Proceeding of the 1st International Conference of the Faculty of Archaeology, Luxor University.

**"Antiquities, Cultural, and Civilizational Heritage in the Arab World"**

14 to 16 February 2023, Luxor, Egypt.

**PRINT-ISSN:** 3009-6081 / **ONLINE-ISSN:** 3009-7371

**Website:** https://licfa23.conferences.ekb.eg/

# Studying the efficiency of nanocomposites in improving the properties of lime injection mortars for ancient Egyptian archaeological buildings

**Badawi Muhammad Ismail, Mahmoud Abdel Hafez Muhammad Adam, and Al-Tayeb Mahmoud Hassan***

Master's researcher - Department of Restoration - Faculty of Archeology, Luxor University

**Abstract**

The mortars is an integral part of the archaeological building ,as these mortars work to connect blocks of stones to each other ,which leads to the cohesion of the wall and maintain the unity of the archaeological building and its durability.It is worth noting that some archaeological buildings have been constructed from two- sided walls where the space between the walls is filled with mortar, building materials, broken stones, and others (this molecule is known as the filling), and this internal filling may be subject to damage over time, especially as a result of exposure to various sources of moisture,This study aims to identify the most important manifestations of damage to building mortars used in ancient Egyptian archaeological facilities , and study the most important causes of damage, and then study the properties of these mortars , physical or mechanical properties ,The study also aims to identify the composition and properties of these mortars through various examination and analysis methods such as PLM,SEM-EDX,XRF,XED in order to find out the chemical and mineral composition of these mortars, study their internal structure ,and study the most important modern materials based on nanocomposites that can be used in injection and strengthening operations of these mortars to maintain them in good condition.The initial results of the research indicate the efficiency of nanomaterials in improving the properties of conventional chemical materials used to improve the properties of injection mortars ,and through this research, it is possible to select some conventional polymers and enhance them with one of the nanomaterials and use them to improve the properties of injection mortars in archaeological buildings

.**Keywords**

Injection molding, nano materials, screening and analysis, double-layer walls, restoration.

* Correspondence Author:

# دراسة كفاءة المتركيبات النانوية في تحسين خواص مونات الحقن الجيرية للمباني الاثرية المصرية القديمة

**بدوي محمد إسماعيل، محمود عبد الحافظ محمد آدام ,الطيب محمود حسان**

باحث ماجستير– قسم الترميم– كلية الآثار جامعة الأقصر

**الملخص**

تعد المونات جزي لا يتجزء من المبني الاثري ,حيث تعمل هذه المونات علي ربط كتل ألاحجار ببعضها البعض ,مما يؤدي الي تماسك الجدار والحفاظ علي وحدة المبني الاثري ومتانتة.ومن الجدير بالذكر ,ان المباني الاثرية قد شيد بعضها من جدران ذات رقتين حيت يتم ملئ الفراغ بين الجدارن بمونة ومواد بناء وكسر احجار وغيرها (يعرف هذا الجزي بالحشوة),وقد تتعرض هذه الحشوة الداخلية الي التلف بمرور الوقت ,لاسيما نتيجة تعرضها لمصادر الرطوبة المختلفة ,وتهدف هذه الدراسة الي التعرف علي أهم مظاهر تلف مونات البناء المستخدمة في المنشآت الاثرية المصرية القديمة , ودراسة اهم مسببات التلف ,ومن ثم دراسة خواص هذه المونات ,سوء الخواص الفزيائية أوالميكانيكية,كما تهدف الدراسة الي التعرف علي تركيب وخواص هذه المونات عن طريق أساليب الفحص والتحاليل المختلفة مثل PLM,SEM–EDX,XRF,XED وذلك لمعرفة التركيب الكميائي والمعدني لهذه المونات , ودراسة البنية الداخلية لها ,ودراسة اهم المواد الحديثة المرتكزة علي مركبات نانوية يمكن استخدامها في عمليات الحقن والتقوية لهذه المونات للحفاظ عليها في حالة جيدة. وتشير النتائج المبداية للبحث الي كفاءة المواد النانوية في تحسن خواص المواد الكميائية التقليدية المستخدمة في تحسن خواص مونات الحقن ,ويمكن من خلال هذا البحث اختيار بعض البوليمرات التقليدية وتعزيزها باحد المواد النانوية واستخدامها في تحسين خواص مونات الحقن في المباني الاثرية .

**الكلمات الدالة**

مونات الحقن ,المواد النانوية ,الفحص والتحليل ,الجدران ذات الرقتين ,الترميم

**المقدمة :**

المونات هي مواد تعمل علي ربط مواد البناء بعضها ببعض ,مثل الاحجار ,الطوب ,الكتل وما شابه معا[1] .
وتعرف المونات على أنه عجينة يمكن ضبطها وتصلبها، ويتم الحصول عليها عن طريق إضافة الماء إلى مزيج دقيق من حبيبات الركام او الرمل والمادة الرابطة[2]. والملاط للبناء مهم لأنه يوفر الصلة بين وحدات البناء بحيث يمكن المركب من التصرف كمادة واحدة.ويحدد نوع المونة المستخدم القوة والمرنة وقوة الانضغاط للبناء[3]. يجب أن يؤخذ في الاعتبار نوع المبنى ونوع وحدة البناء وموقع الجدار الذي تستخدم فيه الملاط ودرجة تعرضه للظروف الخارجية والمحيطة[4]. نظرا لأهمية المونات في التراث الثقافي العالمي؛ فقد أجريت العديد من الأبحاث في العقود الأخيرة لدراسة أهم مظاهر تلف المونات ,وتحسين الخواص الفزيائية والميكانيكية لها[5]. تتعرض المونات لقوي عديد من انواع التلف التي تؤدي الي تلف وتدهور بنيتها الداخلية[6]

ومن اهم هذه العوامل التباين في درجات الحرارة فترتفع درجة حرارة علي سطح المونات نهاراً وتنخفض ليلاً والعكس بالنسبة للجزء الداخلي ، وعلي مدار اليوم تنفذ الحرارة إلي الداخل ببطء وعند حلول الليل تنخفض درجة حرارة السطح وترتفع درجة حرارة الجزء الداخلي ومع تكرار هذه العملية, تودي الي مذيد من عمليات التمدد والانكماش للمونات اللتي بدورها تولد سلسلة من الضغوط والتأثيرات الفيزيائية والميكانيكية التي تودي الي تلف تدهوره المونات[٧].

والماء بأشكاله المختلفة سواء الرطوبة أو الأمطار، والرطوبة بجميع مصادرها من اخطر عوامل التلف الفيزيوكيميائية التي تؤثر علي المباني الاثرية[٨],حيث يكون سطع المباني الاثرية رطبا نتيجة ارتفاع رطوبة ,وذلك نتيجة ان قطرات الماء تتجمع على الأسطح الخارجية للمبنى[٩]، وتعمل مسامية مواد البناء بمرور هذه المياة الي الجدران الداخلية والي الاسقف وغيرها حيث تؤدي الرطوبة الموجودة في مواد البناء إلى إذابة ما بها من أملاح وتحريكها نحو السطح ومن ثم تبلورها في هذا المكان ؛ كما تؤدي الرطوبة العالية إلى إذابة بعض مكونات المونة والمواد الرابطة داخل الأحجار مما ينتج عنه ضعف البنية الداخلية للمونات[١٠],بالإضافة إلى الأملاح القابلة للذوبان، ويمثل وجود الاملاح القابلة للذوبان خطر حقيقي

[1] Gillot, C., & Coutelas, A. (2018). Cements, mortars, binders. The Encyclopedia of Archaeological Sciences, p.1.

[2] Cechova, E. (2009). The effect of linseed oil on the properties of lime-based restoration mortars.pp.1:3.

[3] Ahmed, A., & Nadir, H. (2022). Compressive and Flexural Strength of Non-Hydraulic Lime Mortar with Slag (GGBS). Journal of Material Sciences & Manufacturing Research, 3(3).p.1

[4] Válek, J., Hughes, J. J., & Groot, C. J. (2012). Historic mortars: characterisation, assessment and repair. A state-of-the-art summary Springer Netherlands., Pp .1-7.

[5] Domizio, M., Maldonado, N., & Luco, L. F. (2022). Achieving a Suitable Hygro-Mechanical Compatibility Between the Substrate and the Repairing Mortars in Historic Mansory Constructions. In Protection of Historical Constructions: Proceedings of PROHITECH 2021 4 ,Springer International Publishing ,p. 12

[6] عرابي، عز عربي. ( ٢٠٢٠ ). دراسة أسباب تلف اللوحات الجيرية المنقوشة بتل حبوة الأثري بسيناء.مجلة الإتحاد العام للآثاريين العرب، مج ٢١ , ع ١،ص١٦٥/١٦٧.

[7] Xystouris, K. S., Fokaides, P. A., Antoniadou, P., & Papadopoulos, A. M. (2020). Indoor thermal comfort conditions in summer under subtropical climate conditions. International Journal of Sustainable Energy, 39(4),pp. 397:398.

[8] Van Hees, R. P. J., Binda, L., Papayianni, I., & Toumbakari, E. (2003). Characterisation and damage analysis of old mortars. p.644.

[9] Oguchi, C. T., & Yu, S. (2021). A review of theoretical salt weathering studies for stone heritage. Progress in Earth and Planetary Science, 8(1), p.4.

[10] Lubelli, B., Cnudde, V., Diaz-Goncalves, T., Franzoni, E., van Hees, R. P., Ioannou, I., ... & Viles, H. (2018). Towards a more effective and reliable salt crystallization test for porous building materials: state of the art. Materials and Structures, 51 p.4.

علي الملاط والمونات حيث يمكن للأملاح القابلة للذوبان أن تذوب وتترسب بسهولة مع تقلبات درجة الحرارة والرطوبة التي يمكن أن تحدث خلال الدورات اليومية والموسمية[١].

هذا التحول هو الخطر الحقيقي على المونات ، لأن عملية التبلور عادة ما تخلق ضغطا في المسام وتكرار عمليات التبلور تودي الي مزيد من الاضمحلال التي تؤدي تقرحات وتفكيك وتقشيرالمونات[٢]. وملوثات الهواء الجوي، والعوامل البيولوجية التي تعد من أهم العوامل التي تسبب تلف وتدهور المونات[٣]. يتطلب هذا الامر التدخل لتحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية للمونات الاثرية. والتوصل إلى مونات طبيعية محسنة الخواص باستخدام الإضافات النانوية؛ للتغلب على عيوب المونات التقليدية المستخدمة في أعمال الحقن والاستكمال في المباني الأثرية، وخاصة التغلب على خاصية الانكماش والانفصال وعدم التغلغل الجيد.ودراسة تطبيقات المونات دراسة مهمة ,نظرا لانها من المواد المستخدمة في الحفاظ علي هياكل المباني الاثرية ,ولابد ان تتم عبر دراسات تطبيقة وتجريبية[٤].

وفي مجال تحسين خواص المونات ظهرت العديد من الأبحاث لدراسة وتطبيق بعض لاضافات التي تعمل علي متانة المونات ,منها الرماد البركاني ,والبزولان ,وقطع السراميك ,والاضافات العضوية[٥] ,وكذلك التقوية باستخدام بعض البليمرات واللدائن.[٦] لوحظت بعض العيوب، مثل التشقق والهشاشة وفقدان مرونة السطح، بعد تقويتها بهذه المواد[٧]. نظرا لعدم كفاءة المواد التقليدية التي تم استخدامها لعقود في تحسين خواص المونات ، تم تطوير العديد من الدراسات والإجراءات في السنوات الأخيرة لتطوير مواد مبتكرة لتقوية المونات[٨]، بدأ استخدام الجسيمات بحجم النانو يجذب انتباه العلماء في مختلف المجالات .بالإضافة إلى ذلك،استخدام المواد البوليمرية كمصفوفة حاملة للجسيمات النانوية استحدثت تطبيقات جديدة لهذه في ترميم المباني التاريخية [٩].

ويهدف هذا البحث في تقيم فعالية المواد النانوية ومواد التقوية التقليدية في تحسين خواص المونات, سوء الخصائص الميكانيكية او الفزيائية,ومقارنة نتائج تطبيق مادة الفاكر oh100 منفردة اوالمهجنة بنانو السليكا بنسبة ٣% لتحسين الخواص الفزيائية والميكانيكية لمونات الحقن الجيرية للمباني الاثرية المصرية القديمة.

---

[1] Fahmy, A., Molina-Piernas, E., Martínez-López, J., & Domínguez-Bella, S. (2022). Salt weathering impact on Nero/Ramses II Temple at El-Ashmonein archaeological site (Hermopolis Magna), Egypt. Heritage Science, 10(1), 125.p.2.

[2] Aly, N., & Hamed, A. (2020). The impact of salt crystallization on the building stones of Al-Azhar mosque from historic Cairo–Egypt. *International Journal of Conservation Science*, *11*(4), p.896.

[3] Barnoos, V., Oudbashi, O., & Shekofteh, A. (2020). The deterioration process of limestone in the Anahita Temple of Kangavar (West Iran). *Heritage Science*, *8*(1), p.1.

[4] Elsen,J ,(2006 )"Microscopy Of Historic Mortars − Aare View Cement And Concrete Research" ,V.361ssue8, P.1416.

[5] Razali, N. B. (2014). Natural hydraulic lime mortars for use in high temperature, high humidity climatic conditions: effect of calcitic fillers (Doctoral dissertation, Heriot-Watt University).pp.1:8.

[6]Briffa, S. M., Sinagra, E., & Vella, D. (2012). TEOS based consolidants for Maltese globigerina limestone: effect of hydroxyl conversion treatment.,p2.

[7]Mol, L., Gomez-Heras, M., Brassey, C., Green, O., & Blenkinsop, T. (2017). The benefit of a tough skin: bullet holes, weathering and the preservation of heritage. *Royal Society open science*, *4*(2), 160335 , p10.

[8] Kyropoulou, D., Heliades, E., Karalis, P., Diamantopoulos, G., Gougoura, S., & Dotsika, E. (2021). Technological Evolution of Historic Mortars: From Lime-Based Mortars to Roman Opus Caementicium. In Protection of Historical Constructions: Proceedings of PROHITECH 2021 :pp94:96.

[9] Mohamed, W. S. (2009). Applications of nanotechnology in the polymer and textile fieldsp.2.

## مواد وطرق الدراسة :

### ٢,١ المواد المستخدمة في الدراسة :

### ٢,١,١ إعداد مواد التقوية المضافة للمونات:

الهدف العلمي لهذه الدراسة هو تحديد أفضل المواد المقاومة بشدة للعوامل التلف والتدهور العديدة التي تتعرض لها المونات الاثرية . تم تحقيق ذلك من خلال مقارنة مواد التقوية التقليدية والمواد النانوية.ولقد استخدم في هذه الدراسة من مواد التقوية التقلدية مادة الفاكر(Wacker OH 100) وتستخدم هذه المادة مباشر في صورة مركب جاهز بدون تخفيف منه , وتحتوي هذه المادة علي سيليكات الإيثيل Ethyl Silicate , وميثيل إيثيل آيتون, والأسيتون[1].وتمتع هذه المادة بقوة اختراق عالية للمسام ، تم استخدامها بشكل كبير لتقوية وعزل الأحجار المتدهورة ذات الخواص الميكانيكية والفزيائية الضعيفة فيعمل علي تحسين خواص المونات والاحجار[2],وهو أحد المركبات الكيميائية التي تستخدم لتقوية الأحجار القديمة وتحسين خواص المونات.[3] ويتم انتاجة عن طريق شركة *Wacker Chemie* الالمانية.[4]

[1] رسالة ماجستير,قسم ترميم . حنفي, ياسر. (٢٠١٥). دراسة تقوية الآثار الحجرية الرملية باستخدام تكنولوجيا النانو تطبيقا علي نموذج مختار الاثار,كلية الاثار, جامعة القاهرة,ص١٨٠.

[2] Sayed Mohamed El-Sayed, S. (2023). Restoration and conservation of the archaeological Islamic sandstone tombstones applied on a tombstone from the second Abbasid era in Egypt. مجلة كلية الآثار. جامعة القاهرة, 14(26), p. 479.

[3] El-Sayed, S. S. M., & Maky, A. Y. (2022). Archaeometric investigation to evaluate Acrylic, silicon materials and nano-additives as consolidation material to sandstone monuments of the sphinxes avenue (Luxor, Egypt). Scientific Culture, 8(1), p53.

[4] Shoaib, A., & Kamal, R. H. (2020). An experimental study for evaluating the efficiency of consolidated materials for limestone treatment.p.3.

**٢,٢,١ تحضير المتراكب النانوي: Wacker OH 100 Reinforced With SiO2 Nanoparticles**

يتم تحضير المواد المركبة عن طريق اضافة حبيبات السليكا النانوية إلى الوسط البوليميري الفاكر oh100(المادة الأساسية) ، بتركيز ٣% وزن/حجم، ويتم الخلط الجيد لهذه المواد مع بعضها البعض للحصول على مادة مركبة نانوية متجانسة ، تتميز بخصائص جيدة [1].ولقد تم عمليات التحضير لهذا المتركب النانوي بمعمل كلية الدرسات العليا للنانو تكنولوجي جامعة القاهرة . وهي حبيبات ذو لون بيج لامع، ويتم تمييزه بلمسة نهائية إسفنجية الشكل ؛ وذو حبوبه مثقوبة، مما يساعدفي انتشارهذا الحبيبات جيدا وانخفاض ترسبه.

**٣,٢,١ تجهيز المونات المستخدمة في الدرسة :**

تم خلط المكونات المختلفة الرمل والجير والحيية اولا يتم تنقية المواد من اي شؤائب عن طريق الغربلة الناعمة , ثم يتم بعد ذلك عملية الخلط الجيد الجاف وتلقيب المكونات بشكل متتالي ثم اضافة الماء ومواد التقوية المختلفة من مادة الفاكر oh100,او مادة Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles, يكون كمية الماء ومواد التقوية في عملية الخلط ١:١. يتم الخلط في في وعاء متوسط يسمح بعملية التقليب والخلط الجيد .

حيث يتم في البداية إضافة الجير والحيية والرمل بنسبة ١:١:٢ثم اضافة المواد المحسنة للخواص , يتم التقليب والخلط بواسطة خلاط كهربائي وذلك لضمان تجانس القوام , ثم بعد ذلك يصب خلطات المونات المعدة في قوالب خشبية معالجة بمادة عازلة حتي لا تلتصق المونات بقوالب الصب وتم اعداد القوالب بابعاد ٥ * ٥ * ٥ سم ٣ . ولقد تركت لتجف في جو الغرفة العادي ثم رقمت بعد انتهاء مرحلة الجفاف .

شكل (١) (أ) يوضح مراحل صب و تجهيز مونات الدراسة (ب) يوضح القوالب بعد الانتهاء من عمليات تنفيذ المونات التجريبية .

## ٢. طرق الدراسة:

### ١,٢,٢ الميكروسكوب الإلكتروني النافذ (TEM )

يتم استخدام المكيرسكوب الالكتروني النافذ, لدراسة المواد النانوية والتحقيق في بنيتها؛ لاكتشاف خصائص مكوناتها ،و لضمان نجاح عملية الخلط والتفاعل بين حبيبات المادة الداعمة، والحصول على تركيب متجانس يتم فيه توزيع جزيئات المواد الداعمة على النحو الأمثل، وتحديد بنية وسلوك المركب بعد عملية الخلط والتفاعل، وكذلك قياس حجم الجسيمات النانوية بعد إجراء الخلط.[2],وكذلك توفير المعلومات التركيبية والكيميائية للمواد النانوية من مقاييس الطول و الأبعاد

[1] Helmi, F. M., & Hefni, Y. K. (2016). USING NANOCOMPOSITES IN THE CONSOLIDATION AND PROTECTION OF SANDSTONE. International Journal of conservation science, 7(1).p.1.

[2]Kannan, et al., (2018) Scanning Electron Microscope: Principle, Components, Applicaions, ATextbook on Fundmentals and /Applications of Nanotechnology, pp.88:90.

الذرية، مما يوفر الفرصة لفهم خصائص المواد النانوية والتحكم بسلوكها.[1]وقد تم الفحص باستخدام الجهاز ذي المواصفات: (HRTEM, JEOL TEM-2100, Japan) بكلية النانو تكنولوجي للدراسات العليا، جامعة القاهرة ، فرع الشيخ زايد.

**٢,٢,٢ الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح (SEM)**

أحد أهم الأدوات العلمية التي قدمت مساعدتها في مجال علم ترميم الآثار هو المجهر الإلكتروني الماسح ، والذي يستخدم لقياس مدى اختراق مواد التقوية وتغلغها لمسافات كبيرة والربط بين الحبيبات وبعضها[2], ودراسة التركيب البلوري للحجر والمونات ، ومدى تاثير التلف الذي لحق بها، وفحص شكل ومورفولوجيا طبقة مادة التقوية ومدى قدرتها على ربط مكونات المونة ، ثم تقييم قدرة مواد التقوية على تماسك وحماية المونات.[3] وقت تم هذا الاختبار بواسطه جهاز موديل ( a SEM Model JEOL JSM 5400 LV: EDX Link ISIS – Oxford Detector High Vacuum) بوحدة االميكروسكوب الإلكتروني الماسح ,جامعة اسيوط .

**٣,٢,٢ قياس زاوية اتصال الماء Static Contact Angle Measurement**

يعد الماء من ابرزمشاكل الحفاظ وأهم واخطر عوامل التلف التي تؤثر علي المباني الاثرية والمونات[4], لذلك يجب ان تتوفر في مواد التقوية قدرة عالية علي مقاومة الماء, وقد تم تقييم مقاومة العينات المعالجة قبل وبعد التقادم عن طريق طريق قياس مايسمى بزاوية اتصال الماء[5] ,وهي من أهم القياسات لتقييم مدى قابلية الأسطح للتأثر بالماء قطرات الماء مع السطح [6],وهو أحد الاختبارات الرئيسية المستخدمة لتحديد قدرة مواد التقوية على تكوين طبقة واقية على السطح الخارجي للمواد الأثرية المعالجة.[7] وقد تم هذا الاختبار باستخدم جهاز ( electron microscope equipped with special camera model T330, Generated with One Attention Version 2.7(r5433), Company name: Biolin Scientific, Finland,طبقا للمواصفة UNI EN 15802-2010 )بكلية النانو تكنولوجي للدراسات العليا، جامعة القاهرة ، فرع الشيخ زايد.

**٤,٢,٢ قياس التغير اللوني Colorimetric Measurement**

[1] Eskandari. M, Gostariani. R and asdabad M,(2020)"Transmission Electron microscopy of nanomaterials" , in book Electron Microscopy, 1st ed, p.1.

[2] Zhang, C., and Ulery, M., (2019) Scanning Electron Microscope (SEM): Review, Processdings of International Conference on Hydraulices, Electronic Equipment & Mechatronics, At Romnia, pp. 1-12.

[3] Helmi, F. M., & Hefni, Y. K. (2016). USING NANOCOMPOSITES IN THE CONSOLIDATION AND PROTECTION OF SANDSTONE. *International Journal of conservation science*, *7*(1) p.36.

4Franzoni, E. (2014). Rising damp removal from historical masonries: A still open challenge. *Construction and Building materials*, *54*, p.124.

[5] Aldosari, M. A., Darwish, S. S., Adam, M. A., Elmarzugi, N. A., & Ahmed, S. M. (2019). Using ZnO nanoparticles in fungal inhibition and self-protection of exposed marble columns in historic sites. Archaeological and Anthropological Sciences, 11, p.3412.

[6] Da Cunha, A. P., Mogaji, T. S., & Cardoso, E. M. (2017). A Method for Measuring Contact Angle and for Analysing the Surface Wettability. In *9th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics–ExHFT2017*. pp1:7.

[7] خميس, ح., حجاجي, عبد الحافظ, محمود, محمد, & بدوي. (٢٠٢٣). تقييم كفاءة مواد التقوية التقليدية والنانوية في الحفاظ على مواد البناء الأثرية. مجلة كلية الآثار. جامعة القاهرة, ١٣(٢٦), ص١١٠٩.

يهدف قياس التغير اللونى للعينات التجريبية المختبرة إلى تحديد نسبة التغير فى لون العينات، وتحول لونه الأصلى قبل المعالجة ومدى تأثير مادة التقوية التقليدية والمواد النانوية على لون العينات بعد التقوية،وذلك لان من اهم شروط الترميم الحفاظ علي القيمة الاثرية والجمالية للاثر وان لا تغير مادة التقوية ومواد تحسين الخواص من لون سطح الاثر[١], ويتم التعرف على قيمة التغير اللونى للعينات التجريبية من خلال نظام يعرف ب CIE L AB ويمكن حساب قيمة التغير اللوني اللوني ΔE من اللوني من خلال المعادلة الآتية: [٢]

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

وقد تمت القياسات بواسطة جهاز التغيراللوني بمعامل كلية الاثار بقنا جامعة جنوب الوادي.

### ٥,٢,٢ قياس الخواص الفيزيائية Physical Properties Measurement

المياة هي أهم العوامل الرائيسية في تدهور المواد المسامية, فهو العامل الاساسي المحرك لجميع عوامل التلف الاخري.[٣] وبمجرد أن يخترق الماء مسام المونات بالخاصية الشعرية ، حيث يودي الي الانحلال الكيميائي للمكون الكربوني للمونات ، من خلال الظواهر الفيزيائية ,ويتم اختبار الخاصية الطاردة للماء للعينات المعالجة بالنانو عن طريق الامتصاص الشعري[٤]. حيث يتم دراسة الخصائص الفيزيائية للعينات التجريبية المعالجة ، وذلك لتقييم فاعلية مواد تحسين الخواص المختلفة في تحسين خواص العينات التجريبية المعالجة، بالإضافة إلى المقارنة بين المواد المختلفة لاختيار أفضلها فى عمليات تحسين خواص العينات مواد البناء التجريبية. وقد تم قياس الخواص الفيزيائية كالكثافة والمسامية وامتصاص الماء وفقا للمواصفة الأمريكية .[٥] (ASTM C20-00 -2015)( وقد تمت الاختبارات في معامل كلية العلوم جامعة جنواب الوادي بقنا)

### ٦,٢,٢ قياس الخواص الميكانيكية Mechanical Properties Measurement

تعد الاحمال الواقعة علي المباني الاثرية والضغوط الميكانيكة من اكثر العوامل المتلفة لمواد البناء من احجار ومونات التي يؤدي الي اضعاف ترابطها وتماسكها وتدميرها وكذلك لابد من دراسة تقييم قدرة العينات علي تحمل الضغوط الميكانيكية[٦], اختبار مقاومة الانضغاط من الاختبارات المهمة المستخدمة ف بدراسة الخصائص الميكانيكية لمواد البناء الأثرية، حيث يفيد بدرجة كبيرة فى تقييم حالة البنية الداخلية لمواد البناء الخاضعة للإختبار، وقد تم تعيين قيمة مقاومة

[1] Hardenberg, G., Van Bostelen, L., Hahne, M., & Medema, J. P. (2008). Thymus-independent class switch recombination is affected by APRIL. *Immunology and cell biology*, *86*(6), pp. 530 : 534.

[2] Al-Dosari, M. A., Darwish, S. S., Adam, M. A., Elmarzugi, N. A., Al-Mouallimi, N., & Ahmed, S. M. (2017). Ca (OH) 2Nanoparticles Based on Acrylic Copolymers for the consolidation and protection of Ancient Egypt Calcareous Stone Monuments. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 829, No. 1, p. 012009). IOP Publishing,p.3.

[3] De Ferri, L., Lottici, P. P., Lorenzi, A., Montenero, A., & Salvioli-Mariani, E. (2011). Study of silica nanoparticles–polysiloxane hydrophobic treatments for stone-based monument protection. *Journal of Cultural Heritage*, *12*(4),pp.356:360.

[4] Tsakalof, A., Manoudis, P., Karapanagiotis, I., Chryssoulakis, I., & Panayiotou, C. (2007). Assessment of synthetic polymeric coatings for the protection and preservation of stone monuments. *Journal of Cultural Heritage*, *8*(1).pp.69:72.

[5] Macchia, A., Rivaroli, L., & LA RUSSA, M. F. (2016). The treatment of iron-stained marble: Toward a" green" solution. *International Journal of Conservation Science*, *7*,p.326.

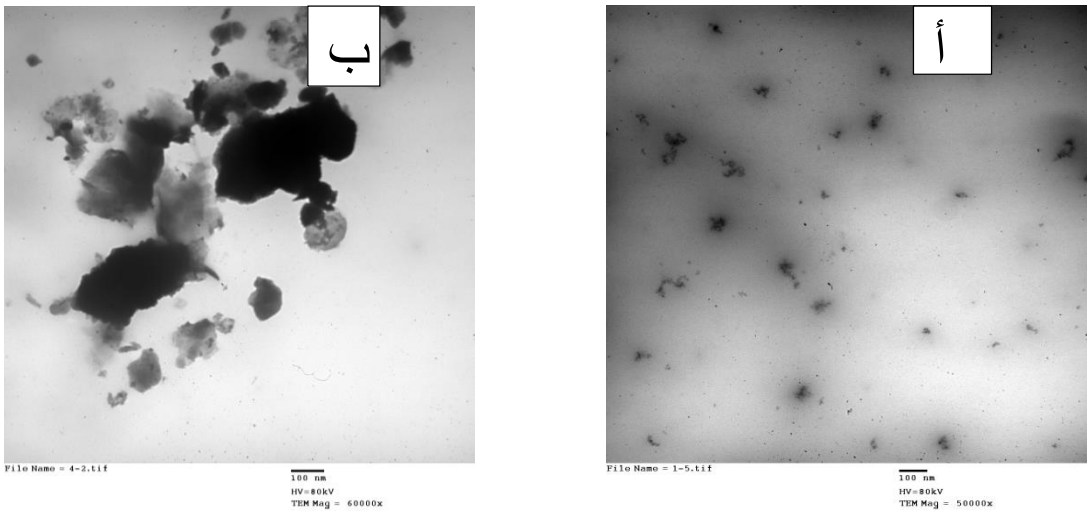
[6] فؤاد, م., الحبشي, ع., حلمي, م., محمود, فوزي, & شادي. (٢٠٢٣). دراسة تجريبية لتقييم المونات المستخدمة في استكمال وتدعيم طبقات التحضير بالجداريات المنزوعة من بيت يكن– القاهرة التاريخية (١٨٤٩: ١٧٦٩م). مجلة كلية الآثار. جامعة القاهرة, ١٣(٢٦), ص١٠٣٣.

الضغط لعينات الاحجار والمونات, تم قياس قوة الضغط قبل وبعد المعالجة وبعد التجوية الحراري[1] ( باستخدام ماكينة ضغط من نوع ( ASTM C170-Standared Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone) بمعامل المركز القومي للبحوث والإسكان .

**٣. النتائج والمناقشات:**

**١,٣ الميكروسكوب الإلكتروني النافذ (TEM)**

تم فحص مواد المحسنة للخوص المستخدمة في تحسين خواص المونات بعد عملية التحضير عن طريق الميكرسكوب الإلكترونى النافذ TEM للتأكد من نجاح عملية التفاعل،وخلط حبيبات نانو السليكا بالفاكر oh100,تم الحصول على المركب المطلوب بخصائص مكتسبة حديثًا ,حيث ان المركب المستهدف الحصول علية لتحسين خواص المونات قد تم تجانسه، وتتوزع الحبيبات النانوي بداخلة بشكل جيد ، وجزيئات البوليمر مغلفة تمامًا بمادة تحسين الخواص ، ويحافظ على التركيب الكيميائي دون أي تفاعل مع بعضها البعض أو مع مادة البوليمر.

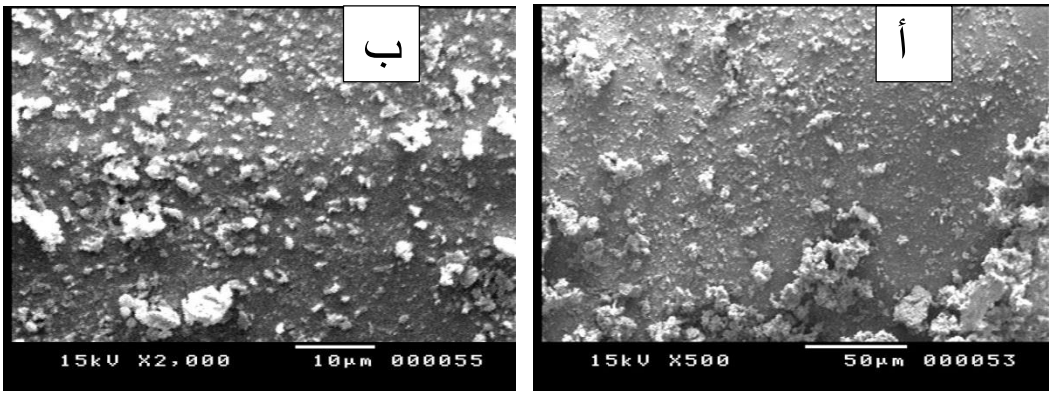



شكل (٢) توضح مدى نجاح عملية الخلط بين الحبيبات النانوية ومادة البوليمر صورة (أ)توضح حجم الحبيبات النانوية بعد خلطها بالبوليمر.صورة (ب)توضح الدمج والتجانس بين البوليمر والحبيبات النانوية.

**٢,٣ الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح (SEM)**

تم الفحص لكل من العينة القياسية , لعينات المعالجة باستخدام مادة الفاكر oh بمفردها , العينات المعالجة بمادة الفاكرohالمهجن بنانو السيلكا.

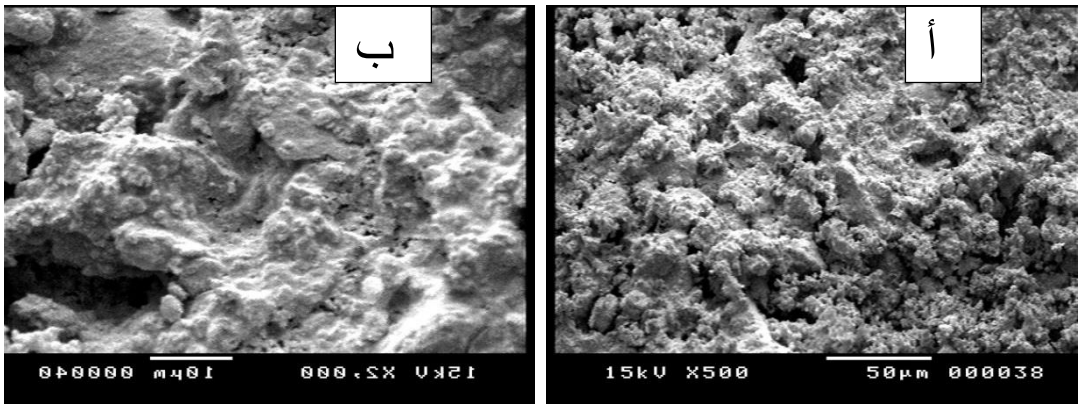
[1] Hansen, E., Doehne, E., Fidler, J., Larson, J., Martin, B., Matteini, M., ... & Weiss, N. (2003). A review of selected inorganic consolidants and protective treatments for porous calcareous materials. *Studies in Conservation*, *48*(sup1),pp.13-21.




شكل رقم ( ٣) العينات القياسية

(أ) يوضح تفكك الحبيبات وعدم ترابطها و البنية الضعيقة للعينات القياسية

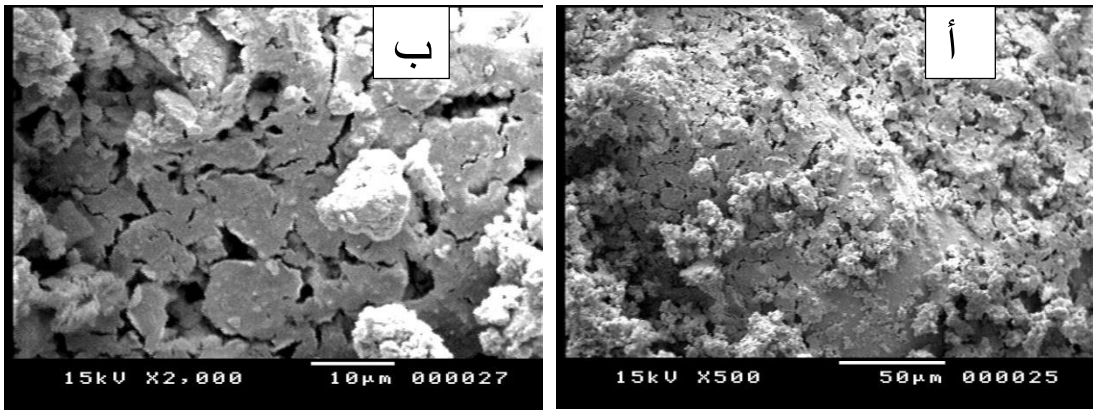
(ب) تظهر وجود بعض المسام المفتوحة بين الحبيبات وعدم تجانس المكونات مع بعضها البعض.




شكل رقم ( ٤) لعينات المعالجة باستخدام مادة الفاكر oh بمفردها

(أ) يوضح نجاح االمادة في التغلغل الي حد ما داخل المسام الدقيقة

(ب) يوضح تغليف الحبيبات بطبقة على شكل شبكة شبه متجانسة من البوليمر, كما يتضح وجود بعض التشققات الدقيقة جدا في المسام الكبيرة التي يغلفها البوليمر




شكل رقم(٥) العينات المعالجة بمادة الفاكرohالمهجن بنانو السيلكا

(أ)يوضح التغلل والانتشار الجيد لمادة تحسين الخواص داخل المسام

(ب)يوضح التغطية الجيدة لمادة تحسين الخواص وتقوم حبيبات السليكا النانوية بتغليف حبيبات المواد بطبقة كثيفة وجيدة

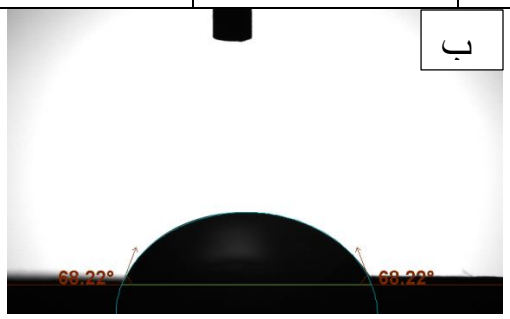
ومتجانسة بشكل جيد ,مع وجود بعض الشروخ الدقيقة نتيجة اختلاف مكونات المونة

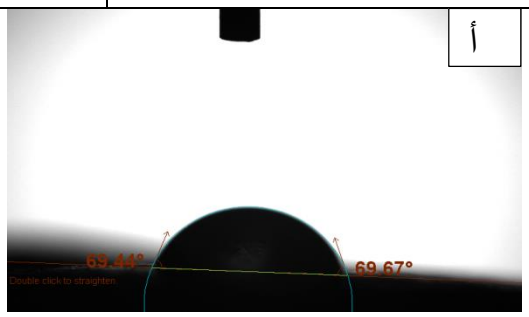
### ٣,٣ قياس زاوية اتصال الماء Static Contact Angle Measurement

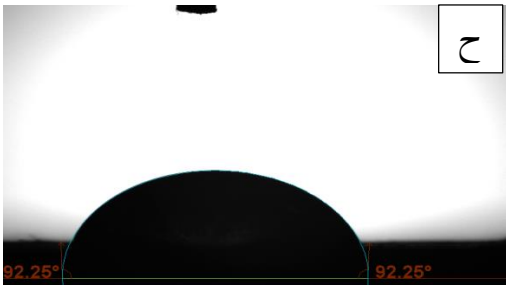
يتضح من شكل رقم (٦) وجدول رقم(١ ) أن عينة المونة التجريبية المعالجة Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles سجلت قيمة عالية في القدرة علي طرد الماء وبلغت قيمتها 110.01°وبعد عمليات التقادم الحراري انخفظت زاوية اتصال الماء بدرجة مرضية بلغت 104.08° وبعد عمليات التقادم الملحي حدث انخفاض لزاوية اتصال الماء قيمتها حيث اعطت نتائج بلغت 100.92°.وسجلت مادة Wacker OH 100 قيمة بلغت 92.25° وبعد عمليات التقادم الحراري بلغت درجة زاوية اتصال الماء 92.23°,وبعد عمليات التقادم الملحي انخفضت قيمتة82.70° وهذا يدل علي تاثير عمليات التقادم الحراري والملحي علي مواد المعالجة .

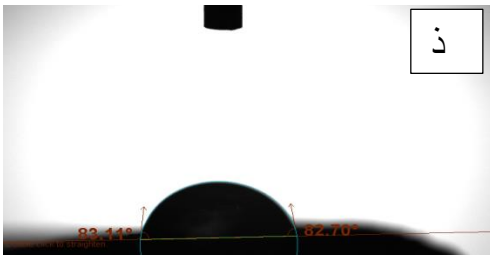
جدول رقم (١) يوضح نتائج قياس زاوية الاتصال للعينات المعالجة قبل وبعد التقادم الحراري والملحي.

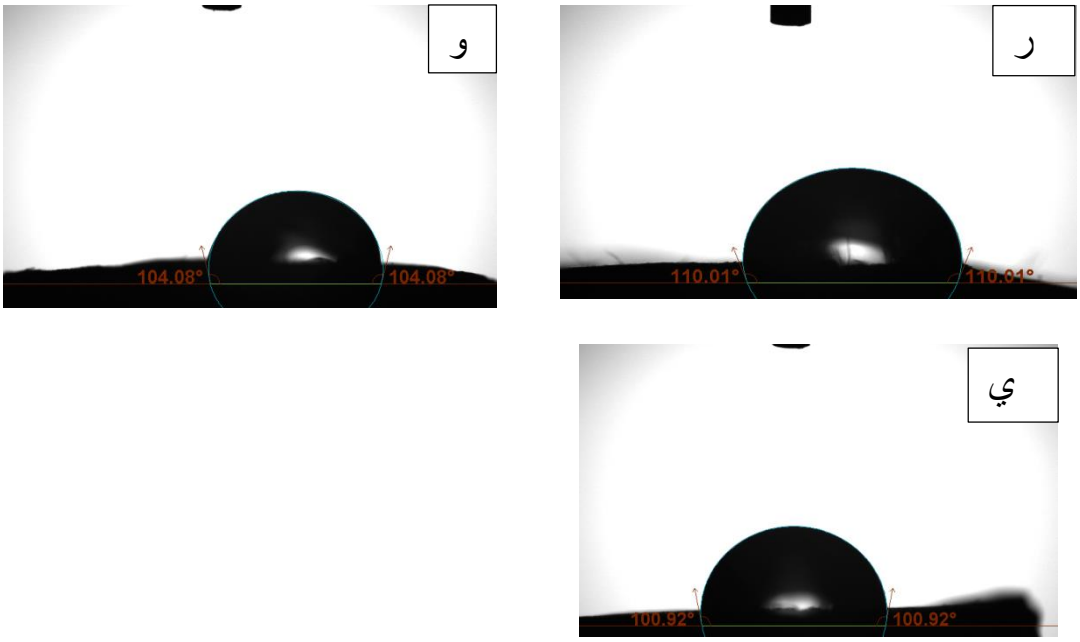
| مادة تحسين الخواص | بعد التقوية | بعد التقادم الحراري | بعد التقادم الملحي |
|---|---|---|---|
| Untreated Sample | ˚69.67 | ˚68.22 | ˚59.65 |
| Wacker OH 100 | ˚92.25 | ˚92.23 | ˚82.70 |
| Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles | ˚110.01 | ˚104.08 | ˚100.92 |








شكل رقم (٦): (أ) زاوية اتصال الماء للعينة القياسية (ب)زاوية اتصال الماء للعينة القياسية بعد عمليات التقادم الحراري (ج) زاوية اتصال الماء للعينة القياسية بعد عمليات التقادم الملحي (ح) زاوية اتصال الماء للعينة المعالجة ب Wacker OH 100 بعد التقوية (د) زاوية اتصال الماء للعينة المعالجة بـWacker OH 100 بعد عمليات التقادم الحراري (ذ) زاوية اتصال الماء للعينة المعالجة بـWacker OH 100 بعد عمليات التقادم الملحي (ر) زاوية اتصال الماء للعينة Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles بعد عملية التقوية (و) زاوية اتصال الماء للعينة Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles بعد عمليات التقادم الحراري (ي) ) زاوية اتصال الماء للعينة Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles بعد عمليات التقادم الملحي .

**٤,٣ قياس التغير اللوني: Colorimetric Measurements**

يتم اجراء هذا الاختبار للعينات المعالجة بعد المعالجة وبعد عمليات التقادم الاصطناعي ,للتعرف علي مدي تاثير مواد التقوية التقليدية والنانوية علي التغير اللوني لسطح العينات , لتقيم تاثير لون العينات بعد عمليات المعالجة والتقادم ,ويتم ذلك عن طريق القانون ب (CIE L a b ) المعاد ة الآتية:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

وقد اظهرت نتائج قيمة التغير اللوني لعينات المونة المعالجة ما يلي :

_ فلقدحققت العينة المعالجة بمادة الفاكر ohتغير لوني بلغ (١,٨٣)وبعد عمليات التقادم الحراري بلغ مقدار التغير اللوني (٤,٤٣) وبعد عمليات التقادم الملحي بلغ مقدر التغير (٤,٧٤)

_ ولقد حقق Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles مقدر تغير لوني بلغ (٠,٥٩) وبعد عمليات التقادم الحراري (٢,٤٣) وبعد عمليات التقادم الملحي بلغت مقدر التغير (٣,٣٣)

وتوضح الجداول التالية نتائج قيمة التغير اللوني لعينات المونات المعالجة بعد عمليات المعالجة ,والتقادم الحراري ,والتقادم الملحي :

جدول رقم (٢)يوضح التغير اللوني لعينات المونات التجريبة بعد عمليات التقوية

| مادة تحسين الخواص | التغيير اللوني لعينات المونات التجريبية بعد التقوية | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ΔE | Δb* | Δa* | ΔL* |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1.14 | 0.38 | 1.38 | 1.83 | Wacker OH 100 |
| 0.29 | 0.13 | 0.5 | 0.59 | Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles |

جدول رقم (٣) يوضح التغيير اللوني لعينات المونات التجريبية بعد عمليات التقادم الحراري

| التغيير اللوني لعينات المونات التجريبية بعد عمليات التقادم الحراري | | | | مادة تحسين الخواص |
|---|---|---|---|---|
| ΔL* | Δa* | Δb* | ΔE | |
| 4.35 | 0.76 | -0.35 | 4.35 | Wacker OH 100 |
| 2.43 | 1.5 | 0.16 | 1.9 | Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles |

جدول رقم (٤) يوضح التغيير اللوني لعينات المونات التجريبية بعد عمليات التقادم الملحي .

| التغيير اللوني لعينات المونات التجريبية بعد عمليات التقادم الملحي. | | | | مادة تحسين الخواص |
|---|---|---|---|---|
| ΔL* | Δa* | Δb* | ΔE | |
| 4.69 | 0.62 | -0.21 | 4.74 | Wacker OH 100 |
| 3.11 | 1.17 | -0.21 | 3.33 | Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles |

وتوضح النتائج ان مقدار التغير اللوني للعينات بعدالمعالجة وبعد عمليات التقادم داخل الحدود المستقرة $\Delta E < 5$ .
واعطت مادة Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles نتائج جيدة بعد عمليات المعالجة وبعد عمليات التقادم الاصطناعي.

### ٥,٣ قياس الخواص الفيزيائية Physical Properties Measurement

يعد الماء من أهم العوامل الفيزيوكيميائية المسببة لتلف الآثار الحجرية؛ فبدونه لا تحدث تفاعلات كيميائية؛ لذلك فإن لتعيين الخصائص الفيزيائية للعينات الحجرية الجيرية قبل وبعد المعالجة أهمية كبيرة في تقييم فاعلية مواد التقوية واختيار أنسبها وأفضلها وتطبيقها على المونات . ومن أهم الخصائص الفيزيائية التي يجب دراستهاواختبارها: الكثافة Density ، والمسامية الظاهرية Apparent Porosity ، وامتصاص الماء Water absorption . وقد تم قياسها جميع طبقا ل UNI10859:20003[1] وبالنظر الي جدول (٥) سجلت مادة Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles اعلي قيمة من الكثافة بلغت 1.86كجم بالمقارنة مع مادة Wacker OH 100 سجلت درجة كثافة تبلغ 1.73كجم .وبعد عمليات التقادم الحراري فقد انخفضت كثافة العينات المعالجة بالبوليمر حيث سجلت 1.67كجم وسجلت العينات المعالجة بنانو السليكا بعد عمليات التقادم الملحي انخفاض طفيف بلغ 1.73كجم. وبعد عمليات التقادم الملحي انخفضت كثافة العينات المعالجة بالبوليمر حيث سجلت 1.49كجم وسجلت العينات المعالجة بنانو السليكا بعد عمليات التقادم الملحي انخفاض طفيف بلغ 1.67 كجم أما بالنسبة للمسامية في المتراكب النانوي Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles فقد بلغت المسامية 23.% بالمقارنة بالعينة القياسية فقد بلغت المسامية بها35.7 % وبلغت المسامية بعد عمليات التقادم الحراري 24.3%,وكذلك بلغت المسامية بعد عمليات التقادم الملحي 21.7%.اما في العينات المعالجة بالبوليمر بلغت المسامية 31.8 % بعد عمليات التقادم الحراري بلغت

[1] Elhaddad, F., Carrascosa, L. A., & Mosquera, M. J. (2018). Long-term effectiveness, under a coastal environment, of a novel conservation nanomaterial applied on sandstone from a Roman archaeological site. *Journal of Cultural Heritage*, *34*,pp. 208:214.

المسامية33.1%,وبلغت المسامية بعد عمليات التقادم الملحي27.6%. كذلك حقق المتراكب النانوي أنخفضا في نسبة امتصاص الماء 11.9%,مقارنة بالعينة القياسية التي بلغت 21.3%.بانخفاض مقداره 44-% وحقق البوليمر نسبة بلغت18.3%,وبعد عمليات التقادم الحراري بلغت درجة امتصاص الماء للمتركب النانوي14.04% , وبعد عمليات التقادم الملحي بلغت درجة امتصاص الماء12.9%, بينما حقق البوليمر بعد عمليات التقادم الحراري نسبة 19.8%, وبعد عمليات التقادم الملحي بلغت درجة امتصاص الماء للبوليمر18.5%.ويرجع السبب الي انخفاض المسامية ودرجة امتصاص الماء بعد التقادم الملحي الي تغليف مسام المونات بالاملاح بعد عملية التقادم .

جدول رقم (٥) يوضح نتائج تعيين الخصائص الفيزيائية لعينات المونات المعالجة قبل وبعد التقادم الحراري والملحي .

| مادة تحسين الخواص | الكثافة متوسط جم\سم٢ | | | % الماء امتصاص | | | % الظاهرية المسامية | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Untreated Sample | 1.47 | | | 21.3 | | | 35.7 | | |
| | قبل التقادم | بعد التقادم الحراري | بعد التقادم الملحي | قبل التقادم | بعد التقادم الحراري | بعد التقادم الملحي | قبل التقادم | بعد التقادم الحراري | بعد التقادم الملحي |
| Wacker OH 100 | 1.73 | 1.67 | 1.49 | 18.3 | 19.8 | 18.5 | 31.8 | 33.1 | 27.6 |
| Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles | 1.86 | 1.73 | 1.67 | 11.9 | 14.04 | 12.9 | 23.3 | 24.3 | 21.7 |

### ٦,٣ قياس الخواص الميكانيكية Mechanical Properties Measurement

من خلال الجدول رقم (6) اعطي المتركب النانوي Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles اعلي قيمة مقاومة لقوة الضغط بلغت158 كجم\سم2 اعلي بكثير من العينة القياسية التي اعطت نتجية 96.64كجم\سم2 بزيادة بلغت 63.4% ,وهذا يوضح نجاح عملية تحسين الخواصالميكانيكية للعينات, بينما أعطت العينات المعالجة بالبوليمر في صورته المنفردة Wacker OH 100 قيمة مقاومة الضغط بلغت 125كجم \سم2 ,ونجح المتركب النانوي علي تحقيق القيمة القيمة الأعلى في مقاومة الضغط بعددورات التقادم الاصطناعيالحراري حيث بلغت قوة الضغط150.9 كجم\سم2 ,بينما بحقق البوليمر في صورتة المنفردة درحة مقاومة لضغط بعد عمليات التقادم الحراري بلغت 79.8كجم\سم2 .وحققالمتركب النانوي القيمة الأعلى في مقاومة الضغط بعد دورات التقادم الاصطناعي الملحي حيث بلغت قوة الضغط 133كجم\سم2 ,بينما بحقق البوليمر في صورتة المنفردة درحة مقاومة لضغط بعد عمليات التقادم الملحي بلغت 69.8كجم\سم2

جدول (٤) يوضح نسب التغير فى مقاومة الضغط لعينات المونات بعد المعالجة بمواد التقوية,وبعد عمليات التقادم الحراري والملحي .

| مادة تحسين الخواص | مقاومة الضغط كجم/سم 2 قبل التقادم | مقاومة الضغط كجم/سم 2 بعد التقادم الحراري | مقاومة الضغط كجم/سم 2 بعد التقادمالملحي |
|---|---|---|---|
| Untreated Sample | 96.64 | 56.9 | 39.5 |
| Wacker OH 100 | 125 | 79.8 | 69.8 |
| Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles | 158 | 150.9 | 133 |

**٤_الاستنتاج Conclusion**

تتعرض المباني الاثرية التي شيدت من جدران ذات الرقتين الي عديد من عوامل التلف المختلفة التي تؤثر قوة ومتانة هذه المباني , وتتعرض المونات التي تملاء الفراغ بين الجدران الي التلف وفقدان قوة التحمل للضغوط الواقعة عليها وفقدان متانتها ,لذلك تمت دراسة فاعلية مواد التقوية سوء التقلدية والمواد النانوية واختيار افضلها لتحسين خواص مونات الحقن والاستكمال للمباني الاثرية , فقد تم دراسة فاعلية كل من :بوليمر Wacker OH 100 بمفردة ,ومركب Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles , وتم استخدام عدة طرق مختلفة للفحص والدراسة , لتعرف والتاكد من كفاءة هذه المواد وثباتها بعد التطبيق وبعد مراحل التقدم الاصطناعي (الحراري ,الملحي)وقد تم اظهر الفحص بالميكرسكوب الالكتروني النافذ TEMمن نجاح عملية خلط حبيبات نانو السليكا بالفاكر oh100,تم الحصول على المركب متجانس ومترابط , كما اظهر الفحص بالميكرسكوب الإلكتروني الماسح SEM التغلل والانتشار الجيد للموادالمحسنة للخواص داخل المسام, والتغطية الجيدة لمادة التحسين ,وتقوم حبيبات السليكا النانوية بتغليف حبيبات المواد بطبقة كثيفة وجيدة,اعلي من مادة الفاكر oh, كما اعطت العينات المعالجة بنانو السليكا ,مقاومة عالية للماءحيث سجلت قيمة عالية في القدرة علي طرد الماء وبلغت قيمتها 110.01˚ وذلك بدرجة اعلي من مادة الفاكرoh حيث سجلت قيمة بلغت 92.25˚ علي طرد الماء , ولقد اظهرت نتائج قيمة التغير اللوني الكلي للعينات ,ان المركب Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles اعطي نتائج اقل قيمة حيث بلغت ΔE 0.59, كما سجلت العينات المعالجة بمتركب Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticlesافضل النتائج من حيث تحسن الخواص الفزيائية (المسامية ,والكثافة الكلية , وامتصاص الماء) فلقد اثبت نانو السليكا المهجن في الفاكرoh قدرة كبيرة علي تغليف مسام المونات,وتعزيز خصائص المونات ومقاومة توزيع الاحمال بشكل جيد ,كما اظهر ثبات في التعرض لقوة الضغط بعد عمليات التقادم الاصطناعي , كما أثبتت كفاءتها عند استخدامها لتحسين المونات التي تتعرض باستمرار لضغوط شد متفاوتة, كما نجح هذا المتركب النانوي في تحسين خواص المونات ,عندما تتعرض لضغوط الاجهاد وضغوط الاحمال الذائدة.

ولقد سجل المتركب Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles افضل النتائج من حيث تحسن الخواص الميكانيكة خاصه مقاومة الضغط ,ويتضح من الدراسة نجاح المركب Wacker OH 100 reinforced with SiO2 Nanoparticles من تحسن خواص مونات الحقن الجيرية للمباني الاثرية المصرية القديمة.

**قائمة المراجع:**

**اولاً:المراجع العربية:**

١_ خميس, ح., حجاجي, عبد الحافظ, محمود, محمد, & بدوي. (٢٠٢٣). تقييم كفاءة مواد التقوية التقليدية والنانوية في الحفاظ على مواد البناء الأثرية. مجلة كلية الآثار. جامعة القاهرة, ١٣(٢٦).

٢_ عرابي، عز عربي. ( ٢٠٢٠ ). دراسة أسباب تلف اللوحات الجيرية المنقوشة بتل حبوة الأثري بسيناء.مجلة الإتحاد العام للآثاريين العرب، مج ٢١ , ع ١.

٣_ فؤاد, م., الحبشي, ع., حلمي, م., محمود, فوزي, & شادي. (٢٠٢٣). دراسة تجريبية لتقييم المونات المستخدمة في استكمال وتدعيم طبقات التحضير بالجداريات المنزوعة من بيت يكن– القاهرة التاريخية (١٨٤٩: ١٧٦٩م). مجلة كلية الآثار. جامعة القاهرة, ١٣(٢٦).

٤_ ياسر كمال حفني علي. (٢٠١٥). دراسة تقوية الآثار الحجرية الرملية باستخدام تكنولوجيا النانو.رسالة ماجستير,كلية الاثار جامعة القاهرة.

**ثانيا المراجع الأجنبية:**

1_Ahmed, A., & Nadir, H. (2022). Compressive and Flexural Strength of Non-Hydraulic Lime Mortar with Slag (GGBS). Journal of Material Sciences & Manufacturing Research, 3(3).

2_Al-Dosari, M. A., Darwish, S. S., Adam, M. A., Elmarzugi, N. A., Al-Mouallimi, N., & Ahmed, S. M. (2017). Ca (OH) 2Nanoparticles Based on Acrylic Copolymers for the consolidation and protection of Ancient Egypt Calcareous Stone Monuments. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 829, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.

3_Aldosari, M. A., Darwish, S. S., Adam, M. A., Elmarzugi, N. A., & Ahmed, S. M. (2019). Using ZnO nanoparticles in fungal inhibition and self-protection of exposed marble columns in historic sites. Archaeological and Anthropological Sciences, 11..

4_Aly, N., & Hamed, A. (2020). The impact of salt crystallization on the building stones of Al-Azhar mosque from historic Cairo–Egypt. *International Journal of Conservation Science*, *11*(4).

5_Barnoos, V., Oudbashi, O., & Shekofteh, A. (2020). The deterioration process of limestone in the Anahita Temple of Kangavar (West Iran). *Heritage Science*, *8*(1).

6_Cechova, E. (2009). The effect of linseed oil on the properties of lime-based restoration mortars.

7_Da Cunha, A. P., Mogaji, T. S., & Cardoso, E. M. (2017). A Method for Measuring Contact Angle and for Analysing the Surface Wettability. In *9th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics–ExHFT2017*.

8_Elhaddad, F., Carrascosa, L. A., & Mosquera, M. J. (2018). Long-term effectiveness, under a coastal environment, of a novel conservation nanomaterial applied on sandstone from a Roman archaeological site. *Journal of Cultural Heritage*, *34*.

9_El-Sayed, S. S. M., & Maky, A. Y. (2022). Archaeometric investigation to evaluate Acrylic, silicon materials and nano-additives as consolidation material to sandstone monuments of the sphinxes avenue (Luxor, Egypt). Scientific Culture, 8(1).

10_Elsen,J ,(2006 )"Microscopy Of Historic Mortars – Aare View Cement And Concrete Research" ,V.361ssue8.

11_Eskandari. M, Gostariani. R and asdabad M,(2020)"Transmission Electron microscopy of nanomaterials" , in book Electron Microscopy, 1st ed.

12_Fahmy, A., Molina-Piernas, E., Martínez-López, J., & Domínguez-Bella, S. (2022). Salt weathering impact on Nero/Ramses II Temple at El-Ashmonein archaeological site (Hermopolis Magna), Egypt. Heritage Science, 10(1), 125.

13_Hansen, E., Doehne, E., Fidler, J., Larson, J., Martin, B., Matteini, M., ... & Weiss, N. (2003). A review of selected inorganic consolidants and protective treatments for porous calcareous materials. *Studies in Conservation*, *48*(sup1)

14_Hardenberg, G., Van Bostelen, L., Hahne, M., & Medema, J. P. (2008). Thymus-independent class switch recombination is affected by APRIL. *Immunology and cell biology*, *86*(6).

15_Helmi, F. M., & Hefni, Y. K. (2016). USING NANOCOMPOSITES IN THE CONSOLIDATION AND PROTECTION OF SANDSTONE. International Journal of conservation science, 7(1)

16_Helmi, F. M., & Hefni, Y. K. (2016). USING NANOCOMPOSITES IN THE CONSOLIDATION AND PROTECTION OF SANDSTONE. *International Journal of conservation science*, *7*(1).
17_Kyropoulou, D., Heliades, E., Karalis, P., Diamantopoulos, G., Gougoura, S., & Dotsika, E. (2021). Technological Evolution of Historic Mortars: From Lime-Based Mortars to Roman Opus Caementicium. In Protection of Historical Constructions: Proceedings of PROHITECH.
18_Lubelli, B., Cnudde, V., Diaz-Goncalves, T., Franzoni, E., van Hees, R. P., Ioannou, I., ... & Viles, H. (2018). Towards a more effective and reliable salt crystallization test for porous building materials: state of the art. Materials and Structures.
19_Mohamed, W. S. (2009). Applications of nanotechnology in the polymer and textile fields.
20_Oguchi, C. T., & Yu, S. (2021). A review of theoretical salt weathering studies for stone heritage. Progress in Earth and Planetary Science, 8(1).
21_Razali, N. B. (2014). Natural hydraulic lime mortars for use in high temperature, high humidity climatic conditions: effect of calcitic fillers (Doctoral dissertation, Heriot-Watt University).
22_Sayed Mohamed El-Sayed, S. (2023). Restoration and conservation of the archaeological Islamic sandstone tombstones applied on a tombstone from the second Abbasid era in Egypt. مجلة كلية الآثار. جامعة القاهرة, 14(26).
23_Tsakalof, A., Manoudis, P., Karapanagiotis, I., Chryssoulakis, I., & Panayiotou, C. (2007). Assessment of synthetic polymeric coatings for the protection and preservation of stone monuments. *Journal of Cultural Heritage*, *8*(1).
24_Válek, J., Hughes, J. J., & Groot, C. J. (2012). Historic mortars: characterisation, assessment and repair. A state-of-the-art summary Springer Netherlands.
25_Xystouris, K. S., Fokaides, P. A., Antoniadou, P., & Papadopoulos, A. M. (2020). Indoor thermal comfort conditions in summer under subtropical climate conditions. International Journal of Sustainable Energy, 39(4).
26_Zhang, C., and Ulery, M., (2019) Scanning Electron Microscope (SEM): Review, Processdings of International Conference on Hydraulices, Electronic Equipment & Mechatronics, At Romnia.
27_Briffa, S. M., Sinagra, E., & Vella, D. (2012). TEOS based consolidants for Maltese globigerina limestone: effect of hydroxyl conversion treatment.
28_De Ferri, L., Lottici, P. P., Lorenzi, A., Montenero, A., & Salvioli-Mariani, E. (2011). Study of silica nanoparticles–polysiloxane hydrophobic treatments for stone-based monument protection. *Journal of Cultural Heritage*, *12*(4).
29_Domizio, M., Maldonado, N., & Luco, L. F. (2022). Achieving a Suitable Hygro-Mechanical Compatibility Between the Substrate and the Repairing Mortars in Historic Mansory Constructions. In Protection of Historical Constructions: Proceedings of PROHITECH 2021 4 ,Springer International Publishing.
30_Franzoni, E. (2014). Rising damp removal from historical masonries: A still open challenge. *Construction and Building materials*, *54*.
31_Gillot, C., & Coutelas, A. (2018). Cements, mortars, binders. The Encyclopedia of Archaeological Sciences.

32_Kannan, et al., (2018) Scanning Electron Microscope: Principle, Components, Applicaions, ATextbook on Fundmentals and /Applications of Nanotechnology.
33_Macchia, A., Rivaroli, L., & LA RUSSA, M. F. (2016). The treatment of iron-stained marble: Toward a" green" solution. *International Journal of Conservation Science*, *7*.
34_Mol, L., Gomez-Heras, M., Brassey, C., Green, O., & Blenkinsop, T. (2017). The benefit of a tough skin: bullet holes, weathering and the preservation of heritage. *Royal Society open science*, *4*(2).
35_Shoaib, A., & Kamal, R. H. (2020). An experimental study for evaluating the efficiency of consolidated materials for limestone treatment.
36_Van Hees, R. P. J., Binda, L., Papayianni, I., & Toumbakari, E. (2003). Characterisation and damage analysis of old mortars.