https://majs.journals.ekb.eg
2024; June (13):321:327.
Doi: 8.24394 /JAH.2024 MJAS-2312-1197
ISSN: 2735-430X (Print); ISSN: 2735-4318 (Online)

علاج الفجوات والشروخ للأحجار الجيرية الآثرية بيولوجياً بالكالسيت المرسب بالبكتيريا

Treatment of gaps and cracks in archaeological limestone using biologically precipitated calcite by bacteria

مني سيد علي[1]، حسين محمد علي[2] ، مايسه محمد علي[3]

باحثة[1]، أستاذ متفرغ[2] – قسم الترميم – كلية الفنون الجميلة – جامعة المنيا،أستاذ مساعد[3] – قسم الترميم – كلية الآثار – جامعة القاهرة

Email address: thesonofnile2009@yahoo.com

To cite this article:
Mona Aly, Journal of Arts & Humanities.
Vol. 13, 2024, pp.321-327. Doi: 8.24394/ JAH.2024 MJAS-2312-1197
Received:24, 12, 2024; **Accepted**: 13, 06, 2024**; published**: June 2024

الملخص:

العلاجات المستخدمة لتقوية الأحجار، قد ينتج عنها العديد من المشاكل بسبب عدم التوافق بينها وبين تكوين الحجر مما يؤدي إلى تسارع تدهور الحجر. لذلك فان تطبيق العلاج البيولوجى يعد حلاً جيداً بواسطة البكتيريا المرسبة للكالسيت مثل بكتيريا Azetobacter ، بكتيريا shell التى رسبت كربونات الكالسيوم في الفجوات والشروخ الموجوده بالحجر الجيري ، وفي هذه الدراسة تم ترسيب الكربونات المحفزة بواسطة بكتيريا Azetobacter ، بكتيريا shell لتحسين بيئة هذه الأحجار، وتم ذلك في المختبر باستخدام معاملات مختلفة في ظل وجود وغياب البكتيريا عند نسب ثابتة لكل من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم ،وكذلك منظم الحموضة PH=8 . وقد اتضح من خلال صور الميكروسكوب الالكتروني الماسح ظهور عملية التكلس الناجمة عن البكتيريا وتعد تقنية ترسيب الكالسيت بيولوجيا بواسطة الكائنات الحية مناسبة لأغراض الحفاظ بسبب وجود البكتيريا فى التربة الطبيعية وقدرتها على العلاج الذاتي ومتانتها العالية.

الكلمات الدالة:

ترسيب، كالسيت ، بكتيريا

المقدمة:

استُخدمت أحجار الكربونات لآلاف السنين كمواد بناء (المحاري، 217م، 97: 105)، مما أدى إلى وجود تراث من المباني والمعالم ذات الأهمية الثقافية التي يعتبر الحفاظ عليها ضروريًا في الوقت الحالي، ومع ذلك تؤدي العمليات الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية إلى تدهور الاحجار الجيرية (العجماوي،2018م، 23)، يتم تحديد قوة الأحجارالجيرية من خلال التماسك، لذلك المشكلة الرئيسية هي ذوبان القاعدة الجيرية التي تقلل من تماسك مادة البناء ويزيد من تهالك الحجر، ومن هذا المنطلق تهدف عمليات التقوية إلى استعادة التماسك بين حبيبات الطبقة المتدهورة من الحجر لاختيار عملية التقوية المناسبة، يجب أخذ بعض المعايير بالاعتبار ومنها "الفعالية - الضرر - المتانة" للعلاج كقاعدة أساسية . في حين النظرإلي الضرر ما إذا كان التعارض بين العلاج والحجر يمكن أن يؤدي إلى إحداث أضرار إضافية للأسف (عبدالهادي، 1997م، 25: 30)، يمكن زيادة الفعالية أو التوافق في كثير من الأحيان على حساب العامل الآخر لذلك تم التقوية باستخدام عملية التمعدن الحيوي وهي عملية تكوين المعادن عن طريق الكائنات الحية، حيث أن هذه الظواهر شائعة وتحدث في جميع أنحاء مجموعات الكائنات الحية تقريبًا . وقد تبين أنه في ظروف بيئية مناسبة، يمكن لجميع البكتيريا تكوين ترسبات كربونات الكالسيوم، تم إجراء العديد من الأبحاث للعثور على بكتيريا مناسبة، وتم

تطوير نهج مختلفة للتقوية بناءً على التمعدن الحيوي (Caderas, 2019, 1; 9).

على مدى السنوات العشرين الماضية، اكتسبت تقنية البيوتكلسية اهتمامًا كبيرًا في مجال البحث .تعتمد هذه التقنية على ترسيب كربونات الكالسيوم الناتج عن تأثير الكائنات الدقيقة. من ناحية، لا يزال الباحثون يحاولون العثور على سلالة بكتيرية تكوينية للكربونات الأكثر ملاءمة (Jroundi, et., al., 2021, 281; 299) وفي هذا البحث تم استخدام نوعين من البكتيريا وهما:

بكتيريا Azetobacter وهي بكتيريا سالبة لصبغة جرام عصوية الشكل تتواجد غالباً في صورة أزواج، تحاط بغلاف هلامي (Capsule) ويعتبر هذا الغلاف أهم ما يميز هذه البكتيريا في عملية ترسيب كربونات الكالسيوم حيث يساعد علي التصاق الكريستالات مع بعضها البعض، تعيش في بيئة خالية من النيتروجين وتحتاج في هذه البيئة إلي مصادر كربونية حتى تنمو بصورة جيدة فيها مثل السكروز، كما تحتاج إلي رطوبة وتهوية ورقم PH مناسب (5- 6-7)، تتناسب كمية النيتروجين المثبتة مع كمية نمو الميكروب (Hassouna, et.,al.2020, 1007; 1020).

بكتيريا shell تم عزلها من الأصداف (صدفة الجندوفلي) وتم عزل البكتيريا من الحيوان الموجود داخل الصدفة ايضاً. (الحسيني، 1975م، 294، 295).

جل الزانثان يعود تاريخ اكتشاف الزانثان إلى عام 1963م، ومنذ ذلك الحين أجرى العلماء العديد من الدراسات عليه، لتحديد درجة أمانه على صحة الإنسان، وقد توصّلوا إلى أنّه آمن (Lopes B.D., et al, 2015, 185–194)، ويمكن استخدامه دون قيود، وبأي كمية مرغوبة في أي صنف غذائي، وعليه حصل على موافقة إدارة الغذاء والدواء الأمريكي (موسي وآخرون، 2018م، 1: 10).

وبالدراسة التي تم اجراؤها علي جل الزانثان اتضح إن صمغ الزانثان أمن جدا فهو إحدى المواد التي تتم إضافتها إلى المنتجات الغذائية المصنعة، كما أنه يرجح أنك تتناولها بصورة مستمرة دون أن تعرف ذلك، لأن تلك المادة تستخدم على نطاق واسع في الكثير من المنتجات المصنعة (Sato M.F., et al, 2011, 383-389).

ويعتمد التوجه الحديث علي إستحثاث تكوين بللورات كالسيت جديدة بإستخدام البكتريا داخل مسام الحجر بإستخدام مزرعة حية من بكتريا الكالسيت Calcinogenic bacteria ، أما بالنسبة لإصلاح الشروخ , فالعديد من التقنيات متاحة بالرغم من انه نظام إصلاحها التقليدي له العديد من السلبيات كاختلاف معامل التمدد الحراري لها مقارنة بالأحجار المراد علاجها وتأثيرها السلبي علي البيئة وصحة الانسان . ولهذا يعد الإستحثاث البيولوجي لتكوين بللورات الكالسيت هو الحل الملائم بيئيا لإصلاح الشروخ .

ولذلك اعتمدت فكرة البحث علي أستخدام أنواع مختلفة من البكتريا واختبار مدي قدرة وكفاءة كل نوع علي ترسيب كربونات الكاليسوم التي سوف يتم أستخدامها في تقوية الحجر الجيري .

مواد وطرق العمل:

عزل بكتيريا الازوتوباكتر Azotobacter spp :

حيث قامت الباحثة باجراء مواد وطرق العمل من خلال الحصول على ثلاث عزلات من بكتيريا الازوتوباكتر وتم عزلها من التربة، تم نثر التربة علي طبق بتري بطريقة معقمة ، واستعمل الوسط (Ashby's Mannitol Agar) و حضنت الأطباق عند درجة حرارة 28□م ولمدة 2-3 أيام. فحصت الأطباق بملاحظة تكون غشاء رقيق على السطح والذي يعد مؤشرا لنمو بكتيريا الازوتوباكتر. اخذ 0.1 مللي من الأطباق التي أعطت مؤشراً للنمو ونشرت على سطح طبق بتري يحتوي على الوسط الصلب (Ashby's Mannitol Agar) حضنت الاطباق على درجة حرارة 28□ م 0 ولمدة (2-3) يوم، اعيد التخطيط لثلاث مرات متتالية وذلك للحصول على مستعمرات نقية من البكتيريا والتى يتم تجهيزها وتحضيرها لملئ الشروخ.

1-طريقة عزل بكتيريا Shell :

تم عزلها من الأصداف (صدفة الجندوفلي) وتم عزل البكتيريا من الحيوان الموجود داخل الصدفة ايضاً. وتم استعمال الوسط الصلب (Tryptic Soy Agar) هو وسط زرع عام يستخدم لتنمية وفصل الكائنات الدقيقة . تم وضع 200ميكرون من الماء الذائب في الأملاح على سطح الصدفة وتم عمل خربشة لجدار الصدفة، ثم تم وضعها في أنابيب وكذلك تم تكرار نفس الخطوة مع الحيوان الموجود داخل الصدفة . تم غسل اثنان من الأصداف

بالماء المقطرثم تكرار نفس الخطوة السابقة وتم وضع كل منهم في أنبوبة بعد اضافة 400ميكرون من الماء. بعد ذلك تم أخذ نقطة واحدة من كل أنبوبة وزرعها في أطباق بتري وتم وضعها في الحضان عند درجة حرارة 28□م . وعند الفحص تبين وجود أكثر من شكل لبكتيريا شائعة الأنتشار كبيرة الحجم وآخري صغيرة جداً في الحجم تحتوي علي كبسولة كما تم ملاحظة وجود بكتيريا شفافة ومسطحة. تم عمل مجموعة أطباق جديدة لزراعة كل خلية من البكتيريا بشكل منفرد في طبق بتري جديد وتم وضع الأطباق في الحضان عند درجة حرارة 28□م . إعتمدت هذه الدراسة على نوعين من البكتيريا (عند تركيز ثابت من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم وهو 75 مللي مولار لكل منهما)، وتهدف إلي اختيار نوع البكتيريا ومدى تأثير الشكل والحجم وطريقة ترتيب الخلايا كأسطح للترسيب على شكل وحجم البللورات الناتجة لملئ الشروخ والفجوات، واستخدم لذلك الأطباق المستخدمة في مزارع الأنسجة والتي يحوي كل منها أربعاً وعشرين خانة سعة كل منها 3 مللي. وتم تقسيمه إلي ست خانات رأسية إلي جزئين رأسي جزء من السائل باستخدام الماء المقطر والجزء الآخر من جل الزانثان والخانات الأفقية الأربعة تم تقسيمهم إلي control أي تم وضع من كل من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم مع الماء المقطر وجل الزانثان دون وجود بكتيريا والخانة التالية تم وضع البكتيريا مع كل من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم والخانة الثالثة تم إضافة PH=8 مع كل من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم و البكتيريا والخانة الرابعة تم إضافة PH=9 مع كل من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم و البكتيريا .

تم تعليق الراسب البكتيري في الماء المقطر المعقم ثم فصله بالطرد المركزي. بعد التخلص من ماء الغسل للبكتيريا يتم إضافة 75 مللي مولار من محلول كلوريد الكالسيوم ثنائي الماء وإعادة تعليق البكتيريا به وتركها لمدة خمس دقائق للتأكد من تشبع الشحنات السالبة على سطح البكتيريا بأيونات الكالسيوم الموجبة يتم بعدها إضافة 300 مللي مولار من المعلق البكتيري مع الرج للتقليب الجيد لإعادة توزيع البكتيريا يتبعه إضافة 75مللي مولارمن محلول بيكربونات الصوديوم مع التقليب. تكرر هذه الخطوات مع كل من انواع البكتيريا على حدة اما في الخانات التي تحتوي علي PH=8، PH=9 تم وضع 150مللي مولار . تترك الدوارق ساكنة في درجة حرارة الغرفة واللتي تتراوح بين (20-25) □ م ، تم سحب عينات من البللورات للفحص بالميكروسكوب بعد (15) يوماً، ومن هذا المنطلق المعد لترسيب الكالسيت بيولوجياً تم تطبيق تلك الطرق المعده معملياً لملئ الفجوات والشروخ المتواجده بالحجر الجيري تمهيداً لتقويته والحفاظ عليه أطول فترة ممكنة بمواد صديقة للبيئة والتى سوف يتم تناولها لاحقاً في نتائج الدراسة.

نتائج الدراسة:

نتائج الفحص بالميكروسكوب الالكتروني الماسح SEM :

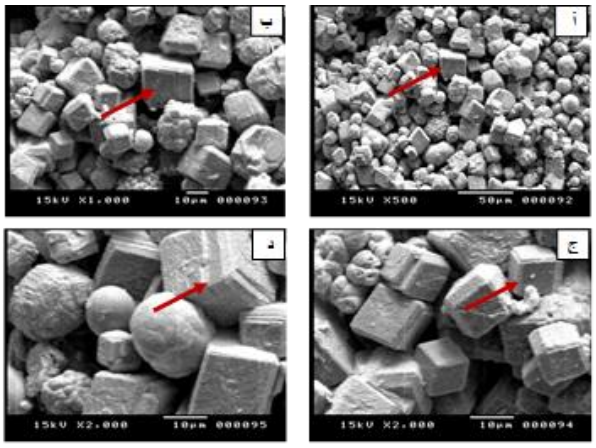
تم فحص عينات من البللورات المتكونة عند المعاملات المختلفة بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح (SEM) بعد شهر من بدء الترسيب والتي شملت بللورات الطبقة المترسبة في القاع للأنواع المختلفة من البكتيريا تحت المعاملات المختلفة وتتمثل في استخدام المحلول السائل من الماء المقطر وجل الزانثان عند تركيزات ثابتة من كل من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم في غياب وأيضا في وجود منظم درجة الحموضة PH=8.

نتائج فحص البللورات المتكونة حال أستخدام البكتيريا Azetobacter :

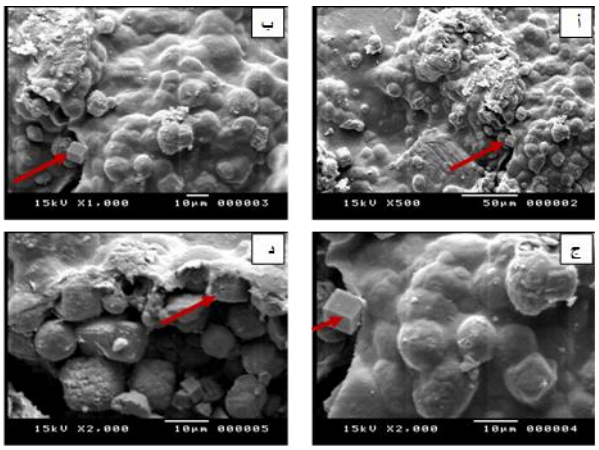
أظهرت نتائج الفحص بواسطة SEM لبلورات الكالسيت المترسبة في جل الزانثان في وجود بكتيريا Azotobacter spp شكل الكريستالات المتكونة أوضح في الشكل وأكثر في العدد من تلك المتكونة في المحلول كما أنها تبدو مترابطة مع بعضها البعض ، كما تبدو شكل الكريستالات المتكونة في المحلول السائل من الماء المقطر تبدو البللورات أصغر في الحجم وأكثر في العدد، وهذا ما تم تطبيقه فى الشروخ التى تصيب الأحجار الجيرية، حيث أعطت نتائج جيدة لملئ تلك الشروخ والتي تظهر جلياً في نتائج الفحص الميكرسكوبي.

- في غياب منظم PH=8 :

توضح صورتين (1، 2) بللورات الكالسيت المترسبة في غياب منظم درجة الحموضة في كل من المحلول وجل الزانثان عند نفس النوع من بكتيريا Azetobacter عند معاملات ثابتة لكل من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم . تظهر على سطح بللورات الكالسيت بوضوح بعض الإلتصاقات التي تصل بين بعض البللورات لتكوين مجاميع صغيرة كما يتضح أيضا وجود تلك الماده غير المتبلرة على سطح بعض البللورات وهذا في غياب منظم درجة الحموضة.



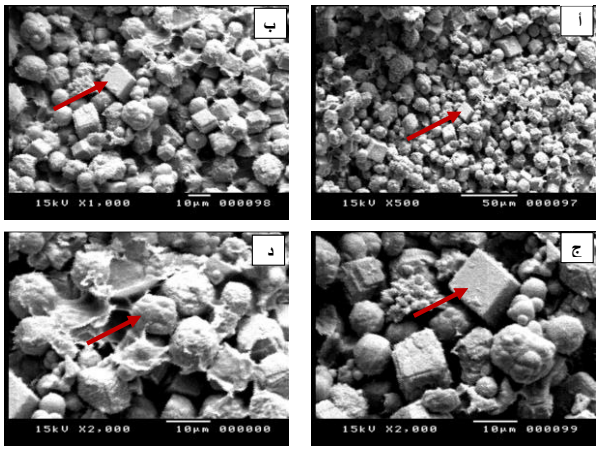
1): توضح مسقط لقطاع عينة مأخوذة من سطح عينات الكالسيت المترسبة من بكتيريا *Azetobacter* المترسبة في جل الزانثان، وذلك أسفل الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بتكبيرات مختلفة لتبين كمية الترسيب وجودتها bar=50, 10 µm. توضح الصورة (أ) هناك تكون للبلورات كثيرة في العدد وهناك تنوع في الحجم ايضا كما يظهر في الشكل (ب) كما أنه يغلب عليها الشكل المنتظم للبلورات كما توضح الشكل (ج،د) .



2): توضح مسقط لقطاع عينة مأخوذة من سطح عينات الكالسيت المترسبة من بكتيريا *Azetobacter* المترسبة في المحلول ، وذلك أسفل الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بتكبيرات مختلفة لتبين كمية الترسيب وجودتها bar=50, 10 µm. اوضحت الصورة (أ ب) ظهور بلورات الكالسيت بشكل متصل مع بعضها البعض ، كما ظهرت في الصورة (ج،د) تظهر شكل البلورات المنتظمة الشكل مع بعضها البعض في وجود مادة متبلرة على السطح تضم وتجمع بلورات الكالسيت معا .

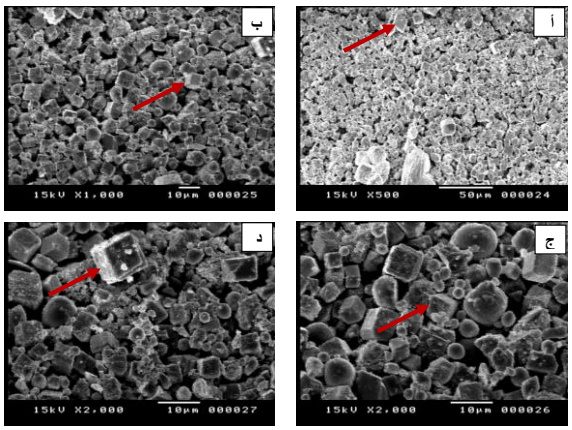
في حال إضافة منظم درجة الحموضةPH=8 :

توضح صورة رقم (3) بللورات الكالسيت المترسبة في وجود منظم درجة الحموضة PH=8 في كل من المحلول وجل الزانثان عند نفس النوع من بكتيريا Azetobacter عند معاملات ثابتة لكل من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم، في أغلب الحالات تتواجد البللورات في صورة تجمعات يظهر في بعضها القليل من مادة تتفاعل مع سطح البللورات وتصل بينها كماده لاصقة غير متبلرة تملأ الفراغات بين البللورات الموجودة في الشروخ وكذلك تلك المادة الغير متبلرة تضم أو تجمع بين بللورات الكالسيت.



3): توضح مسقط لقطاع عينة مأخوذة من سطح عينات الكالسيت المترسبة من بكتيريا *Azetobacter* المترسبة في جل الزانثان، وذلك أسفل الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بتكبيرات مختلفة لتبين كمية الترسيب وجودتها bar=50, 10 µm، في وجود PH=8. يتضح من الصورة (أ ،ب) أن هناك فارق واضح في الأحجام والأشكال بين المعالجات المختلفة كما يتضح من الصورة (ج) ظهور بلورات كروية وغير منتظمة الشكل ، والصورة (د) يتضح فيها ظهور تلك المادة التبلرة علي السطح .

صورًا رقم (4) توضح بلورات كربونات الكالسيوم المترسبة في وسط سائل. الأجزاء تُظهر بلورات الفاتيرايت والكالسيت التي تم إنتاجها في دراسة الفحص، بينما تُظهر ايضا تجمعًا من بلورات الفاتيرايت الكروية ، ويُظهر الهيكل المسامي لبلورات الفاتيرايت التي تم إنتاجها، كما يظهر آيضا تجمعاً من بلورات الفاتيرايت الكروية الذي تم إنتاجه، ويتميز هذا الجزء بوجود تجمع كروي لبلورات الفاتيرايت. يُظهر الهيكل المسامي لبلورات الفاتيرايت التي تم إنتاجها . كما يشير وجود هيكل مسامي إلى وجود فراغات داخل البلورة. هذه الصور تعطي لمحة مفصلة حول تكوين وهياكل بلورات كربونات الكالسيوم المتواجده في الفجوات والشروخ المتلفة للحجر الجيري ومنه يتم تقويته وتقييم الوضع الراهن فى العلاج والصيانة من حيث جودة تلك البلورات المتكونة من الكالسيت المرسب بيولوجياً.



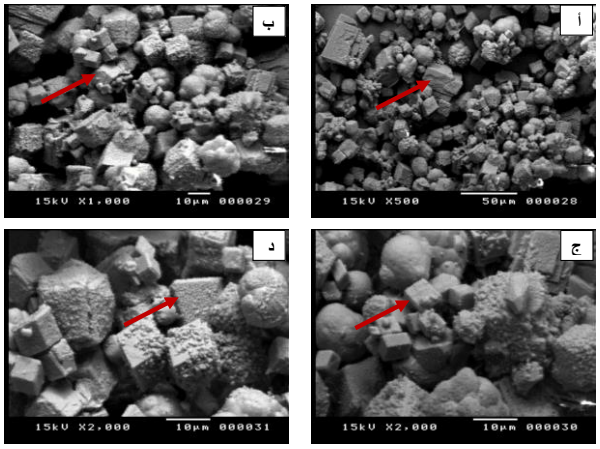
4): توضح مسقط لقطاع عينة مأخوذة من سطح عينات الكالسيت المترسبة من بكتيريا *Azetobacter* المترسبة في المحلول السائل، وذلك أسفل الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بتكبيرات مختلفة لتبين كمية الترسيب وجودتها bar=50, 10 µm، في وجود PH=8. توضح الصورة (أ) تجمعات مغطاه ببلورات شبيهة بالعقد علي السطح ، الصورة (ب) توضح اشكال مختلفة الاحجام لبلورات الكالسيت المتكونة ، كما توضح الصورتان (ج،د) ظهور للفاتيريت مع بلورات الكالسيت المترسبة .

نتائج فحص البللورات المتكونة حال أستخدام البكتيريا Shell:

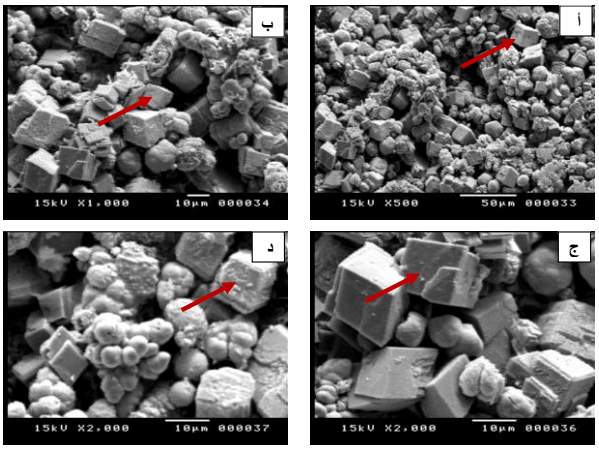
أظهرت نتائج الفحص بواسطة SEM لبلورات الكالسيت المترسبة من بكتيريا Shell شكل الكريستالات المتكونة في جميع العينات يغلب عليها الشكل شبه المستدير (بعضها غير مستدير) وتظهر بعض من مادة غير متبلرة تترسب حول بللورات كربونات الكالسيوم وفي بعض الأحيان تتواجد على سطح البللورات نفسها ، كما ان حجم الكريستالات المتكونة من بكتيريا Shell تبدوا أصغر في الحجم عن تلك المتكونة من بكتيريا Azetobacter، والتى منها تم تقييم بللورات الكالسيت المتكونة من بكتيريا Azetobacter بأنها الأفضل في ملئ الفجوات والشروخ المتلفة للحجر الجيري.

في غياب منظم درجة الحموضة PH=8 :

تظهر الصورتان (6،5) تضاؤل حجم البللورات وزيادة أعدادها وذلك في غياب منظم الحموضة في كل من المحلول وجل الزانثان عند معاملات ثابتة لكل من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم ، بللورات الكالسيت المترسبة في غياب منظم درجة الحموضة حيث كانت البللورات منفصلة تقريبا وغابت تلك المادة الضامة والجامعة للبللورات ولذا كانت البللورات مفككة وغير مترابطة، والتى منها يمكن الاستعانه بها في حالات التلف البسيطة التى تصيب الحجر الجيري.



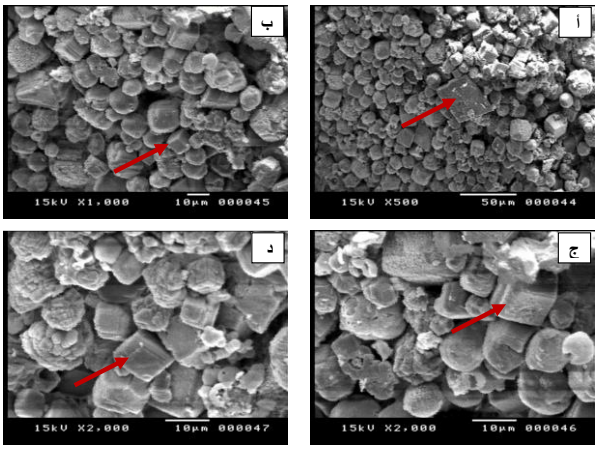
5): توضح مسقط لقطاع عينة مأخوذة من سطح عينات الكالسيت المترسبة من بكتيريا *shell* المترسبة في المحلول السائل، وذلك أسفل الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بتكبيرات مختلفة لتبين كمية الترسيب وجودتها bar=50, 10 µm.توضح الصورة (أ) تضاؤل في حجم البلورات ، كما يظهر في الشكل (ب) ظهور الفاتيريت ،وتوضح الصورتان (ج،د) ظهور سطح خشن للبكتريا المترسبة



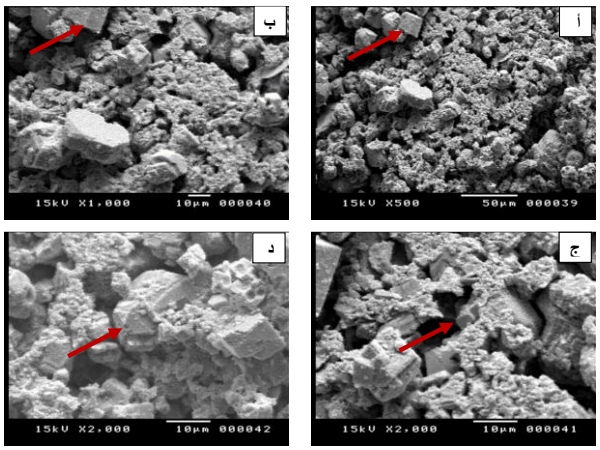
6): توضح مسقط لقطاع عينة مأخوذة من سطح عينات الكالسيت المترسبة من بكتيريا *shell* المترسبة في المحلول السائل، وذلك أسفل الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بتكبيرات مختلفة لتبين كمية الترسيب وجودتها bar=50, 10 µm، في وجود PH=8.توضح الصورة (أ) اختلاف الاحجام للبلورات المترسبة ، الصورة (ب) يغلب علي البلورات الشكل الدائري ،توضح الصورة (ج) ان نمو البلورات بالشكل المكعب باحجام متقاربة ، والصورة (د) ، لاحظت كرات فاتيريت

ب ـ في حال إضافة منظم درجة الحموضة PH=8 :

توضح صورتين رقم (8،7) بللورات الكالسيت المترسبة في وجود منظم درجة الحموضة في كل من المحلول وجل الزانثان مع نفس النوع من بكتيريا shell عند معاملات ثابتة لكل من كلوريد الكالسيوم وبيكربونات الصوديوم . وبصورة عامة البللورات المترسبة أصغر في الحجم مع وجود مادة غير متبلرة تشكل طبقة سميكة تضم أو تجمع بين بللورات الكالسيت. والتي استحدث فيها إضافة منظم درجة الحموضة إلى المحلول ظهور مادة تغطي وتجمع البللورات فتبدو البللورات منغمسة بها. والتي يعزى تكونها إلى تفاعل pH=8 مع أي أو بعض مكونات المحلول موضع الترسيب وتجمع تلك المادة غير المتبلرة بين بللورات الكالسيت المستخدمة فى علاج الفجوات والشروخ.



7): توضح مسقط لقطاع عينة مأخوذة من سطح عينات الكالسيت المترسبة من بكتيريا *Shell* المترسبة في المحلول السائل، وذلك أسفل الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بتكبيرات مختلفة لتبين كمية الترسيب وجودتها bar=50, 10 µm.توضح الصورة (أ) ان البلورات المترسبة اصغر في الحجم واكثر في العدد ،والصورة (ب) توضح ان الغالب هو البلورات الكروية الغير منتظمة الشكل ، الصورتان (ج،د) توضح وجود الفاتيريت .



8): توضح مسقط لقطاع عينة مأخوذة من سطح عينات الكالسيت المترسبة من بكتيريا *shell* المترسبة في المحلول السائل، وذلك أسفل الميكروسكوب الإلكتروني الماسح بتكبيرات مختلفة لتبين كمية الترسيب وجودتها bar=50, 10 µm، في وجود PH=8 .توضح الصورتان (أ،ب) وجود مادة غير متبلرة تشكل طبقة سميكة تضم أو تجمع بين بللورات الكالسيت. والتي استحدث فيها إضافة منظم درجة الحموضة إلى المحلول ظهور مادة تغطي وتجمع البللورات فتبدو البللورات منغمسة بها كما تظهر ايضا وبوضح هذه المادة في الصورتان (ج،د) علي سطح البلورات المترسبة .

النتائج والمناقشة Result and Discussion:

تم ربط الدور الأساسي للبكتيريا في هذا الآلية بقدرتها على خلق بيئة قلوية من خلال أنشطة فسيولوجية متنوعة، تلعب أسطح البكتيريا أيضاً دوراً هاماً، حيث يمكن ربط أيونات المعادن الموجبة على أسطح البكتيريا بسبب وجود مجموعات سالبة الشحن المتعددة، مما يخدم عملية تكوين البلورات في ملئ الفجوات. وكما أكدت بعض الدراسات السابقة على تكون الكلس على أسطح البكتيريا الميتة أو المجزاة ميكانيكياً نظراً لاحتوائها علي تراكيب تحت خلوية يمكنها ترسيب كربونات الكالسيوم في صورة بللورات (Bosak T. et., al., 2003, 577; 580) لذا فإن هذه الدراسة لا ترى أن استخدام البكتيريا الحية والنشطة فسيولوجياً والمدعومة بوسط غذائي على الحجر تشكل ضراراً على الإطلاق لترسيب الكالسيت بيولوجياً بواسطة البكتيريا المعده لعلاج الفجوات والشروخ.

لذا فقد عمد هذا البحث على أستخدام الفاعلين الأساسيين في الترسيب البيولوجي للكالسيت بواسطة البكتيريا ألا وهم:

1- خلايا البكتيريا
2- كلوريد الكالسيوم ثنائي الماء القابل للذوبان.
3- كربونات أو بيكربونات الصوديوم بنفس عدد المولات من كلوريد الكالسيوم

حيث عمدت الباحثة لعلاج الشروخ والفجوات المتلفة للحجر الجيري بواسطة بللورات الكالسيت وذلك عن طريق الخطوات التالية:

خلط معلق خلايا البكتيريا بمحلول كلوريد الكالسيوم لضمان إدمصاص أكبر قدر من أيونات الكالسيوم على سطح خلايا البكتيريا تبعه إضافة مول مكافئ من بيكربونات الصوديوم ليتبع تكوين الكالسيت على سطح الخلايا البكتيرية طبقا النموذج العام المقترح والذي يتم على خطوتين أولهما يكمن في إرتباط أيونات الكالسيوم الموجبة مع المجموعات الكيميائية سالبة الشحنة في التراكيب السطحية لخلايا البكتيريا يتبعه إرتباط أيونات الكربونات بها. ففي وجود أيونات الكالسيوم على سطح الخلية ينتج عن إتحادها مع الكربونات تكون محلول فوق مشبع من كربونات الكالسيوم وترسبها في صورة بللورات على سطح الخلية. مع مرور الوقت واستمرار الترسيب تصبح الخلية بالكامل مغطاة بشرنقة من بللورات كربونات الكالسيوم مما يحول دون وصول المغذيات إلى الخلية ويتسبب في موتها (Beveridge, T. J. et al, 1985, 1893:1898).

إتفاقا مع نظرية (Boquet) والتي تنص علي أنه تحت الظروف الملائمة فان اغلب البكتيريا قادرة علي استحثاث ترسيب كربونات الكالسيوم (Boquet, E.et al., 1973, 525; 529) لذا وجب الإشارة إلى عدم جواز إستخدام تعبير بكتيريا "الكلس" حيث أن تكون الكالسيت يحدث على أسطح البكتيريا بصفة عامة كما دلت نتائج هذه الدراسة حيث تكونت بللورات الكالسيت على أسطح جميع الأنواع البكتيرية المجربة لعلاج الفجوات والشروخ.

اعتمدت الدراسة علي استخدام بكتيريا كأنوية لترسيب كربونات الكالسيوم في صورة بللورات لأنه في حالة غياب البكتيريا كما كان في عينة الكنترول تم استخدام تركيزات بيكربونات الصوديوم وكلوريد الكالسيوم لم يكن هناك بلورات كالسيت .

وجد أنه عند استخدام PH=8 أعطي نتائج جيدة حيت اتضح ان شكل البللورات المتكونة أكبرفحجماً وأكثر عدداً وتماسكاً مع بعضها البعض في حين أن عند استخدام PH=9 كانت البلورات المتكونة رديئة وليست كما كانت عند التركيز الأقل وهذا يدل على أن البلورات تتأثر بالوسط القلوي أعلي من PH=8.

عطت بكتيريا Azetobacter نتائج رائعة في ترسيب البكتيريا من حيث حجم البلورات وعددها بشكل أفضل وكذلك النتائج التي أعطتها بكتيريا shell تعد نتائج جيدة عند الترسيب من حيث الحجم والعدد ايضاً .

التوصيات Recommendations:

- تعتبر شروخ وفجوات الحجر الجيري خطوة نحو تلفه وتدميره لذا توصي هذه الدراسة الوقوف عند هذا الضرر وعلاجه.
- يوصي الباحث باستخدام طريقة التمعدن الحيوي في تقوية الحجر الجيري حيث أنها طريقة طبيعية وآمنة.
- يوصي الباحث باختبار قدرة وكفاة الأنواع المختلفة من البكتيريا لترسيب كربونات الكالسيوم.
- يوصي الباحث باستخدام انواع البكتيريا التي تم ذكرها في البحث حيث أن أعطت هذه الانواع نتائج جيدة بصفة عامة و اثبتت البكتيريا نجاحا في ترسيب كربونات الكالسيوم ، حيث أعطت بكتيريا Azetobacter نتائج رائعة في ترسيب البكتيريا من حيث حجم البلورات وعددها بشكل أفضل وكذلك النتائج التي أعطتها بكتيريا shell تعد نتائج جيدة عند الترسيب من حيث الحجم والعدد ايضاً .
- كما يوصي باستخدام منظم درجة الحموضة PH=8.تشابكت البللورات والتي تشكل معظم كتلة الترسيب كربونات المتبلرة في صورة طبقة متصلة ومتماسكة بصورة قد تكون قوية قد يركن اليها في تقوية الحجر المسامي لذا ينصح باستخدام PH=8.في ترسيب البيوكالسيت.
- لابد أن تخضع اي مادة للدراسة والتجربة الكافية قبل استخدامها في الترميم .

المراجع:

1.أحمد حماد الحسيني ، إميل شنودة دميان1975 : بيولوجية الحيوان العملية، دار المعارف بمصر، جـ. 3، ط. 4، ص. 294، 295.

2.سلمان أحمد المحاري،2017: حفظ المباني التاريخيةٍ من مدينة المحرق، الأمارات العربية المتحدة، ص. 97

3.محمد عبد الهادي،1997: دراسات علمية في ترميم وصيانة الاثار غير العضوية ، زهراء الشرق ، ط.1،ص. 25: 30.

4.صفاء حسين العجماوي،2018: طرق التنظيف المتبعة في المباني المشيدة من الحجر الجيري في مصر القديمة، ص.23.

5.ابتسام فاضل موسي، مصطفى فلاح وتوت،2018: دراسة الظروف المثلي لانتاج السكر المتعدد من بكتيريا Exopolysaccharide ، مجلة جامعة بابل للعلوم التطبيقية يوباس ، عدد 26، ص. 1: 10.

.6Hassouna B.A., Fathi1 S.H., Mostafa G.A.;2020, Testing the Efficiency of Different Isolates of Azotobacter, Azospirillum and Pseudomonas for Some Traits Related to Plant Growth Promoters on Varieties of Onion, Middle East Journal of Agriculture Research, vol. 09, pp. 1007-1020.

.7Jroundi F., Teresa M. , Muñoz G., Rodriguez-Navarro C.;2021, Protection and Consolidation of Stone Heritage by Bacterial Carbonatogenesis, Microorganisms in the Deterioration and Preservation of Cultural Heritage, pp, 281; 299.

.8Caderas L.;2019,Biomineralization for Limestone Consolidation, Science and Engineering of Natural Stones and Glass, ETH Zürich,pp. 1; 9.

.9Boquet, E. , Boronat, A. , Ramos-Cormenzana, A.;1973, Production of calcite (calcium carbonate) crystals by soil bacteria is a general phenomenon, Nature 246 (5434), pp. 525

.10Bosak T. , Newman D. K.,2003, Microbial nucleation of calcium carbonate in the Precambrian. Geology,pp. 577-580.

Abstract:

Treatments used to strengthen stones may result in many problems due to incompatibility between them and the composition of the stone, leading to accelerated deterioration of the stone. Therefore, applying biological treatment is a good solution using calcite-precipitating bacteria such as Azetobacter, shell bacteria, which deposit calcium carbonate in the gaps and cracks in limestone. In this study, carbonate was deposited catalyzed by Azetobacter, shell bacteria, to improve the environment of these stones. This was done in The laboratory used different treatments in the presence and absence of bacteria at fixed ratios of calcium chloride and sodium bicarbonate, as well as the acidity regulator PH = 8. It has been shown through scanning electron microscope images that the calcification process appears caused by bacteria. The technique of biological deposition of calcite by living organisms is suitable for preservation purposes due to the presence of bacteria in natural soil, their ability to self-heal, and their high durability.