التلف البيولوجي للحجارة الأثرية.

Biological alteration of archaeological stones.

بلعيبود بدرالدين.
معهد الآثار؛ جامعة الجزائر 2(الجزائر).
البريد الإلكتروني: *badreddine.belaiboud@univ-alger2.dz*

تاريخ الإرسال: 22/04/23؛ تاريخ القبول:22/05/20؛ تاريخ النشر:22/06/01

الملخص:

تتعرض الحجارة الأثرية للعديد من أنواع التلف، ويعتبر فقدان تماسك عناصرها الفلزية من أهم الأسباب التي تؤدي إلى ضياع المادة الأصلية، وضياع معطيات أثرية وفنية من سطح الحجارة الأثرية، خاصة التي تحمل كتابات أو نقوشا أو رسوم، وتعتبر العوامل البيولوجية من بين العوامل التي تؤدي إلى تلف الحجارة الأثرية، نقصد بعوامل التلف تلك الآليات الفيزيائية والكيميائية التي تغير من خصائص الحجارة، والتي كغيرها من المواد تتأثر بالشروط المحيطية كالرطوبة، ودرجة الحرارة، والتلوث، والكائنات الحية. إن التغيرات التي تطرأ على المادة ما هي إلا تفاعلات آلية تتم كرد فعل لإحداث نوع من التوازن بين المادة ومحيطها، ويمكن القول أن أي تغير في بعض هذه الشروط يؤدي في كثير من الأحيان إلى إحداث تغير في المادة حسب طبيعتها وخصائصها من جهة، وحسب طبيعة العوامل المحيطية ودرجة وسرعة تغيرها من جهة أخرى.

الكلمات المفتاحية: حجارة أثرية؛ تلف بيولوجي؛ أشنات؛ طحالب؛ فطريات.

Abstract:

Archaeological stones are exposed to many types of damage, and the loss of cohesion of their mineral elements is one of the most important reasons that lead to the loss of the parent material and the loss of archaeological and technical data. the surface of archaeological stones, especially those bearing writings, inscriptions or designs, and biological factors are some of the factors that damage the stones. By archaeological factors, we mean those physical and chemical mechanisms that modify the properties of stones. conditions such as humidity, temperature, pollution and living organisms. The changes that occur in the material are nothing but mechanical interactions that occur in reaction to bring about a kind of equilibrium between the material and its surroundings.

Key words: Archaeological stones; biological weathering; lichens; algae; mushrooms.

مقدمة:

يؤدي التلف لتغيير في خصائص الحجارة، والتي كغيرها من المواد تتأثر بالشروط المحيطية كالرطوبة، ودرجة الحرارة، والتلوث والكائنات الحية. وإن التغيرات التي تطرأ على المادة ما هي إلا تفاعلات آلية تتم كرد فعل لإحداث نوع من التوازن بين المادة ومحيطها، ويمكن القول أن أي تغير في بعض هذه الشروط يؤدي في كثير من الأحيان إلى إحداث تغير في المادة حسب طبيعتها وخصائصها

من جهة، وحسب طبيعة العوامل المحيطية ودرجة وسرعة تغيرها من جهة أخرى.

رغم الخصائص التي تميز المادة الحجرية عن بقية المواد والتي أهلتها لتكون أكثر المواد استعمالا من طرف الإنسان وذلك منذ بداياته الأولى، إلا أن الحجارة ليست في منأى ومعزل عن العوامل المحيطية التي تؤدي بها إلى فقدان البعض من خصائصها، وبالتالي إلى تلفها، ويستدعي ذلك التدخل بشكل مستعجل إلى إيقاف التلف أو على الأقل الحد منه وذلك من خلال عمليات الصيانة والترميم، أو العمل على وقاية الحجارة قبل ظهور التلف في إطار الصيانة الوقائية.

العوامل المحددة للتلف البيولوجي:

إن التكاثر الكمي والنوعي للكائنات الحية مرتبط بشكل أساسي بمحيطها، بحيث تختلف أنواع الكائنات وتكاثرها بحسب الوسط الذي تعيش فيه، ومن أهم العوامل التي تحدد هذا الوسط وتساهم في تكاثرها نجد:

الضوء:

يعتبر الضوء مصدر طاقة أساسي بالنسبة للكائنات التي تحتوي على اليخضور (الكلوروفيل) والكائنات ضوئية التغذية (*Phototrophe*)، ويمكن لهذه الكائنات تفضيل واختيار موجات إشعاعية بحسب ملوناتها المسئولة عن عملية التركيب الضوئي، في الإضاءة الضعيفة يكون نمو الكائنات التي تعتمد في تغذيتها على الضوء كالبكتريا والطحالب والأشنات والنباتات محدود جدا أو منعدم، وبالمقابل فإن وجود الضوء يحفّز في نمو هذه

الكائنات، أما بالنسبة للكائنات التي لا يرتبط نظام تغذيتها بالضوء، يمكن أن تتأثر بهذا العامل أيضا بسبب تفاعلات ثانوية مثل التأكسد الضوئي الأنزيمي(Caneva & Salvadori, 1982) .

العناصر المغذية:

تستغل بعض الكائنات الحية بعض العناصر المشكلة للفلزات كعناصر مغذية، حيث تحتاج جميع الكائنات الحية لعناصر فلزية ومعدنية، فبعض الأنواع ذاتية التغذية(*Autotrophes*) يمكنها استعمال عناصر كيميائية لتتم تفاعلات الأكسدة، كما أن وجود بعض العناصر مثل الحديد والكبريت في الحجارة يمكن أن يحفّز في تكاثر بعض الكائنات الدقيقة مثل بكتيريا الحديد وبكتيريا الكبريت، أما العناصر المغذية العضوية ففي كثير من الأحيان تترسّب على سطح الحجارة على شكل عناصر دقيقة موجودة في الجو (Caneva & Salvadori, 1982)، إن وجود العناصر العضوية على سطح الحجارة يساهم بشكل كبير في نمو الكائنات الحية خاصة منها الفطريات، الأكتينوميسات والبكتيريا متعددة التغذية (*Hétérotrophes*) (Lazzarini & Tabasso, 1985, pp. 38-39).

المناخ:

عند دراسة عوامل التلف البيولوجية يجب التمييز بين المناخ العام للمنطقة والمناخ الموضعي (*Microclimat*)، فهناك عدة عوامل مناخية تؤثر على النمو البيولوجي وأهمها الحرارة والرطوبة ونسبة تساقط الأمطار، بصفة عامة يكون نمو وتكاثر الكائنات بشكل كبير في المناطق الحارة والرطبة، وبشكل قليل في المناطق الباردة ومحدود في المناطق الجافة، كما يجب الأخذ بعين الاعتبار التغيرات الفصلية خلال

السنة، فطبقات الطحالب مثلا تختلف حسب فصول السنة ففي الفصول الجافة قد تختفي تماما لكنها تترك الأبواغ (*Spores*) التي تنمو من جديد في الفصول الرطبة، ومن بين أهم المعايير المناخية نجد درجة الحرارة والرطوبة، حيث أن ارتفاع في درجة الحرارة يؤدي غالبا إلى نمو كبير للكائنات الحية بسبب زيادة في سرعة التفاعلات الكيميائية (Caneva & Salvadori, 1982).

يعتبر الماء أهم العوامل التي تساهم في التلف البيولوجي، حيث أن بقاء سطح الحجارة رطبا يوفر شرطا ملائما لتكاثر عدة أنواع من الكائنات الحية، ويعود بقاء الماء على السطح إلى عدة عوامل منها ما هو متعلق بالتركيبة الفلزية والمسامية وقابلية تبلل السطح، ومنها ما يتعلق بالشروط المناخية كالرطوبة النسبية للجو.

التلوث:

هناك عدة أنواع من الملوثات التي يمكنها أن تساهم في التلف البيولوجي للحجارة، ويمكن تقسيمها حسب حالتها إلى صلبة وغازية، تؤثر بعض هذه الملوثات خاصة منها العضوية تأثيرا غير مباشر على الحجارة، إذ غالبا ما تكون هذه العناصر والجزيئات موادا مغذية للكائنات الحية متعددة التغذية التي تنمو على السطح (Domasloswski, 1982, p. 43).

في كثير من الحالات تؤدي المركبات الغازية إلى زيادة في النمو البيولوجي، وتختلف درجة تأثّر الكائنات بالغازات، فبعض الدراسات بينت أن مجموعة بريوفيت (*Bryophyte*) والأشنات تعتبر أكثر تأثّرا من غيرها، فالأشنات مثلا تكاد تنعدم في المناطق الحضرية والصناعية بسبب التلوث الناجم عن الغازات، لذا أعتبر وجود الأشنات مؤشر على

عدم تلوث الجو، ولا نجد إلا نوع واحد من هذه الكائنات الذي يمكنه التكاثر في وسط ملوث وهو (*Lecanora Conizeoides*)، ومن جهة أخرى فإن تواجد ملوثات غازية في الجو قد يحفز نمو بعض الكائنات، فمثلا فإن زيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في الجو تؤدي إلى تكاثر الكائنات الكلوروفيلية، وكذلك فإن زيادة في المركبات الآزوتية والكبريتية تؤدي بدورها إلى تكاثر بكتيريا دورة الآزوت والبكتيريا الكبريتية مثل تيباسيلوس (*Thiobacillus*) التي بإمكانها تحويل غاز ثاني أكسيد الكبريت إلى حمض الكبريتيك عن طريق الأكسدة الأنزيمية (Caneva & Salvadori, 1982).

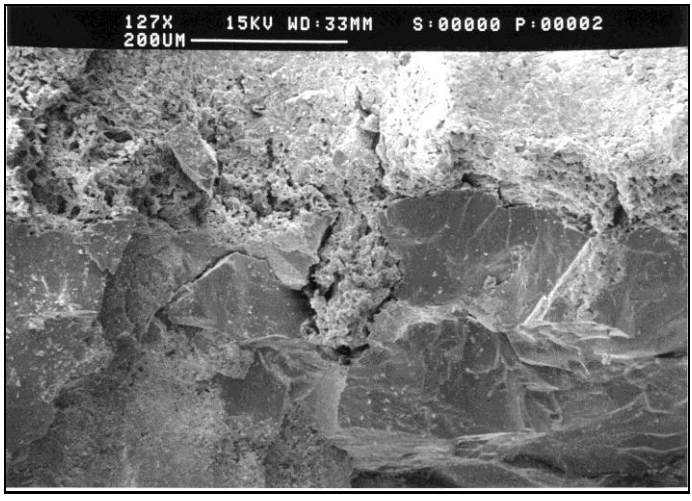
آليات التلف البيولوجي:

إن التلف البيولوجي عبارة عن تغيرات في خصائص المادة ناتجة عن نشاط كائنات حية تنتمي لعدة مجموعات، تختلف طبيعة التلف البيولوجي بحسب أنواع الكائنات الحية المسببة له، والتي تتأثر بالشروط المناخية، بالنسبة للتلف الذي تسببه العوامل البيولوجية فإنه من الصعب الفصل بين آليتين التلف، إذ غالبا ما تؤثر الكائنات الحية على الحجارة بالآليتين معا سواء بالتوازي أو بالتعاقب، لذا فقد ارتأينا أن نصنّف تأثير العوامل البيولوجية ضمن آلية التلف الفيزيوكيميائية.

تؤدي العوامل البيولوجية إلى تغيرات في الخصائص الفيزيائية و/أو الكيميائية للحجارة، تختلف طبيعة ودرجة التلف البيولوجي بحسب أنواع الكائنات الحية المسببة له، في كثير من الحالات يمكن مشاهدة الكائنات والتلف التي تحدثه بالعين المجردة، مثل وجود طبقات من الطحالب بألوان متعددة على سطح الحجارة أو نمو

الأشنات، أما بالنسبة للكائنات المجهرية فيلجأ عادة إلى تحاليل مخبرية لتحديد أنوعها.

يضم التلف البيولوجي آليتين فيزيائية وكيميائية، فالفيزيائية يسببها الضغط الميكانيكي التي تطبقه الكائنات أثناء نموها وتكاثرها، مما قد يؤدي إلى إحداث فجوات وشقوق دقيقة وفقدان تماسك الطبقة الخارجية للحجارة، ويسبب هذا النوع من التلف الكائنات المتغلغلة في الحجارة (*Endolithes*)، حيث تتغلغل أجزاء من هذه الكائنات والتي هي عبارة عن جذيرات (*Rhizines*) في عمق الطبقة الخارجية للحجارة (الصورة رقم: 1)، وتقوم باحتباس الماء في الشقوق والفجوات الدقيقة التي تخلّفها، وهذا ما يزيد في تدهور الحجارة نتيجة لدورات ماء/جليد المتعاقبة (Lazzarini & Tabasso, 1985, p. 37).



الصورة رقم 1: صورة مجهرية (*MEB*) لعينة من الحجارة الرملية تبين تغلغل جذيرات الأشنات بين حبات الكوارتز (Kennedy (C) 1999).

أما الآلية الكيميائية فتتمثل في التأثير المباشر على الحجارة بواسطة المركبات الكيميائية التي تفرزها الكائنات الحية خاصة منها الأحماض والأسس، فتفقد الحجارة تماسكها نتيجة لتفاعل هذه الأحماض مع فلزاتها، وتفرز معظم الكائنات مثل البكتريا الفطريات الطحالب، عدة أنواع من الأحماض منها الكربونية والكبريتية والآزوتية (Caneva & Salvadori, 1982, p. 179) .

الكائنات الحية المسببة في التلف البيولوجي:

غالبا ما يكون التأثير الفيزيائي والكيميائي للكائنات الحية على الحجارة بشكل متزامن أو متعاقب، وتنتمي هذه الكائنات إلى مجموعات تصنيف مختلفة، ومن بين أهم المجموعات التي تسبب بطريقة مباشرة أو غير مباشرة في فقدان تماسك الحجارة:

الفطريات:

تعتبر الفطريات (*Champignons*) كائنات متعددة التغذية وتساهم بدورها في تلف الحجارة، وتكمن خطورة هذه الكائنات في تأثيرها الميكانيكي والكيميائي معا، فبعض الفطريات يمكنها أن تتغلغل في الحجارة بواسطة تركيبة الخيطية (*Hyphes*) تساعدها على التغلغل، ويتسبب نمو الفطريات في نشوء ضغط ميكانيكي على جدران التجاويف الصغيرة التي تحدثها الأجزاء المتغلغلة، مما يؤدي أحيانا إلى إحداث تشققات على مستوى السطح وفقدان للتماسك .(Caneva & Salvadori, 1982, p. 172)

يكمن التأثير الكيميائي للفطريات في تفاعل المواد التي تفرزها مع العناصر الفلزية المشكلة لسطح الحجارة ومن بين هذه المواد هناك الأحماض الكربونية والكبريتية والآزوتية إلى جانب أحماض عضوية

مثل حمض اللبن $(C_3H_6O_3)$، حمض الأسيتيك $(C_2H_4O_2)$ حمض الغلوكونيك $(C_6H_{12}O_7)$ وحمض الأوكساليك $(C_2H_2O_4)$ (Roques, 2002, p. 30).

من خلال الدراسات تم الكشف مخبريا عن التأثير الكيميائي للفطريات على الحجارة، فبعد عدة تجارب اتضح بأن هذه الكائنات يمكنها إذابة كمية معتبر من بعض العناصر الكيميائية مثل: *Si*, *Mg*, *Fe*, *Al*, لعينات من الصخور، عملية الذوبان هذه مرتبطة أساسا بحموضة الوسط بفعل الأحماض المفرزة، فبعض الأنواع من البكتيريا مثل (*Aspergillus niger*)(الصور رقم:2),(*Spicaria*), (*Penicillium*) تنتج كميات كبيرة من حمض الليمون $(C_6H_8O_7)$ وحمض الأوكساليك هذا الأخير يؤدي إلى تلف الفلزات الإبتدائية وانحلال الفلزات الغضار الحديدية(Caneva & Salvadori, 1982, p. 172) .

الصورة رقم 1: صورة مجهرية لفطر (*Aspergillus niger*)
(Roques (H) 2002)

الطحالب:

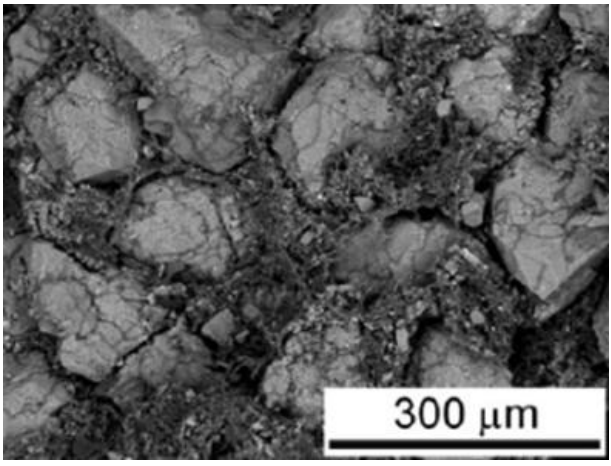
تعتبر الطحالب (*Algues*) أولى الكائنات التي تستعمر سطح الحجارة، وتحتاج لنموها إلى الضوء ومواد عضوية للتغذية، تشكل الطحالب طبقات بسمك ولون مختلفين بحسب العوامل المناخية، حيث تكون الطبقات قليلة السمك والصلابة وذات لون رمادي أو أسود وأحيانا أخضر في الأماكن المضاءة والجافة نسبيا وهي العوامل التي نجدها عادة في الهواء الطلق، وتشكّل طبقات سميكة وهلامية وبألوان متعددة في الأماكن الرطبة وقليلة الإضاءة كالمغارات وداخل المباني والأقبية (Doehne & Clifford, 2010, p. 21).

تخزّن الطحالب أثناء نموها كمية من الماء الذي يسبب بدوره تدهور في سطح الحجارة، كما تترسّب على طبقات الطحالب جزيئات الغبار وبقايا عضوية وملوثات أخرى مشكلة عناصر مغذية لها فيزداد تكاثرها، كما يؤدي إلى تكاثر أنواع أخرى كالبكتيريا والأشنات. ويمكن تقسيم الطحالب بحسب توضّعها على سطح الحجارة: (Roques, 2002, p. 32)

- طحالب سطحية (*Epilithe*)، التي لا يتعدى نموّها سطح الحجارة.
- طحالب الفجوات (*Chamolithe*)، تنمو كائنات هذا النوع في شقوق وفراغات التي توفّرها الحجارة.
- الطحالب المتغلغلة (*Endolithe*)، تتغلغل أجزاء من هذه الطحالب في عمق الحجارة.

تساهم الطحالب السطحية وطحالب الفجوات في تلف الحجارة بسبب احتباسها للماء، الذي يؤدي إلى أضرار كبيرة نتيجة توالي

دورات جليد/ماء، ومن جهة أخرى تفرز هذه الطحالب عدة مواد كيميائية تؤدي هي الأخرى إلى التلف، وتتمثل هذه المواد في عدة أحماض من بينها حمض الليمون، حمض الأوكساليك وحمض الغلوماتيك $(C_5H_9O_4N)$، أما الطحالب المتغلغلة فلها القدرة على إذابة كربونات الكالسيوم والتغلغل في الحجارة محدثة تجاويف صغيرة تؤدي إلى فقدان تماسك الطبقة السطحية (Caneva & Salvadori, 1982, pp. 172-173). (الصورة رقم:3)

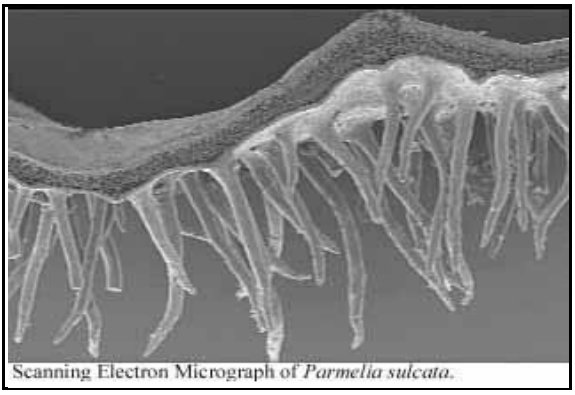


الصورة رقم 3: صورة مجهرية (*MEB*) لعينة من الحجارة الرملية تظهر تغلغل الفطريات بين حبات الكواتز
(Kennedy (C) 1999)

الأشنات:

تعتبر الأشنات (*Lichens*) من الكائنات التعايشية، تتكون في أغلب الحالات من ترافق بين طحالب مجهرية أو البكتيريا الزرقاء (*Cyanobacteria*) وفطريات خيطية، وتكون العلاقة بينهما تكاملية حيث تقوم الطحالب بعملية التركيب الضوئي ويقوم الفطر بامتصاص

الماء والأملاح وبذلك يتحقق التوازن في تحصيل الغذاء بين الطرفين، تسمى الأشنات التي تنمو على الصخور بالساكسيكول (*Saxicoles*) وتنتمي في غالبيتها إلى مجموعة القشريات، تكون الأشنات إما سطحية أو متغلغلة وتنمو بشكل خاص على الحجارة الكلسية، وتنتمي باقي الأنواع إلى مجموعات أخرى مثل المجموعة الوريقية (*Foliacés*)، وتعتبر (*Parmelia sulcata*) الأكثر انتشارا في الحوض البحر المتوسط، ويستعمر هذا النوع سطح الحجارة السيليسية إلى جانب الأخشاب (Torraca, 1986, p. 51). (الصورة رقم:4)



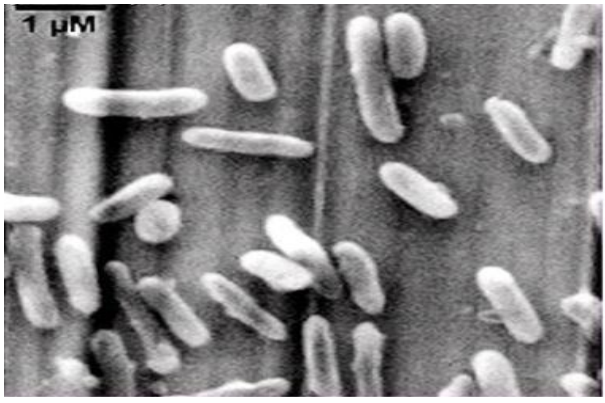
الصورة رقم 4: صورة مجهرية لمقطع طولي أشنة وريقية (*Parmelia sulcata*) تظهر الجذيرات التي تغلغل في الحجارة
(King (C) 1999)

تتسبب الأشنات في تلف الحجارة من خلال تأثيرها الكيميائي والميكانيكي معا، ويكمن التأثير الكيميائي من خلال إفراز هذه الكائنات لمواد تتفاعل مع الحجارة، خاصة حمض الكربوني الذي يتشكل نتيجة ذوبان غاز ثاني أكسيد الكاربون (CO_2) -الموجود في الجو والناتج عن التنفس - في الماء المخزّن في جسم هذه الكائنات،

كما تقوم بعض الأنواع من الأشنات بإفراز حمض الأوكساليك خاصة التي تنتمي إلى مجموعة الكلسيكول (*Calcicoles*)، عندما تستعمر الأشنات سطح الحجارة لمدة طويلة تفقد الطبقة السطحية للحجارة تماسكها تدريجيا بسبب القوة الميكانيكية التي تمارسها الجذيرات المتغلغلة في الحجارة مما يسبب في انفصال جزيئات دقيقة من سطح الحجارة (Caneva & Salvadori, 1982, p. 174).

البكتيريا:

إن البكتيريا عبارة عن كائنات مجهرية منها ما هو ذاتية التغذية ومنها ما هو متعددة التغذية، وبإمكانها التغلغل في الطبقة السطحية للحجارة، لهذه الكائنات تأثير كيميائي يؤدي أحيانا إلى تلف المادة الحجرية، من بين هذه الكائنات الحية ذاتية التغذية التي لها دور في التلف البيولوجي بكتيريا دورة الكبريت (*Thiobacillus*) (الصورة: 5) وبكتيريا دورة الآزوت وبكتيريا الحديد (Doehne & Clifford, 2010, p. 27).



الصورة رقم 5: صورة مجهرية لبكتيريا الكبريت (*Thiobacillus*)
(Roques (H) 2002)

يمكن لبكتيريا الحديد أن تأكسد الفلزات التي تحتوي على عنصر الحديد المشكل لبعض الأنواع من الحجارة كفلز البيريت (*Pyrite*)، وتبيّن أن البكتيريا متعددة التغذية يمكنها أن تلعب دورا في تلف الحجارة من خلال إنتاجها لأحماض عضوية مثل حمض اللبن وحمض الأسيتيك وحمض الغلوكونيك وأحماض أخرى غير عضوية، كما أنها تفرز مواد قاعدية مثل النشادر والأمينات. أما بكتيريا دورة الآزوت -الذي يعتبر الباحث "كوفمان" (*Kauffman*) أول من أبرز دورها في تلف الحجارة -فهي تؤثر على الحجارة الكلسية التي تستخدمها كمصدر للكربون، كما تفرز هذه الكائنات أحماضا آزوتية إنطلاقا من غاز (NH_3) الموجود في الجو الملوث، ويظهر التلف على شكل فقدان تماسك سطح الحجارة بحيث يصبح قابل للتفتّت، ولخص "كوفمان" هذا التلف من خلال المعادلة التالية:

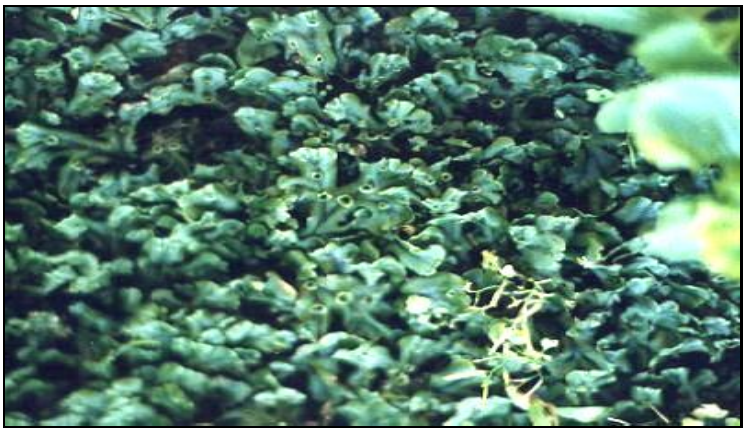
$$2CaCO_3+(NH_4)SO_4+4O_2 \rightarrow Ca(NO_3) +CaSO_4 +2CO_2+4H_2O$$

من خلال هذا التفاعل يمكن إعتبار الأندريت $(CaSO_4)$ ونيترات الكالسيوم $Ca(NO_3)$ من نواتج التلف (Caneva & Salvadori, 1982, p. 173).

الكبديات:

إن التأثير الأساسي لفصيلة الكبديات *(Hépatiques)* على الحجارة هو ذو طبيعة ميكانيكية، حيث أن هذه الكائنات مزودة بنتوءات (*Rhizines*) عبارة عن زوائد تلعب تقريبا نفس دور الجذور عند النباتات، فأثناء نمو هذه الكائنات تمارس نتوءاتها ضغطا في تجاويف الحجارة، كما للكبديات تأثير كيميائي كباقي الأنواع الحية

الأخرى من خلال إنتاجها لبعض الأحماض الضعيفة خاصة الكربوكسيلية *(R–COOH)* منها (Roques, 2002). (الصور رقم:6)



الصورة رقم 6: أحد أنواع الكبديات.
(Roques (H) 2002

النباتات:

تؤثر بعض النباتات على حجارة المباني والمواقع الأثرية، ويكون هذا التأثير إما ميكانيكيا أو كيميائيا، بحيث يؤدي أحيانا الضغط الميكانيكي التي تمارسه جذور النباتات إلى أضرار كبيرة، فقد يصل متوسط هذا الضغط إلى حوالي 15 باسكال، عموما فإن الجذور تتغلغل في سطح الحجارة التي لا يتعدى مقاومته بين25 و33 باسكال، كما أنها تستغل المناطق الهشة الفاقدة لتماسكها (Domasloswski, 1982, p. 49).

أما التأثير الكيميائي للنباتات فسببه راجع إلى حموضة أطراف الجذور، هذه الحموضة ناتجة عن شحنة سالبة للطبقة الخارجية لأطراف الجذور التي تسعى إلى توازنها بطبقة من أيونات الهيدروجين أو كتيونات أخرى، تكون هذه الحموضة - بمعدل *(pH)* يتراوح بين 2

إلى 3.85 - مسئولة عن انفصال ذرات من التركيبة الفلزية للحجارة التي تكون باتصال مع أطراف الجذور مما يؤدي إلى تلفها بصورة تدريجية (Caneva & Salvadori, 1982, p. 158).

الحيوانات:

تعتبر الطيور من بين أهم الحيوانات التي تتسبب في تلف الحجارة، خاصة في المناطق الحضرية والساحلية أين توجد تجمعات للعديد من أنواع الطيور كالحمام والطيور البحرية، ويكمن عامل التلف الأساسي لهذه الحيوانات في فضلاتها التي تؤدي إلى تلف كيميائي، حيث تحتوي هذه فضلات على مركبات لها تأثير سلبي على الفلزات مثل الآزوت العضوي وغير العضوي، الفوسفات وعناصر أخرى، كما تحتوي على عدة أحماض مثل حمض البول $(C_5H_4N_4O_3)$، حمض الفوسفوريك (H_3PO_4) وحمض النيتريك (HNO_3)، وتؤدي هذه الأحماض إلى تلف الفلزات، حيث تتفاعل مع كربونات الكالسيوم وتفقده ذرات من الكالسيوم ففي حالة حمضي الفوسفوريك والنيتريك يتشكل فوسفات الكالسيوم $Ca_3(PO_4)_2$ ونترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ ما يؤدي إلى فقدان تماسك الحجارة المكونة من الكربونات كالحجارة الكلسية والرخام (Pochon, 1968, p. 95).

كما تؤدي بعض الحيوانات إلى إحداث أضرار بالحجارة، ففي المغارات والأقبية تسبب الخفافيش تدهور كبير في الحجارة بسبب فضلاتها التي تحتوي على كمية معتبرة من النترات ومركبات بولية. أما في المواقع الأثرية يمكن للمواشي إحداث أضرار بليغة بحجارة المعالم والمواقع الأثرية الموجودة في المناطق الريفية نتيجة الدوس

المتكرر، كما أن المواد العضوية التي تفرزها الحيوانات قد تسبب في تلف المواد الحجرية بطريقة غير مباشرة، كونها تشكل عناصر مغذية لكائنات حية متعددة التغذية كالبكتيريا والفطريات (Caneva & Salvadori, 1982, p. 159).

خاتمة:

إن التلف البيولوجي عبارة عن تغيرات في خصائص المادة ناتجة عن نشاط كائنات حية تنتمي لعدة مجموعات، تختلف طبيعة التلف البيولوجي بحسب أنواع الكائنات الحية المسببة له، والتي تتأثر بالشروط المناخية. في كثير من الحالات يمكن ملاحظة عوامل ومظاهر التلف بالعين المجردة، مثل وجود طبقات من الطحالب بألوان متعددة على سطح الحجارة، أو نمو الأشنات والنباتات، أما الكائنات المجهرية فيلجأ عادة إلى التحاليل المخبرية لتحديد وجودها وأنوعها، وكإجراء وقائي، يمكن حماية المواد الأثرية من تأثير العوامل البيولوجية بتطبيق مواد على سطح الحجارة يمنع من انتشار وتكاثر مختلف الكائنات الحية.

قائمة المصادر والمراجع:

1- Caneva, (G.), & Salvadori, (O.). (1982). *Altération biologique de la pierre*. in , texte des cours internationaux desur la restauration de la pierre, publié sous la direction de LazzarinI.

2- Doehne, (E.), & Clifford, (A.). (2010). ***Stone Conservation An Overview of Current Research***. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.

3- Domasloswski, (W.). (1982). ***Conservation préventive de la pierre***, *traduit par*. (Woszyck, Trad.) Paris: UNESCO.

4- Lazzarini, (L)., & Tabasso, (L.). (1985). ***Il restauro della pietra***. Milani: CEDAM.

5- (L) et Pieper (R),. ***la dégradation et la conservation de la pierre*** (pp. 143-180). Venise: UNESCO.
6- Pochon, (J.). (1968). *Facteurs biologiques de l'altération des pierres* . ***l'altération des pierres*** (pp. 98-118). Paris: ICOMOS.
7- Roques, (H. (2002). ***Précis de cryptogamie***. Paris: librairie Maloine.
8- Torraca, (G.). (1986). ***Matériaux de construction poreux***. (Di Matteo, Trad.) Rome: ICCROM.