كليــة الأثــار
قسم الترميم

جـــامعة الفـــيوم
Fayoum University

دراسة تنظيف الأحجار الجيرية الأثرية بإستخدام البكتيريا

تطبيقا على نموذج مختار

رساله مقدمة

لنيل درجة الدكتوراة فى ترميم وصيانة الآثار

إعداد الباحثة

مشيــرة جمال محمد حمد

مدرس مساعد بقسم ترميم الأثار - كلية الآثار- جامعة الفيوم

إشـــــراف

أ. د . محمــد كمـال خـلاف

أستاذ ترميم الأثار ووكيل الكلية لشئون التعليم والطلاب
كليــة الآثــار - جامعــة الفيــوم

أ. د . محمــد السيد عبدالعزيز

أستاذ الميكروبيولوجىو التكنولوجيا الحيوية
بالمـركز القـومى للبحــوث

٢٠٢١

ملخص الرسالة

يتناول موضوع الرسالة " **دراسة تنظيف الأحجار الجيرية الأثرية بإستخدام البكتيريا تطبيقا على نموذج مختار** " وتتكون من ثلاثة فصول ، ومناقشة النتائج التي تم التوصل إليها ، وبعض التوصيات الهامة وقائمة المراجع وذلك كما يلى :-

الفصل الأول

دراسة إستخدام البكتريا في التنظيف الحيوي لأسطح الأحجار الجيرية الأثرية

يتناول هذا الفصل دراسة ميكانيكية تكوين الطبقات السوداء على أسطح الأحجار الجيرية الأثرية ، ودور الترسيب الرطب والجاف فى التلف ، وتعتبر طبقات التلف والقشورالسطحية أكثر أشكال التجوية شيوعا على واجهات المبانى الأثرية بمدينة القاهرة ، وتصنف هذه القشور وفقا للون إلى القشور السوداء والبيضاء ، وتعتبر القشور السوداء أكثر أشكال الإتساخات شيوعا على المبانى الأثرية ، وتنقسم إلى القشور السوداء الحبيبية والصفائحية ، وتنمو هذه القشور فى الأماكن المحمية من تأثير الأمطار المباشرة ، حيث تنمو القشور السوداء الحبيبية فى الأماكن المنحوتة المحمية ، بينما تغطى القشور السوداء الصفائحية الجدران بأكملها وواجهات المباني والنمو الأكثر شيوعا فى المناطق الرأسية.

كما يتناول دراسة البكتريا وتركيب الخلية البكتيرية وأشكالها والظروف الملائمة لنمو البكتريا ، ويتناول أيضا دراسة التنظيف الحيوى للطبقات السوداء من خلال دراسة مسارى إختزال الكبريتات ، وهما مسارى الإختزال التمثيلى واللاتمثيلى للكبريتات بواسطة البكتريا ، وتطبيقات التنظيف الحيوى بواسطة البكتريا المختزلة للكبريتات فى تنظيف الطبقات السوداء ، وأنواع الأنظمة الحاملة للخلايا البكتيرية فى التنظيف الحيوى .

الفصل الثاني

الفحوص والتحاليل لبعض الأحجار الجيرية الأثرية

يتناول هذا الفصل طرق الفحص والتحليل التى أجريت على الطبقات السوداء المتكونة على الجدران الخارجية بمسجدى السلطان حسن والرفاعى وسور قلعة صلاح الدين الأيوبى ، حيث تم فحص الطبقات السوداء بإستخدام الميكرسكوب المجسم والميكرسكوب المستقطب وكذلك الفحص والتحليل بإستخدام الميكرسكوب الإلكترونى الماسح ، والتحليل بواسطة حيود الأشعة السينية والأشعة تحت الحمراء ومطياف الرامان . وجاءت نتائج الفحوص والتحاليل كما يلى :

- أظهرت نتائج الفحص بالميكرسكوب المجسم للطبقات السوداء بالمبانى الأثرية موضوع الدراسة تكون طبقات سوداء سميكة غيرمنتظمة الشكل على السطح .

- أظهر الفحص بالميكرسكوب المستقطب إحتواء الحجر الجيرى على الحفريات وحدوث بعض العمليات الجيولوجية بالحجر الجيرى مثل التلاحم والتحجر بمسجدى السلطان حسن والرفاعى ، وعملية إعادة التبلور بالحجر الجيرى بسور القلعة .

- أظهرت نتائج الفحص بالميكرسكوب الالكترونى الماسح أن القشور السوداء تتكون بشكل رئيسى من بلورات الجبس التى تظهر في أشكال مورفولوجية مختلفة ، وإلى جانب التعرف على هيئات بلورات الجبس المستقرة الوردية والإبرية الشكل في القشور السوداء ، وجدت أيضا تجمعات من حبيبات الجبس والتى تمثل مراحل مبكرة فى تكوين الجبس ، كما أظهر الفحص بواسطة الميكرسكوب الإلكترونى الماسح أيضا حدوث بعض العمليات الجيولوجية بالأحجار الجيرية بالمبانى الأثرية محل الدراسة وهذا ما أكدته الدراسة بالميكرسكوب المستقطب .

- أظهرت نتائج التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية والأشعة تحت الحمراء أن تركيب الطبقات السوداء غير متجانس وتتكون من معادن الجبس والكالسيت والهاليت ، وأظهر التحليل بوحدة EDX أن الطبقات السوداء تحتوى أيضا على أكاسيد الحديد والمعادن الطينية والكوارتز ، كما أكد التحليل بمطياف الرامان وجود الجزيئات الكربونية فى تركيب الطبقة السوداء بمسجد الرفاعى وسور القلعة .

الفصل الثالث

دراسة تجريبية تطبيقية لتنظيف النموذج المختار من الأحجار الجيرية الأثرية بإستخدام البكتريا

يتناول هذا الفصل دراسة تجريبية لتنظيف الطبقات السوداء المتكونة على سطح عينات من الحجر الجيرى بإستخدام أجناس بيكترية مختلفة ، لتقييم كفاءة هذه الأجناس فى تنظيف الطبقات السوداء التى تتكون أساسا من الكبريتات ، حيث تم عزل البكتريا من التربة والتعريف الجزيئى لهذه الأجناس المعزولة ، إستخدمت فى هذه الدراسة أجناس بكتيرية تمثل مسارى إختزال الكبريتات بواسطة البكتريا وهما مسار الإختزال التمثيلى واللاتمثيلى للكبريتات ، حيث تم إختبار الأجناس البكتيرية التالية , *Desulfovibrio sp.* , *Desulfobotulus sapovorans* , *Desulfocella sp.* , *E. cloacae, B. subtilis* , *P.aeruginosa* .

كما يتناول مراحل إعداد كمادات التنظيف الحيوى ، بعد تنمية الأجناس البكتيرية فى الأوساط الغذائية المناسبة ومرور فترة التحضين تمت عملية الطرد المركزى لكل نوع من البكتريا لفصل الكتلة الحيوية عن البيئة ، ويتم تعليق الكتلة الحيوية فى محلول الفوسفات المنظم وإضافة الأربوسيل كنظام حامل للخلايا البكتيرية ويتم مزج مكونات الكمادة جيدا عن طريق الخلط الميكانيكى ويجب أن تكون الكمادة صلبة بما يكفى لضمان البقاء على سطح الحجر.

يتم تطبيق كمادة التنظيف الحيوى على السطح عن طريق ترطيب السطح بمحلول الفوسفات المنظم وتطبيق الورق اليابانى على السطح مما يسهل إزالة الكمادة بعد المعالجة ، ويتم تطبيقها على السطح كطبقة منتظمة ومستمرة بسمك ٠,٥ إلى ١ سم وتغطية النظام الحيوى بإستخدام غطاء بلاستيك لتوفير الظروف اللاهوائية لضمان نشاط البكتريا والإحتفاظ الجيد بالماء ، يتم تطبيق الكمادة على السطح لمدة ٢٤ ساعة وإزالة النظام الحيوى بعد المعالجة .

تم تقييم كفاءة الأجناس البكتيرية عن طريق دراسة تأثير التنظيف الحيوى على المظهر العام وإستخدام طرق الفحص والتحليل المختلفة ، حيث أظهرت نتائج التقييم البصرى بعد المعالجة أن الأجناس البكتيرية التالية *Desulfocella sp.* , *Desulfobotulus sapovorans*, *B.subtilis*, *P.aeruginosa* لم تعطى أى نتائج إيجابية فى التنظيف ولم تؤثر على الطبقات السوداء ، بينما أعطت بكتريا *Desulfovibrio sp.* أفضل النتائج فى تنظيف الطبقات السوداء

وإستعادة الحجر الجيرى للونه الأصلى لكنها لم تؤثر على بقع الصدأ بالسطح ، كما أعطت بكتريا *Enterobacter cloacae* نتائج جيدة فى تنظيف الطبقات السوداء وبقع صدأ الحديد إلا أنه بقيت بعض الرواسب بالسطح .

كما تم تقييم المظهر العام أيضا بإستخدام مقياس التغير اللونى ، حيث حققت بكتريا *Desulfovibrio sp.* أفضل النتائج فى تنظيف الطبقات السوداء إلا أنها لم تؤثر فى بقع الصدأ بالسطح وأعطت قيم ٠،٤٢ ، ١٣،٣٨ على التوالى ، كما حققت بكتريا *Enterobacter cloacae* أيضا نتائج جيدة فى تنظيف الطبقات السوداء وبقع الصدأ على السطح وأعطت قيم ٤,٦٠، ٥,١١ على التوالي ، بينما لم تعطى الأجناس البكتيرية الأخرى أى نتائج إيجابية فى تنظيف الطبقات السوداء .

كما تم فحص السطح بإستخدام الميكرسكوب المجسم حيث نجحت بكتريا *Desulfovibrio sp.* فى تنظيف الطبقات السوداء لكنها لم تؤثر على بقع الصدأ بالسطح ، ونجحت أيضا بكتريا *Enterobacter cloacae* فى تنظيف الطبقات السوداء إلا أنه بقيت بعض الرواسب الجبسية بالسطح ، كما نجحت فى التأثير على بقع صدأ الحديد بالسطح ، بينما لم تؤثر الأجناس البكتيرية الأخرى فى تنظيف الطبقات السوداء .

أظهر الفحص بإستخدام الميكرسكوب الإلكترونى الماسح قبل التنظيف الحيوى إنتشار بلورات الجبس حيث تغطى السطح تماما ، كما تم التقييم أيضا بعد تطبيق كمادات التنظيف الحيوى لدراسة تأثير الأجناس البكتيرية المختلفة فى تنظيف الطبقات السوداء ، نجحت بكتريا *Desulfovibrio sp.* فى تنظيف الطبقات السوداء وترسيب الكالسيت على السطح إلا أنها لم تؤثر فى بقع الصدأ بالسطح التى تتكون من معدن المجناتيت ، كما نجحت بكتريا *Enterobacter cloacae* فى تنظيف الطبقات السوداء وبقيت بعض الرواسب بالسطح من خلال إختزال الكبريتات إلى حمض السيستين ، حيث نجح حمض السيستين فى تنظيف بقع الصدأ بالسطح من خلال الفحص بإستخدام الميكرسكوب الإلكترونى الماسح ، بينما لم تؤثر الأجناس البكتيرية الأخرى فى تنظيف الطبقات السوداء .

تم التحليل بإستخدام طرق التحليل المختلفة بإستخدام حيود الأشعة السينية والأشعة تحت الحمراء ووحدة EDX الملحقة بالميكرسكوب الإلكترونى ، أكدت هذه الطرق أن تركيب الطبقات السوداء غير متجانس وتتكون من معادن الجبس والكالسيت والدولوميت والكوارتز والهيماتيت والمجناتيت ، أظهرت نتائج التحليل بعد المعالجة أن بكتريا *Desulfovibrio sp.* نجحت فى تنظيف الطبقات السوداء وبقيت بقع الصدأ بالسطح ، كما نجحت بكتريا *Enterobacter*

cloacae فى تنظيف الطبقات السوداء وبقيت بعض الرواسب بالسطح لصعوبة وصول البكتريا إليها ، ونجحت أيضا فى التأثير على بقع الصدأ بالسطح .

كما يتناول هذا الفصل التطبيق العملى لتنظيف الطبقات السوداء فى بعض المناطق بسور قلعة صلاح الدين الأيوبى بإستخدام الأجناس البكتيرية التى أعطت أفضل النتائج فى الدراسة التجريبية ، أستخدمت بكتريا *Desulfovibrio sp.* فى تنظيف الطبقات السوداء وترسيب الكالسيت مما يعمل على تقوية السطح ، تم تنظيف السطح تماما بعد أربع تطبيقات من كمادات التنظيف الحيوى المحملة بالبكتريا ، كما تم تنظيف الطبقات السوداء وبقع الصدأ بالسطح بإستخدام بكتريا *Enterobacter cloacae* والتى نجحت فى التنظيف وأعطت نتائج جيدة بعد أربع تطبيقات من كمادات التنظيف الحيوى .