملية التنظيف إلى تحسين مظهر السطح بإزالة الإلتساخات والأتربة المشوهة لأسطح جدران المباني الأثرية وإزالة المواد التي تكون مصدر تنشيط لعمليات تلف أخرى، وأيضاً الحصول على سطح نظيف يسهل عملية العلاج سواء عند ربط المونة أو التقوية وأيضاً العزل لأسطح الجدران الحجرية. وذلك لأن طبيعة الإلتساخات The natural of dirt تعرف على أنها مواد غريبة على الأسطح الحجرية مثل الأتربة المتكلسة والسناج والمعلقات الهوائية وهذه المواد تنتج من تفاعل هذه المواد مع مادة الأثر نتيجة تغير الظروف المحيطة والعوامل المتلفة فتلتصق هذه الإلتساخات على سطح الأثر ميكانيكياً مثل تداخل حبيبات الأتربة في الحفر الميكروسكوبية الموجودة على سطح الحجر أو قد تمسك على السطح بواسطة الجذب الإلكترونياتيكى أو تكون مرتبطة كيميائياً مع مادة الأثر الحجرى مثل الأملاح الموجودة على السطح والمتداخلة فيه. وقبل البدء فى إزالة الإلتساخات يجب معرفة الخواص الفيزيائية والكيميائية للمواد المستخدمة فى أعمال التنظيف المختلفة ومدى نجاحها ولذلك يجب أن تتوفر فى المواد المستخدمة المميزات الآتية:

- يجب أن لا تكون ذات تأثير فيزيائى أو كيميائى على مادة الحجر.

- أن تزيل مادة الإلتساخات دون إزالة مادة الأثر الأصلية.

- أن لا تؤدي إلى مزيد من الإلتساخات.

٤_٢_١ التنظيف الميكانيكي Mechanical Cleaning

عمليات التنظيف هي مرحلة هامة يجب تحديدها بدقة وتحديد الخطوات التي ستم فيها وما يحتاجه الأثر ومن المعروف أن التنظيف الميكانيكي هو الأنسب والأمن على الأثر ومن السهل التحكم به عن التنظيف الكيميائي وقد تم إجراء عمليات التنظيف الميكانيكي باستخدام الفرش الناعمة لإزالة الإرساخات والأتربة الخفيفة Removal of fine dust وتكون الأتربة غير ملتصقة بالسطح بقوة فيستخدم هنا الفرش الناعمة أو مسحة بقطعة من القطن ويمكن أيضا استخدام شفاط الهواء , ويراعى عند التنظيف أن يتم من أعلى إلى أسفل وأيضا يراعى عند الاقتراب من السطح استبعاد الأدوات الحادة حتى لا تجرح السطح كما بالصور(٣١)،(٣٥).

٤_٢_٢ التنظيف الكيميائي Chemical Cleaning

بعد الانتهاء من التنظيف الميكانيكي تبدأ عملية التنظيف الكيميائي , ويعتمد التنظيف الكيميائي على استخدام المحاليل والمذيبات المختلفة حيث تتفاعل هذه المحاليل مع المواد المرتبطة بالسطح وتعمل على إزالتها ، وقد تم استخدام الماء المقطر H₂O والذي يطلق عليه المذيب القطبي Polar Solvent ويعتبر الماء من أكثر المواد التي ليس لها أضراراً وهو الأكثر تأثيراً في إزالة المواد العالقة وقد تم إضافة الكحول الإيثيلي إليه بنسبة ١:٢ وذلك لزيادة الفاعلية في إزالة المواد العضوية الموجودة على سطح الأحجار وأيضا محاولة لكسر الروابط الثانوية بين الإرساخات وقد تم التنظيف باستخدام قطعة من القطن ملفوفة على أحد الفرر المستخدمة في التنظيف وكذلك لزيادة معدل تبخر الماء وجفاف السطح قبل تغلغل الماء داخل مسام الأحجار كما بالصور من (٣٣): (٣٥)

العزل الكيميائي لجدران مسجد الأحمدي

تم تحضير المواد العازلة البوليمرية عن طريق الخلط المباشر وذلك للمواد ذات الأساس العضوي Organic base وذلك بتركيز ٧% من مادة Trimethylmethoxysilane في حجم ١٠٠ مللي من المذيب وهو الكحول الايزوبروبيلي وتم الخلط باستخدام جهاز الاتراسونيك UP 400S وذلك لمدة ٣٠ دقيقة بطاقة ترددية ٤٠ KHZ وتم استخدام الموجات فوق الصوتية لإتمام عملية التجانس باستخدام الطريقة المباشرة حتى يتم الحصول على خليط متجانس من البوليمر والنانو سيليكات وذلك من أجل الحصول على مادة عازلة Super Hydrophobic والتحسين من خواص البوليمر للعزل ضد الرطوبة ويتضح ذلك من خلال الصور من(٣٦): (٤٠) ، وقد تم تطبيق المادة العازلة على السطح الحجري بالفرشاة وتركها للجفاف وإتمام عملية البلمرة لمدة ٧ أيام كما بالصور من (٤٢): (٤٥) ثم تم اختبار فاعلية العزل على السطح الحجري عن طريق الرش بالماء للتأكد من فاعلية المادة في عزل الرطوبة أو الماء على الأسطح الحجرية الأثرية كما بالصور من (٤٦): (٤٩).



صورة (٣١) توضح وجود التكدسات والإرساخات على سطح الأحجار صورة (٣٢) توضح وجود التكدسات والإرساخات على سطح الأحجار



صورة (٣٥) توضح إزالة باقى الأتربة الموجودة على سطح الأحجار بالطرق الكيميائية

صورة (٣٤) توضح إزالة الأتربة الموجودة على سطح الأحجار بالطرق الميكانيكية باستخدام الفرش الناعمة

صورة (٣٣) توضح إزالة التكلسات والأتساخات من على سطح الاحجار باستخدام الطرق الميكانيكية باستخدام المشاط والفرر



صورة (٣٥) توضح الأحجار بعد التنظيف بالطرق الكيميائية



صورة (٣٤) توضح الأحجار بعد التنظيف بالطرق الميكانيكية



صورة (٣٧) توضح تحضير محلول ٧% من مادة فى Trimethylmethoxysilane ١٠٠ مللى من الكحول

الايذوبروبيلى



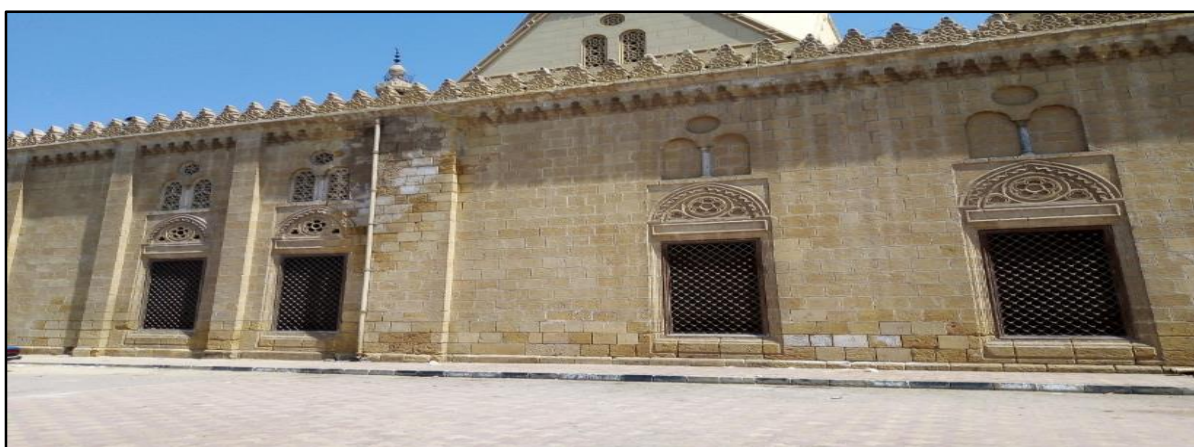
صورة (٣٦) توضح تحضير محلول ٧% من مادة Trimethylmethoxysilane



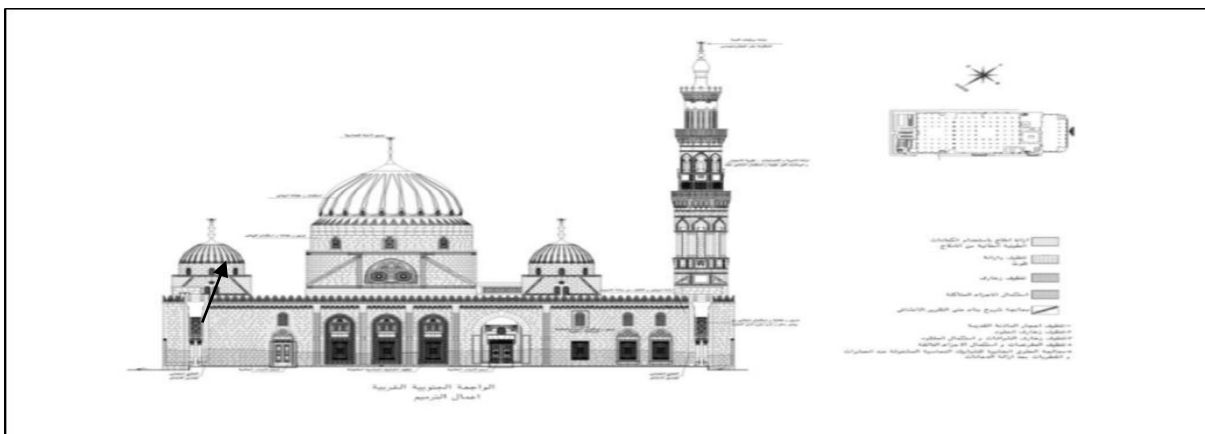
صورة (٤٠) توضح الحصول على خليط متجانس من محلول ٧% من مادة Trimethylmethoxysilane والنانو سيليكات

صورة (٣٩) توضح خلط محلول ٧% من اداة Trimethylmethoxysilane نانو سيليكات بجهاز الالتراسونيك بنظام الخلط المباشر

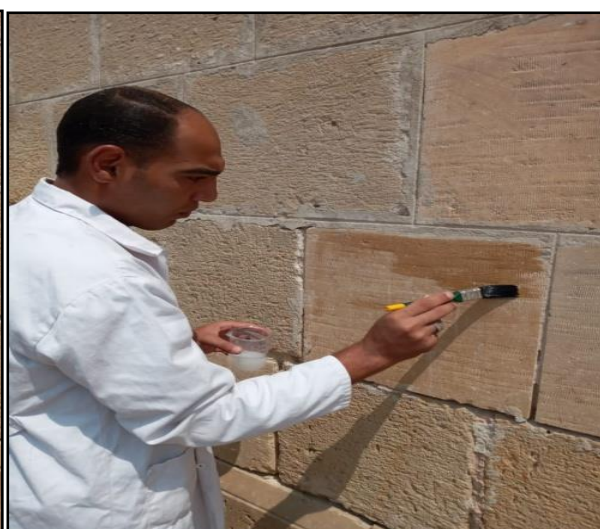
صورة (٣٨) توضح خلط محلول ٧% من مادة Trimethylmethoxysilane والنانو سيليكات بجهاز الالتراسونيك



صورة (٤١) توضح الواجهة الجنوبية للمسجد والتي تم التطبيق عليها وتعاين من وجود تأثير للرطوبة على الأحجار من الأعلى والأسفل

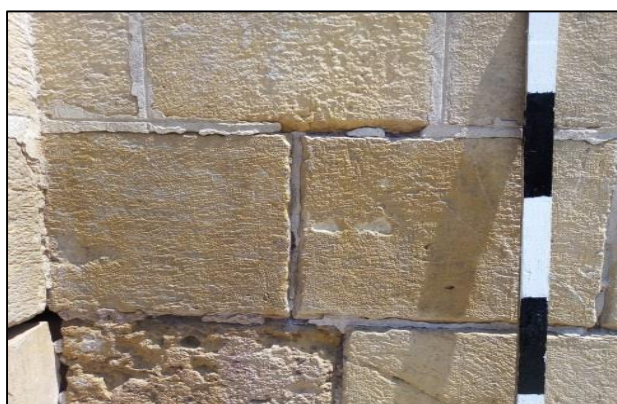


شكل (٩) يوضح تخطيط الواجهة الجنوبية للمسجد والتي تم التطبيق عليها مشارا إلى مكان التطبيق



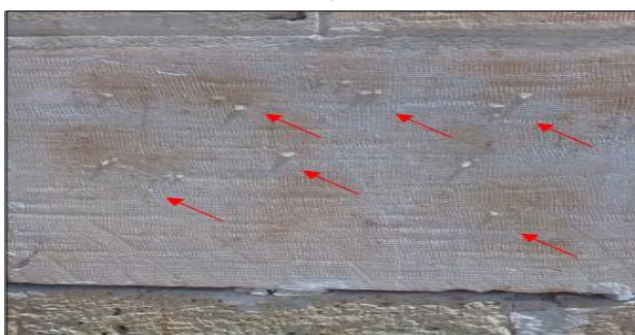
صورة (٤٣) توضح تطبيق المادة العازلة على سطح الأحجار باستخدام الفرشاة ولم تظهر أى تغيرات لونية للأحجار

صورة (٤٢) توضح تطبيق المادة العازلة على سطح الأحجار باستخدام الفرشاة



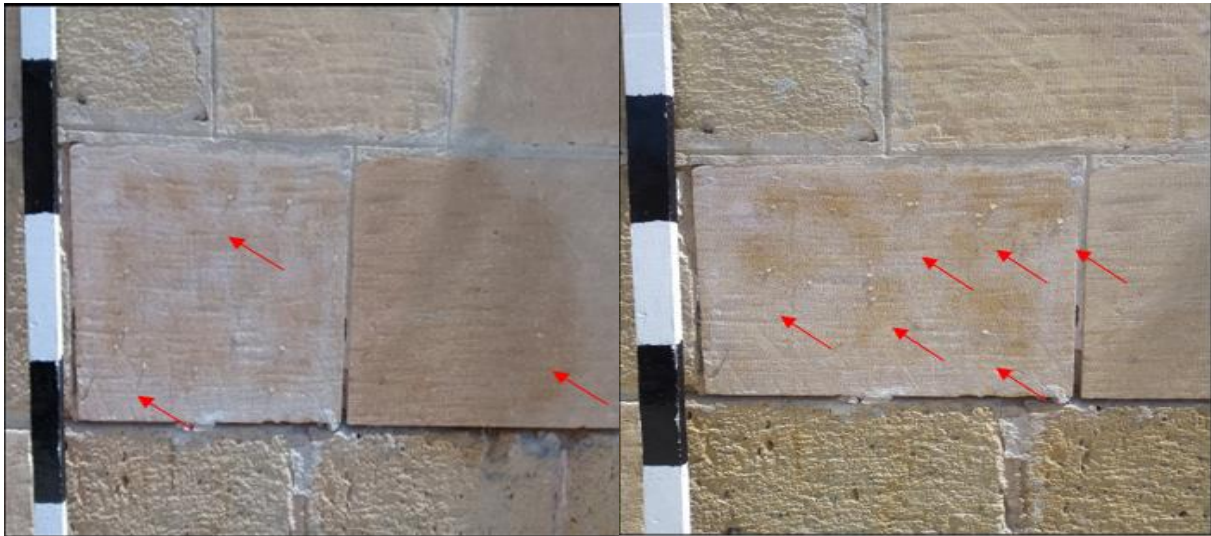
صورة (٤٥) توضح ترك الأحجار بعد تطبيق المادة العازلة عليها للجفاف وإتمام عملية البلمرة

صورة (٤٤) توضح الأحجار بعد تطبيق المادة العازلة عليها



صورة (٤٧) توضح عدم امتصاص الأحجار المعالجة للماء واستمرار قطرات المياه عليها وثباتها

صورة (٤٦) توضح عدم امتصاص الأحجار المعالجة للماء واستمرار قطرات المياه عليها



صورة (٤٩) توضح ثبات قطرات المياه على الأحجار المعالجة بالمواد الطاردة وامتصاص الأحجار الغير معالجة للماء

صورة (٤٨) توضح ثبات قطرات المياه على الأحجار المعالجة بالمواد الطاردة

النتائج:

إتضح من الفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM الإنتشار الممتاز والمتجانس لمادة Trimethylmethoxysilane بتركيز ٣% مع النانو سيليكيا على هيئة طبقة احادية متجانسة تغطي سطح العينة Coating layer، وكذلك الانتشار الجيد والمتجانس لمادة Trimethylmethoxysilane بتركيز ٧% مع النانو سيليكيا كما توضح ملء المادة العازلة للمسام الدقيقة دون غلقها وكذلك تغليفها للحبيبات السطحية المفككة مما يدل على كفاءة مادة Trimethylmethoxysilane في ملء المسام والانتشار الجيد بين حبيبات الأحجار. كما إتضح من خلال فحص عينات الحجر الجيري الخاصة بمسجد السيد البدوي باستخدام الميكروسكوب المستقطب تبين أنه يتكون من معدن الكالسيوم دقيق الحبيبات

Fine Graing Calcit وملئ بحفريات الفورامينفرا وحفريات الFossile الى جانب بعض الطحالب وبعض معادن الطين بالإضافة إلى وجود نسبة من الرمال الناعمة والمتدرجة الحبيبات وبعض الأصداف.

كما أظهرت تركيزات مادة Trimethylmethoxysilane إنخفاض معدلات الإمتصاص مع كل من عينات الحجر الأبيض والحجر الأصفر المعالجة بالمواد الطاردة للماء بدون إضافة النانو سيليكيا ، وأيضاً أظهرت أفضل معدلات لانخفاض امتصاص الماء بإضافة النانو سيليكيا إليها مما يجعلها الأفضل في تخفيض معدلات امتصاص الماء عن المواد الأخرى.

وأظهرت الإختبارات إرتفاع معدل تحمل قوة الضغط الميكانيكي للعينات المعالجة بالمواد الطاردة للماء مع إضافة النانو سيليكيا إليها وذلك مع تركيزات ١:٧،١:٥،١:٣ من مادة Sikagard مع الحجر الأبيض وأيضاً إرتفاع معدلات تحمل قوة الضغط مع تركيزات ٣%، ٥%، ٧% من مادة Estel 1100 لعينات الحجر الأصفر، وكذلك إرتفاع معدلات قوة الضغط لعينات الحجر الأبيض والمعالج بمادة Trimethylmethoxysilane بتركيزات ٣%، ٥%، ٧% مما يدل على أن إضافة النانو سيليكيا SiO₂ إلى المواد الطاردة للماء يزيد من قوة الإنضغاط للأحجار بعد المعالجة وتعزيز قوة الأحجار وأيضاً تحسين قوة البوليمرات الطاردة للماء وتحسين تفاعلها مع حبيبات الأحجار.

التوصيات:

- ١- يوصى بضرورة التحكم فى قطع المصدر الرئيسي للرطوبة حتى يتم إجراء المعالجة بشكل صحيح.
- ٢- يوصى بإضافة المواد النانوية وخاصة النانو سيليكيا إلى المواد الطاردة للمياه وذلك لتحسين خواص المواد الطاردة للمياه وذلك لزيادة انخفاض معدل امتصاص الماء داخل الأحجار وتعزيز قوتها وتحسين خواصها وتعزيز تفاعلها مع حبيبات الأحجار.
- ٣- يوصى بضرورة اختيار مواد طاردة للماء على درجة عالية من الشفافية حتى لا تؤثر على الشكل العام لسطح الأحجار أو تحدث تغيرا في اللون الأصلي لها وتحقق عمق وتغلغل جيد داخل مواد البناء وذات فاعلية طويلة الأجل.
- ٤- استخدام مادة Trimethylmethoxysilane مع النانو سيليكيا SiO_2 فى تخفيض معدلات الرطوبة بجدران المباني الأثرية الحجرية وذلك طبقا لما تم تحقيقه من خلال الدراسة.
- ٥- يوصى بإجراء عمليات العزل الكيميائي للرطوبة بالمباني الأثرية الحجرية وفق القواعد الصحيحة لتطبيق المواد العازلة حتى تتم عملية العزل بفاعلية كبيرة ونتائج أفضل و متابعة الجزء المطبق عليه العزل الكيميائي للرطوبة بعد التطبيق وذلك لمتابعة معدل انخفاض الرطوبة وإعادة تطبيق المادة العازلة مرة أخرى إذا لزم الأمر.

المراجع:**أولا : المراجع العربية**

- (1) ماجد شاهين: السيد البدوى عرض ونقد، مركز سراج للدراسات والبحوث، ٢٠٢٠م.
Majed Shaheen: Al-Sayyid Al-Badawi, Presentation and Criticism, Siraj Center for Studies and Research, 2020 AD.
- (2) اميرة عبد المحسن لطفى محمد: جامع السيد البدوى فى مدينة طنطا "دراسة معمارية وثائقية"، رسالة ماجستير، كلية الاداب، جامعة طنطا، ٢٠١٤
Amira Abdel Mohsen Lotfy Muhammad: Al-Sayyid Al-Badawi Mosque in the city of Tanta, "A Documentary Architectural Study", Master's Thesis, Faculty of Arts, Tanta University, 2014
- (3) محمد حمزة اسماعيل الحداد: الطراز العصرى لعماير القاهرة الدينية خلال العصر العثمانى ٩٢٣-١٢١٣هـ / ١٥١٧-١٧٩٨م، رسالة دكتوراه كلية الآثار، جامعة القاهرة، ١٩٩٠.
Muhammad Hamza Ismail Al-Haddad: The modern style of Cairo's religious buildings during the Ottoman era 923-1213 AH / 1517-1798 AD, doctoral dissertation, Faculty of Archeology, Cairo University, 1990.
- (4) فاروق شرف: ترميم المنشآت الحجرية، دار الكاتب للطباعة والنشر، ٢٠١٥
Farouk Sharaf: Restoration of stone structures, Dar Al Kateb for Printing and Publishing, 2015
- (5) حسام حسن البرمبلى: منهجية للصيانة الحديثة للمساجد القائمة فى ظل منظومة الادارة الاقتصادية، المؤتمر العالمى الأول لعامة المساجد، ٢٠١٦
Hossam Hassan Al-Barambali: A methodology for modern maintenance of existing mosques under the economic management system, The First International Conference on Mosque Architecture, 2016
- (٦) سعاد ماهر محمد: مساجد مصر وأولياؤها الصالحون، الجزء الثانى، المجلس الأعلى للشؤون الإسلامية، ١٩٧٣
Souad Maher Muhammad: Egypt's mosques and their righteous saints, Part Two, Supreme Council for Islamic Affairs, 1973.
- (٧) وفاء السيد أحمد شرف المصرى : المصطلحات المعمارية بوثق الوقف المملوكية، رسالة دكتوراه، كلية الاداب، جامعة سوهاج، ٢٠٠٧

Wafaa Al-Sayyid Ahmed Sharaf Al-Masry: Architectural Terminology in Mamluk Endowment Documents, PhD thesis, Faculty of Arts, Sohag University, 2007

ثانياً: المراجع الأجنبية :

6) JULIAN S. TAUROZZI, VINCENT A. HACKLEY, & MARK R. WIESNER: Ultrasonic dispersion of nanoparticles for environmental, health and safety assessment issues and recommendations, Nanotoxicology, 2011.

7) Kevin Beck, Sarah Janvier-Badosa, Xavier Brunetaud, Ákos Török & Muzahim Al-Mukhtarab: Non-destructive diagnosis by colorimetry of building stone subjected to high temperatures, 2015.

8) Natalie Karas: An Evaluation of Acrylic Resin, Ethyl Silicate, and Methyltrimethoxysilane Treatment at San Antonio Missions National Historic Park, San Antonio, Texas, MSc, University of Pennsylvania, 2011.

9) Yutie Bi, Jiayi Zhu, and Hongbo Ren : Uniformly Structured Methyltrimethoxysilane-Based Silica Aerogels with Enhanced Mechanical Property by Surfactant-Free Fabrication, International Journal of Nanoscience Vol. 19, No. 3, 2020.

10) Song He, Xianfeng Chen: Flexible silica aerogel based on methyltrimethoxysilane with improved mechanical property, Materials Science, Journal of Non-crystalline Solids, 2017

11) M. Jacobs Y, De Vos V. Middelkoop : Thickness controlled SiO₂/TiO₂ sol-gel coating by spraying, Unit Sustainable Materials Management, Flemish Institute for Technological Research (VITO), Boeretang 200, 2400, Mol, Belgium, 2021.

١٢) Ahmed Abd EL AZIZI: THE EFFECTIVENESS OF NANO MATERIALS AND NANO-MODIFIED POLYMERS FOR PRESERVATION OF HISTORIC BRICK MASONRY IN RASHID, EGYPT, INTERNATIONAL JOURNAL OF CONSERVATION SCIENCE, 2018.

13) George C, et al: Control of the water adhesion on hydrophobic micropillars by spray coating technique, 2012.

قائمة مواقع الانترنت:

١4) www.gramme.be .

15) www.micronanoflows.ac.uk, super_hydrophobic nano_surface.

16) www.rame-hart.instrument.co.

17) www.ramehart.com, glossary of surfacescience terms.