

دور العوامل البيئية وبكتيريا *Acidithiobacillus* في تآكل الآثار الصخرية والمعدنية

م. براء محمد ابراهيم
جامعة سامراء - كلية التربية

م. افراح عبدالله جاسم
جامعة سامراء - كلية التربية

الملخص

تحتوي الصخور الرسوبية على الآثار والمتحجرات المختلفة ومن ضمنها الآثار المعدنية بأشكالها المختلفة، كما تحتوي على عناصر مختلفة مثل الحديد والكبريت والنحاس وغيرها الكثير. وتحاط بالغللاف الجوي والعوامل البيئية المختلفة التي تؤثر عليها وتتفاعل معها سلباً أو ايجاباً، ومن هذه العوامل الحرارة والرطوبة والحامضية والضغط الجوي أو ضغط الأحمال وكذلك العوامل البيولوجية الحية مثل الطحالب والفطريات والبكتيريا. وبالحدوث عن الحديد فان رواسب الصخور تتشكل على هيئة $(FeO \text{ or } Fe_2O_3)$ أو تتشكل على هيئة $FeO(OH)_nH_2O =$ (Limonite or $HFeO_2 =$ Goethite).

تصنف البكتيريا *Acidithiobacillus* بأنها سالبة لصبغة غرام أي انها تمتاز بمقاومة عالية نسبياً للظروف البيئية والمواد الاخرى الضارة وكذلك المضادات الحيوية، ويمكن عزلها من معادن الحديد - الكبريت كمصدر للطاقة ونتاج أكسيد الكبريت وحامض الكبريتيك، وهنا يكون تأثيرها الضار للآثار الصخرية والمعدنية، إذ تستطيع هذه البكتيريا تحويل كبريتيد الهيدروجين الى حامض الكبريتيك داخل أنابيب المجاري الكونكريتية مما يسبب تآكلها.

تستخدم هذه البكتيريا عنصر الكبريت وأيونات الحديد كمادة واهبة للإلكترونات فتتهدم الكربون من كبريتيد ثنائي المثل أو ثنائي كبريتيد ثنائي المثل أو كربونات ثنائية الكبريتيد الى ثاني أكسيد الكربون. وان هذه البكتيريا قوية الترشيح والغسل لتحويل العناصر من شكلها الصلب إلى الشكل السائل، أي أنها تقوم بتخريب الصخور التي تحتوي الكبريت أو الحديد، وكذلك الآثار المعدنية المصنوعة من الحديد والنحاس والتي توجد ضمن طبقات الصخور الرسوبية.

الكلمات المفتاحية: العوامل البيئية، بكتيريا *Acidithiobacillus*، متحجرات، تآكل الآثار، آثار معدنية، آثار صخرية.



Role of Environmental Factors and *Acidithiobacillus* Erosion of Rock and Metal Archaeological Remains

Bara'a Mohammed Ibrahim Al-Hilali
Afrah Abdullah Jasim

University of Samarra- College of Education

barabio86@gmail.com

Abstract

Sedimentary rocks contain various traces and fossils, including metal traces of different forms, as well as various elements such as iron, sulfur, copper and many others. It is surrounded by the atmosphere and the various environmental factors that affect it and interact with it negatively or positively, such as temperature, humidity, acidity, air pressure or load pressure, as well as living biological factors such as algae, fungi, and bacteria. Speaking of iron, sediment rocks form in the form $(\text{FeO}$ or $\text{Fe}_2\text{O}_3)$ or form $\text{FeO}(\text{OH})_n\text{H}_2\text{O} = \text{Limonite}$ or $\text{HFeO}_2 = \text{Goethite}$. *Acidithiobacillus* bacteria are classified as Gram-negative, meaning they have a relatively high resistance to environmental conditions and other harmful substances as well as antibiotics. The conversion of hydrogen sulfide to sulfuric acid inside the concrete pipes, causing corrosion. These bacteria use the element sulfur and iron ions as a donation of electrons, digesting carbon from the sulfide of dimethyl sulfide or dimethyl sulfide or disulfide carbonate to carbon dioxide. These bacteria are strong filtration and washing to convert elements from their solid form to liquid form, they sabotage rocks containing sulfur or iron, as well as metal traces made of iron and copper, which are found within the layers of sedimentary rocks.

Keywords: Environmental Factors, *Acidithiobacillus*, Fossils, Erosion Remains, Metal Remains, Rock Remains.

المقدمة

يختص علم الآثار بدراسة البقايا المادية التي خلفها الانسان، إذ تتضمن هذه الماديات الأدوات العاجية المختلفة، الفخار، العملة المعدنية، الأدوات الحجرية بأشكالها المختلفة، الحلي الذهبية، والمباني أو المعابد، وغيرها. كل هذا يسهم في رسم صورة لحياة الانسان والمجتمعات القديمة^(١).

يتم عادة إزالة الكائنات التي ماتت في الطبيعة ودفنت في التربة بسرعة من قبل المحلات التي تشمل البكتيريا والعفن الفطري وعوامل التعرية والتجوية، ويؤدي إرتفاع الضغط ودرجة الحرارة الى طرد المواد المتطايرة مثل الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون الأحفوري ولكنها تنحصر في الطبقة العليا من الطبقات الرسوبية بشكل طبقة رقيقة من الكربون النقي فيتكون الجرافيت وتسمى هذه العملية الكربنة، وإن هذه العملية لا تسمح بتكون الأحافير النباتية بشكل جيد^(٢).

وفي بعض الأحيان توفر الصخور الرسوبية حرارة وضغط تحافظ على بقايا هذه الكائنات، وإن استمرار الترسيب يمكن ان يسهم في توفير الظروف المناسبة لاستمرار عملية التصلب، مما يقلل نشاط البكتيريا وبالتالي تقلل عملية التحلل، وإن احتمالية تشكل متحجرات أحفورية يكون أكبر لا سيما عندما يمتلك الكائن هيكل عظمي صلب؛ ان اكتشاف الأحافير الكبيرة يكون نادراً نسبياً لأن زيادة الضغط والحرارة بسبب استمرار الترسيب يكون له تأثير على بقايا الكائنات^(٣).

تكون الحفريات النباتية نادرة بسبب امتلاكها أنسجة ناعمة قابلة للتحلل بسرعة بفعل المحلات، مما يحولها الى سوائل كثيفة نسبياً؛ وكجزء من الصخور الرسوبية تخضع الحفريات لعمليات التصلد إذ يمكن ان تعمل البكتيريا على اذابة عنصر ما منها مما يشكل فراغ يدخل اليه عنصر اخر بسبب الضغط ليملاً التجويف، وهذه العملية تحافظ على شكل الكائن ولكن تركيبه الكيميائي قد تغير ومن أمثلتها (الاسمنت من الكربونات، الكالسيت من السليكا غير المتبلورة فيتكون العقيق أو الباييريت الابيض من البيكربونات)^(٤).

تمثل العوامل البيئية مدى واسع في الطبيعة وتتداخل فيما بينها مع العوامل الاخرى إذ تسبب العديد من التفاعلات والعديد من التأثيرات المباشرة وغير المباشرة^(٢). وبالعودة للحديث عن بكتيريا *Acidithiobacillus* فإنها تقوم باستخلاص النحاس باستخدام تقنية الاحلال، إذ تأخذ الحديد من الصخور الرسوبية ومن ثم يتفاعل الحديد مع الكبريت لتكوين أكاسيد الكبريتيد، وبعدها تحل هذه المركبات محل النحاس الموجود في الصخور الرسوبية الأخرى كما موضح في الشكل (١)، بالتالي تعمل على تدوير العناصر في الدورات الطبيعية في التربة^(١).

عوامل تلف الاثار

أولاً: - الزلازل Earthquake

تتكون القشرة الارضية من طبقات أولها من الأعلى هي الطبقة السطحية أسفل هذه الطبقة طبقات اخرى تمتد إلى عشرات الكيلو مترات، تطفو على طبقة سائلة شديدة الحرارة، وعند تحرر هذه الطاقة الكامنة تحدث الزلازل في مناطق القشرة الضعيفة، ونظراً لأن المباني تختلف في تصميمها وموقعها ومادة البناء المستخدمة في كل منها وكذلك التربة المقامة عليها، فإن كل ما ذكر يؤثر على مقاومة المبنى للزلازل^(٥).

تتوزع الزلازل في نطاق ثابت محدد في الكرة الارضية بسبب عدد الصفائح التكتونية المحدود، إذ يمكن تحديد النطاق بما يأتي:

- نطاق دائري حول المحيط الهادي.

- نطاق يبدأ من أمريكا الوسطى الى الاراضي المحيطة بها.

- نطاق يمشي مع منطقة الاخدود الافريقي.

وبالحديث عن الاثار المترتبة للزلازل ، فإن التربة غير المتماسكة تتعرض للهزات الارضية يؤدي ذلك الى تضاؤل في حجم جزيئاتها مما يسبب زيادة في ضغط الماء الداخل في فراغات التربة البينية، ومع استمرار الاهتزازات يؤدي ذلك الى سقوط البيوت والمباني المشيدة في تلك التربة ؛ كما تؤثر الزلازل على اساسات المباني بصفة عامة يظهر ذلك بميل العناصر الانشائية الجدران والاعمدة بدءاً من قاعدتها ويشير هذا الى سحق الأساس أو هبوط الارض تحته أو تمزق التربة هناك، كما يمكن الاستدلال على اضرار الأساسات من خلال وجود شروخ وتشوهات في الطابق الارضي^(٦).

تأثير الزلازل على المباني يظهر بالأشكال الآتية:

١- ضعف في السقوف الخشبية التي تغطي المباني بسبب هبوط الأساس.

٢- سقوط بعض طبقات البناء في الجدران.

٣- تصدع وشروخ طولية بأعلى الجدران.

٤- ميل وتصدع ودوران المباني^(٥).

ثانياً: - تأثير الاحمال والضغط loads and stresses

التحمل الميكانيكي خاصية تعرف بالقدرة على مقاومة الاحمال والضغط الواقعة عليها، إذ تتوقف مقاومة الطوب (الطابوق) على مكوناته العضوية وغير العضوية إذ

تزداد مقاومة الضغط بزيادة نسبة المعادن فيه وتقل المقاومة بزيادة محتوى الطوب (الطابوق) من الماء^(٧).

وعند الحديث عن تأثير الاحمال بزيادة الضغط على التربة فان نسبة الاحمال تتزايد على التربة أسفل الأساسات بزيادة نسبة الضغط الواقعة عليها والمتمثلة في قوة الدفع الرأسية والتي لا تساوي احيانا قوة الدفع الأفقي، تؤدي هذه الزيادة الى هبوط وانضغاط التربة، يصاحب ذلك خروج المياه تحت السطحية ومياه الرشح لتندفع الى اماكن اقل حملا وانضغاطا، ثم ما تلبث أن تنتقل تلك المياه الى الجدران عبر الأساسات محدثة الأضرار وبأشكال مختلفة و بدرجات متفاوتة^(٨).

ثالثا: - الرطوبة Humidity

وهي من أخطر العوامل التي تسبب خراب القطع الاثرية، إذ تعد وعلى اختلاف مصادرها من أخطر عوامل التلف الفيزيوكيميائية والتي ينجم عن وجودها داخل مواد البناء اضرار بالغة، بل انها تكون سبباً في تصدع وانهيار المباني، وتتنوع مصادر الرطوبة بين مياه الأمطار والمياه تحت السطحية او التكثيف^(٩).

عند الحديث عن مياه الامطار فإنها وبعد سقوطها من السماء تتراكم على الأسطح الرأسية وتحاول التجمع والتمركز في الزوايا والمنخفضات، بالتالي تغسل وتتزع القشرة السطحية وتنتقل في التربة عبر القنوات الشعرية. ثم يحدث أن تتجمع المياه في الاسفل عند الأساسات، وتتكون طبقة غير متجانسة من المواد مختلفة الخصائص المعدنية تتحرك عند الجفاف تحركاً غير منتظم، ينتج عن هذه الحركة تغيرات حرارية وتفاعلات كيميائية ثم تتكون الاملاح وتحمل عبر القنوات الشعرية للتربة الى الاعلى مؤدية الى تغيير في حالات الإجهاد داخل التربة، وتؤثر سلبا على الأساسات وتضغط على الجدران الملامسة لطبقة التربة^(١٠).

غالباً ما تكون مياه الأمطار حامضية لأن الهواء يحتوي على غاز ثاني اوكسيد الكربون CO2 إذ ينتج حامض الكبريتيك الضعيف بسبب تفاعل الماء مع الغاز يعمل على تحلل مواد البناء او بعضها، وعند سقوطه على الطوب (الطابوق) فانه يمتص وبعد انتهاء المطر تنتشع جزيئات الطوب (الطابوق) وتنتفخ نحو الخارج مسببة ضغط على الاسطح الخارجية للجدران وهذا يؤدي الى نزع المواد الرابطة، ومع التكرار يؤدي ذلك الى ضعف قوالب الطوب (الطابوق) وتتحول مع الوقت الى اجسام هشة قليلة المقاومة للأحمال والضغط مما يؤدي الى تصدع المبنى^(٤).

وقد وجد أن قوالب الطوب (الطابوق) في القرية الأثرية في مبانيها الأثرية تكون شديدة الهشاشة حتى أنه بمجرد لمسها تتساقط بشكل مسحوق يشبه البودرة؛ أما المياه تحت السطحية فإن إرتفاع مناسيبها في أساسات المباني يعد من العوامل التي تساعد في تلف وتقليل الخواص الميكانيكية للحجر، وإن تأثيرها الحقيقي يكمن في ما تحمله من أملاح أو مواد عضوية، إذ يؤدي وجود هذه المياه بنسب متفاوتة بين طبقات التربة الى البلع والانكماش Swelling and Shrinking لمكونات التربة، وهذا يؤدي الى تذبذب في مستويات الضغط الرأسى والافقى، وكذلك تفاوت في العمليات الميكانيكية الفيزيائية، ومن ثم حدوث عدم اتزان بين كتلة المبنى وكتلة التربة الحاملة له، ينتج عنها ضغوط داخلية وخارجية بقوى مختلفة تسبب الشروخ والانحراف والهبوط ثم السقوط وفقدان الاجزاء الحجرية للمبنى^(١١). كما تؤدي المياه تحت السطحية الى حركة حبيبات الرمل الدقيقة وبقاء الجزيئات الكبيرة الخشنة، مما يسبب عدم ثبات التربة بالتالي خلخلة الأساسات وظهور الشقوق في المبنى من الخارج او من الداخل^(٦).

أما بالنسبة للتكثيف فهو تحول بخار الماء بعد التشبع الى الحالة السائلة في شكل جسيمات دقيقة لها تأثير فيزيائي، يتمثل بالقطرات المائية الناشئة التي تعمل على تمدد مواد البناء بسبب حبسها داخل التركيب المسامي، وعند انخفاض درجة الحرارة وحدث الصقيع تزداد في حجمها بنسبة ٩٠٪ وتتحول الى حالة صلبة، بالتالي زيادة ضغطها على الجدران محدثة الشروخ. وكذلك فان التكثيف له تأثير كيميائي إذ غالباً ما يتحول الماء المتغلغل داخل الجدران الى أملاح قابلة للذوبان، إما بسبب اذابة الاملاح الموجودة مسبقاً أو بسبب تفاعل الغازات الجوية مع مواد البناء؛ وعند الجفاف يحدث تبلور الاملاح مسببة تشوه وتلف مواد البناء أو تبلورها على السطح، مكونة قشرة سميكة صلدة على أسطح المباني تعمل على انتفاخ الطوب (الطابوق) أو تغير لونه^(١٢). كما يسبب التكثيف تأثيرات بيولوجية إذ تؤدي الى نمو الفطريات والطحالب مسببة ظهور ألوان مختلفة على أسطح المباني او تآكل جزء منها بسبب وفرة الاملاح^(١١).

رابعاً: - التلف البيولوجي Biological damages

وتعتبر من أخطر العوامل التي تدمر وتعمل على تآكل القطع الاثرية الحجرية والمعدنية، وتتمثل بالبكتيريا التي تستطيع اكسدة الكبريت وتكوين حامض الكبريتيك الذي يتفاعل مع مكونات الطوب (الطابوق) اللبنية ويحللها او تشويه المباني. وكذلك تتمثل بالفطريات التي تحب الرطوبة وتعيش في أجواء رطبة وتأخذ غذائها جاهزاً من البيئة

وبضمنها القطع الأثرية إذ تسحب العناصر المعدنية منها. أما الطحالب فتحدث أضراراً كبيرة، إذ تسبب ثقوباً تسبب تشويه المظهر الخارجي. كما توجد كائنات حية أخرى أكبر حجماً من الكائنات الدقيقة تتمثل بالنمل الأبيض الذي يهاجم الابنية والخشب ويعمل على تتخرها وتآكلها شيئاً فشيئاً، وكذلك النحل البري الذي يبني خلاياه على الجدران وذلك لقدرته على افراز مادة شمعية لاصقة^(١٣).

خامساً: - درجة الحرارة The Temperature

يعتبر هذا العامل الميكانيكي مدمراً ويكون تأثير الحرارة فعال عندما يكون التغير مستمراً ومفاجئاً، إذ تؤثر الحرارة المنخفضة في تجمد الماء فيزداد حجمه مسبباً ضغطاً كبيراً على القطع الأثرية محدثاً تلفها، وان الحرارة المرتفعة تؤدي الى تمدد وانكماش مواد البناء بشكل متفاوت^(١٤).

تأثير درجة الحرارة على المباني المظمورة والتي استخرجت من باطن الارض؛ بعد مرور فترة من الزمن يصل المبنى المظمور الى حالة من الاتزان مع الظروف المحيطة به تحت الأرض، وعند الكشف عن المبنى فان التوازن يختل ويسبب أضراراً مختلفة، تختلف حسب طبيعة المبنى إما بالانكماش أو التمدد أو حدوث الشروخ وغيرها، لذلك فان العلماء يعملون على كشف المبنى تدريجياً للظروف الخارجية من أجل المحافظة على سلامة المبنى^(١٣).

وأما المباني المكشوفة فهي تختلف في أنماط ونوعية التلف الحاصل بسبب اختلاف مكوناتها الداخلية من إذ الصفات الطبيعية والتي تختلف في تمددها وانكماشها عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية او الواطئة^(٨).

سادساً: - الرياح Winds

تعتبر الرياح من عوامل التلف التي تعمل على اتلاف المباني الأثرية لما تحمله من أتربة ورمال ناعمة وملوثات جوية، فهي تعمل على تآكل السطوح لتلك المباني، وتعد أيضاً من أهم عوامل التعرية فهي من الأسباب الرئيسية في عمليات هدم البيوت الطينية، ويزداد تأثيرها في البيئة الصحراوية عن طريق تفتيت المواد المكونة للطوب (الطابوق)؛ وكذلك تعمل على خلخلة التوازن بسبب تأثيرها على محاليل الاملاح القريبة من المسامات، ينتج عن هذا التأثير تبلور الاملاح في مسام الطوب (الطابوق) مما يسبب تفتت الطبقة السطحية وتظهر عادة على شكل تجايف أو فتحات صغيرة^(١٤).

Stone tools الأدوات الحجرية

هي الأدوات المصنوعة جزئياً أو كلياً من الحجر، إذ تعد علامة دالة للعصور القديمة ولا سيما ثقافات الحجر المنتهي بظهور صناعة الحديد (٦٠٠٠ - ٢٠٠٠ ق.م)؛ كانت الأدوات الحجرية جزءاً مهماً في تاريخ الثقافات القديمة ويعتمد عليها العلماء بدرجة كبيرة للتعرف على هذه الثقافات. اختلفت أشكال الأدوات الحجرية وتتنوعت بين رؤوس السهام وانصال الرماح ومدقات الطحين، وأحياناً أخرى تستخدم صخور الأرض أو الحجارة المنحوتة أو المصقولة، إذ أنها تصنع من الصخور المتبلورة (صخور حاوية على بلورات كبيرة الحجم أو صغيرة تكون بفعل التبريد بعد خروجها من البراكين بدرجة حرارة عالية) ومن أمثلة هذه الصخور (الصوان، العقيق الأبيض، البازلت والكوارتز) (١٦).

توجد أمثلة كثيرة

علم النقوش والكتابات القديمة Epigraphia

يهتم هذا العلم بدراسة المادة الأثرية المنقولة على محمل لا يؤثر عليه عامل الزمن، ومنها الصخور أو المعادن قليلة الأكسدة والمقاومة للعوامل البيئية التي تتلف هذه النقوش؛ كما ويهدف هذا العلم إلى معرفة تاريخ الكتابة التي اكتشفت بعد أن يتم نقلها وفك رموزها أو شيفرتها، ثم كتابة الاستنتاجات عن تلك الفترة التي كتبت فيها هذه النقوش وعلى جميع المستويات الاقتصادية والاجتماعية والثقافية وغيرها (١٧).

ساهم علم النقوش وأدى دوراً مهماً في معرفة مجريات علم الآثار واستكمال الصورة عن حياة الإنسان القديم وخاصة فيما يتعلق بالجانب الاقتصادي، الاجتماعي، الثقافي، وغيرها. لم تتزامن العصور التاريخية التي تم اكتشافها والتي تؤرخ لها النقوش والكتابات المهمة مع بدء استقرار الإنسان على الأرض في المجتمعات التي تسمى بدائية، وإنما تم سبقتها بفترة زمنية طويلة إذ لم تكن الكتابة قد عرفت بعد وإنما أسفرت تنقيبات علم الآثار وحفريات في معرفة التفاصيل السائدة آنذاك، ثم تضاعفت الكتابات الأثرية منذ القرن الرابع قبل الميلاد وحتى يومنا هذا (١٨).

أشهر النقوش

يزخر عالمنا بالعديد من النقوش التي زين بها العلماء فسيفساء الحضارة الإنسانية والتي كشفوا عن طريقها تفكير الإنسان وإنتاجه وإخراجه للفن والقانون وكذلك كيف كان يعيش منذ آلاف السنين. ونذكر على سبيل المثال لا الحصر:

- **قانون حمورابي** : يُعد الملك حمورابي سادس ملك من ملوك بابل وقد حكم بابل القديمة، وتعد مسلة حمورابي من أقدم القوانين في تاريخ البشر، إذ تضم القوانين المكتوبة لتنظيم حياة

الناس بشكل متكامل آنذاك، ويعود تاريخها الى ١٧٩٠ قبل الميلاد. كما توجد شرائع اخرى مشابهة لمسلة حمورابي وجدت في بلاد آشور تحتوي قوانين وتشريعات لإدارة الحياة، منها مخطوطة (أور - نامو) وكذلك مخطوطة (إشنونا) ومخطوطة اخرى تسمى (لبت - عشتار)؛ إلا أن مسلة حمورابي احتوت تشريعات هي الأولى في التاريخ التي تعد شاملة لكل نواحي الحياة في بابل. وفيها ايضا توضيح لعقوبات من يخرق القانون، إذ ركزت على السرقة واتلاف الممتلكات، وحقوق العبيد والقتل، وتحدثت ايضا عن الزراعة وحقوق المرأة وحقوق الطفل. وفي الجزء العلوي من العمود ظهرت صورة حمورابي أمام عرش إله الشمس (١٧).

- **نقش بيستون:** هي منطقة تقع غرب مدينة كرمان شاه في ايران والتي تعرف بتمائيل نحتت في الصخور يعود عمرها الى عصر (الهخامنشيين = الاخمينيون و الساسانيين) يذكر فيه الملك داريوش الاخميني الاول (٥٢٢ ق. م) القوميات التي كان يحكمها آنذاك وتفاصيل اخرى. (١٦).

عوامل تلف الآثار الحجرية

هناك عدة عوامل تعد هي المسؤولة عن تلف وتبعع الحجر المنحوت بفعل العوامل الطبيعية، البيئية وعوامل التعرية منها:

- ١- الأجواء المشبعة بالدخان، في المدن الصناعية والمعروفة بالغازات الحامضية.
 - ٢- الرياح المحملة بالتراب والقاذورات.
 - ٣- نمو النباتات الطفيلية على سطح الحجر المنحوت، مثل الطحالب، الفطريات والحشائش البحرية كما يبدو واضحا على التماثيل داخل النوافير المائية.
 - ٤- الامتصاص عن طريق الخاصة الشعرية، ويشمل هذا العامل - في الغالب - جزء من الحجر المنحوت. ويتم بواسطة الشقوق الشعرية الرفيعة التي توجد على سطح الحجر وداخله، فتمتص المحاليل والسوائل والمياه الجوفية، التي ترتفع إليها من الأرض المشبعة بالأملاح.
 - ٥- سرعة تأثرها بالصدمات التي تؤدي إلى تشققها وتكسرها وانفصال طبقاتها. (١٨).
- الشكل ٤ يوضح التآكل في تمثال حجري.

العملات والنقود المعدنية

يمتد عمر العملة النقدية المعدنية من العصور القديمة حتى عصرنا الحالي وترتبط بالوضع الاقتصادي للمكان، ويظهر ذلك واضحا من خلال الصور المطبوعة على العملات وتاريخها. ولا تزال العملة النقدية المعدنية تستخدم على نطاق واسع لأغراض اقتصادية، إذ صنعت العملة النقدية المعدنية في البداية من (إلكتروليت) وهو مزيج أصفر شاحب ينتج طبيعياً من خلط الذهب

والفضة أو الفضة مع النحاس. كانت العملات الفارسية في عهد الساسانيين والفرس مشهورة وكذلك العملة التي جمعت من العصور القديمة في روما واليونان^(١١).

يتم في بعض الاحيان طرق العملة المعدنية من اطرافها دلالة لقيمتها، وفي الغالب فهي ذات شكل دائري وبعضها القليل ذو شكل مستطيل، كما ان بعض العملات تحتوي ثقبا في منتصفها لتسهيل ربطها في سلسلة او حبل وما شابه. وفي بداية الخلافة الإسلامية ظهرت العملة المصنوعة من الذهب الخالص مثل الدينار الذهبي أو الفضة الخالصة مثل الدرهم الفضي، ومنذ ذلك الحين انتشرت هذه العملة حتى يومنا هذا مثل العملة الفضية الكندية المصنوعة من ٩٩٪ من الفضة والعملية الأمريكية الذهبية وكذلك الأسترالية، كما ان النحاس والنيكل وبعض المعادن الأخرى تستخدم أيضا في صناعة العملة النقدية المعدنية ولكن على نطاق اقل انتشارا^(١٤).

مظاهر تلف العملة النقدية المعدنية

١- الصدأ الكيميائي، ويسمى احيانا الصدأ الجاف ويكون بهيئة طبقة رقيقة من اكسيد الحديد وينتج من تفاعل المعدن مع الغازات الجافة (الأكسجين O_2) في غياب السائل وغالبا ما تكون الابخرة والغازات هي المسبب لهذا الصدأ.

٢- الصدأ الكهروكيميائي، ويكون أكثر شيوعا من النوع الاول لأنه يحدث في وجود الرطوبة يسمى (الصدأ الرطب) إذ تمثل الرطوبة المحلول الموصل الكهربائي (الكتروليت) والمعدن يكون القطب الموجب بينما تمثل الطبقة السطحية القطب السالب فتحدث التفاعلات التي تسمى (المصعد) وتكون مصحوبة بإذابة المعدن في الالكتروليت. وكما موضح في الشكل ٣.

٣- الصدأ الكيمو حيوي، وهو لا يشبه الصدأ لأنه تلف يصيب المعدن بصورة مباشرة او غير مباشرة نتيجة النشاط الحيوي او البيولوجي للكائنات الحية الدقيقة او نتيجة الانشطة المصاحبة لنمو الكائنات الدقيقة مثل البكتيريا والفطريات والطحالب.

اشكال الصدأ

١- صدأ متجانس، وهو صدأ عام يغطي سطح المعدن او السبيكة وبمعدل متساوي ومتشابه، وبزيادة النشاط يصبح المعدن اقل سمكا ومع الاستمرار تفتى العملة.

٢- صدأ غير متجانس، ويسمى بالصدأ الموضعي ويكون في مناطق محددة من سطح المعدن والتي يصيبها الصدأ بمعدل أكثر من المناطق الأخرى نتيجة وجود مناطق اقل نشاطا مثل الثغرات والشقوق المتواجدة في سطح الطبقات الرقيقة. وكما موضح في الشكل ٢.

- ١- الصدأ الحفري: صدأ نشط في منطقة محددة يسبب حفر صغيرة او فجوة تتغلغل وتؤدي لتقرب المعدن، مثل مرض البرونز (بقع خضراء رطبة عميقة تظهر على أسطح العملة البرونزية الاثرية تنتج من تفاعل الاماكن الحاوية على الكلوريد في البرونز مع الرطوبة والهواء، غالبا ما يحدث في العملة البرونزية المدفونة في تربة ملحية إذ يتواجد ايون الكلور ذو الشحنة السالبة او في البحار المالحة او في جو ملوث بغاز كلوريد الهيدروجين او احيانا بتفاعل Cu مع Cl مع الاوكسجين الجوي).
- ٢- الصدأ الحبيبي: صدأ غير متجانس يتواجد على حدود البلورة يحدث عندما تكون حبيبات المادة في صورة محلول وذات جهد أكثر ايجابية عن الذي وسط الحبيبة.
- ٣- الصدأ الاختياري: يحدث نتيجة لانفصال في أحد مكونات السبيكة وعادة ما يكون المكون الأكثر فعالية في السبيكة التي يوجد فيها أكثر من معدن.
- ٤- صدأ الفجوة: صدأ موضعي شديد يحدث بصورة متكررة داخل شقوق وفجوات يأخذ شكل بقع، يحدث هذا الشكل تحت الطبقة او تحت الراسب السطحي.
- ٥- صدأ الضغط: يحدث هذا الصدأ نتيجة الضغط المشترك لكل من الاجهاد الميكانيكي والوسط المتآكل مما يسبب تشقق ثم تصدع المعدن، إذ تتعرض معظم السبائك له.
- ٦- صدأ الاجهاد: يحدث هذا النوع بسبب تعرض المعدن لضغوط دائرية تنتج عن تعرض السائل في البيئة المتواجد بها المعدن او السبيكة الى ضغوط تؤدي لتولد حركة دائرية ينتج عنها تشققات وفجوات تعمل على اضعاف المعدن مسببة تصدع المعدن^(١٧).

الشكل ٥ يوضح تآكل العملات المعدنية بنسب مختلفة.

تتواجد عادة القطع الاثرية المختلفة (الفخار، القماش، السجاد، القطع المعدنية، الحلي الذهبية، القطع النحاسية، ...) وغيرها الكثير مطمورة في التربة، وتتفاوت في تعرضها للتلف الجزئي او الكلي، وتكون الاحياء المجهرية مسؤولة عن تحويل صور العناصر المعدنية الى اشكال اخرى؛ إذ تقوم البكتيريا المختزلة للكبريت بتحويل الكبريت المعدني الى صورة حامض الكبريتيك ثم يتحول الى غاز ويتطاير وتحدث هذه العملية تحت الظروف اللاهوائية. كما تنتج البكتيريا عدد من الانزيمات المساعدة لاختزال الكبريتات مثل انزيم ATP-Ase، اذ تعد تراكيز الكبريتات والمادة العضوية والتوازن البيولوجي وغيرها من العوامل البيئية المؤثرة في توزيع ونمو ونشاط البكتيريا في التربة^(١٩).

تؤثر العوامل البيئية على تركيب مجتمع Acidithiobacillus البكتيري وكثافته في التربة وكما يلي:

١- **الرطوبة:** تتحكم بنشاط البكتيريا من إذ الانقسام من أجل التكاثر، وكذلك توفر الغازات والتهوية إذ يكون النشاط الامثل للبكتيريا محصورا بين 50% و ٧٥% من سعة التربة المائية (٢٠).

٢- **التهوية:** إذ تنتشر البكتيريا الهوائية في طبقات التربة العليا وتسود على البكتيريا اللاهوائية، ولكن العكس يحدث في الاعماق إذ تتحول الظروف الى اللاهوائية مما يعيق نمو الاولى ويشجع نمو النوع اللاهوائي، وهو ما يسبب تآكل الاثار الصخرية والمعدنية المتواجدة في الاعماق. وبالحدوث عن الظروف التي تعيش فيها بكتيريا Acidithiobacillus فإنها تعيش في ظروف هوائية وتستطيع التحول للعيش في الظروف اللاهوائية حسب طبيعة المكان الذي تتواجد فيه (١٨).

٣- **الحرارة:** وتتحكم في جميع الفعاليات الحيوية الخاصة بالبكتيريا وبالاعتماد على الحرارة تقسم البكتيريا الى ثلاث اقسام رئيسية أولها وسطية Mesophiles وهي تعيش في درجات حرارة (15 - 45) م كدرجة مثلى وهي تمثل الغالبية الكبرى، يليها البكتيريا المحبة للحرارة Thermophiles وتنمو في حرارة (45 - 65) م، ثم النوع الثالث الاقل انتشارا وهي البكتيريا المحبة للبرودة Psychrophilic وهي تنمو بدرجة حرارة أقل من 15 م؛ وأما فيما يخص البكتيريا المحللة للحديد والنحاس فإنها تنمو في درجة حرارة تقريبا ٢٦ م.

٤- **المادة العضوية:** وهي تؤثر ايجاباً في اعداد الكائنات الحية، فكلما زادت نسبة المادة العضوية زاد النشاط البكتيري خلال فترة قصيرة تعقب اضافة المادة العضوية ثم تقل تدريجياً.

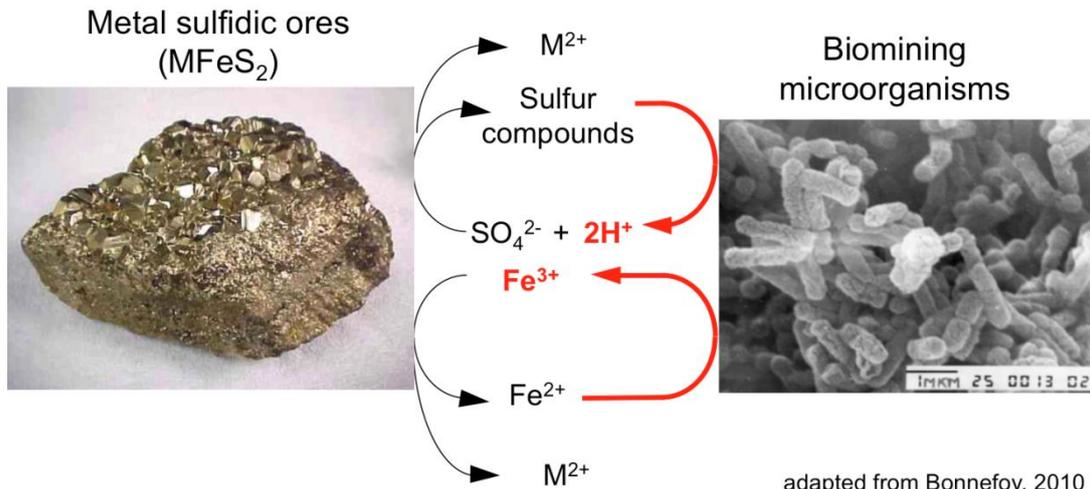
٥- **الدالة الحامضية:** وهنا تفضل معظم الاحياء الوسط المتعادل إذ تقل في الترب القاعدية والترب الحامضية، ولكن توجد ايضا بكتيريا محبة للحامضية وتستطيع العيش في $\text{pH} = 3$ ومنها البكتيريا Acidithiobacillus إذ انها تستطيع العيش في الوسط الحامضي لأنها تتعامل مع حامض الكبريتيك (١٩).

٦- **العناصر المعدنية:** تحتاج البكتيريا والكائنات المتواجدة في التربة الى العناصر المعدنية اضافة الى المواد العضوية وغير العضوية، وان اضافتها للتربة لها تأثير مزدوج على النبات والاحياء المجهرية، وهو ما يحصل عند بكتيريا Acidithiobacillus إذ يتحكم وجود عنصري الحديد والنحاس في نموها وان تكون سببا في تآكل الاثار الصخرية والمعدنية (٢٠).

الاستنتاجات

- ١- تؤثر العوامل البيئية بشكل مباشر او غير مباشر على تحلل وتآكل القطع الاثرية الحجرية والمعدنية، وتسبب خرابها بدرجات متفاوتة بالاعتماد على شدة العامل ومكونات القطع الاثرية المعرضة للتلف.
- ٢- تؤثر بكتيريا *Acidithiobacillus* على القطع الاثرية المعدنية بشكل مباشر من خلال الية الاحلال، إذ تعمل على استبدال عنصر مكان اخر محدثاً تلف المعادن.
- ٣- تتأثر القطع الحجرية بعوامل البيئة من خلال زوال النقوش الخارجية أو من خلال التأثير على مكونات البناء وبدرجات متفاوتة حسب شدة العامل والمكونات.

الملاحق والاشكال



شكل - ١ : بكتيريا الكبريت والحديد *Acidithiobacellus* تحت المجهر ، وطريقة معيشتها



شكل - ٢ : تمثال معدني يوضح التآكل والصدأ غير المتجانس.



شكل - ٣ : تمثال حصان معدني فيه صدأ كهرو كيميائي مسبب تلفا نسبيا.



شكل - ٤ : تمثال حجري متآكل جزئيا بسبب البكتيريا



شكل - ٥ : عملات معدنية متآكلة بنسب متفاوتة

الهوامش

References

- 1- David, B. 1990. Weathering and Decay of Masonry in Conservation of Building and Decorative Stone Edited by Ashurst & Dimes. Part 1, p: 169.
- 2- Wilimzig, M. and Bock, E. 1995. Biological Material Testing. ICCROM, Rome. PP: 87-99.
- 3- Child, A.M. 1995. Towards and Understanding of the Microbial Decomposition of Archaeological Bone in the Burial Environment. Journal of Archaeological Science, 22(2). Pp:165-174.
- 4- Hollesen, J. and Matthiesen, H. 2015. The Influence of Soil Moisture, Temperature and Oxygen on the Oxidic Decay of Organic Archaeological Deposits. Archaeometry , 57(2). Pp: 362-377.
- 5- Kumar, R. 1999. Biodeterioration of Stone in Tropical Environment. GCI, USA. P: 14.
- 6- Wolters, B. and Others. 1988. Nitrification the Main Source for Nitrate Deposition in Building Stones. In the VI International Congress on Deterioration and Conservation of Stones. Torun. P: 24.
- 7- Booth, T. J. 2016. An Investigation into the Relationship Between Funerary Treatment and Bacterial Bioerosion in European Archaeological Human Bone. Archaeometry, 58(3). Pp: 484-499.



- 8- Stuart, B. H. and Ueland, M. 2017. Decomposition in Aquatic Environments. Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment. Pp: 235-250.
- 9- Mickleburgh, H. L. and Wescott, D. J. 2018. Controlled Experimental Observations on Joint Disarticulation and Bone Displacement of a Human Body in an Open Pit: Implications for Funerary Archaeology. Journal of Archaeological Science. Reports, 20. Pp: 158-167.
- 10- Perrotti, A. G. and Van Asperen, E. 2019. Dung Fungi as a Proxy for Megaherbivores: Opportunities and Limitation for Archaeological Applications. Vegetation History and Archaeobotany, 28(1). Pp: 93-104.
- 11- Dirkmaat, D. C. and Cabo, L. L. 2016. Forensic Archaeology and Forensic Taphonomy: Basic Considerations on How to Properly Process and Interpret the Outdoor Forensic Scene. Academic Forensic Pathology, 6(3). Pp: 439-454.
- 12- Bradtmoller, M., Grimm, S., and Riel-Savatore, J. 2017. Resilience Theory in Archaeological Practice – An Annotated review. Quaternary International, 446. Pp: 3-16.
- 13- Morrow, J. J., Newby, J., Piombino-Mascalì, D., and Reinhard, K. J. 2016. Taphonomic Considerations for the Analysis of Parasites in Archaeological Materials. International Journal of Paleopathology, 13. Pp: 56-64.
- 14- Booth, T. J., Redfern, R. C., and Gowland, R. L. 2016. Immaculate Conceptions: Micro-CT Analysis of Diagnosis in Romano-British Infant Skeletons. Journal of Archaeological Science, 74. Pp: 124-134.
- 15- Lian, B., Chen, Y., Zhu, L. And Yang, R. 2008. Effect of Microbial Weathering on Carbonate Rocks. Earth Science Frontiers, 15(6). Pp: 90-99.
- 16- Raquel, Q., Corinne, A-A., Yann, D., Eugenia J., David, S. H. and Violaine, B. 2009. Extending the Models for Iron and Sulfur Oxidation in The Extreme Acidophile Acidithiobacillus ferrooxidans. BMC Genomics, 10. Pp: 394-413.
- 17- Stephane, U., Cristophe, C., Marie-Pierre, T. and Pascale, F-K. 2009. Mineral Weathering By Bacteria: Ecology, Actors and Mechanism. Cell Press, 5(4). Pp: 378-387.
- 18- Maluckov, B. S. 2017. The Catalytic Role of Acidithiobacillus ferrooxidans for Metal Extraction from Mining-Metallurgical Resource. Biodiversity Int J, 1(3): 00017.
- 19- Carmen, F. and D. Barrie. J. 2016. Acidithiobacillus ferriphilus sp. Nov., A Facultatively Anaerobic Iron- and Sulphur-Metabolizing Extreme Acidophile. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 66. Pp: 206-211.
- 20- Al-Hilali, Bara'a Mohammed Ibrahim. (2017). Environmental factors affecting the decomposition of organic sequel. Al Malweah for Archaeological and Historical Studies, 4 (9). Pp: 197-210.