

دراسة تجريبية لتحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمونة الجير بالمباني الأثرية الإسلامية باستخدام بعض المواد البوليمرية تطبيقاً على مسجد الأمير كبير قرقماس السيفي

An Experimental Study to Improve the Physical and Mechanical Properties of Lime Mortar in Islamic Archaeological Buildings Using Some Polymeric Materials as an Application to the Prince Kabir Qarqmas Al-Seifi Mosque

| محمد مصطفى | سيد محمد | محمد خلاف | فاطمة سعيد |
|---|--|--|--|
| أستاذ مساعد ترميم بكلية الآثار جامعة الفيوم (مصر) | أستاذ فيزياء بكلية العلوم جامعة الفيوم (مصر) | أستاذ ترميم بكلية الآثار جامعة الفيوم (مصر) | باحثة ماجستير قسم الترميم كلية الآثار جامعة الفيوم (مصر) |
| Mohamed Mostafa | Sayed Mohamed | Mohamed Khallaf | Fatma Saeed |
| Assistant Prof. of Antiquities Restoration, Faculty of Archeology, Fayoum UNI. - Egypt | Prof. of Physics, Faculty of Science, Fayoum UNI.-Egypt | Prof. of Antiquities Restoration, Faculty of Archeology, Fayoum UNI.- Egypt | Master's researcher in the Dep. of Restoration, Faculty of Archeology, Fayoum UNI.- Egypt |
| mmm04@fayoum.edu.eg | profdrstahassan@gmail.com | mkk00@fayoum.edu.eg | Fsl246@fayoum.edu.eg |

المخلص:

تعاني المونة كأحد مواد البناء من العديد من مظاهر التلف داخل المباني الأثرية الإسلامية بمدينة القاهرة نتيجة تعرض هذه المباني للعديد من عوامل التلف المختلفة، وقد تناولت هذه الورقة البحثية أحد الطرق لتحسين خواص المونات الجيرية عن طريق إضافة بعض المواد البوليمرية لخلطات مختلفة لمونة الجير لتقويتها وزيادة قوة تماسك الحبيبات وتقليل الفجوات ومناطق الضعف مما يعمل على مقاومة الأحمال والضغط إضافة إلى قدرتها على مقاومة عوامل التلف المحيطة، وترجع أهمية استخدام المواد البوليمرية لمونة الجير إلى تقليل المسامية وزيادة قوة تماسك الحبيبات مما تعمل على زيادة الصلابة ومقاومة الضغط، وقد تم الدراسة على مسجد الأمير كبير قرقماس السيفي. وتم عمل عدد من الفحوص والتحليل لبعض عينات من المونة الخاصة بالمبنى، وقد أثبتت نتائج التحليل باستخدام حيود الأشعة السينية أن المونة المستخدمة في بناء المسجد مكونة من كالسيت وكوارتز وقد تم عمل بعض من العينات التجريبية لمونة الجير مع إضافة بعض من المواد البوليمرية المختلفة لتحسين وتقوية المونة والوصول لأفضل مونة محسنة ومن خلال الدراسة التجريبية التي أجريت ونتائج الفحوص والتحليل التي تمت على العينات التجريبية ثبت أن أفضل نوع خلطه مونة مكونة من (جير-رم-أسمنت أبيض-جبس-مسحوق الطوب الأحمر- الرماد المتطاير- بريمال)؛ لأنها كانت أقل نسبة مسامية ١٥.٦٠% وامتصاص مياه ١٠.١٣٥% وأعلى قوة ضغط ١٣,٦ كجم / سم^٢.

الكلمات الدالة: مونة الجير؛ المواد البوليمرية؛ مسجد الأمير قرقماس؛ فحص وتحليل؛ التقوية.

Abstract: Mortar, as a building material, suffers from many signs of damage inside Islamic archaeological buildings in Cairo as a result of these buildings being exposed to many different damage factors. This research paper discussed solutions to improve the properties of lime mortar by adding some polymeric, waste, and additive materials to different mixtures of lime mortar to strengthen the body, to increase the cohesion strength of the granules, and reduce gaps and weak areas, which works to resist loads and pressures in addition to its ability to resist surrounding damage factors. The importance of using the studied materials for lime mortar is to reduce porosity and increase the cohesive strength of the particles, which increases hardness and resistance to pressure. The study was carried out on the Prince Kabir Qarqmas Al-Seifi Mosque. A number of tests and analyzes were conducted on some samples of the building's mortar. The results of the analysis using X-ray diffraction proved that the mortar used in the building of the mosque is composed of lime and sand. Some experimental samples of the lime mortar were made with the addition of some different materials to improve and strengthen the mortar to reach the best improved mortar, through the experimental study that was conducted and the results of the tests and analyses. It was found. That the best type of mortar mixture was composed of (lime-sand-white cement-gypsum-red brick powder-fly ash-primal) because it has the lowest porosity rate of 15.60%, water absorption of 10.135%, and the highest compressive strength of 13.6 kg/cm².

Keywords: Lime mortar; Polymeric materials; Prince Qarqmas Mosque; Examination and analysis; Strengthening.

المقدمة:

تُعد المونة هي المادة الرابطة حيث إنها تعمل على ربط مواد البناء الأساسية مثل الحجر والطوب ويكون بشكل أفقي ورأسي، وتتكون المونة المستخدمة في ربط وحدات البناء من مواد رابطة ومادة مالئة^١. وقد تم استخدام العديد من المونات المختلفة، ومن بينها مونة الجير^٢. وأصبحت الحاجة إلى مونة محسنة تعتمد على الجير لترميم وصيانة المباني الأثرية مطلبًا ملحقًا، مما أدى إلى ظهور اتجاه جديد في الدراسات البحثية^٣، واستخدام مواد يجب أن يكون لها نفس الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لتلك الموجودة في المونة القديمة^٤، ومن بين المواد التي تم استخدامها لتحسين خصائص مونة الجير مسحوق الطوب الأحمر والرماد المتطاير، وقد أظهرت النتائج أن مونة الجير المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر ذات خصائص فيزيائية جيدة، بينما تلك المضاف لها الرماد المتطاير كانت ذات خصائص فيزيائية وميكانيكية أفضل نظرًا إلى الطاقة السطحية العالية للرماد المتطاير^٥، وبهذا فإن إضافة هذه المواد إلى مونة الجير تعمل على زيادة متانة وقابليتها للتشغيل وتجعلها متوافقة مع المونة القديمة الموجود مسبقًا، مما يجعلها خيارًا مناسبًا لترميم المباني الأثرية^٦، وقد ساعدت كذلك إضافة المواد البوليمرية للمونة على تقليل المسامية وزيادة قوة تماسك الحبيبات، مما أدى إلى زيادة الصلابة ومقاومة الضغط وكذلك تحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمونة^٧، وعند تطبيق المونات يجب إعطاء مدة زمنية كافية للسماح لكل طبقة بالجفاف بشكل تام خاصة المونات الجيرية^٨، ولا بد من الأخذ بعين الاعتبار مدى التصاق طبقة المونة وتماسكها مع الأثر، بالإضافة إلى نفاذية هذه الطبقة والعوامل الأخرى التي قد تؤدي إلى حدوث تلف مستقبلاً^٩.

¹ VICAT L. & SMITH J., *Mortars and cements*, Shaftesbury: Donhead, 1837, 10.

² PAVIA S. & TREACY E., «A Comparative Study of the Durability and Behaviour of Fat Lime and feebly-Hydraulic Lime Mortars», *Materials and Structures* 39, No.3, 2006, 391-398., 3.

³ HUSSEIN A. & RUSSLAN A., «Performance of Modified Lime Mortars for Conservation of Ancient Building», *Proceedings of 2nd International Conference on Innovative Building Materials*, Dec. 2-4, Cairo, Egypt, 2018, 4.

⁴ AL-SALAMI A., AL-HAJRY A., AHMED M. & TAHA, S., «The effect of Temperature and Pozzolanic Materials on the Electrical Conductivity of Blended cement Pastes at Different Porosities», *Silicates Industriels*, No.5-6, 2006, 81- 87, 6.

⁵ ABDELMEGEED M., KASSAB M., SHOUKRY H., & TAHA S., «Innovative Composite Materials for Strengthening Lime-based Mortars in Traditional Masonry Structures», *Строительные материалы* 8, 2019, 42- 47, 1.

⁶ AALIL I., BADREDDINE D., BECK K., BRUNETAUD X., CHERKAOUI K., CHAABA A. & AL-MUKHTAR M., «Valorization of Crushed Bricks in Lime-Based mortars», *Construction and Building Materials* 226, 2019, 555-563. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.265>, 3.

^٧ عطية، أحمد إبراهيم، "دراسة المونات القديمة والحديثة لتوظيفها في أعمال الترميم المعماري للمباني الأثرية في مصر"، رسالة دكتوراه، كلية الآثار / جامعة القاهرة، ٢٠٠٠م. ١٣.

⁸ CAVACO L., «Execution Techniques for Rendering Mortars of Ancient Buildings», *Master Thesis*, IST/UTL, Lisbon, Portugal, 2005, 5

⁹ BOTAS S., VEIGA M. & VELOSA A., «Reapplication Mortars for Old Tiles: Characteristics of tiles and Mortars and Selection Criteria», *International Journal of Architectural Heritage* 8, No.1, 2014, 124-139, 9

يتناول هذا البحث تحسين الخواص الفيزيائية والميكانيكية لمونة الجير من خلال إضافة مسحوق الطوب الأحمر والرماد المتطاير والمواد البوليمرية؛ وذلك لزيادة مقاومتها للأحمال والضغط، إضافة إلى رفع كفاءتها في مقاومة عوامل التلف المختلفة في البيئة المحيطة^١؛ وذلك بالتطبيق على مسجد الأمير كبير قرقماس السيفي (لوحة ١) بقرافة المماليك والذي تم إنشاؤه (٩١١-١١٣هـ / ١٥٠٥-١٥٠٧ م) ^١، ويعد المسجد من أهم المعالم الأثرية الإسلامية في القاهرة^٢، ويعاني المسجد من التلف نتيجة تعرضه للعديد من العوامل التي أدت إلى فقد وتهدم أجزاء منه بشكل عام والمونة بشكل خاص (لوحة ٢-٤)، ومن بين هذه العوامل وجود الأملاح^٣ والتي ظهرت في نتائج التحاليل التي أجريت على بعض عينات المونة المأخوذة من أماكن مختلفة.

المواد والطرق:

تم دراسة الخصائص العامة لمونة البناء المستخدمة في تشييد جامع الأمير كبير قرقماس السيفي عن طريق أخذ عينات من مونة الجير سواء المتساقطة من الأثر أو التي تعاني من مظاهر التلف نتيجة تواجدها ملتصقة بكتل الأحجار المتناثرة بمحيط الجامع، وتم دراسة الخواص البصرية للمونة، كما تم عمل تحليل لمكونات التركيب المعدني والكيميائي للمونة باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني (SEM) الماسح المزود بوحدة (EDX) وحيود الأشعة السينية (XRD)، كذلك تم تجهيز عينات تجريبية للمونة بنفس مكونات مونة الأثر (العينة القياسية)، وتم تجهيز العديد من المونات ذات الخلطات المقترحة التي تحتوي على مسحوق الطوب الأحمر والرماد المتطاير وبعضها مركب على البوليميرات، وتم عمل تحليل لمكونات التركيب المعدني للمونات ذات الخلطات المقترحة باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD) للتأكد من أفضلية المونة المقترحة واختبار الضغط للوقوف على أفضل الخلطات للمونة.

مواصفات جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) هي:

PAN analytical X-Ray Diffraction equipment model X'Pert PRO with Secondary Monochromator, Cu-radiation ($\lambda=1,542\text{\AA}$) at 45 K.V., 35 M.A. and scanning speed 0.04o/sec. were used. The diffraction peaks between $2\theta = 20$ and 60 o, corresponding spacing (d, Å) and relative intensities (I/I_o) were obtained. The diffraction charts and relative intensities are obtained and compared with ICDD

¹⁰ CHANG Z., LONG G., ZHOU J. & MA C., «Valorization of Sewage Sludge in the Fabrication of Construction and Building Materials: A Review», *Resources Conservation and Recycling* 154, N^o.3, 2020, 10460.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104606>, 1.

^{١١}نجيب، مصطفى، "مدرسة الأمير كبير قرقماس السيفي وملحقاتها"، رسالة دكتوراه، كلية الآداب/جامعة القاهرة، ١٩٧٥م .١٨٨

^{١٢}زكي، عبد الرحمن، موسوعة مدينة القاهرة في ألف عام، القاهرة: مكتبة الانجلو المصرية، ١٩٦٩م، ٣٢٨.

^{١٣} فرغلي، أبو الحمد، الدليل الموجز لأهم الآثار الإسلامية والقبطية في القاهرة، القاهرة، ١٩٩١م، ٢٧٨.

مواصفات الميكروسكوب الإلكتروني (SEM) الماسح المزود بوحدة (EDX) هي:

Scanning electron microscope / FEI Quanta 3D 200i - EDX / thermofisher pathfinder - Operated under conditions of low vacuum for acceleration voltage 20.0 ~ 30.0 kv using large field detector and back scattered electron detector with working distance 15 ~20 mm

مواصفات جهاز قياس مقاومة الضغط (ADR Digital Cube) هي:

Tests 430×600×1035 mm cubes, or cylinders up to 320 x 160 mm diameter - ADR digital readout in KN/IBF/KGF - Supplied with Windows" download software as standard - Fitted with the ADR digital readout, the machines allow either cubes or cylinders to be tested in compression, and using optional flexural frames and accessories, concrete beams. The machines are supplied fitted for cylinder testing and are complete with malorised power pack and safety gates. When used for cube testing appropriate distance pieces must be ordered separately according to the size of specimen

١. دراسة الخصائص البصرية للمونة بجامع قرقرماس السيفي:

تم إجراء الفحص البصري للعينات التي تم الحصول عليها من الأثر.

(جدول ١) يوضح الخواص البصرية للعينات الخاصة بالأثر محل الدراسة

| الخصائص البصرية | | | كود العينة |
|-----------------|--------------|--------------------|----------------|
| حجم العينة | النسيج | اللون | |
| ٦×١.٢×١.٦ سم | قليل الخشونة | أبيض مائل للاصفرار | M ₁ |
| ٩×١.٤×١.٣ سم | قليل الخشونة | أبيض مائل للبنى | M ₂ |
| ٧×١.٢×٢.٣ سم | قليل الخشونة | أبيض مائل للبنى | M ₃ |
| ٥×١.٣×٢.٥ سم | قليل الخشونة | أبيض مائل للاصفرار | M ₄ |

M4



M3



M2



M1



(لوحة ١) توضح صورًا لبعض عينات المونة التي تم فحصها بجامع قرقرماس السيفي

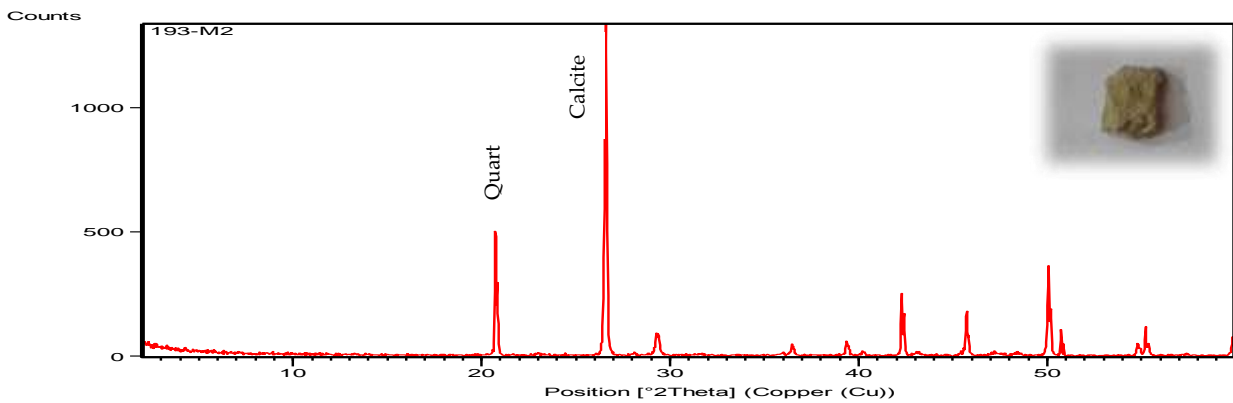
© تصوير الباحثة

٢. دراسة التركيب المعدني والكيميائي للمونة بجامع قرقماس السيفي:

تم أخذ العديد من عينات المونة وذلك لدراسة تركيب المونة التي تم استخدامها في بناء الأثر، حيث أجريت عليها العديد من الفحوص والتحليل والاختبارات بغرض فحصها وتحليلها للتعرف على تركيبها الكيميائي.

١.٢ التحليل بطريقة حيود الأشعة السينية (XRD):

وقد تم تحليل عينة M1 من مونة الجير باستخدام حيود الأشعة السينية بالمعامل المركزية بالثروة المعدنية، وقد أظهرت نتائج التحليل ان هذه العينة تحتوي على الكالسيت والكوارتز كما بالشكل ١.



(شكل ١) يوضح فحص وتحليل عينة M1 لمونة الأثر بالواجهة الشمالية الشرقية باستخدام حيود الأشعة السينية

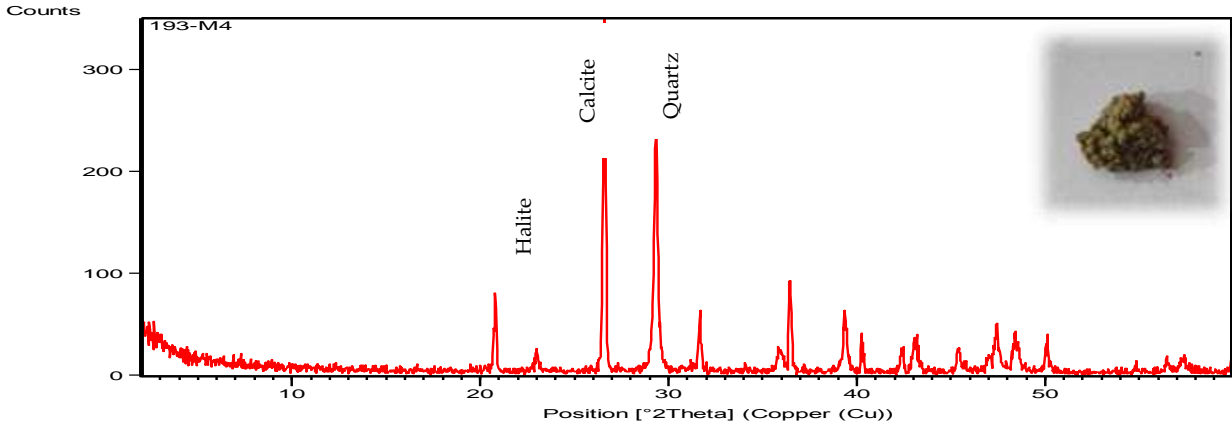
(XRD) © عمل الباحثة

جدول (٢) يوضح المركبات المكونة للعينة الأولى باستخدام (XRD)

| Ref. Code | Mineral Name | Chemical Formula |
|-------------|--------------|--------------------|
| 01-083-1762 | Calcite | Ca CO ₃ |
| 01-075-8320 | Quartz | Si O ₂ |

© جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) بالمعامل المركزية بالثروة المعدنية

وقد تم تحليل آخر لعينة أخرى M2 من مونة الجير باستخدام حيود الأشعة السينية بالمعامل المركزية بالثروة المعدنية، وقد أظهرت نتائج التحليل أن هذه العينة تحتوي على مركب الكالسيت والذي يعد أعلى نسبة ويليه الكوارتز والهاليت كما بالشكل ٢.



(شكل ٢) يوضح فحص وتحليل عينة M2 لمونة الأثر بالواجهة الشمالية الشرقية باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD) © عمل الباحثة

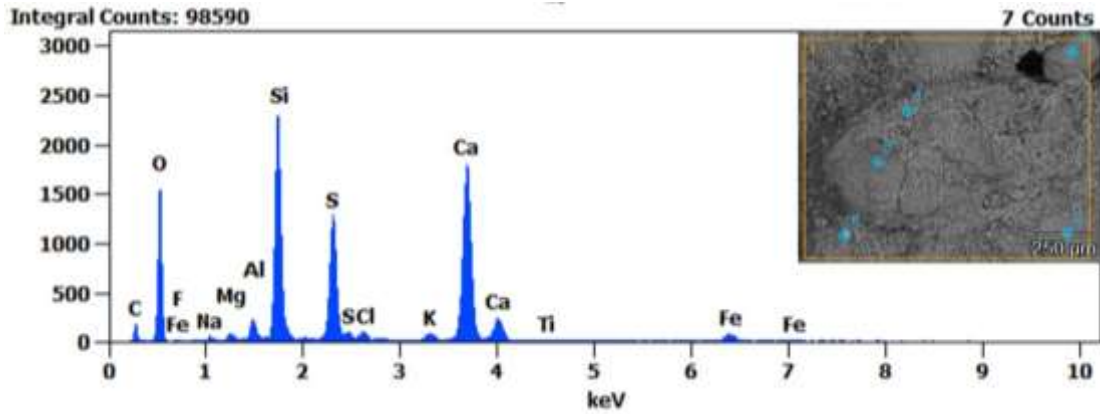
(جدول ٣) يوضح المركبات المكونة للعينة الثانية باستخدام (XRD)

| Ref. Code | Mineral Name | Chemical Formula |
|-------------|--------------|--------------------|
| 01-072-1937 | Calcite | Ca CO ₃ |
| 01-086-2237 | Quartz | Si O ₂ |
| 01-070-2509 | Halite, syn | Na Cl |

© جهاز حيود الأشعة السينية بالمعامل المركزية بالثروة المعدنية

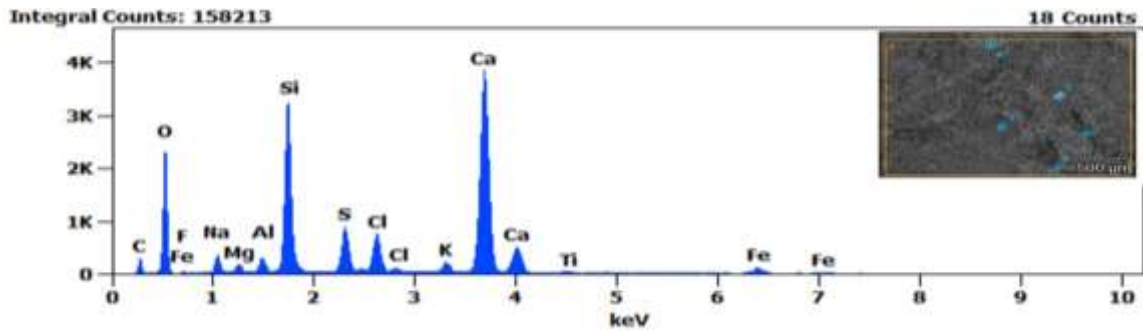
٢.٢ الفحص والتحليل باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة EDX:

لقد تم فحص وتحليل عينة M1 من مونة الجير باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة EDX بالمتحف المصري الكبير والتي أظهرت نتائج فحص عينة M1 المأخوذة من الجزء العلوي من الواجهة الشمالية الشرقية باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح ظهور عدم تجانس في سطح العينة بسبب وجود تجمعات من المونة في أماكن معينة، بالإضافة إلى زيادة الفراغات مما يعمل على هشاشة السطح كما يظهر في تحليل العينة من خلال وحدة EDX ظهور عنصر السيلكون بأعلى نسبة ويليهِ الكالسيوم والأكسجين كما (بالشكل ٣).



(شكل ٣) يوضح فحصاً وتحليلاً باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني (SEM) الماسح المزود بوحدة (EDX) لعينة M1 لمونة الأثر بالواجهة الشمالية الشرقية ويظهر به العناصر الكيميائية الموجودة بالعينة مع ظهور عدم تجانس لسطح العينة © جهاز الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة EDX بالمتحف المصري الكبير

وقد تم فحص وتحليل آخر لعينة أخرى M2 من مونة الجير باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة EDX بالمتحف المصري الكبير وأظهرت نتائج فحص عينة M2 المأخوذة من الجزء الأوسط من الواجهة الشمالية الشرقية باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح ظهور سطح العينة بشكل شبه متجانس بسبب قلة الفراغات الموجوده وتجميعات المونة مما يعطى مظهرًا شبه متجانس للسطح، كما يظهر في تحليل العينة من خلال وحدة EDX ظهور عنصر الكالسيوم بأعلى نسبة ويليه عنصر السيلكون والأكسجين كما (بالشكل ٤).



(شكل ٤) يوضح فحص وتحليل باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني (SEM) الماسح المزود بوحدة (EDX) لعينة M1 لمونة الأثر بالواجهة الشمالية الشرقية ويظهر به العناصر الكيميائية الموجودة بالعينة مع ظهور سطح العينة شبه متجانس © جهاز الميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة EDX بالمتحف المصري الكبير

٣. الدراسة التجريبية:

تم دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية لكلٍّ من العينات القياسية وعينات مونة الجير المحسنة وقد تم دراسة الخواص الفيزيائية وفقا للمواصفات الأمريكية والتي تعنى بقياس خصائص المونات (ASTM C20-2015).00-

١.٣ إعداد العينات القياسية لمونة الجير:

- تم إعداد ثلاثة قوالب معدنية؛ وذلك لصب عينات المونة بداخلها.
- تم تجهيز مسحوق الجير المستخدم في العينات التجريبية القياسية ومسحوق الرمل وكذلك مسحوق الأسمت الأبيض ومسحوق الجبس.
- تم عزل المكعبات الثلاثة لعدم التصاق المونة بعد صبها.
- تم صب العينات من المونات الجيرية بالنسب المقترحة المختلفة.
- تم صب العينات في مكعبات ذات الأبعاد $5 \times 5 \times 5$ سم³.
- تم فك العينات من المكعبات ثم تُركت لتجف.
- تم قياس نسبة الخواص الفيزيائية عن طريق ترك العينة لتجف في فرن ذات درجة حرارة 105°C لمدة ٢٤ ساعة، ثم بعد ذلك تم غمرها في الماء لمدة ٤٨ ساعة لحساب المسامية وامتصاص المياه.

٢.٣ نتائج دراسة الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية لمونة الجير:

(جدول ٤) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات القياسية

| العينات | المكون الأول | المكون الثاني | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | امتصاص المياه |
|---------|--------------|---------------|--------|-------------|--------------------------|----------|--|
| A1 | جير | رمل | ١ : ٢ | 175.5 | 1,284 gm/cm ³ | | تفككت هذه العينات تماما عند غمرها في الماء تمهيدا لإجراء القياسات المطلوبة |

©عمل الباحثة

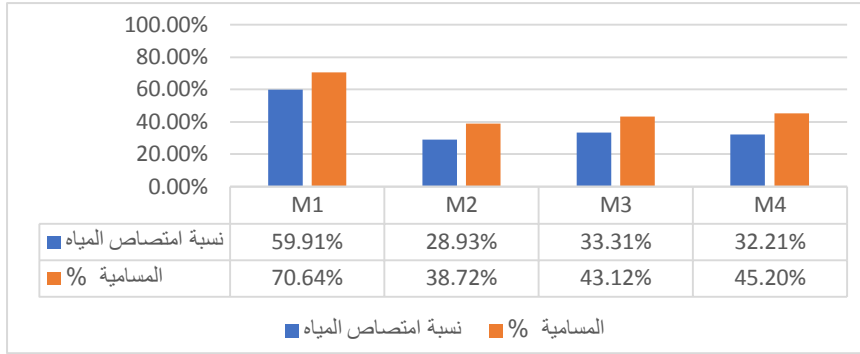
عند قياس نتائج العينة القياسية التي تتكون من جير ورمل بنسبه ١:٢ تفككت هذه العينة تماما عند غمرها في الماء

(جدول ٥) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية

| العينات | مكونات الخلطة | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | نسبة امتصاص المياه |
|---------|-----------------------|--------------------|-------------|--------------------------|----------|--------------------|
| M1 | جير: رمل: أسمنت: جيبس | ١ : ٢ : ٠.٢٥ : ٠.٥ | ١٦٤.٢ | 1,179 gm/cm ³ | 70.64% | 59.905% |
| M2 | جير: رمل: أسمنت: جيبس | ١ : ٣ : ٠.٢٥ : ٠.٥ | ١٧٦.١ | 1,338 gm/cm ³ | 38.72% | 28.930% |
| M3 | جير: رمل: أسمنت: جيبس | ١ : ٢ : ٣ : ٠.٢٥ | ١٧١.٩ | 1,294 gm/cm ³ | 43.12% | 33.313% |
| M4 | جير: رمل: أسمنت: جيبس | ٢ : ٢ : ٢ : ٠.٢٥ | ١٩١.٦ | 1,403 gm/cm ³ | 45.20% | 32.212% |

©عمل الباحثة

أظهرت النتائج أن أفضل مونة في هذه الخلطة هي M2 حيث إنها أقل مسامية 38.72% ونسبة امتصاص المياه 28.930%.



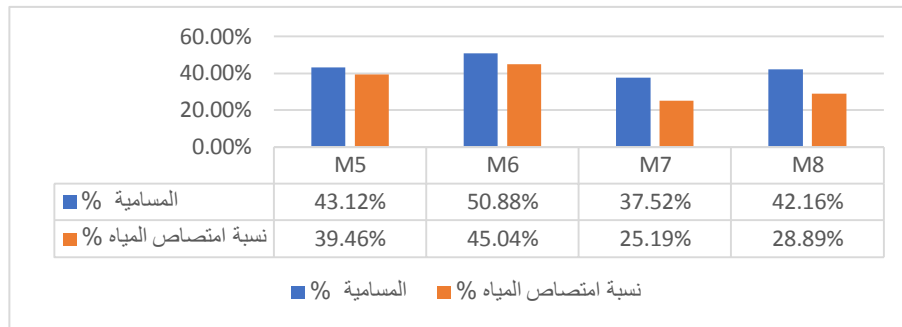
(شكل ٥) يوضح المسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية ©عمل الباحثة

(جدول ٦) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر

| العينة | مكونات الخلطة | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | نسبة امتصاص المياه |
|--------|--|----------------------------|-------------|--------------------------|----------|--------------------|
| M5 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر | ٢ : ١ : ٠.٥ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٤٢.٩ | 1,093 gm/cm ³ | 43.12% | 39.458% |
| M6 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر | ٣ : ١ : ٠.٥ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٥٩.١ | 1,130 gm/cm ³ | 50.88% | 45.042% |
| M7 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر | ٣ : ٢ : ١ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٩٦.٤ | 1,490 gm/cm ³ | 37.52% | 25.188% |
| M8 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر | ٢ : ٢ : ٢ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٩٢.٨ | 1,460 gm/cm ³ | 42.16% | 28.893% |

©عمل الباحثة

أظهرت النتائج أن أفضل مونة في هذه الخلطة هي M7 حيث إنها أقل مسامية 37.52% ونسبة امتصاص المياه 25.188% وذلك بسبب احتواء الخلطة على نسبة جير وأسمنت عالية.



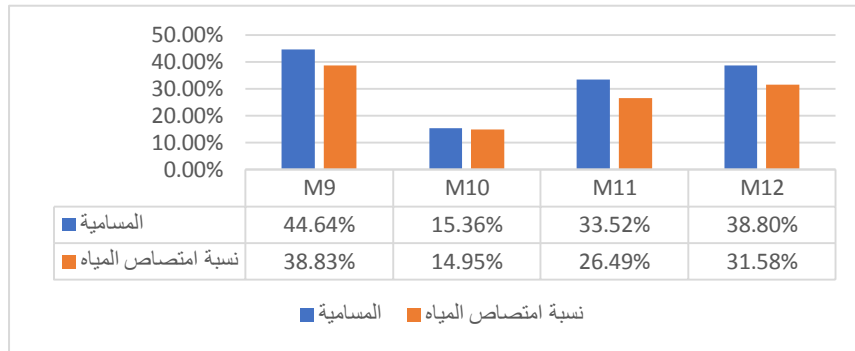
(شكل ٦) يوضح نسبة المسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر ©عمل الباحثة

(جدول ٧) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها الرماد المتطاير

| العينة | مكونات الخلطة | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | نسبة امتصاص المياه |
|--------|--|----------------------------|-------------|--------------------------|----------|--------------------|
| M9 | جير: رمل: أسمنت: جبس: الرماد المتطاير | ٢ : ١ : ٠.٥ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٥٣.٩ | 1,150 gm/cm ³ | 44.64% | 38.831% |
| M10 | جير: رمل: أسمنت: جبس: الرماد المتطاير | ٣ : ١ : ٠.٥ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٣٥.٨ | 1,027 gm/cm ³ | 15.36% | 14.953% |
| M11 | جير: رمل: أسمنت: جبس: الرماد المتطاير | ٣ : ٢ : ١ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٦٥.٩ | 1,266 gm/cm ³ | 33.52% | 26.485% |
| M12 | جير: رمل: أسمنت: جبس: الرماد المتطاير | ٢ : ٢ : ٢ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٦١.١ | 1,229 gm/cm ³ | 38.80% | 31.576% |

©عمل الباحثة

أظهرت النتائج أن أفضل مونة في هذه الخلطة هي M10 حيث إنها أقل مسامية 15.36% ونسبة امتصاص المياه 14.953% بسبب التفاعلات البوزولانية الأكثر تأثيراً في حالة إضافة الرماد المتطاير في الوسط القلوي بالإضافة إلى احتواء الخلطة على نسبة عالية من الجير.



(شكل ٧) يوضح نسبة المسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها الرماد المتطاير ©عمل الباحثة

(جدول ٨) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر والرماد

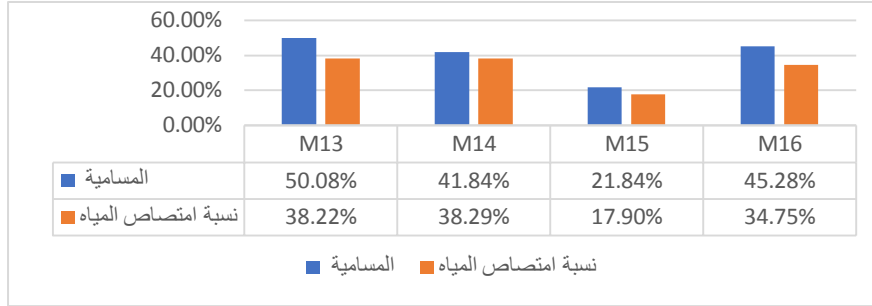
المتطاير

| العينة | مكونات الخلطة | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | نسبة امتصاص المياه |
|--------|---|------------------------------------|-------------|--------------------------|----------|--------------------|
| M13 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير | ٢ : ١ : ٠.٥ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٧٨.٤ | 1,410 gm/cm ³ | 50.08% | 38.217% |
| M14 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير | ٣ : ١ : ٠.٥ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٤٣.٩ | 1,093 gm/cm ³ | 41.84% | 38.287% |
| M15 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير | ٣ : ٢ : ١ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٦٩.١ | 1,22 gm/cm ³ | 21.84% | 17.902% |
| M16 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير | ٢ : ٢ : ٢ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٧٩.٢ | 1.303 gm/cm ³ | 45.28% | 34.745% |

| | | | | | |
|--|--|--|--|---------------|-------------------------------|
| | | | | ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | الطوب الأحمر: الرماد المتطاير |
|--|--|--|--|---------------|-------------------------------|

©عمل الباحثة

أظهرت النتائج أن أفضل مونة في هذه الخلطة هي M15 حيث إنها أقل مسامية %21.84 ونسبة امتصاص المياه %17.902 وذلك بسبب احتواء الخلطة على نسبة جير وأسمت عالية بالإضافة للتفاعلات البوزولانية التي تعمل على قوة وصلابة المونة.



(شكل ٨) يوضح نسبة المسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر والرماد

المتطاير ©عمل الباحثة

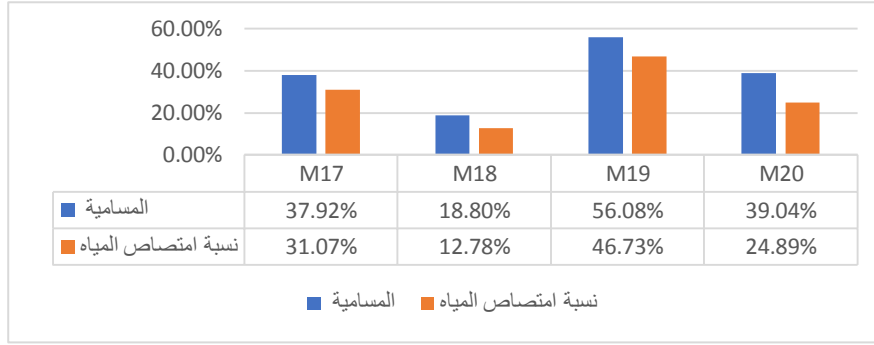
(جدول ٩) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها أديبوند ٦٥

(لاتكس البوتادين ستيرين)

| العينه | مكونات الخلطة | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | نسبة امتصاص المياه |
|--------|----------------------------------|-------------------------------|-------------|--------------------------|----------|--------------------|
| M17 | جير: رمل: أسمنت: جيس: أديبوند | ٠.٥ : ١ : ٢ : ٠,١٢٥ : ٠,٢٥ | ١٥٥,٧٥ | 1,246 gm/cm ³ | 37.92% | 31.070% |
| M18 | جير: رمل: أسمنت: جيس: أديبوند | ٠,٥ : ١ : ٣ : ٠,١٢٥ : ٠,٢٥ | ١٨٤,٩ | 1,471 gm/cm ³ | 18.80% | 12.779% |
| M19 | جير: رمل: أسمنت: جيس: أديبوند | ٠,٢٥ : ١ : ٢ : ٣ : ٠,١٢٥ | ١٥٠,٩ | 1,2 gm/cm ³ | 56.08% | 46.733% |
| M20 | جير: رمل: أسمنت: جيس: أديبوند | ٠,٢٥ : ٢ : ٢ : ٢ : ٠,١٢٥ | ٢٠٩,٤ | 1,569 gm/cm ³ | 39.04% | 24.885% |

©عمل الباحثة

أظهرت النتائج أن أفضل مونة في هذه الخلطة هي M18 حيث إنها أقل مسامية %18.80 ونسبة امتصاص المياه %12.779 وذلك بسبب زيادة نسبة الجير مع انخفاض نسبة الرمل وإضافة الأديبوند الذي عمل على تقليل المسامية مما أدى لتقليل نسبة امتصاص المياه.



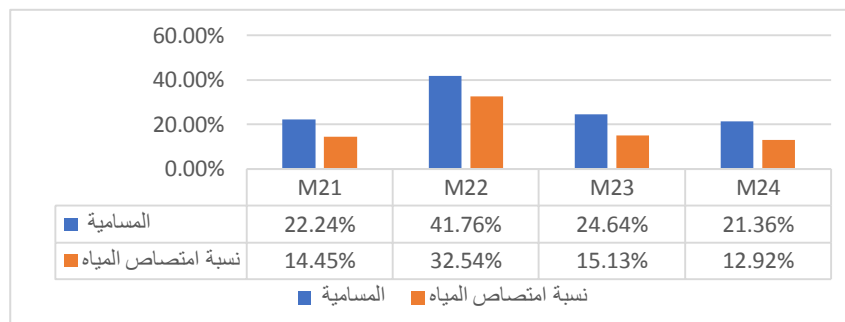
(شكل ٩) يوضح نسبة المسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها أديبوند ٦٥ ©عمل الباحثة

(جدول ١٠) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها بريمال AC33

| العينة | مكونات الخلطة | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | نسبة امتصاص المياه |
|--------|---------------------------------|-------------------------------|-------------|--------------------------|----------|--------------------|
| M21 | جير: رمل: أسمنت: جيس: بريمال | ٠.٥ : ١ : ٢ : ٠,١٢٥ : ٠,٢٥ | ٢٠٤.٢ | 1,539 gm/cm ³ | 22.24% | 14.449% |
| M22 | جير: رمل: أسمنت: جيس: بريمال | ٠.٥ : ١ : ٣ : ٠,١٢٥ : ٠,٢٥ | ١٦٥.٥ | 1,283 gm/cm ³ | 41.76% | 32.544% |
| M23 | جير: رمل: أسمنت: جيس: بريمال | ١ : ٢ : ٣ : ٠,١٢٥ : ٠,٢٥ | ٢١٤.٨ | 1,629 gm/cm ³ | 24.64% | 15.128% |
| M24 | جير: رمل: أسمنت: جيس: بريمال | ٢ : ٢ : ٢ : ٠,١٢٥ : ٠,٢٥ | ٢٢٣.١ | 1,653 gm/cm ³ | 21.36% | 12.924% |

©عمل الباحثة

أظهرت النتائج أن أفضل مونة في هذه الخلطة هي M24 حيث إنها أقل مسامية 21.36% ونسبة امتصاص المياه 12.924%؛ وذلك بسبب إن إضافة البريMAL مع زيادة نسبة الأسمنت للخلطة تعمل على زيادة صلابة المونة.



(شكل ١٠) يوضح نسبة المسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها بريمال AC33 ©عمل الباحثة

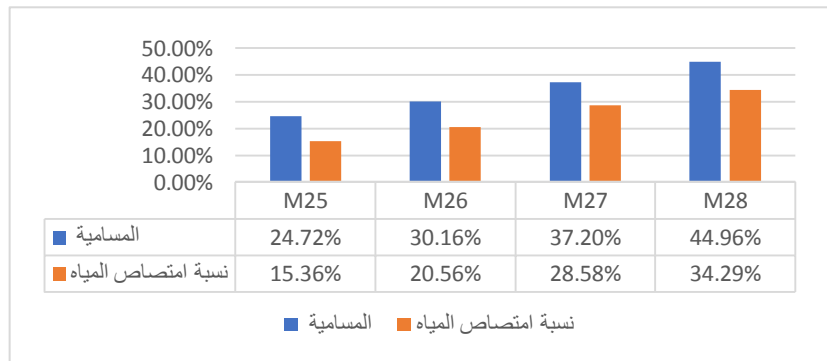
(جدول ١١) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها أديبوند ٦٥ (لاتكس البوتادين ستيرين)

وبريمال AC33

| العينة | مكونات الخلطة | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | نسبة امتصاص المياه |
|--------|--|---------------------------------------|-------------|--------------------------|----------|--------------------|
| M25 | جير: رمل: أسمنت: جبس: أديبوند: بريمال | ٢ : ١ : ٠.٥ : ٠.٢٥ : ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | ٢١٣,١ | 1,610 gm/cm ³ | 30.16% | 20.556% |
| M26 | جير: رمل: أسمنت: جبس: أديبوند: بريمال | ٣ : ١ : ٠.٥ : ٠.٢٥ : ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | ١٨٣,٦ | 1,467 gm/cm ³ | 24.72% | 15.358% |
| M27 | جير: رمل: أسمنت: جبس: أديبوند: بريمال | ٣ : ٢ : ١ : ٠.٢٥ : ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | ١٧٠,٩ | 1,302 gm/cm ³ | 37.20% | 28.580% |
| M28 | جير: رمل: أسمنت: جبس: أديبوند: بريمال | ٢ : ٢ : ٢ : ٠.٢٥ : ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | ١٨٣,٢ | 1,311 gm/cm ³ | 44.96% | 34.289% |

©عمل الباحثة

أظهرت النتائج أن أفضل مونة في هذه الخلطة هي M26 حيث إنها أقل مسامية 24.72% ونسبة امتصاص المياه 15.358% ؛ وذلك بسبب زيادة نسبة الجير مع انخفاض نسبة الرمل وإضافة خليط من الأديبوند والبريمال اللذان يعملان على تقليل المسامية وزيادة الصلابة.



(شكل ١١) يوضح نسبة المسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها أديبوند ٦٥ (لاتكس البوتادين ستيرين)

وبريمال AC33 ©عمل الباحثة

(جدول ١٢) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر والرماد

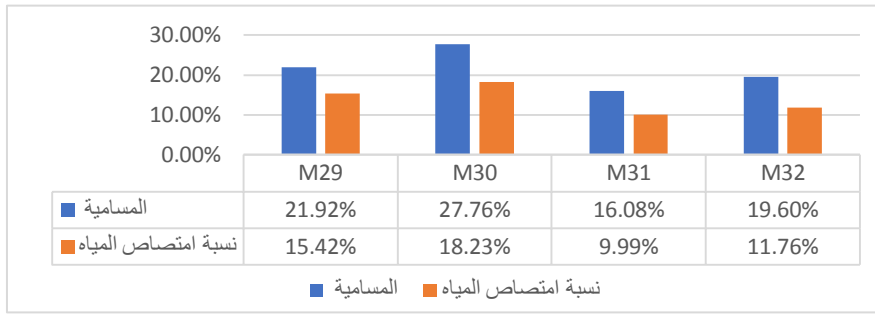
المتطاير واديبوند ٦٥ (لاتكس البوتادين ستيرين)

| العينة | مكونات الخلطة | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | نسبة امتصاص المياه |
|--------|--|--------------------------------|-------------|--------------------------|----------|--------------------|
| M29 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: أديبوند | ٢ : ١ : ٠.٥ : ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | ١٧٨,٧ | 1,422 gm/cm ³ | 21.92% | 15.419% |
| M30 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: أديبوند | ٣ : ١ : ٠.٥ : ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | ١٩١,٣ | 1,522 gm/cm ³ | 27.76% | 18.234% |

| | | | | | | |
|---------|--------|--------------------------|-------|--|--|-----|
| 9.985% | 16.08% | 1,610 gm/cm ³ | ٢٠٢,٩ | ٠,٢٥ : ١ : ٢ : ٣ ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ ٠,١٢٥ | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: أديبوند | M31 |
| 11.756% | 19.60% | 1,667 gm/cm ³ | ٢٠٩,٩ | ٠,٢٥ : ٢ : ٢ : ٢ ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ ٠,١٢٥ | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: أديبوند | M32 |

©عمل الباحثة

أظهرت النتائج أن أفضل مونة في هذه الخلطة هي M31 حيث إنها أقل مسامية 16.08% ونسبة امتصاص المياه 9.987% وذلك بسبب زيادة نسبة الجير وزيادة نسبة الأسمنت بالإضافة للتفاعلات البوزلوانية مع الأديبوند الذي يعمل على تماسك الحبيبات وزيادة الصلابة.



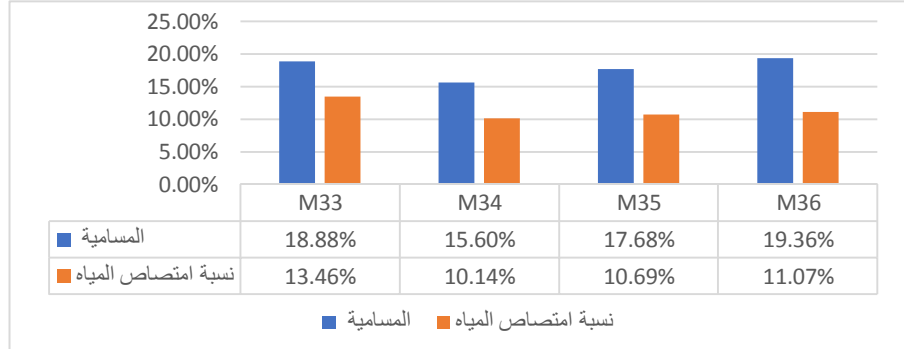
(شكل ١٢) يوضح نسبة المسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر والرماد المتطاير واديبوند ٦٥ (لاتكس البوتادين ستيرين) ©عمل الباحثة

(جدول ١٣) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر والرماد المتطاير وبريمال AC33

| العينة | مكونات الخلطة | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | نسبة امتصاص المياه |
|--------|---|--|-------------|--------------------------|----------|--------------------|
| M33 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: بريمال | ٠,٥ : ١ : ٢ ٠,١٢٥ : ٠,٢٥ ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | ١٧٧,١ | 1,402 gm/cm ³ | 18.88% | 13.463% |
| M34 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: بريمال | ٠,٥ : ١ : ٣ ٠,١٢٥ : ٠,٢٥ ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | ١٩٤,٢ | 1,540 gm/cm ³ | 15.60% | 10.135% |
| M35 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: بريمال | ٠,٢٥ : ١ : ٢ : ٣ ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ ٠,١٢٥ | ٢٠٨,٩ | 1,654 gm/cm ³ | 17.68% | 10.687% |
| M36 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: بريمال | ٠,٢٥ : ٢ : ٢ : ٢ ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ ٠,١٢٥ | ٢٢٠,٥ | 1,750 gm/cm ³ | 19.36% | 11.070% |

©عمل الباحثة

أظهرت النتائج أن أفضل مونة في هذه الخلطة هي M34 حيث إنها أقل مسامية 15.60% ونسبة امتصاص المياه 10.135% وذلك بسبب زيادة نسبة الجير وانخفاض نسبة الرمل بالإضافة للتفاعلات البوزولانية مع البريمال الذي يعمل على تقليل المسامية والصلابة العالية.



(شكل ١٣) يوضح نسبة المسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر والرماد

المتطاير وبريمال AC33 © عمل الباحثة

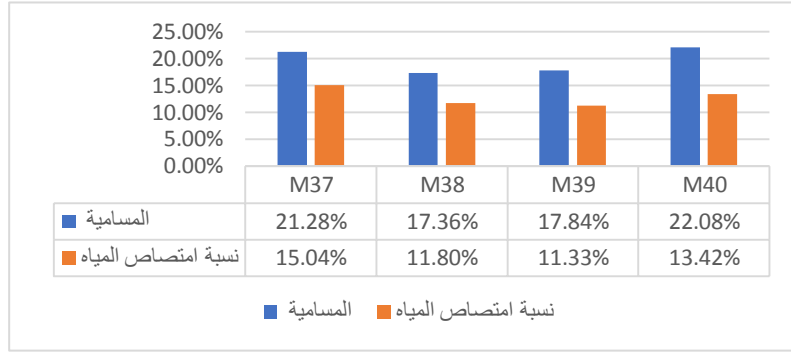
(جدول ١٤) يوضح الكثافة والمسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر

والرماد المتطاير واديبوند ٦٥ (لاتكس البوتادين ستيرين) وبريمال AC33

| العينة | التركيب | النسبة | متوسط الوزن | الكثافة | المسامية | نسبة امتصاص المياه |
|--------|--|--|-------------|--------------------------|----------|--------------------|
| M37 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: أديبوند: بريمال | ٢ : ١ : ٠.٥ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٧٧,٩ | 1,415 gm/cm ³ | 21.28% | 15.037% |
| M38 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: أديبوند: بريمال | ٣ : ١ : ٠.٥ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٨٥,٩ | 1,471 gm/cm ³ | 17.36% | 11.326% |
| M39 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: أديبوند: بريمال | ٣ : ٢ : ١ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ | ١٩٩,١ | 1,580 gm/cm ³ | 17.84% | 11.800% |
| M40 | جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير: أديبوند: بريمال | ٢ : ٢ : ٢ : ٠.٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ : ٠.١٢٥ | ٢٠٧,١ | 1,650 gm/cm ³ | 22.08% | 13.418% |

© عمل الباحثة

أظهرت النتائج أن أفضل مونة في هذه الخلطة هي M38 حيث إنها أقل مسامية 17.36% ونسبة امتصاص المياه 11.326% وذلك بسبب زيادة نسبة الجير وانخفاض نسبة الرمل بالإضافة للتفاعلات البوزولانية مع إضافة المواد البوليمرية.



(شكل ١٤) يوضح نسبة المسامية وامتصاص المياه للعينات التجريبية المضاف لها مسحوق الطوب الأحمر والرماد المتطاير واديبوند ٦٥ (لاتكس البوتادين ستيرين) وبريمال AC33© عمل الباحثة

وبمقارنة نسب المسامية وامتصاص المياه لكل العينات تم اختيار أقل ثلاث عينات بالنسبة للمسامية وامتصاص مياه وهي M10 بمتوسط نسبة المسامية ١٥.٣٦% وبتوسط نسبة امتصاص المياه ١٤.٩٥٣% وM34 بمتوسط نسبة المسامية ١٥.٦٠% وبتوسط نسبة امتصاص المياه ١٠.١٣٥% وM31 بمتوسط نسبة المسامية ١٦.٠٨% وبتوسط نسبة امتصاص المياه ٩.٩٨٥% لإجراء الاختبارات الميكانيكية من حيث مقاومة الضغط للوصول لأفضل عينة محسنة ذات خصائص فيزيائية وميكانيكية عالية.

٣.٣ دراسة الخواص الميكانيكية:

تمت دراسة الخواص الميكانيكية لأفضل ثلاث عينات بالنسبة لمتوسط المسامية وامتصاص المياه لتعيين أفضل عينة من حيث الخواص الفيزيائية والميكانيكية. أظهرت نتائج اختبار إجهاد الضغط للعينات (M10-M31-M34) أن العينة M10 لم تتحمل أي ضغط، بينما العينة M31 بلغت قوة تحملها ١٠,٤ (كجم / سم^٢) في حين أظهرت العينة M34 قوة تحمل بلغت ١٣,٦ (كجم / سم^٢) والتي تعد أعلى قيمة لتحمل الضغط من بين العينات الثلاث. (جدول ١٥) يوضح درجة تحمل العينات التجريبية لمونة الجير تحت تأثير الضغط

| العينة | المكون الأول | النسبة | قوة تحمل الضغط (كجم / سم ^٢) |
|--------|--|---|---|
| M10 | جير + رمل + أسمنت أبيض + جبس + رماد متطاير | ٣ : ١ : ٥ : ٢٥ : ١٢٥ : ٠ | تهدمت تماما ولم يسجل الجهاز أي نتائج |
| M31 | جير + رمل + أسمنت + جبس + مسحوق الطوب الأحمر + رماد متطاير + أديبوند | ٣ : ٢ : ١ : ٢٥ : ١٢٥ : ٠ ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | ١٠,٤ |
| M34 | جير + رمل + أسمنت + جبس + مسحوق الطوب الأحمر + رماد متطاير + بريمال | ٣ : ١ : ٥ : ٢٥ : ١٢٥ : ٠ ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ | ١٣,٦ |

©ماكينة الضغط (ماكينة تكسير المكعبات)

(جدول ٢٤) يوضح المركبات المكونة للعينة الأولى باستخدام (XRD)

| Ref. Code | Mineral Name | Chemical Formula | Semi Quant [%] |
|-------------|--------------|------------------------|----------------|
| 01-083-0578 | Calcite | Ca (C O3) | 55 |
| 01-070-7344 | Quartz | Si O2 | 35 |
| 00-002-0062 | Chabazite | Ca Al2 Si4 O12 ·6 H2 O | 5 |
| 00-006-0046 | Gypsum | Ca S O4 ·2 H2 O | 5 |

© عمل الباحثة

الخاتمة النتائج:

تعاني مجموعة الأمير كبير قرقماس السيفي من العديد من مظاهر التلف الواضحة ومن بينها تهدم وسقوط أجزاء كبيرة نتيجة تدهور حالة المونة المستخدمة بين الوحدات في بعض الأجزاء، وهو ما أدى إلى ضرورة العمل على تحسين تلك المونة لرفع كفاءتها في مقاومة عوامل التلف المختلفة المحيطة، وتم اتباع منهجية محددة من عدة خطوات لإتمام الهدف المطلوب، في البداية تم أخذ بعض العينات المتساقطة من المونة، ثم عمل التحاليل والفحوص اللازمة للوقوف على طبيعة المونة ومكوناتها وتركيبها الكيميائي، وتم ذلك من خلال الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح المزود بوحدة تشتيت الطاقة SEM والتحليل بحيود الأشعة السينية XRD.

وقد تمت الدراسة على عدد من خلطات مونات الجير التجريبية للوقوف على أفضل الخلطات من حيث الخواص الفيزيائية والميكانيكية، ومن الخلطات المستخدمة مونة مكونة من الجير والرمل بدون إضافات والتي تهشمت تماما أثناء إجراءات قياسات الخواص الفيزيائية (المسامية وامتصاص المياه)، ثم بعد ذلك تم إضافة الأسمنت الأبيض والجبس إلى الجير والرمل وعمل ٤ خلطات بنسب مختلفة لمحاكاة المونات الأثرية الإسلامية^{١٤} ومن خلال قياس الخواص الفيزيائية نلاحظ زيادة قيمة المسامية في هذه الخلطة والتي تتراوح ما بين ٤٥% : ٧٠% وزيادة قيمة امتصاص المياه والتي تتراوح ما بين ٣٠% : ٦٠% وذلك لعدم وجود مادة محسنة تعمل على تقليل نسبة المسامية وامتصاص المياه.

لذلك تم عمل ١٢ خلطة أخرى من خلطات محسنة للمونة بنسب مختلفة؛ وذلك من خلال إضافة بعض المواد التقليدية البوزولانية التي تستهدف إلى تحسين خواص مونة الجير الميكانيكية والفيزيائية مثل مسحوق الطوب الأحمر^{١٥}؛ وكذلك الرماد المتطاير لاحتوائه على السيليكا والألومينا^{١٦}، ومن خلال قياس

¹⁴ TALIB, H., KHAN, R., KHITAB, A., BENJEDDOU, O., & KHAN, R. A., «Scanning Through Multidisciplinary Techniques and Recreation of Historic Mortar», *Case study of Rohtas Fort, Case Studies in Construction Materials* 18, 2023, e02052. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02052>, 2

¹⁵ NACIRI, K., AALIL, I., & CHAABA, A., «Eco-friendly gypsum-lime mortar with the incorporation of recycled waste brick», *Construction and Building Materials* 325, 2022, 126770, 2

الخواص الفيزيائية نلاحظ تحسین في هذه الخلطة عن الخلطات السابقة من خلال تقليل نسبة المسامية والتي تتراوح ما بين ١٥% : ٤٥% وأيضاً قيمة امتصاص المياه ما بين ١٥% : ٤٠% ؛ وذلك بسبب التفاعلات البوزولانية الأكثر تأثيراً عند إضافة الرماد المتطاير المحتوی على السليكا والألومينا مع الجير في وجود الماء مما ينتج عنه هيدرات سيليكات الكالسيوم وهيدرات ألومينات الكالسيوم والتي تعمل على قوة ومتانة المونة، وبالمقارنة بدراسات سابقة فقد تم دراسة عينة مكونة من ٣ : ١ : ١ : ٥، رمل: جير: جبس: أسمنت أبيض: الرماد المتطاير وكانت نتيجة المسامية ٦٩% وامتصاص المياه ١٧% وقوة تحمل الضغط ٨,٩٥ كجم / سم^٢ وأخرى مكونة من ٣ : ١ : ١ : ٢٥، ٥، رمل: جير: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: الرماد المتطاير وكانت نتيجة المسامية ٣٩% وامتصاص المياه ١٤%^{١٧}.

بالمقارنة بعينة M10 التجريبية المكونة من ٣ : ١ : ٠,٥ : ٠,٢٥ : ٠,١٢٥ جير: رمل: أسمنت: جبس: الرماد المتطاير وكانت نتيجة المسامية ١٥,٣٦% وامتصاص المياه ١٤,٩٥% حيث أنها أعطت نتائج أفضل بالمقارنة نتيجة لزيادة نسبة الجير في هذه الخلطة.

وبعد ذلك تم عمل ١٢ خلطة من خلطات أخرى مضاف لها مواد بوليمرية وهي البريمال والأديبوند للوصول لنتائج أفضل، حيث إنها تُسهم في تحسین خواص المونة من خلال تقليل المسامية وامتصاص المياه، مما تعمل على تحسین خواصها الميكانيكية والفيزيائية، وبعد الأديبوند أحد مواد الأكريليك التي تتميز بوجود روابط متقاطعة والتي تعمل على تحسین الخواص الميكانيكية من خلال زيادة الصلابة وقدرتها على تحمل الضغوط والأحمال^{١٨}، وكما تم في العينات السابقة، فقد تم قياس الخواص الفيزيائية لكل عينة من هذه المجموعة من حيث مساميتها والتي تتراوح ما بين ١٨% : ٤٠% وامتصاص المياه ما بين ١٢% : ٤٠% والتي أدت إلى تقليل نسبة المسامية وامتصاص المياه وذلك بسبب ما يفعله البريمال والأديبوند من تغير في الخصائص الفيزيائية وأيضاً الميكانيكية من حيث زيادة تماسك الحبيبات وتقليل نفاذية المياه وزيادة صلابة المونة. كانت آخر مجموعة تم عملها من الخلطات هي ١٢ عينة من مونة الجير مضاف لها خليط من مواد التحسین التقليدية البوزولانية والمواد البوليمرية بنسب مختلفة للوصول لنتائج أفضل من حيث تقليل المسامية وامتصاص المياه، وقد تم قياس الخواص الفيزيائية لكل عينة من هذه المجموعة من حيث مساميتها والتي تتراوح ما بين ١٥% : ٢٢% وامتصاص المياه ما بين ١٠% : ١٥% والتي أثبت أنها من أفضل المجموعات وذلك لوجود مواد محسنة عملت على ملئ الفراغات وتقليل المسامية ونسبة امتصاص المياه مما يؤدي إلى صلابة عالية للمونة.

¹⁶ TUDJONO, S., PURWANTO, X, & APSARI, K., «Study the Effect of Adding Nano Fly Ash and Nano Lime to Compressive Strength of Mortar», *Procedia Engineering* 95, 2014, 426-432, 4

¹⁷ ABDELMEGEED & OTHERS, «Innovative Composite Materials for Strengthening Lime-based Mortars in Traditional Masonry Structures», 8

¹⁸ FRIGIONE, M., LETTIERI, M., SARCINELLA, A., & DE AGUIAR, J. B., «Sustainable Polymer-Based Phase Change Materials for Energy Efficiency in Buildings and their Application in Aerial Lime Mortars», *Construction and Building Materials* 231, 2020, 117149, 7

وفي نهاية الدراسة تم عمل مقارنة للنائج لكل العينات والوصول لأفضل ثلاث عينات ذات أعلى خواص فيزيائية وميكانيكية. وكانت الخلطة الأفضل هي عينة M34 التي تتكون من (جير: رمل: أسمنت: جبس: مسحوق الطوب الأحمر: رماد متطاير: بريمال) بنسب (٣: ١ : ٠,٥ : ٠,٢٥ : ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥ : ٠,١٢٥) وكانت نتيجة المسامية ١٥,٦٠% وامتصاص المياه ١٠,١٣% وقوة تحمل الضغط ١٣,٦ كجم / سم^٢ وذلك نظرا لأن المواد المحسنة من مسحوق الطوب الأحمر والرماد المتطاير مع الجير في وجود الماء أدت لحدوث التفاعلات البوزولانية والتي تعمل على قوة ومتانة المونة بالإضافة إلى وجود البريمال الذي يعمل على زيادة تماسك الحبيبات والصلابة العالية ونتج عن ذلك تحسين الخواص الميكانيكية للمونة وزيادة قوه تحملها للضغط لذلك يوصى باستخدام هذه الخلطة.

ثبت المصادر والمراجع:

- فرغلي، أبو الحمد، *الدليل الموجز لأهم الآثار الإسلامية والقبطية في القاهرة*، ط.١، القاهرة: دار المصرية اللبنانية، ١٩٩١م.
- عطية، أحمد إبراهيم، "دراسة المونات القديمة والحديثة لتوظيفها في أعمال الترميم المعماري للمباني الأثرية في مصر"، رسالة دكتوراه، كلية الآثار / جامعة القاهرة، ٢٠٠٠م.
- رزق، عاصم محمد، *العمارة الإسلامية بالقاهرة في عصر دولة المماليك البرجية*، القاهرة، ٢٠٠٣.
- زكي، عبد الرحمن ، *موسوعة مدينة القاهرة في ألف عام*، القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، ١٩٦٩م.
- عبد المجيد، محمد مصطفى محمد، *دراسة لأسباب تصدع وانهيارات المباني الأثرية الإسلامية والحلول المقترحة للآثار المختارة*، القاهرة، ٢٠٠٩م.
- نجيب، مصطفى، "مدرسة الأمير كبير فرقماس السيفي وملحقاتها"، رسالة دكتوراه، كلية الآداب/جامعة القاهرة، ١٩٧٥م.

References:

- AALIL I., BADREDDINE D., BECK K., BRUNETAUD X., CHERKAOUI K., CHAABA A. & AL-MUKHTAR M., «Valorization of Crushed Bricks in Lime-Based Mortars», *Construction and Building Materials* 226, 2019, 555-563. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.265>
- ‘ABD AL-MAĠĪD, MUHAMMAD MUṢṬAFĀ MUHAMMAD , *Dirāsa li-‘Asbāb Taṣad‘ wa Inhiārāt al-Mabānī al-‘Aṭrīya al-Islāmīya wal-Ḥulūl al-Muqṭrḥa lil ‘Aṭār al-Muḥtāra*, Cairo, 2009.
- ABDELMEGEED M., KASSAB M., SHOUKRY H., & TAHA S., «Innovative Composite Materials for Strengthening Lime-based Mortars in Traditional Masonry Structures», *Строительные материалы* 8,2019, 42-47.
- AL-SALAMI A., AL-HAJRY A., AHMED M. & TAHA S., «The effect of temperature and pozzolanic materials on the electrical conductivity of blended cement pastes at different porosities», *Silicates industriels*, №.5-6, 2006, 81-87.
- ‘AṬĪYA, AḤMAD IBRĀHĪM, «*Dirāsa al-Mūnāt al-Qadīma wa ‘l-Hadīta li-Taūzīfḥā fi A‘amāl al-Tarmīm al-Mi‘amārī li ‘l-Mabānī al-‘Aṭrīya fi Miṣr*», *Ph.D Thesis*, Faculty of Archeology/ Cairo University, 2000.
- BOTAS S., VEIGA M. & VELOSA A., «Reapplication Mortars for Old Tiles: Characteristics of Tiles and Mortars and Selection Criteria», *International Journal of Architectural Heritage* 8, №.1, 2014, 124-139.
- CAVACO L., «Execution Techniques for Rendering Mortars of Ancient Buildings», *Master Thesis*, IST/UTL, Lisbon, Portugal,2005.
- CHANG Z., LONG G., ZHOU J. & MA C., «Valorization of Sewage Sludge in the Fabrication of Construction and Building Materials: A Review», *Resources Conservation and Recycling* 154, №.3, 2020, 10460. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104606>

- FARĠALĪ, ABŪ AL-ḤAMD, al-Dalīl al-Mūğaz l' Aham al-' Ātār al-Islāmīya wa'l-Qibṭīya fī al-Qāhira, 1sted.,Cairo: Dār al-Miṣrīya al-Libanānīya, 1991.
- FRIGIONE, M., LETTIERI, M., SARCINELLA, A., & DE AGUIAR, J. B., «Sustainable Polymer-Based Phase Change Materials for Energy Efficiency in Buildings and their Application in Aerial Lime Mortars», *Construction and Building Materials* 231, 2020, 117-149.
- HUSSEIN A. & RUSSLAN A., «Performance of Modified Lime Mortars for Conservation of Ancient building», *Proceedings of 2nd International Conference on Innovative Building Materials*, Dec. 2-4, Cairo, Egypt,2018.
- NACIRI, K., AALIL, I., & CHAABA, A., «Eco-Friendly Gypsum-Lime Mortar with the Incorporation of Recycled Waste Brick», *Construction and Building Materials* 325, 2022, 126770.
- NAĠĪB, MUṢṬAFĀ, «Madrasa al-'amīr Kabīr Qurqumās al-Sīfī wa Mulḥqāthā», *Ph.D Thesis*, Faculty of Arts, Cairo University, 1975 .
- PAVÍA S. & TREACY E., «A Comparative Study of the Durability and Behaviour of Fat Lime and Feebly-Hydraulic Lime Mortars», *Materials and Structures* 39, No.3,2006, 391-398.
- RAZQ, 'ĀSM MUḤAMMAD, *al- 'Imāra al-Islāmīya bi -Al-Qāhira fī 'Aṣr Dawala al-Mamālīk al-Burġīya*, Cairo,2003.
- TALIB, H., KHAN, R., KHITAB, A., BENJEDDOU, O., & KHAN, R. A., «Scanning Through Multidisciplinary Techniques and Recreation of Historic Mortar», *Case Study of Rohtas Fort, Case Studies in Construction Materials* 18, 2023, e02052. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02052>
- TUDJONO, S., PURWANTO, X, & APSARI, K. , «Study the Effect of Adding Nano Fly Ash and Nano Lime to Compressive Strength of Mortar», *Procedia Engineering* 95, 2014, 426-432.
- VICAT L. & SMITH J., *Mortars and Cements*, Shaftesbury: Donhead,1837
- ZAKI, 'ABD AL-RAḤMAN , *Mawasū 'a Madīna al-Qāhira fī al-f 'Ām*, Cairo: Maktaba al-' Anġlū al-Miṣrīya, 1969.

الكتالوج:



(لوحة ٢) توضح مسجد ومدرسة وخانقاه الأمير كبير قرقماس السيفي ©تصوير الباحثة

(لوحة ١) توضح مسجد ومدرسة وخانقاه الأمير كبير قرقماس السيفي ©تصوير الباحثة



(لوحة ٤) توضح مسجد ومدرسة وخانقاه الأمير كبير قرقماس السيفي موضحا بها جانب من أماكن التلف © تصوير الباحثة

(لوحة ٣) توضح مسجد ومدرسة وخانقاه الأمير كبير قرقماس السيفي موضحا بها جانب من أماكن التلف ©تصوير الباحثة



(لوحة ٦) توضح مكان الحصول على العينة الثانية ©تصوير الباحثة

(لوحة ٥) توضح مكان الحصول على العينة الأولى ©تصوير الباحثة



(لوحة ٨) توضح مكان الحصول على العينة الرابعة
©تصوير الباحثة



(لوحة ٧) توضح مكان الحصول على العينة الثالثة
©تصوير الباحثة



(لوحة ١٠) توضح مكان الحصول على العينة السادسة
©تصوير الباحثة



(لوحة ٩) توضح مكان الحصول على العينة الخامسة
©تصوير الباحثة



(الصورة ١١-١٢) توضح تجهيز العينات التجريبية للصب لعمل بعض الأعمال التجريبية ©عمل الباحثة



(صوره ١٤) تجهيز العينات التجريبية ©تصوير الباحثة



(صوره ١٣) توضح تجفيف العينات التجريبية من الخلطات
المختلفة ©تصوير الباحثة



(صوره ١٥) توضح جهاز قياس قوه تحمل الضغط لمكعبات أحد الخلطات التجريبية ©تصوير الباحثة