

## دراسة تأثير الكائنات الحية الدقيقة على التركيبة الفيزيائية والكيميائية لأحجار المباني الأثرية

### Study of the Physical and Chemical effect of Microorganisms on Stones

الدكتورة: بوجلابة فوزية سعاد<sup>1</sup>

Dr/ BOUDJELLABA Fouzia soad

مخبر التراث الأثري وتثمينه

أستاذة محاضرة أ قسم علم الآثار - جامعة تلمسان ( الجزائر )، [tihert19@gmail.com](mailto:tihert19@gmail.com)

تاريخ النشر: 2022/07/14

تاريخ القبول: 2022/04/10

تاريخ الاستلام: 2021/11/07

**الملخص:** يلحق التلف البيولوجي المرتبط بوجود الكائنات الحية الدقيقة أضرار متعددة بالأحجار في المباني الأثرية، تشمل الناحية الجمالية والتركيبة مواد البناء. من بين هذه الكائنات الحية الدقيقة الطحالب بنوعها الخضراء والزرقاء ، الفطريات، الأشنات ، البكتيريا، تتفاعل هذه الكائنات الحية مع الحجر مما يسرع أو يآخر معدل تلف الحجارة على حسب الظروف المحيطة. تلحق الكائنات الحية الدقيقة المتواجدة داخل الحجارة أضراراً وخيمة بها، كما تشكل مستعمرات كثيفة تغطي الأسطح الجيرية أو الصوانية ومنها ما ينمو في الشقوق والمسام. تابع علماء الأحياء الدقيقة بنشاط الكائنات الحية الدقيقة المسؤولة عن التدهور لتحديد آثارها. يتم توضيح تأثيراتها وعمليات التدهور، والكائنات الحية الدقيقة المسؤولة. ومع ذلك ، فإن هذا الجهد يتطلب فحصاً متعدد التخصصات للحفاظ على هذه المواقع.

**الكلمات المفتاحية:** كائنات حية دقيقة، تلف بيولوجي ، مباني أثرية ، أمحاض عضوية، تفاعلات كيميائية.

### Abstract

Cultural heritage monuments may be discolored and degraded by growth and activity of living organisms. Microorganisms form biofilms on surfaces of stone, with resulting aesthetic and structural damage. The organisms involved are bacteria, fungi, archaea, algae, and lichens. Interactions between these organisms and stone can enhance or retard the overall rate of degradation. Microorganisms within the stone structure (endoliths) also cause damage . They grow in cracks and pores and may bore into rocks. True endoliths, present within the rock, have been detected in calcareous and some siliceous stone monuments and are predominantly bacterial. Microbiologists are actively pursuing the microorganisms responsible for deterioration and attempting to quantify their effects. The effects of metabolic products, the deterioration processes, and the responsible microorganisms are all being elucidated. This effort requires a multidisciplinary examination to preserve these sites.

### Keywords :

Microorganisms ; Biological Damage ; Archaeological Buildings ; Organic Acids ;Chemical Reaction.

المؤلف المرسل: د. بوجلابة فوزية سعاد، الإيميل: [tihert19@gmail.com](mailto:tihert19@gmail.com)

## مقدمة:

تتعايش الكائنات الحية الدقيقة مجتمعة، وهي كائنات صغيرة مختلفة الألوان والأحجام، تنتشر على أسطح الأحجار في المباني الأثرية وتكون مستعمرات كثيفة، مما يتسبب في تلفها فيزيائيا وكيميائيا، أن طبيعة التلف الناجم عن الإصابة الميكروبيولوجية يعتمد أساسا على توفر الظروف التي تساعد على ذلك من رطوبة وحرارة وضوء وعناصر غذائية تحتاجها الكائنات الحية الدقيقة ليزداد نشاطها ونموها.

تلحق الكائنات الحية الدقيقة (البكتيريا والطحالب والأشنات والفطريات) بالمباني الأثرية أضرارا متنوعة ومتفاوتة الخطورة، فهي تعمل على تفتت الأحجار والملاط الرابط بين مواد البناء، وزيادة تحلل المعادن الداخلة في تركيب المواد وغير ذلك من إجهادات ميكانيكية. كما لها دور رئيسي في التفاعلات البيوكيميائية بسبب ما تفرزه من أحماض عضوية تتفاعل مع مواد البناء في ظل توفر الشروط المناخية اللازمة لذلك، مما يزيد من ضعف بنية المواد وتلاشيها ومن ثم فقدانها.

وعليه نطرح الإشكالية التالية كيف تؤثر الكائنات الحية الدقيقة في تلف أحجار المباني الأثرية؟ وللإجابة الإيجابية على هذه الإشكالية الرئيسية يتحتم علينا طرح إشكاليات ثانوية أخرى حول ماهية هذه الكائنات الحية الدقيقة؟ و ماهو أكثر أنواعها انتشارا على الحجارة الأثرية؟ وما هي مظاهر التلف المترتبة على ذلك؟

توجد عدّة دوافع جعلتني أتطرق إلى هذا الموضوع، من بينها قلّة الدراسات الأثرية إن لم نقل ندرتها حول دور الكائنات الحية الدقيقة في تلف الأحجار، كما أنّ معظم الدراسات المتوفرة تناولت تأثير عوامل التلف البيولوجي عامة على الآثار وسرد الأعراض التي تعاني منها المعالم الأثرية.

نهدف من خلال البحث التعرف بعمق على أنواع الكائنات الحية الدقيقة التي تصيب المباني الأثرية، والعوامل المؤثرة على نموها ونشاطها ودورها الرئيسي في تلف المباني الأثرية.

وللوصول لذلك اعتمدنا على مجموعة من المراجع العربية والأجنبية أهمها: باربرا هـ. ستوربات، 2014،

Henri de la Boisse et Philippe Bromblet, 2012 Les monuments historiques, et la pierre, direction régionale des affaires culturelles.

Thu Hien Tran, 2011, Influence des caractéristiques intrinsèques d'un mortier sur son encrassement biologique .

## 1- تعريف الكائنات الحية الدقيقة:

غالبا ما تنتشر الكائنات الحية الدقيقة في المناطق المظلمة أو التي لا تصلها الأشعة الشمسية، أو في الأماكن التي ترتفع فيها نسبة الرطوبة على مدار السنة، متسببة في تغطية سطح المبنى أو أجزاء منه داخليا أو خارجيا، وتغييرات في اللون وتكوين وتراكم الأملاح في الحجر، مما يزيد من تفكك المواد، فهناك أنواع عديدة منها مثل البكتيريا، الطحالب، الفطريات والأشنات.

### 1-1- البكتيريا:

هي نوع من الكائنات المجهرية وحيدة الخلية (خلية دون نواة حقيقية) (Tran, 2011, p. 12)، تنتمي إلى المملكة النباتية، تحتوي على الهيدروكربونات والأحماض الأمينية، تنمو وتتكاثر في بيئة جيدة عن طريق فصل جدار الخلية، وقد تكون متحركة أو غير متحركة، وتنقسم إلى نوعان ذاتية التغذية "autotrophic" وغير ذاتية التغذية "hétérotrophic".

تتكاثر البكتيريا بسهولة على أسطح الأثار المعرضة للظروف الخارجية وخاصة المعرضة لرطوبة عالية (ستيورات، 2014، الصفحات 182-183)، على الأقل 65% رطوبة نسبية ودرجة حرارة ما بين 15° و 45° م، كما تتطور في بيئة درجة حموضة قلوية بين 7.2 و 7.5 وفي الظلام و الضوء، يمكن أن تعيش البكتيريا لعدة أيام (Cauliez, 2011, p. 08).

### 1-2- الطحالب:

تنتمي إلى مجموعة الكائنات الدقيقة الضوئية التي يمكنها الضوء من القيام بعملية التمثيل الضوئي (Berdoulay, 2008, p. 11)، وهي عبارة عن نبات صغير يعيش في الأماكن الرطبة أو في الماء العذب أو المالح، بعضها يظهر بلون بني أو بلون أخضر وأفضل الظروف لنمو الطحالب على أسطح الحجارة والمواد الأثرية هي الرطوبة والضوء والدفء مع وجود مواد غذائية غير عضوية مثل الكالسيوم والماغنسيوم وبعضها يفضل الأسطح الحمضية (المحاري، 2017، صفحة 138) والأسطح المعرضة للتساقط المطري والتي تحتفظ بالماء لفترات طويلة (Beck, 2006, p. 22)، تنقسم الطحالب إلى نوعين الطحالب الزرقاء وطحالب خضراء، يمكن التعرف عليها بسهولة من خلال الألوان المختلفة التي تتركها على الأسطح (Berdoulay, 2008, p. 11).

### -الطحالب الخضراء: " chlorophycées " (algues vertes)

تنتمي الطحالب الخضراء إلى سلسلة من الأنواع المتنوعة من النباتات الأحادية الخلية أو متعددة الخلايا، يتراوح حجمها بشكل عام بين 0.5 ميكرومتر و1 ملم. إنها تستعمر جميع الأسطح المعرضة للرطوبة الوفيرة، وبالتالي تنمو في بيئات المياه البحرية أو المياه العذبة، ولكن أيضًا على ركائز أرضية مختلفة، مثل النباتات والصخور والتربة والمباني.

تنتج عن عملية التمثيل الضوئي التي تقوم بها ألوانا خضراء أو حمراء أو برتقالية أو صفراء. لا تعتبر الأصباغ الأخرى ضرورية لعملية التمثيل الضوئي، ولكن لها دور في نقل الطاقة إلى الكلوروفيل ويمكن أن تحمي الخلايا من التلف الكيميائي الضوئي. تحتوي بعض الطحالب على شوائب خلوية ذات زيوت مصطبغة أو مركبات أخرى مخزنة يمكن أن تغير لون هذا الكائن الدقيق، يمكن أن تخضع الطحالب لتغيرات في اللون أثناء التغيرات البيئية أو دورات حياة الخلية، على سبيل المثال ينتج عن الطحالب الخضراء الخيطية "Trentepohlia odorata" لونًا برتقاليًا أحمر بسبب تراكم أصباغ الكاروتين داخل الخلايا في ظل ظروف العناصر الغذائية المتوفرة والضوء. الطحالب الخضراء أحادية الخلية، مثل "Chlorococcum" و "Haematococcus"، تكتسب لونًا أغمق من خلال تراكم صبغة كاروتين: أستازانتين، عن طريق زيادة سماكة جدار الخلية مع تقدم العمر وفي انخفاض الرطوبة.

إن هذا النوع من الطحالب الضوئية التغذوية قادرة خلال فترات الظلام المطول على توليد طاقتها من أكسدة معقدات الكربون، مثل الجلوكوز والأسيتات (Tran, 2011, pp. 13-14).

### -الطحالب الزرقاء (algues bleues) " cyanobactéries "

يمكن العثور على الطحالب الزرقاء سواء في المناطق الصحراوية أين ترتفع درجات الحرارة والمناطق الباردة والمعتدلة وشبه الصحراوية والسافانا والغابات وحتى المناطق قطبية، تنتشر على الأسطح الحجرية التي تسمح بتسرب المياه، ويمكن التعرف عليها من خلال خطوط سوداء التي تتركها على الأسطح.

يمكن تمييز عدة أنواع من الطحالب الزرقاء مثل " Calothrix " و " Gloeocapsa " و " Nosto " وتم العثور على « Stigonema »، « Phormidium »، « Scytonema » على الأسطح الحجرية.

تتطور أنواع من الطحالب الزرقاء على الأحجار الجيرية مثل " Myxosarcina concinna "، " Chroococcus Minor "، " Gloeocapsa biformis "، " Pleurocapsa sp " و " Scytonema sp "،

وأخرى تفضل الدهون والجص مثل "Nostoc punctiforme" و "N. muscorum" و "Chroococidiopsis" وأخيراً بعض الأنواع تنتشر على اللوحات الجدارية والجص مثل "N. muscorum"، "punctiforme" Nostoc و "Chroococidiopsis".

وعليه، بفضل قدراتها على التمثيل الضوئي وتثبيت النيتروجين الموجود في الغلاف الجوي، تعد الطحالب الزرقاء عنصر رئيسي في تلف الأحجار والصخور بكثرة، لأنها تجد البيئة المناسبة للنمو والتطور فهي تتكيف جيداً مع الجفاف والإشعاع الشمسي (Berdoulay, 2008, pp. 12-13).

تختلف الطحالب الزرقاء عن الطحالب الخضراء في البنية الداخلية للخلية، تفتقر خلايا الطحالب الزرقاء إلى البلاستيدات الخضراء. الطحالب الزرقاء هي كائنات حية ضوئية بدون نواة، لها أصباغ مختلفة عن تلك الموجودة في الطحالب الخضراء، تظهر باللون الأخضر المزرق تحت المجهر. معظم الطحالب الزرقاء مغلقة بأغلفة هلامية، يمكن أيضاً أن تكون هذه الأغلفة ملونة بألوان مختلفة مثل أصفر، بني، أحمر، أخضر وأزرق تبعاً للون الكائنات الحية، وغالباً ما تكون البقع السوداء المرتبطة بالطحالب الزرقاء بسبب إنتاج صبغة الميلانين الداكنة (Tran, 2011, p. 15).

### 1-3- الفطريات:

الفطريات كائنات حية حقيقية النواة غير ذاتية التغذية لكونها خالية من الكلوروفيل، تنتشر في الأوساط المختلفة في التربة الرطبة والجافة وفي المياه العذبة والمالحة وفي الهواء ويهاجم الكثير منها النبات والحيوان والإنسان، كما أن بعضها يستعمله الإنسان كغذاء مثل الكما والعرهون (ياسين، 2018، الصفحات 278-279). ليس له جذر أو ساق أو ورق وخالي من الكلوروفيل، غير قادر على العمل البناء الضوئي وتتغذى على المواد العضوية (Cauliez, 2011, p. 8).

### 1-4- الأشنات:

هي عبارة عن كائن ثنائي فيه كل من الطحالب والفطريات بعلاقة تكافلية، يمد كل منهما الآخر بما يمكنه من البقاء حياً، إذ يحصل الفطر على الغذاء والأملاح وبعض الفيتامينات من الطحالب، بينما يحصل الطحلب من الفطر على الماء وبعض الأملاح ولحماية من الظروف البيئية الصعبة كارتفاع وانخفاض درجة الحرارة والجفاف. للأشنات دور مهم في ترسيب العناصر الثقيلة كاليورانيوم، تتشكل الأشنات عادة في الأجزاء الخارجية للمباني الأثرية ولها عدة ألوان منها الأبيض، الأخضر، الأصفر، البرتقالي و الأسود (ياسين، 2018، صفحة 279).

## 2-العوامل المؤثرة على نشاط ونمو المستعمرات الميكروبيولوجية :

توجد عدة عوامل تساهم في نمو المستعمرات الميكروبيولوجية ترجع أساسا إلى نوعية مواد البناء والتركيبية الكيميائية للمواد و البيئة المناخية التي يقع فيها المبنى لأثري.

### 2-1-التركيبية الفيزيوكيميائية للمواد:

أثبتت الأبحاث التي قام بها ميلر وآخرون على الكائنات الدقيقة الذاتية التغذية مثل الطحالب الزرقاء والطحالب الخضراء، لمعرفة مؤشرات قابلية الحيوية للحجر، تدخل التركيب الكيميائي والفيزيائي للأسطح في عملية نمو المستعمرات المجهرية، وهذا ما يفسر نمو العديد من الكائنات الدقيقة الذاتية التغذية على الأسطح الكربوناطية والصوانية.

ويمكن حصر العوامل المتحكممة في تكاثر الفطريات في حجم الحبيبات، والمسامية ودرجة كربوناطية الحجر والظروف المناخية المحيطة به، وهذا حسب نتائج الدراسة التي قام بها شيراكاوا وآخرون ، إذ تتطور البكتيريا الدقيقة بسهولة أكبر في الأسطح المسامية المنتشرة بالماء، مما يعزز نمو هذه البكتيريا، كما تتحكم الخصائص الكيميائية للحجر مثل التركيب المعدني، الكربونات، الحديد... في تواجد الكائنات الحية الدقيقة، فأحيانا تكون مصدر غذاء بعضها مثل الأحجار الغنية بالكربون المعدني ( الحجر الجيري) وتحفز وجود الأشنات والفطريات .

تؤثر عدة عوامل على قابلية الحيوية للحجر مثل التركيب الكيميائي، كثافة الحبوب، المسامية، نسبة امتصاص الماء وصلابة السطح تبعا لاختلاف نوع الكائن الدقيق، فعلى سبيل المثال لا الحصر أكدت دراسات مخبرية أقيمت على ثلاثة أنواع من الحجر: الدولوميت البني، والحجر الجيري الناعم، والحجر الجيري المسامي الوردية أن المستعمرات البكتيرية تفضل النمو على الأسطح الأكثر صلابة لأنها توفر بيئة مناسبة لاستقرارها وتطورها، إذ يزداد نشاط البكتيريا أحادية الخلية على الأسطح الجيرية ، بينما تفضل البكتيريا الزرقاء الخيطية غير المتجانسة مثل " Phormidium tenue " و " P. autumnale " و " Microcoleus vaginatus " الأسطح الصوانية(Berdoulay, 2008, pp. 08-09).

تعمل الكائنات الحية الدقيقة على تحلل المواد العضوية الداخلة في تركيب التربة الطينية التي تحتضن الكثير من المباني الأثرية والتاريخية، فتصبح مواد بناء هذه المباني في وسط إما شديد الحموضة أو شديد القلوية، الأمر الذي يؤدي إلى تنشيط التفاعلات الكيميائية بين أحجار البناء والوسط المحيط به، بالإضافة إلى تحلل الأحجار ومواد البناء الأخرى بفعل الأحماض الإنزيمية التي تفرزها هذه الكائنات، مما يؤدي إلى تفتت مواد البناء،

وفقدان تماسكها وصلابتها، كما أن ازدياد نشاط الكائنات الدقيقة خاصة البكتيريا والفطريات في الأوساط القلوية يساهم في إنتاج مواد النشادر وكربونات الصوديوم القلوية التي تعمل على إذابة السيليكات المعدنية في الأحجار. (عبدالصمد، 2008-2009، صفحة 39)

## 2-2-العوامل المناخية:

يزداد نشاط الكائنات الحية الدقيقة بتوفر العوامل المساعدة على ذلك من رطوبة وحرارة وضوء ورياح وغيرها.

-الرطوبة: تنتقل الرطوبة إلى المواد الأثرية عن طريق مياه الأمطار والتلوج والبرد، أو يمكن أن تصعد من الأرض عبر الخاصية الشعرية أو أن تحمل بواسطة الهواء إذا كان الأثر بجانب المسطحات المائية، كما تنفذ إلى المسام بتكاثف (دبورة، 1998، صفحة 71).

تتحكم كمية الماء الموجودة بالمواد في نمو المستعمرات الميكروبيولوجية من خلال ما يوفره الماء من غازات، وعناصر غذائية ونفايات، كما تعزز الأسطح الرطبة نمو الطحالب والنباتات العليا (Tran, 2011, p. 20).

## -الأمطار:

المطر هو عبارة عن قطرات من ماء، تسقط من الجوّ اتجاه سطح الأرض نتيجة لتكاثف السحب، منها الأمطار الخفيفة التي تدوم لفترة طويلة، وأحجام قطراتها صغيرة، وتأثيرها ضعيف بخلاف الأمطار الشديدة الغزارة التي تعرف بقصر مدة سقوطها، وكبر أحجام قطراتها، وقدرتها على نحت وجرف الأثرية.

لا يختلف تأثير الأمطار على المباني التاريخية عن تأثير الرطوبة، سواء من ناحية وجود الماء في الأحجار أو من ناحية تغذيتها للمياه الجوفية. كما تعمل الأمطار على نقر الأسطح، ولاسيما المشيدة بحجارة مسامية، كما أنها تتسرب من خلال الأسقف الهشة إلى باقي أجزاء المبنى، فينجر عنه تفكك لمونة البناء، وتساقط الجدران، وضياع الكتابات والنقوش والألوان الموجودة عليها، ونزوح المواد الرابطة لحبيبات الكتل الحجرية. كما تتأثر أساسات المبنى وجدرانه بهذه الأمطار، وذلك بسبب ما امتصته التربة من مياه، ثم فقدتها بعد الجفاف، كما تساهم في نمو المستعمرات البيولوجية بمختلف أنواعها. (بوجلابة، 2010، صفحة 21).

## -الحرارة:

تعتبر درجة الحرارة من أهم العوامل التي تؤثر على نمو الكائنات الدقيقة، تتراوح درجة الحرارة المثلى لمعظم الكائنات الحية الدقيقة بين 15 و 35 درجة مئوية، ومع ذلك يمكن لبعضهم تحمل درجات حرارة قريبة من 0 درجة مئوية وأكبر من أو يساوي 70 درجة مئوية.

بشكل عام ، توفر الرطوبة ودرجة الحرارة والرياح معًا بيئة مناسبة لتكاثر الكائنات الدقيقة، فمثلا تتحكم درجة الحرارة المرتفعة والرياح في تبخر المياه من المواد المسامية وبالتالي زيادة تغلغل بعض الكائنات المجهرية(Tran, 2011, p. 21).

-الضوء: يعد الضوء إحدى المؤثرات الخارجية المساهمة في نمو الأحياء المجهرية، إذ أن الضوء عبارة عن مجموعة من الأشعة الالكترومغناطسية والتي تكون حساسة للعين. هناك مصدرين للضوء هما الإضاءة الطبيعية والإضاءة الاصطناعية(ياسين، 2018، صفحة 277).

تمد الإضاءة الطبيعية أو الأشعة الشمسية المواد ولاسيما العضوية بطاقة حرارية تساهم في زيادة تلفها، مثل الأشعة فوق البنفسجية، أما الأشعة تحت الحمراء فتزفع درجة حرارة المواد الحجرية(Verdel, 1993, p. 44) مما يزيد من التفاعلات الحيوية للكائنات المجهرية، وتغلغلها داخل الحجارة(Berdoulay, 2008, p. 09).

## -الرياح:

هي عبارة عن أحزمة من الهواء المتحرك تنتقل من منطقة إلى أخرى، ويتحكم فيها عامل الحرارة، فينتج عنه هواء دافئ وآخر بارد فيحل محلّه، وهكذا يتولّد تيار دائري من الهواء الذي يؤدّي إلى وجود الرياح. وضغط الهواء الدافئ على الأرض أقل مقارنة بالهواء البارد، وهكذا تتولّد منطقة من الضغط المنخفض التي يتحرك نحوها الهواء البارد، وكلّما زاد الفرق في الضغط بين منطقتين كانت الرياح أقوى.

يسهل عمل الرياح في حالة هبوبها بقوة وبشكل أفقي، وينشط عملها في الأماكن ذات الغطاء النباتي الضعيف أو المنعدم، وهذا ما نراه بوضوح لاسيما في الأقاليم الصحراوية والشبه الصحراوية، فالرياح تعمل على حت وصقل الأسطح، وأيضا نقل وإرساب ما تحمله من رمال وأتربة التي تؤدّي إلى تلف الأسطح، ولكن درجة تأثيرها على الأسطح تختلف باختلاف نوعية الحجر ونوعية الملاط المستخدم كرابط فيما بينها(بوجلابة، 2010، الصفحات 18-19).



- رذاذ البحر: تهاجم الكائنات الحية الدقيقة المباني الأثرية في البيئات الساحلية، أين ترتفع نسبة الأملاح المحملة في الرطوبة الجوية، ولما يجف الهواء تترسب دقائق صغيرة من بلورات الأملاح على أسطح المواد الأثرية، وتكون بذلك بقع رطبة على أسطحها(دبورة، 1998، صفحة 78)، تساهم في نمو وزيادة انتشار المستعمرات البيولوجية خاصة في المواد المسامية التي تحتفظ بالماء مما يتسبب بأضرار جسيمة.

-الملوثات الجوية: كالنيتروجين الذي يعد عنصر أساسي في تسريع نمو الكائنات الحية الدقيقة مثل الطحالب والبكتيريا الزرقاء(Berdoulay, 2008, p. 09).

### 3-تأثير الكائنات المجهرية على المباني الأثرية:

#### 3-1-تأثير البكتيريا على الحجارة:

تؤثر البكتيريا في تلف مواد بناء المباني الأثرية عن طريق ما تنتجه من أحماض تتلف الحجر والمونات بشكل مباشر، ومن أمثلة هذه الأنواع من البكتيريا هي(ستيبورات، 2014، صفحة 183).

-البكتيريا الذاتية التغذية مثل بكتيريا " Thiobacillus " أو " sulphur oxidizing bacteria " تعمل على أكسدة الكبريت، وتحويله إلى حمض الكبريتيك  $H_2SO_4$  (ظاهرة انحلال)، ثم إلى كبريتات (الأملاح الضارة مثل كبريتات الكالسيوم أو البوتاسيوم)، هذه الأملاح ذات المصدر الحيوي التي عادة ما تضاف إلى تلك الناشئة عن طريق التبخر، ستساهم في حدوث أضرار مرتبطة بتبلور الأملاح كانشطار مواد البناء (BROMBLET, 2010, pp. 13-14).

-البكتيريا النيترية " nitrifying bacteria " الذاتية التغذية تعمل على أكسدة الأمونياك (النشادر) الموجود في ماء المطر ومخلفات الطيور وتحوله إلى أحماض النيترات التي تحلل كربونات الكالسيوم، كما توجد الظروف اللازمة لتحويل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى ماءات الكربون المسرعة لعمليات الحيوية(دبورة، 1998، الصفحات 82-83).

-بكتيريا أكتينوميستيت " actinomycetes " تساهم في تغيير لون السطح الأثر وعلى إنتاج أحماض تؤدي إلى إذابة مكونات الأثر(ستيبورات، 2014، صفحة 183).

### 3-2- تأثير الطحالب على المباني الأثرية:

بالاعتماد على الدراسة التي قام بها الباحث الجيولوجي فيليب بروبلي، فإن الطحالب تنتشر على جميع أنواع المواد باختلافها فنجدها على الحجارة، الجبس، الدهانات، الخرسانة وحتى الجداريات والزجاج الملون، وتؤثر على مكان نموها كونها تحتفظ بكمية الماء الموجودة، وتفرز أحماضا عضوية مدمرة، بالإضافة إلى عملها الميكانيكي المتمثل أساسا في الانتشار على الجدران أو الأرضيات وتغلغل نوع من خلاياها في عمق مواد البناء يسمى "Rhizoïdes"، وأخيرا تشويه المنظر الجمالي للمعلم بسبب ألوانها المختلفة مما يدل على تلف بيولوجي متعدد:

-اللون الأخضر: عادة ما نلاحظه على الأسطح الملساء كالزجاج أو الحجارة والأسطح الرطبة التي يصلها الضوء، مثل ما هو موضح في الصورة 1-2، حيث نجد اتحاد نوعين من الطحالب لإحداث هذا اللون هما الطحالب الزرقاء (algues bleues) "cyanobactéries" والطحالب الخضراء "chlorophycées" (algues vertes).

-اللون الأسود: نجده في الأسطح الخشنة وفي الأجواء الجذ رطبة، والمسؤولة عنه الطحالب الزرقاء، وهنا يجب أن لا نخلط بين المرض الأسود واللون الأسود البيولوجي المصدر.

-اللون الأحمر: ينجم هذا اللون بسبب الطحالب الخضراء من عائلة "Trentepolhia"، أين يكون المعلم عرضة للرياح والأمطار الحمضية (Bromblet, 2012, pp. 24-25).



الصورة 2 : بقع سوداء ناجمة عن الطحالب الزرقاء



الصورة 1: انتشار طحالب الخضراء على

على قبة حمام الباي بوشلاغم بوهران

سقف حمام الصباغين بتلمسان

### 3-3- تأثير الفطريات على المباني الأثرية:

تتسبب الفطريات في تلف البيولوجي للمواد العضوية وغير العضوية مثل المنسوجات والجلود والورق والأحجار والخشب والبلاستيك والطلاء. تتميز بالقدرة على اختراق الجزء الداخلي من المادة عن طريق نمو الخيوط كما تعمل على تآكل المواد المتآكل بسبب ما تفرزه من أحماض عضوية.

تغزو الفطريات عادة أماكن تواجد الطحالب، وغالبًا ما تُرى الخيوط الفطرية مرتبطة بالخلايا الطحلبية، هذه العلاقة التبادلية بين الطحالب والفطريات نلاحظها في البيئات التي تفتقر إلى المواد المغذية. (Tran, 2011, p. 6). وعلى العموم يمكن تمييز نوعين من التلف الذي تتسبب فيه الفطريات هما:

-تلف بيوفيزيائي: نتيجة التغلغل القوي لخيوط الفطر بداخل مادة الأثر التي بها شروخ أو عن طريق الحفر في المادة السليمة، مما يؤدي إلى تقشر وتفتت سطح المادة وفقدانها.  
-تلف بيوكيميائي: تعمل الفطريات على إنتاج بعض الأحماض العضوية كحمض الأوكساليك وحمض الستريك، التي تقوم بإذابة كربونات الكالسيوم المكون الأساسي لبعض مواد البناء مثل الحجر الجيري والمونات الجيرية.

كما أن لحمض الأوكساليك دور في حماية المواد الكلسية حيث تتفاعل مع الكالسيوم لينتج عنها أوكسالات الكالسيوم ، الذي يعد بمثابة طبقة باتينا أي حامية لسطحه. والجدير بالذكر أن النمو الفطري يكون ذو لون أخضر أو بألوان أخرى تبعاً لنوع الفطر، ويمرور الوقت وفي الظروف الجافة يصبح لونه داكناً وفي الغالب أسود (المحاري، 2017، صفحة 138).



الصورة 3- 4: نمو فطريات سوداء على حجارة كلسية في منزل ريفي في بني سنوس-تلمسان-

### 3-4- تأثير الأشنات على المباني الأثرية:

تظهر في شكل أوراق وقشريات، أما الأوراق فتشكل غطاء كثيفا سطحياً على الأثر، في حين تخترق القشريات بجذورها الشقوق الموجودة في الحجر، مفرزة أحماض عضوية تتسبب في تآكل وانهيار حبيبات السطح على المدى الطويل وتتفاعل بعض هذه الأحماض مع الحجر الجيري لتكوين " patine " أي طبقة حامية غنية بأوكسالات الكالسيوم (BROMBLET, 2010, p. 13)، كما تقوم الأشنات بإفراز أكسيد الكربون  $CO_2$ ، أما بالنسبة للتلف الميكانيكي فيكون نتيجة قدرتها الكبيرة على التشرب والامتصاص على السطح بقوة تفوق وزنها ب 35 مرة ومن ثم ينتج عنها ضغوطات نتيجة انتفاخ أجزائها السفلية بداخل مسام السطح.

تتقسم الأشنة التي تهاجم الحجر إلى نوعين هما:

-أشنة الحجارة الجيرية، وهي نوعان أحدهما ينمو بداخل الحجر ذات لون أخضر والأخر يتكون على السطح حيث تخدش سطح الحجر الجيري بخطوط باللون الأخضر أو البرتقالي الفاتح.

-أشنة الحجارة السيليسية التي تهاجم الحجارة الرملية والجرانيت والبازلت (المحاري، 2017، صفحة 139).



الصورة 5-6: أشنات بلون الأبيض والبرتقالي الفاتح على واجهة قلعة سانتاكروز بوهران.

### 4-مظاهر التلف الناتجة عن نمو الكائنات الحية الدقيقة:

يؤثر نمو الكائنات الحية الدقيقة سلباً على مختلف مواد البناء مثل الطوب والحجر الرملي والرخام والحجر الجيري والجير، فيتسبب في تلف ميكانيكي يتمثل أساساً في التفكك الفيزيائي والتحلل الكيميائي للحجارة الناتج عن اختراق الكائنات الحية الدقيقة عمق مواد البناء بجذورها.

تلعب الكائنات الحية الدقيقة دوراً رئيسياً في تغيير لون الأسطح وتصبغه بألوان متعددة، بالإضافة إلى ذلك، تختلف أنواع الإصابة الميكروبيولوجية حسب الظروف المناخية التي يقع فيها الأثر، فكثيراً ما يلاحظ النشاط السريع والنمو الكثيف للكائنات المجهرية على الأسطح المعرضة للتساقط المطري والرياح والرذاذ البحري والتغيرات في الرطوبة ودرجة الحرارة .

إن ارتفاع نسبة الرطوبة في المواد المسامية يجعل السطح مهياً لالتصاق الغبار ونمو الكائنات الحية المجهرية ومن ثم تكون غشاء داكن .

كما توجد عدة عوامل تتدخل في تدهور المواد الحجرية تتلخص فيما يلي:

- إنتاج المواد البوليمرية خارج الخلية (EPS) مما يلحق تلفاً ميكانيكياً بسبب تناوب دورات الجفاف والرطوبة.

- تراكم ملوثات الجوية على السطح.

- زيادة تحلل كربونات التي تدخل في تركيب الحجر و تفكك الحبيبات بسبب الأحماض العضوية وغير العضوية المنتجة.

-تفاعل ثاني أكسيد الكربون الناتج عن تنفس الكائنات الحية الدقيقة مع الرطوبة المتوفرة وتحوله إلى حمض الكربونيك.

-تصبغ الأسطح بألوان مختلفة.

- تغير في مدى مسامية المادة.

- حدوث الضغوطات الميكانيكية الداخلية بسبب تفكك المواد وتآكلها يؤدي إلى فقدان المواد.

-كما أن للماء دوراً مهماً في عمليات تدهور الأحجار بشكل مباشر أو غير مباشر.

أحياناً تكون الكائنات الحية الدقيقة جدار وقائي وحماية للحجر ضد العوامل الجوية، فقد أظهرت الأبحاث أن العمليات الفيزيائية والتفاعلات الكيميائية بفعل الرياح والأملاح والماء تكون أبداً في ظل وجود غطاء كثيف من المستعمرات البيولوجية على سطح الحجر مقارنة بالحجر النظيف، كما لوحظ أن نمو الأشنات على الأحجار

المسامية مثل الحجر الجيري، يقلل من امتصاص المياه ويقلل جزئياً من عمليات الذوبان والترسيب وتأثير تغيرات درجة الحرارة (Berdoulay, 2008, pp. 49-51).

-وجود إفرازات حمضية ذات ألوان مختلفة مشوهة للمنظر الحجر، تتكون أساساً من تفاعل هذه الأحماض مع مكونات الحجر أو ما يوجد على سطحه من ملوثات.

-وجود بعض الطبقات الملحية الهشة المكونة من نترات الكالسيوم الناتجة عن تفاعل سطح الحجر مع الفضلات العضوية في وجود الرطوبة الكافية مما يؤدي إلى تكوين حمض النيتريك (2021) .

### 5-معالجة التلف الناجم عن الإصابة بالكائنات الدقيقة:

تهاجم الكائنات الحية الدقيقة والنباتات الوحيدة الخلية الآثار الموجودة في المناطق الرطبة مثل قصر سيدي بومدين، لهذا وضعت بعض الطرق العلاجية لتفادي أضرارها، لكن يجب قبل اختيار المواد الكيميائية المعالجة دراسة فعاليتها ونوع الكائنات الدقيقة، وخواص العنصر، وتحديد حساسية العنصر من استعمال المواد الكيميائية القوية، فلا يمكن استخدام مواد تشكل خطراً على الأثر مثل البنيتاكلوروفينول الذي يشكل حمض الكلور الماء ويتلف كربونات الكالسيوم، فمعظم المواد القاتلة للفطور تؤثر على المباني الأثرية المصابة لذلك يجب استعمالها ضمن حدود ضيقة وفق الشروط التالية:

-أن تكون عديمة اللون .

-أن لا تكون سامة.

-غير قابلة للذوبان في الماء.

-لا تؤثر سلباً على الحجر.

-أن تكون متينة تتحمل الظروف الجوية المختلفة.

-أن لا تتبلور على سطح الحجر (دبورة، 1998، صفحة 193).

فمن بين المواد الكيميائية التي يمكن استخدامها لإزالة الأحياء النباتية والبيولوجية إضافة الفورمالدهاير بنسبة 5% لماء الغسيل أو بنتاكلورفينات الصوديوم بنسبة 1%، أما في حالة الفطريات فيضاف التافلو *catavlo*، وفي حالة بقع الطحالب والنباتات تزال بالأمونيا المخففة، وإذا استدعى الأمر فيمكن استعمال الفورمالهاير بنسبة 40% حسب طبيعة البقعة (حامد قادوس، 2004، صفحة 233).

أما النباتات الخضراء فيمكن استخدام حمض الهيدروفلوريك، إذ يدمر ويزيل أقوى الإلتصاقات دون إيذاء الواجهة، وتعتبر مبيدات الأعشاب الضارة من أفضل السموم، وتحتوي على مركبات حمض فينوكسي استيك، وحمض بارافينوكاربوكسيليك كلوروكاربامات، ومركبات فينول، ومركبات تاريازين، وتعمل هذه المبيدات بشكل انتقائي فلا تهاجم إلا أنواعا معينة، وتوجد مبيدات مكونة من خليط يمكن أن يقتل كل أنواع الأعشاب؛ تستخدم هذه المبيدات في المجال الزراعي على نطاق واسع، ولا ينصح باستخدامها على الحجر بكثرة لقلة المعلومات عن تأثيراتها السلبية، يمكن تطبيق هذه الطرق العلاجية على عينات البحث.

بعد المعالجة الكيميائية للنباتات لابد من التنظيف الميكانيكي باستخدام السكاكين والفراشي بحذر شديد، كما لا يجب استخدامها إلا بعد تقوية الحجر الضعيف (دبورة، 1998، الصفحات 194-195).

### إزالة بقع السناج:

تزال بقع السناج بغسلها بالماء المضاف إليه صابون ونشادر بالنسبة التالية: 1م<sup>3</sup> من الماء، 100مم صابون، 20سم<sup>3</sup> من نشادر، أما الجزء الذي تبقى بغير غسيل بالمكونات السابقة، فينظف باستخدام محلول مخفف من الكلورامين المحضر حديثا بنسبة 2% مع الماء، ويتعين إزالة الكورامينيت بالماء المعدني بعد إتمام عملية تنظيف السناج (حامد قادوس، 2004، صفحة 231).

### خاتمة:

يلحق التلف البيولوجي الناجم عن العديد من الكائنات الحية الدقيقة أضرارا متنوعة بمواد بناء المبنى الأثري، إذ تتسبب في تفتت وتلاشي مواد البناء ولا سيما المسامية التي تسمح بزيادة تغلغلها في جوف المواد، كما تساهم في ارتفاع نسبة رطوبة المواد بسبب انتشارها الكثيف وتغطيتها لسطح المواد، ناهيك عن ارتفاع نسبة الأملاح والأحماض نتيجة تفاعل الكائنات الحية الدقيقة مع مواد البناء والعوامل المناخية المحيطة بالأثر.

تتحكم عدة عوامل في عملية التلف البيولوجي للحجارة أهمها التركيبة الفيزيوكيميائية للمواد والعوامل المناخية من رطوبة وحرارة وضوء ورياح...

تعمل الببكتيريا بنوعها ذاتية التغذية "autotrophic" وغير ذاتية التغذية "hétérotrophic" على تلفة مواد بناء المباني الأثرية عن طريق ما تنتجه من أحماض، و تنتشر الطحالب الخضراء والطحالب الزرقاء على أنواع عديدة من المواد مكونة مستعمرات ذات ألوان مختلفة كالأخضر والأحمر والأسود... كما تسبب الفطريات في تلفة فيزيائي للمواد ناتج عن جذورها التي ترسلها عمق المواد وتلف كيميائي بسبب الأحماض التي تفرزها، وتتفاعل مع مواد البناء والبيئة المحيطة، وأخيرا الأشنيات التي تغطي سطح الحجارة بكامله وتظهر في شكل أوراق خضراء أو برتقالية اللون وقشريات بيضاء.

توجد عدة طرق للحماية المبني الأثري من الإصابات الناجمة عن الكائنات الحية الدقيقة من بينها إبعاد مسببات الضرر من خلال تهوية المبني وتنظيف الميكانيكي للجدران إذا كانت حالتها الصحية تسمح بذلك، أو استعمال بعض الطرق العلاجية لتفادي أضرارها كما سلف الذكر في آخر عنصر.

### قائمة المراجع:

- 1- باربرا هـ. ستيورات، (2014)، التقنيات التحليلية في صيانة مواد الأثار، ترجمة: عبد الناصر الزهراني، جامعة ملك سعود، السعودية.
- 2-رشا عبد العظيم ياسين، (2018)، دراسة تأثير التلف البيولوجي على المكونات الأثرية، المجلد 4، مجلة الملوية للدراسات الأثرية والتاريخية، العراق، الصفحات 277-289.
- 3-رقية عبدالصمد، (2008-2009)، أثر الرطوبة والأملاح على الصخور الكلسية في المباني الأثرية، مذكرة لنيل شهادة ماجستير في صيانة والترميم. معهد علم الأثار، جامعة الجزائر، الجزائر.
- 4-سلمان أحمد المحاري، (2017)، حفظ المباني التاريخية، المركز الدولي لدراسة صون وترميم الممتلكات الثقافية، حكومة الشارقة، الإمارات العربية المتحدة.
- 5-فوزية سعاد بوجلابة. (2010)، أخطار التلوث البيئي، مذكرة ماجستير، قسم علم الأثار، جامعة تلمسان، الجزائر.
- 6-هزار عمران وجورج دبورة، (1998)، المباني الأثرية ترميمها صيانتها والحفاظ عليها، منشورات وزارة الثقافة، المديرية العامة للآثار والمتاحف، سوريا.
- 7- عزت زكي حامد قادوس، علم الحفائر وفن المتاحف، مطبعة الحضري، الإسكندرية، 2004.



8- Berdoulay Maite, (2008), Analyses physico-chimiques et microbiologiques de façades en pierre exposées aux embruns marins du Golfe de Gascogne, Thèse de Doctorat, universite de pau et des pays de l adour, france.

9-BROMBLET Phillip, (2010), Guide « Altérations de la pierre », Association MEDISTONE, France.

10-Cauliez Nelly, (2011), Les facteurs de dégradation des documents d'archives, les petits guides de l'association des archivistes français, france.

11-Henri de la Boisse et Philippe Bromblet , (2012) , Les monuments historiques et la pierre, direction régionale des affaires culturelles, Languedoc-Roussillon.

12-Kévin Beck,(2006) , Étude des propriétés hydriques et des mécanismes d'altération de pierres calcaires à forte porosité ,thèse présentée a l'université d'Orléans pour obtenir le grade de docteur ,université d'Orléans, france.

13-Thu Hien Tran, (2011), Influence des caractéristiques intrinsèques d'un mortier sur son encrassement biologique, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France.

14-Verdel Thierry, ( 1993), Géotechnique et Monuments Historiques, Institut National Polytechnique de Lorraine, Ecole des Mines de Nancy, france

15-staffsites.sohag-univ.edu.eg( 22-06-2021)..