https://majs.journals.ekb.eg
2024; Dec(14):191:200.
Doi: 8.24394 /JAH.2024 MJAS-2407-1251
ISSN: 2735-430X (Print); ISSN: 2735-4318 (Online)

تقييم خلطات حجرية صناعية لترميم وصيانة غطاء تابوت سانيت الحجري من الأسرة السادسة العشرين بسقارة

Evaluation of Artificial Stone Mixtures for conservation of Sanit Sarcophagus Lid from the Twenty-Sixth Dynasty in Saqqara

سمر ربيع محمد[1]، محمد كمال خلاف[2]، شحاته أحمد عبدالرحيم[2]، أشرف يوسف عويس[3]

باحثة[1]، أستاذ الترميم[2] – قسم الترميم – كلية الآثار – جامعة الفيوم ، أخصائي ترميم[3]

Email address: samar.rabea8@gmail.com

To cite this article:
Samar Rabea, Journal of Arts & Humanities.
Vol. 14, 2024, pp.191 -200. Doi: 8.24394/ JAH.2024 MJAS-2407-1251
Received:07, 07, 2024; **Accepted**: 11,08, 2024**; published**: Dec 2024

الملخص:

تم العثور على تابوت سانيت الحجري في مقبرة نفر إيب رع سانيت بسقارة من الأسرة 26 (عصر المتأخر)؛ وهو تابوت حجري آدمي الشكل مصنوع من الحجر الجيري النقي، ولكنه في حالة سيئة جدًا من الحفظ. تم تخزينه في المخزن المتحفي رقم (2) بمنطقة آثار سقارة. عند فتح المقبرة، تبين أن غطاء التابوت مهشم إلى قطع صغيرة ويفقد الجزء السفلي منه. لاستكمال الفقد في غطاء تابوت سانيت الحجري، تم إجراء الفحوص والتحاليل اللازمة لعينات من الحجر الجيري لغطاء تابوت سانيت للتعرف على المكونات المعدنية للحجر، ووضع منهجية للدراسة التجريبية تتضمن الطرق والتحاليل المستخدمة في دراسة الحجر الجيري المكون لغطاء تابوت سانيت. تشمل مجموعة متنوعة من الأساليب العلمية؛ مثل الفحص باستخدام الميكروسكوب المستقطب للتعرف على المعادن المكونة للحجر الجيري، واستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح (SEM) لتكبير جزيئات المادة الأثرية المكونة لغطاء التابوت. كما تم استخدام حيود الأشعة السينية (XRD) للتعرف على التركيب المعدني للحجر الجيري وتحليل العينات بدقة. تفيد هذه الطرق في تحديد الإجراءات المناسبة التي سيتم استخدامها في الدراسة التجريبية للمواد المستخدمة في استكمال غطاء تابوت سانيت الحجري، حيث إن إجراء الفحوص والتحاليل يوفر معلومات دقيقة عن مكونات الحجر الجيري وطبيعته. بناءً على هذه المعلومات، تم اختيار المكونات اللازمة لعمل حجر صناعي يماثل في مكوناته الحجر الطبيعي، ولكن بخصائص محسنة. وقد تم إعداد خمس خلطات صناعية تشابه في تكوينها الحجر الأصلي لاختيار الأفضل منها لاستخدامه في استكمال غطاء تابوت سانيت.

الكلمات الدالة:

غطاء تابوت سانيت الحجري – دراسة تجريبية - حجر صناعي – حجر جيري.

1-المقدمة:

تقع سقارة على بُعد 28 كم جنوب القاهرة، بين خرائب "منف" والهضبة التي تم العثور فيها على أكثر من عشرين ملكًا وهيئات كاملة من النبلاء وبعض سكان العاصمة. كانت سقارة مكانًا خاصًا للدفن في الأزمنة القديمة (عبد الحليم نور الدين، 1998). خلال هذه الفترة، تم بناء معابد وقصور في المنطقة، وقد اكتشف العديد من الآثار القديمة في سقارة تعود إلى الأسرة 26 في العصر المتأخر في مصر، حيث تطورت الفنون والنحت والعمارة بشكل ملحوظ. تعكس الأعمال الفنية والتماثيل والمعابد من هذه الفترة الطابع الخاص للحضارة المصرية القديمة (يحيى صلاح صابر المصري، 1994). تميز العصر المتأخر (26-27) بالمقابر البئرية التي لم تُعرف إلا في هذا العصر. كان

التابوت عنصرًا هامًا وبارزًا في المقبرة، وغالبًا ما كان يملأ حجرة الدفن عن آخرها (محمد محمد يوسف، 2005). تم اكتشاف غطاء تابوت سانيت الحجري في مقبرة بئرية مزدوجة، وهو عبارة عن غطاء تابوت حجري ضخم مصنوع من الحجر الجيري، وقد نُقش بنقوش هيروغليفية غائرة. و كان الغطاء مهشّمًا إلى العديد من القطع، يصل عددها إلى ثماني عشرة قطعة، تتفاوت بين صغيرة ومتوسطة وكبيرة صورة رقم (1) ،وبعض القطع بها كسور وشروخ دقيقة، وهناك أجزاء مفقودة، مما أدى إلى نسبة فقد كبيرة. لذا، كان من الضروري التدخل لاستكمال الأجزاء المفقودة. لكن عمليات الاستكمال تُعد صعبة ودقيقة ومكلفة، ومحفوفة بالمخاطر بالنسبة للقطعة الأثرية نفسها. يتم التدخل في الاستكمال فقط إذا كانت الأجزاء المفقودة لها أهمية كبيرة في علم الآثار، أو إذا كان فقدانها يؤثر على الشكل الجمالي للقطعة الأثرية، أو يؤثر على هيكل بناء القطعة (GEORGIOS PAPAIOANNOU, TOBIAS SCHRECK, 2017)لذلك، يجب اختيار الطريقة المثلى لعملية الاستكمال.

توجد العديد من طرق الاستكمال، منها الاستكمال المباشر عن طريق الصب، حيث يتم خلط مواد الاستكمال وصبها مباشرة في الأماكن المفقودة. لكن هذه الطريقة قد لا تكون فعالة في جميع الحالات، حيث يمكن أن يتسرب المواد على سطح القطعة الأثرية، مما يؤدي إلى تشويهها ويتطلب عمليات تنظيف باستخدام أدوات الكشط الميكانيكية، مما قد يسبب خدوشًا وشقوقًا وتشوهات في السطح. إلا أن هذه الطريقة مفيدة في الفراغات الصغيرة حيث يمكن التحكم فيها.

تُعدّ تقنية الاستكمال باستخدام قطع من الحجر الجيري الطبيعي من نفس مادة صنع الأثر من الطرق الشائعة. ولكن في حالة غطاء تابوت سانيت، يكون الجزء المفقود كبيرًا ووزن وكثافة الحجر الطبيعي أعلى من غطاء تابوت سانيت، مما قد يتسبب في إجهاد الحجر الأصلي وظهور شروخ وشقوق نتيجة للضغط.

تعتبر تقنية الصب البديل من التقنيات المعروفة لتقليل احتمالية حدوث أي ضرر. حيث نقوم باستخدام القولبة لجزء مماثل للقطعة المفقودة، وبعد الحصول على القطعة، نضعها مباشرة فوق الجزء المفقود ويتم لصقها (Osman, A.1, Gad, A.2, 2022).

تم اختيار طريقة القولبة لعمل أحجار صناعية تشبه في تركيبها الحجر الأصلي لغطاء تابوت سانيت وتركيب القطع مباشرة في أماكن الفقد. ولكن يجب أولاً إجراء الاختبارات اللازمة للخلطات المكونة للحجر الصناعي التي تم اختيارها، لتقييم أدائها والوصول إلى أفضل خليط لصنع الحجر البديل الذي سيتم استخدامه في عملية الاستكمال.

صورة رقم (1) لغطاء تابوت سانيت الحجري على حالته الراهنه مهشم إلى ثماني عشرة قطعة حجرية ما بين الكتل الكبيرة والقطع الصغيرة وبعض الأجزاء المفقودة .

2-1الدراسة التجريبية لطرق مواد ترميم وصيانة غطاء التابوت سانيت الحجري المهشم- الأسرة السادسة والعشرين

إن الاهتمام المتزايد بالحفاظ على الحضارة والتراث يعد قوة دافعة رئيسية لإيجاد الحلول والمقترحات اللازمة لصيانة الأثر بما يتوافق مع مواد صنعه الأصلية (Ana Isabel Marques, Maria doRosário,2022)من خلال الدراسات التجريبية، يتم إجراء التجارب العلمية اللازمة للتحقق من كفاءة المواد المختارة لترميم وصيانة غطاء تابوت سانيت الحجري، ومدى ثباتها وتأثيرها على الحجر الجيري الأثري ومقاومتها ضد عوامل التقادم الصناعي، وذلك لضمان عدم حدوث مزيد من التلف والتدهور (Vahid Barnoos, Atefeh Shekofteh, 2022). تم إجراء دراسة تجريبية لإعادة إنتاج حجر صناعي بنفس مكونات الحجر الجيري مع تحسين بعض الخصائص لتناسب عملية الاستكمال وطبيعة الأثر، مع توفير المتانة والخفة في الوزن، وتقليد الحجر الطبيعي، والقدرة على التكيف مع البيئة المحيطة دون التسبب في آثار جانبية، وذلك بناءً على نتائج الفحوص والتحاليل للعينات الحجرية المأخوذة من غطاء تابوت سانيت الحجري لعمل خليط الحجر الصناعي على أساس سليم (Maria Stefanidou, Vasiliki Pachta, 2015).

1- 3 الدراسة التجريبية

تمت هذه الدراسة على عينات تجريبية مماثلة بقدر الإمكان لمكونات الأثر لضمان صحة النتائج، وقياس مدى كفاءة المواد وتأثيرها على مادة الأثر، مما يساعد على إتمام عمليات العلاج بشكل آمن وفعال. من المهم تصميم خليط بالخصائص المطلوبة لضمان توافقه مع الحجر الأصلي وفعالية الخليط. مع الأخذ في الأعتبار خصائص الحجر الأصلي وقابليته للضغوط والأجهاد، بحيث لا يسبب الخليط المكون للحجر الصناعي أي ضغوط ميكانيكية على الأثر الأصلي، مما يضمن توافقاً وتناغماً بين الأثر الأصلي والحجر الصناعي المعد لاستكمال الأجزاء المفقودة. يجب أن تكون المادتان متوافقتان بحيث لا يؤثر أحدهما سلباً على الآخر بأي شكل من الأشكال. للتأكد من توافق الخليط كيميائيًا مع الأثر الأصلي، يجب ألا يطلق المركبات الخطيرة أو يثير آليات التدهور للحجر الأصلي، حيث يتطلب الأمر سلوكًا رطبًا متجانسًا لتجنب زيادة استهلاك المياه وتراكم الرطوبة والأملاح. كما يجب أن يكون هناك توافق ميكانيكيًا لتجنب الضغوط على الأثر الأصلي، بحيث يجب أن يتمتع بمرونة وقدرة على استيعاب الضغوط دون أن تتشقق، وتسمح للهيكل المستكمل باستيعاب الحركة (F. Gherardi, P. N. Maravelaki,2022) , علاوة على ذلك، يجب أن يتوافق الخليط جماليًا من حيث الشكل واللون والملمس دون الوصول إلى حد التزوير، ليتم تحقيق قطعة حجرية مصنوعة من خليط يحاكي الحجر الأصلي بخصائص محسنه، ويكون متوافقًا مع الحجر الأصلي، ويلتصق جيدًا في المكان المعد له، ويقاوم الظروف البيئية، ويكون قابلًا للاسترجاع دون عرقلة عمليات الصيانة والترميم المستقبلية (F.Gherardi,P.N.Maravelaki:**RepairMortars**, **2022**) .

4-1 تصنيع واختبار الخلطات التجريبية لتركيبات الحجر الصناعي

بعد دراسة مكونات الحجر لغطاء تابوت سانيت ونتائج الفحوص والتحاليل والتعرف على المكونات المعدنية للحجر الجيري ونسبها في الحجر المكون للغطاء، تم تصنيع مجموعة من الأحجار على هيئة مكعبات منتظمة الشكل بأبعاد 5 سم × 5 سم × 5 سم لاستخدامها في الدراسة التجريبية. تم تنسيق الملمس واللون من خلال استخدام صبغات غير عضوية، وذلك لدراسة واختيار بعض المكونات اللازمة لصناعة حجر صناعي بنفس مكونات الحجر الأصلي ولكن بإضافة بعض المواد المحسنة التي تزيد من مقاومة عوامل التلف والتعرية. بالإضافة إلى مكونات الحجر الجيري من كالسيت وسليكا ودولوميت، تم اختيار بعض المواد الإضافية لكل خليط على حدة لتكوين عينة حجر صناعي بخلطات مختلفة.

تركيبة الخليط يجب أن تتبع المواصفات التنظيمية لاختبار المواد والحشوات لتكون مناسبة. يجب أن يحتوي الخليط على الأصباغ اللونية المناسبة وإضافة الملدنات، حيث توفر عوامل احتجاز الهواء وتقليل الانكماش فرصًا لتحسين جودة الخليط وإطالة عمره (F. Gherardi, P. N. Maravelaki, 2022) .الجير والرمل هما من المواد الأساسية في الخليط لأنهما يدخلان في تركيب الحجر الأصلي. يقوم الجير بدور المادة الرابطة في الخليط ، وهو من أهم المواد الرابطة في المونات الأثرية والتاريخية، ويعتمد على مكوناته التي أساسها نسبة أكسيد الكالسيوم (أحمد رشدي عمر، 2018). أما الرمال، فتحتوي على مادة السيليكا واسعة الاستخدام، وتعد عنصراً هاماً في تركيب الأحجار الصناعية البديلة للأحجار الطبيعية (Mario E. Rodriguez-Juarez, Edgar Perez-Diaz, 2022). فالرمال تعمل كمواد مالئة تضمن أن تكون المونة مترابطة وقليلة المسام.

1- **اللاتكس** :هو مادة بيضاء ناعمة تتكون من اللاتكس الطبيعي أو الاصطناعي. يتمتع اللاتكس بخصائص ميكانيكية جيدة مثل الشد ومعامل المرونة. يستخدم اللاتكس على نطاق واسع في العديد من الصناعات مثل الطلاءات والمواد اللاصقة، ويضاف كعامل تقوية للصناعات البلاستيكية نظرًا لقدرته على التصلب بعد تبخر الماء من جزيئات البوليمر في اللاتكس. يمكن إضافة اللاتكس الاصطناعي إلى الملاط المستخدم في ترميم وترقيع الشقوق في الأسطح المختلفة , ويضاف كعامل تقويه نظراً لقدرته على التصلب بعد تبخر الماء من جزيءات البوليمر (Waraporn Wichaita, Duangkamol Promlok, 2021)ويستخدم لإضافة مزيد من المرونة والمتانة وتحسين خصائص الخليط.

2- الإيبوكسي: فهو نوع آخر من المواد البوليمرية ويشتهر بخصائصه المميزة مثل القوة اللاصقة ومقاومته للمواد الكيميائية والحرارة (Danuta Matykiewicz, 2020) .يتم تفاعل راتنجات الإيبوكسي مع مواد أخرى لتشكيل مواد قوية

ومتينة. يستخدم الإيبوكسي في العديد من التطبيقات مثل الطلاءات واللاصقات والمواد العازلة وصناعة الأدوات (Praveen Kumar Balguri, D.G. Harris Samuel, 2021).

باستخدام اللاتكس والإيبوكسي، يمكن تحقيق تطبيقات متنوعة وواسعة في مجالات مختلفة بفضل خصائصهما الممتازة في المرونة، والتصاق القوي، والمتانة.

3- Self-leveling Mortar (SLM)

تعتبر المونة ذاتية التسوية طبقة رقيقة من المواد المركبة التي تستخدم لتعديل وتسوية الأسطح غير المستوية. وهي مادة ذات أساس إسمنتي معالجة ضد الأملاح تتكون من 70% إسمنت بورتلاندي، و17% كبريتات كالسيوم، و6% ألومينات كالسيوم، وما بين 5-7% نسبة ماء للمادة الرابطة للوزن. تعد مقاومة للضغط ، وتستخدم كطبقة أساسية قبل وضع طبقات أخرى من المواد لتسوية الأسطح[1] [2] . يتم تطبيقها عادة كطبقة أساسية قبل وضع طبقات أخرى من المواد. تُستخدم الطبقة السفلية ذاتية التسوية لحل مشاكل التسوية، تحديدًا عندما تكون الأسطح غير مستوية أو تحتاج إلى تعديل. يتم تطبيقها عن طريق صبها أو توزيعها بشكل متساوٍ على السطح المراد تسويته. تتدفق المادة ذاتيًا وتنتشر بشكل متساوٍ لتحقيق سطح مستوٍ ومتجانس، وتملأ الفراغات دون الحاجة إلى أي ضغط. توفر المونة ذاتية التسوية سطحًا متينًا ومقاومًا للتآكل، مما يعزز عمر الهيكل المصنوع منها. فهي مادة ذات قدرة على تحمل الضغط والتحميل، مما يجعلها مناسبة للمناطق التي تتعرض للحركة أو التحميل (Marcos A.S. Anjos, Tomaz R. Araújo ,2020).

4- الأسمنت الأبيض المعالج

يتميز بمقاومته العالية للتأثيرات الميكانيكية والتآكل، مما يجعله مناسبًا للاستخدام في مناطق تتعرض للضغط والاحتكاك مثل الحواف والأماكن الضيقه ؛يمكن استخدامه لملء الفجوات وتسوية الأسطح لتحقيق مظهر طبيعي ومتناسق، ويعد استخدامه مفيدًا لتحقيق سطح أملس ومستوٍ.

2-المواد والطرق

توفير معلومات دقيقة عن مكونات الحجر الجيري وطبيعته مهم لإجراء عمليات العلاج والصيانة اللازمة لغطاء تابوت سانيت موضوع الدراسة. تم استخدام الميكروسكوب المستقطب (PL) للتعرف على المعادن المكونة للحجر الجيري، واستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح (SEM) لتكبير جزيئات المادة الأثرية المكونة لغطاء التابوت. كما تم استخدام حيود الأشعة السينية (XRD) للتعرف على التركيب المعدني للحجر الجيري وتحليل العينات بدقة (Marcos A.S. Anjos, Tomaz R. Araújo ,2020).

2-1 إعداد عينات الخلطات الصناعية للدراسة التجريبية

بعد دراسة مكونات الحجر لغطاء تابوت سانيت ونتائج الفحوص والتحاليل والتعرف على المكونات المعدنية للحجر الجيري ونسبها في الحجر المكون للغطاء، تم تصنيع مجموعة من الأحجار على هيئة مكعبات منتظمة الشكل بأبعاد 5 سم × 5 سم × 5 سم لاستخدامها في الدراسة التجريبية. الصور أرقام (2-6) والجدول رقم (1) توضح هذه العينات.

جدول رقم (1) يوضح مكونات الخلطات الصناعية للحجر الصناعي

رقم الخليط	مكونات الخليط
1	مسحوق حجر جيري 70% + جير 10% + سيليكا 10% + لاتكس 10%
2	مسحوق الحجر الجيري 87% + إيبوكسي 13%
3	مسحوق حجر جيري 60% + سيليكا 5% + أسمنت أبيض معالج 5% + لاتكس 10% + SLM 20%
4	مسحوق حجر جيري 70% + سيليكا 10% + أسمنت أبيض معالج 10% + 10% لاتكس
5	مسحوق حجر جيري 70% + أسمنت أبيض معالج 20% + 10% لاتكس

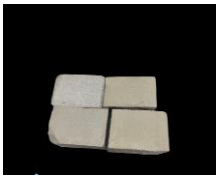
(1)Le Rolland et al: United States Patent.

(2)Cetrox grout,datasheet,CMB.

صورة رقم (2) توضح العينات التي تم إعدادها من سيليكا + مسحوق حجرجيري + جير حي + لاتكس

صورة رقم (3) توضح العينات التي تم إعدادها من مسحوق حجر جيري + ايبوكسي

4) توضح العينات التي تم إعدادها مسحوق حجر جيري + سيليكا + أسمنت أبيض معالج + لاتكس+20% self leveling



صورة رقم (5) توضح العينات التي تم إعدادها من مسحوق حجر جيري + سيليكا + أسمنت أبيض معالج + لاتكس

6) توضح العينات التي تم إعدادها منمسحوق حجر جيري + أسمنت أبيض معالج+ لاتكس

2-2 قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية لخلطات الحجر الصناعي التي تم إعدادها

يتم قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات الحجرية ومنها: الكثافة، وامتصاص الماء، والمسامية، وقوة تحمل الضغط (B. Szemerey-Kiss• A´. To¨ro¨k,2011) ؛وذلك حتى نتمكن من التعرف على خصائص الحجر الصناعي وخصوصًا المسامية حيث أنه من الضروري الحفاظ على أن يكون للحجر القدرة على التنفس وعدم غلق المسام، وقياس قوة الضغط فيما يتعلق بمتانة القطع المصنعة , اي قدرة تلك المواد على الصمود في وجه الضغوط الميكانيكية (Cristina Maria Belfiore, Giada Montalto,2023)

2.3 تعريض العينات لعوامل التقادم الصناعي

تم تعريض العينات لعوامل التلف الصناعي لتقييم كفاءتها، وتقدير مدى ثباتها ضد العوامل التي قد تتواجد في البيئة المحيطة بالأثر، وذلك على النحو التالي:

1-2-3 تعريض العينات لتأثير المحاليل الملحية

تم غمر العينات في محلول ملح كلوريد الصوديوم بتركيز 25% لمدة 4 ساعات، ثم جُفِّفت العينات في فرن درجة حرارته 45°م لمدة 8 ساعات. بعد ذلك، تُركت العينات في درجة حرارة الغرفة لمدة 12 ساعة، وتمت تكرار هذه العملية لعشر دورات متتابعة (M.K. Khallaf, A.A. El-MidanyS.E. El-Mofty,2011).

2-3-2 تعريض العينات لدورات التسخين الرطب والجاف

تم تجفيف العينات داخل فرن عند درجة حرارة 105°م لمدة 24 ساعة، ثم غُمرت في الماء. بعد ذلك، وُضعت العينات في فرن التجفيف عند 65°م لمدة 8 ساعات، ثم تعرضت للتسخين الجاف في نفس درجة الحرارة ونفس المدة. أخيرًا، تم تبريد العينات في درجة حرارة الغرفة لمدة 16 ساعة. وتمت تكرار هذه العملية لعشر دورات متتابعة (Engin Özdemir & Didem Eren Sarıcı, 2023).

كما تم قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات التي خضعت لعمليات التقادم الصناعي، وذلك لمعرفة مدى تأثير هذه العمليات على عينات الحجر الصناعي وتحديد الاختلافات التي ظهرت على العينات نتيجة لدورات الترطيب والتجفيف (Cristina Maria Belfiore & Giada Montalto, 2023).

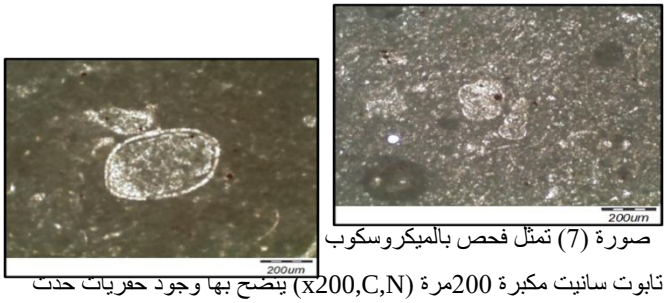
3-النتائج والمناقشة

من خلال الفحص الظاهري للحجر، وُجد أنه ناعم ولونه أبيض مائل إلى الرمادي الفاتح. وبدراسة مقطع الحجر، تبيّن أنه حجر جيري دقيق التحبب. كما أن الحجر يظهر ناعمًا ولونه أبيض مائل إلى الرمادي الفاتح، ويتكون أساسًا من الكالسيت، ويحتوي على حفريات دقيقة جدًا، كما يتضح من صور الأرقام (7-8).

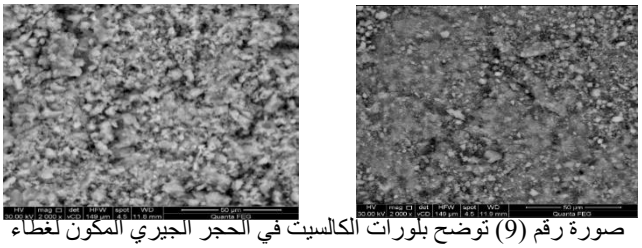
عند الفحص باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح، تم الحصول على صور مجهرية عالية الدقة للعينة، مما سمح برؤية التفاصيل الدقيقة للتركيب الداخلي والسطحي للحجر الجيري. أوضح الفحص احتواء العينة على معدن الكالسيت بشكل رئيسي، مع وجود بعض الشوائب، كما يتضح من خلال صور الأرقام (9-10).

ومن خلال تحليل العينات باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD)، تبين أن هذه العينات تتكون من معدن الكالسيت ($CaCO_3$)، بالإضافة إلى وجود نسبة ضئيلة من معدن الكوارتز(SiO_2) ، كما هو موضح في الشكل رقم (1). أما العينة المأخوذة من القطع المكسورة أسفل قدم غطاء تابوت سانيت، فقد احتوت بشكل أساسي على معدن الكالسيت ($CaCO_3$)، كما هو موضح في الشكل رقم (2)، بالإضافة إلى

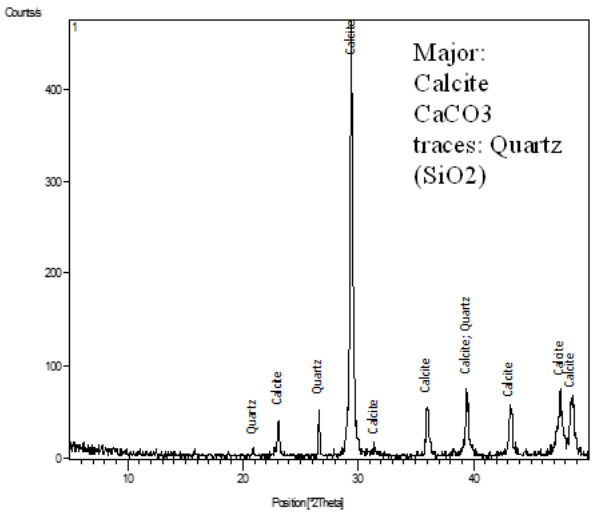
معدن الكوارتز (SiO2) بنسبة ضئيلة، ومعدن الدولوميت (CaMg(CO3)2).



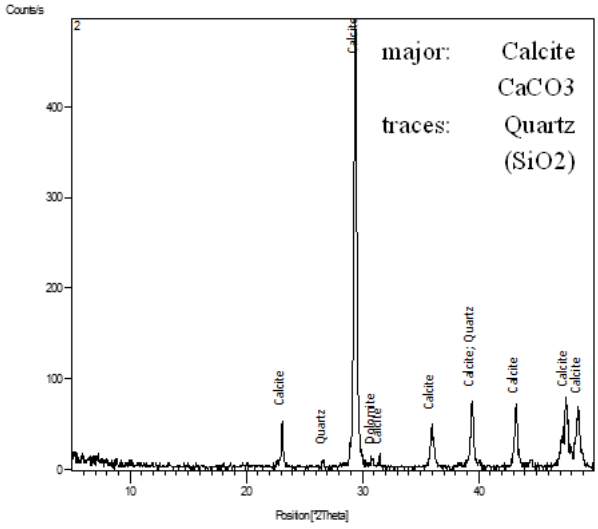
صورة (7) تمثل فحص بالميكروسكوب تابوت سانيت مكبرة 200مرة (x200,C,N) يتضح بها وجود حفريات حدث لها إحلال بكربونات الكالسيومفحص بالميكروسكوب المستقطب لعينة أحجار من غطاء تابوت سانيت مكبرة 200، صورة (8) تمثل فحص بالميكروسكوب المستقطب لعينة أحجار من غطاء تابوت سانيت مكبرة 200مرة (x200,C,N) يتضح بها وجود حفريات في أرضية كربوناتية دقيقه التحبب (مي كريت)



صورة رقم (9) توضح بلورات الكالسيت في الحجر الجيري المكون لغطاء تابوت سانيت.صورة رقم (10) توضح بلورات الكالسيت ومورفولجية الحجر المكون لغطاء تابوت سانيت .



شكل رقم (1) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة من الحجر الجيري لغطاء تابوت سانيت



شكل رقم (2) يوضح نمط حيود الأشعة السينية لعينة من الحجر الجيري لغطاء تابوت سانيت

من خلال قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات التي تم إعدادها:

- الخليط رقم (1) المكون من مسحوق حجر جيري + جير حي + سيليكا + لاتكس أعطى نسبة امتصاص ماء وصلت إلى (2.2%)، وكثافة بلغت (1.7 كجم/سم³)، ومسامية سجلت (12.2%)، أما قوة تحمل الضغط فقد بلغت (11.5 ميجا باسكال).
- الخليط رقم (2) المكون من مسحوق حجر جيري + إيبوكسي أعطى نسبة امتصاص ماء وصلت إلى (صفر%)، وكثافة بلغت (1.9 كجم/سم³)، ومسامية سجلت (صفر%)، أما قوة تحمل الضغط فقد بلغت (38.2 ميجا باسكال).
- الخليط رقم (3) المكون من مسحوق حجر جيري + سيليكا + أسمنت أبيض معالج + لاتكس + 20 % Self-Leveling أعطى نسبة امتصاص ماء وصلت إلى (3.4%)، وكثافة بلغت (1.8 كجم/سم³)، ومسامية سجلت (12.1%)، أما قوة تحمل الضغط فقد بلغت (21.9 ميجا باسكال).
- الخليط رقم (4) المكون من مسحوق حجر جيري + سيليكا + أسمنت أبيض معالج + لاتكس أعطى نسبة امتصاص ماء وصلت إلى (2.1%)، وكثافة بلغت (1.8 كجم/سم³)، ومسامية سجلت (12.3%)، أما قوة تحمل الضغط فقد بلغت (20.7 ميجا باسكال).

- الخليط رقم (5) المكون من مسحوق حجر جيري + أسمنت أبيض معالج + لاتكس أعطى نسبة امتصاص ماء وصلت إلى (2.6%)، وكثافة بلغت (1.8 كجم/سم³)، ومسامية سجلت (12.2%)، أما قوة تحمل الضغط فقد بلغت (14.2 ميجا باسكال).كما هو موضح في الجدول رقم (2).

جدول رقم (2) قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات الحجرية

رقم العينة	طول / سم	عرض / سم	ارتفاع / سم	وزن جاف / جم	وزن رطب / جم	كثافة جم / سم3	مسامية %	امتص اص مياه%	مقاومة الضغط / ميجا بسكال
1	5	5	5	220	225	1.7	12.2	2.2	11.5
2	5	5	5	246	246	1.9	0	0	38.2
3	5	5	5	230	238	1.8	12.1	3.4	21.9
4	5	5	5	235	240	1.8	12.3	2.1	20.7
5	5	5	5	229	235	1.8	12.2	2.6	14.2

- من خلال قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات التي تعرضت للتقادم الصناعي:
- **الخليط رقم (1)** المكون من مسحوق حجر جيري + جير حي + سيليكا + لاتكس قد أعطى نسبة امتصاص ماء وصلت إلى (7.1%)، وكثافة بلغت (1.6 كجم/سم³)، ومسامية سجلت (11.6%)، أما قوة تحمل الضغط فقد بلغت (9.6 ميجا باسكال).
- **الخليط رقم (2)** المكون من مسحوق حجر جيري + إيبوكسي أعطى نسبة امتصاص ماء وصلت إلى (صفر%)، وكثافة بلغت (1.8 كجم/سم³)، ومسامية سجلت (صفر%)، أما قوة تحمل الضغط فقد بلغت (46.6 ميجا باسكال).
- **الخليط رقم (3)** المكون من مسحوق حجر جيري + سيليكا + أسمنت أبيض معالج + لاتكس + Self-20 % Levelingأعطى نسبة امتصاص ماء وصلت إلى (7.6%)، وكثافة بلغت (1.7 كجم/سم³)، ومسامية سجلت (11.6%)، أما قوة تحمل الضغط فقد بلغت (9.3 ميجا باسكال).
- **الخليط رقم (4)** المكون من مسحوق حجر جيري + سيليكا + أسمنت أبيض معالج + لاتكس أعطى نسبة امتصاص ماء وصلت إلى (7.6%)، وكثافة بلغت (1.7 كجم/سم³)، ومسامية سجلت (11.6%)، أما قوة تحمل الضغط فقد بلغت (16.8 ميجا باسكال).
- **الخليط رقم (5)** المكون من مسحوق حجر جيري + أسمنت أبيض معالج + لاتكس أعطى نسبة امتصاص ماء وصلت إلى (6.8%)، وكثافة بلغت (1.7 كجم/سم³)، ومسامية سجلت (11.7%)، أما قوة تحمل الضغط فقد بلغت (9.3 ميجا باسكال).كما هو موضح في الجدول رقم (3).

جدول رقم (3) يوضح قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات بعد التقادم الصناعي

رقم العينة	طول / سم	عرض / سم	ارتفاع / سم	وزن جاف / جم	وزن رطب / جم	كثافة جم / سم3	مسامية%	امتصاص مياه%	مقاومة الضغط / ميجا بسكال
1	5	5	5	210	225	1.6	11.6	7.1	9.6
2	5	5	5	232	232	1.8	0	0	46.6
3	5	5	5	223	240	1.7	11.6	7.6	9.3
4	5	5	5	222	239	1.7	11.6	7.6	16.8
5	5	5	5	220	235	1.7	11.7	6.8	9.3

– ومن خلال قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخلطات الحجرية الصناعية المعدة لاستكمال غطاء تابوت سانيت الحجري، تبين أن **الخليط رقم (1)** المكون من مسحوق حجر جيري + جير حي + سيليكا + لاتكس هو الأقرب لخواص الأثر الأصلي. فالعيّنة في نطاق الاستخدام الآمن لاستكمال غطاء تابوت سانيت بما لا يضر بالحجر الأصلي؛ فهي أقل قيمة من الحجر الأصلي، وامتصاص المياه أقل، مما يعني تعرضاً أقل للأملاح عند التعرض لدورات الرطوبة الشديدة. أيضًا، يعمل اللاتكس كمحسن للخليط، حيث يعد من البوليمرات التي تضيف المتانة والمرونة للخليط، مما يجعل نسبة الانكماش أقل عند الجفاف ونسبة التمدد أقل، فلا يسبب الجزء المضاف ضغوطاً على الأثر الأصلي، لذا كان الخليط رقم (1) هو الاختيار الأنسب.

– **الخليط رقم (3)** يتمتع بمسامية عالية، مما يزيد من خاصية الشعريّة خاصة عند التعرض لدورات الحرارة والرطوبة، مما قد يعرض الأصل الأصلي للأملاح مع دورات الرطوبة المتكررة.

– يليها **الخليط رقم (4)** الذي يتمتع بكثافة عالية ومسامية وامتصاص مياه متوسط، لكنه ذو مقاومة ضغط أعلى من الحجر الأصلي، مما يمكن أن يسبب ضغوطاً ميكانيكية وإجهاداً للحجر الأصلي.

– **الخليط رقم (5)** عينة غير متوافقة، حيث تمتاز بمسامية وامتصاص مياه عالٍ جداً، مما يجعلها عرضة للأملاح القابلة للذوبان في الماء، خاصة في حالات الرطوبة الشديدة. مما يسمح لها بالتحرك والتراكم إما داخل الحجر الأصلي أو على السطح الأثري. فمن المهم اختيار خليط دون زيادة في امتصاص الماء ودون نقل رطوبة للأثر الأصلي.

– **الخليط رقم (2)**غير متوافق مع الحجر الأصلي، حيث يتمتع بخصائص ميكانيكية عالية ومقاومة ضغط عالية جداً، مما يتسبب في إجهاد للأثر الأصلي إذا تم استخدامه، وبالتالي يفتقر إلى شروط التوافق بين الجزء المستكمل والأثر الأصلي.

الخلاصة

الأستكمال من العمليات الخطيرة والضرورية في مجال ترميم الآثار الحجرية. لذا، كان من الضروري إجراء دراسة تجريبية على الخلطات التي ستستخدم في استكمال غطاء تابوت سانيت الحجري. وقد تم صنع خمس خلطات حجرية بمكونات مختلفة وتم تقييم تلك الخلطات لاختيار أفضل خليط يُستخدم لاستكمال الغطاء الحجري. وقد كان **الخليط رقم (1)**، المكون من مسحوق حجر جيري + جير حي + سيليكا + لاتكس، هو أفضل خليط؛ فهو الأقرب لخواص الأثر الأصلي. فالعيّنة في نطاق الاستخدام الآمن لاستكمال غطاء تابوت سانيت بما لا يضر بالحجر الأصلي. فهي أقل قيمة من الحجر الأصلي وامتصاص المياه أقل، مما يعني تعرضاً أقل للأملاح عند التعرض لدورات الرطوبة الشديدة. وأيضاً، يعمل اللاتكس كمحسن للخليط، حيث يعد من البوليمرات التي تضيف المتانة والمرونة للخليط، مما يجعل نسبة الانكماش أقل عند الجفاف ونسبة التمدد أقل، فلا يسبب الجزء المضاف ضغوطاً على الأثر الأصلي.

المراجع

– Waraporn Wichaita,Duangkamol Promlo k and others: A concise review on design and control of structured natural rubber latex particles as engineering nanocomposites, European Polymer Journal,2021,pp1-20.

– Ana Isabel Marques, Maria do Rosário Veiga,and others: Analysis of the Behavior of Original Air Lime Mortars Used in Structural Brick Masonry Walls of Ancient Buildings, HMC 2022, RILEM Bookseries 42, 2023,pp. 66–81.

– B. Szemerey-Kiss• A´. To¨ro¨k: Time-dependent changes in the strength of repair mortar used in the loss compensation of stone, Springer-Verlag, 2011, p1613-1621.

– Cristina Maria Belfiore, Giada Montalto,and others: Durability tests on lime-based mortars from the historic built heritage of Catania (Eastern Sicily, Italy): Anexperimental study, Journal of Building Engineering 80 ,2023,pp1-15.

– Danuta Matykiewicz: Hybrid Epoxy Composites with Both Powder and Fiber Filler: A Review of Mechanical and Thermomechanical Properties,MPDI Journal,2020,pp1-22.

– Engin Özdemir & Didem Eren Sarıcı: Effects of thermal shock and aging on natural stones: an experimental and statistical study, Volume 58, 2023.

– F. Gherardi, P. N. Maravelaki: Mortars for Restoration: Set-upParameters and Developing Mortar Design Areas Maria Apostolopoulou and Antonia Moropoulou, Springer Nature SwitzerlandAG, 2022, pp133-137.

F.Gherardi,P.N.Maravelaki:RepairMortars/GroutsforReinstatementofStoneUnitsinHistoricStructures Ioanna Papayianni, Springer Nature SwitzerlandAG, 2022, pp177-200.

– GEORGIOS PAPAIOANNOU, TOBIAS SCHRECK,and others: From Reassembly to Object Completion: A Complete Systems Pipeline, ACM Journal on Computing and

– PraveenKumar Balguri, D.G.Harris Samu el , Udayabhaskararao Thumu : A review on mechanical properties of epoxy nanocomposites, Materials Today: Proceedings,Volume 44, Part 1, 2021.

– Vahid Barnoos· Atefeh Shekofteh· Omid Oudbashi: Experimental evaluation of the consolidation treatments of low porosity limestone from the historic monument of the Anahita Temple of Kangavar, Iran, Archaeological and Anthropological Sciences 2022, Volume 32, 2020,P 14: 63.

– أحمد رشدي عمر:دراسة استخدام التقنيات الحديثة في العرض المتحفي للحفاظ على المجموعات الأثرية المتحفية تطبيقا على أحد المتاحف المختارة,رسالة ماجستير,جامعة الفيوم,2018,ص124.

– أحمد علي برقي بلال:ماجستير، التوابيت في العصر المتأخر، قسم التاريخ والآثار المصرية والإسلامية، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية، 2015، صX .

– يحيي صلاح صابر المصري: رسالة ماجستير، الأبواب الوهمية منذ أواخر الأسرة السادسة إلي نهاية الدولة الوسطي، كلية الآداب، جامعة أسيوط، 1994، ص 27 – 29.

– عبد الحليم نور الدين: مواقع ومتاحف الآثار المصرية، القاهرة، 1998.

– محمد محمد يوسف : الطرز المعمارية لآبار مقابر الأسرتين 26 ، 27 فى الجبانة المنفية والنصوص الدينية والمناظر المسجلة على جدرانها,رسالة ماجستير, كلية الآثار ,جامعة القاهرة ,2005,ص90.

– Cultural Heritage, Vol. 10, No. 2, Article 8,2017,pp1-8.

– Lynda Amel Chaabane1 · Hamza Soualhi2 · Nabil Matari ,and others: Study andcomparative approach to materials used in ancient Egypt and the modern era, Arabian Journal of Geosciences ,2022,pp15- 382.

– M.K. Khallaf, A.A. El-MidanyS.E. El-Mofty: Influence of acrylic coatings on the interfacial, physical, and mechanical properties of stone-based monuments, ELSEVIER, volume27, 2011, P592-598.

– Marcos A.S. Anjos, Tomaz R. Araújo : Properties of self-leveling mortars incorporating a high-volume of sugar cane bagasse ash as partial Portland cement replacement, Journal of Building EngineeringVolume 32, 2020.

– Maria Stefanidou , Vasiliki Pachta, Ioanna Papayianni: Design and testing of artificial stone for the restoration of stone elements in monuments and historic buildings, Elsevier, 2015, P0950-0618.

– Mario E. Rodriguez-Juarez, Edgar Perez-Diaz, and others: Development and characterization of lime-basedstuccoformodern construction and restoration applications based on ancient stuccoes from the “El Cerrito” pyramid, Quer´etaro, Mexico, Case Studies in Construction Materials,2022,pp1-15.

– Osman, A.1, Gad, A.2: Pre-Casting AS An Alternative Technique For Compensation OF Missing Parts: Applied TO The Lid OF The Granitic Sarcophagus OF TJAY, TOMB -TT23 AT LUXOR-QURNA, EJARS Vol. 12 (1), 2022,pp53-63.

Abstract

A limestone coffin of Sanit was found in the tomb of Nefer-eb-ra-Sanit at Saqqara, belonging to the 26th Dynasty in the Late Period. The coffin, made of pure limestone, was in a very poor state of preservation and was stored in museum store number (2) at Saqqara. Upon

opening the tomb, it was discovered that the coffin lid was shattered into small pieces, with the lower part missing. To complete the missing part of Sanit's stone coffin lid, necessary examinations and analyses were conducted on limestone samples from the coffin's lid to identify the mineral components of the stone. A methodology for experimental study was established, incorporating various scientific methods such as polarized light microscopy to identify the minerals constituting the limestone, scanning electron microscopy (SEM) to magnify the particles of the archaeological material in the coffin lid, and X-ray diffraction (XRD) to determine the mineral composition of the limestone and analyze the samples accurately. These methods helped determine the appropriate procedures to be used in the experimental study of materials for completing Sanit's stone coffin lid, as they provided information about the components and nature of the limestone. This enabled the selection of necessary components to create an artificial stone that closely resembles the natural stone but with improved characteristics. Five similar artificial mixtures were developed to choose the best one for creating an artificial stone to be used in completing Sanit's coffin lid.