

### عوامل التلف والحفظ

(١، ٢) مقدمة

يعتمد تلف المواد وحفظها على أمرين أساسيين:

طبيعة المادة التي سيتم نقاشها في الفصول ٤ و ٥ و ٦.

البيئة المحيطة بالمادة التي هي موضوع هذا الفصل.

في بعض الأحيان من الصعب التفريق بين هذين الوجهين (التلف والحفظ)، حيث إن بقاء مادة معينة قد يعزى إلى مقاومتها للتحلل، ومن ناحية أخرى إلى عامل البيئة المعتدلة، سواء في باطن الأرض أو في المتحف. غير أنه يمكن فهم هذا العامل من خلال محاولة تحديد العوامل البيئية التي قد تساعد على تلف القطع الأثرية المكتشفة، أو حفظها.

في هذا الفصل، وبعد وصف عوامل التحلل والحفظ، يتم نقاش تأثيرها على المواد. وهذه العوامل تسبب التلف بطريقتين بارزتين:

**التحلل الطبيعي:** تفكك بنية المواد مثل تكسر الحجارة وتفتتها بواسطة الصقيع، وتآكل الحجارة الناعمة بواسطة الماء المتدفق، وتشوه شكل القطع المصنوعة من الرصاص بواسطة الوزن المفرط.

**التحلل الكيميائي:** تغير التكوين الكيميائي للمواد، حيث يعمل الماء والهواء على تآكل الحديد، وتذيب الأحماض المواد الجيرية، وتحلل البكتيريا الجلد. من ناحية أخرى، يمكن أن تحفظ القطع الأثرية، إما لغياب كل عوامل التآكل أو بعضها، أو لإضافة العوامل التي تساعد على حفظها، ومن ثم يمكن أن يحفظ الحديد في غياب الرطوبة أو بوجود الفوسفات، والخشب بغياب الأوكسجين أو بوجود أملاح النحاس. وبينما تكون العديد من عوامل التحلل والحفظ في البيئة مألوفة، مثل درجات الحرارة، والرطوبة، والحموضة، تكون الكائنات الحية الدقيقة أقل ألفة. وقبل البدء في مناقشة كيفية تأثير هذه العوامل، بما في ذلك الكائنات الدقيقة، في القطع الأثرية، فإنه من الواجب معرفة كيفية تأثيرها نفسها بالبيئة، سواء أكان ذلك في فترة ما قبل التنقيب أو بعده.

#### (٢,١,١) الكائنات الحية (Organisms):

تحتاج الكائنات الحية كافة إلى قدر من الماء، ومن ثم فإنها لا تتحمل حالة الجفاف، ولا البرودة أو الحرارة العالية. والعديد منها لا يعيش في المستويات العالية من الملوحة، أو في صداد النحاس، أو في وجود نوع معين من المواد الكيميائية العضوية المعقدة. ويمكن استخدام هذه المواد كسميات لقتل الفطريات.

#### (٢,١,١,١) النباتات والحيوانات

كلا هذين النوعين من الكائنات الحية يحتاج للأوكسجين للتنفس، ويعدّ إطلاق الطاقة للأنشطة أمراً أساسياً للحياة.

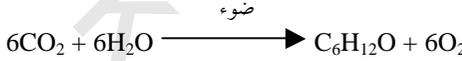


كربوهيدرات

وتعني عملية التنفس الهوائي، التي تتطلب الأوكسجين، أن الكائنات الحية لا تعمل في بيئة خالية من الأوكسجين، وعليه فإن جذور النبات لا تحترق الترسبات الخالية

من الأكسجين. وبناءً على ذلك نستطيع أن نؤكد عدم وجود كائنات حية مثل الديدان الأرضية والحشرات. وتختلف نسبة الأكسجين التي يمكن أن تعيش بها هذه الكائنات الحية، لكن يجب أن يكون هناك أكسجين كاف لكل نوع. وبينما تحصل معظم الحيوانات على الطاقة من خلال عملية الهضم، فإن النباتات تحصل عليها من خلال عملية التمثيل الضوئي:

التمثيل الضوئي:



ومن ثم فإن النبات الأخضر يقتصر وجوده على المناطق التي تتعرض لضوء كاف.

### (٢, ١, ١, ٢) الكائنات الحية الدقيقة (Micro-Organisms)

لما كانت الكائنات الحية أكثر بدائية، فإنها أكثر عرضة للتغيرات البيئية، إلا أن هناك أصنافاً معينة قد تكيفت لتحمل درجات أكثر حدة من الرقم الهيدروجيني pH (درجة الحموضة)\*، أو الجفاف، أو عدم وجود الأكسجين. ويختلف مدى درجات الحرارة والرقم الهيدروجيني pH الذي تكون الأصناف المختلفة فيه نشطة، لكن - في العادة - يغطي هذا حوالي الرقم الهيدروجيني pH 4، لكل صنف. ولا يكون أيض الكائنات الدقيقة فعالاً بشكل خاص وهي تفرز الأحماض العضوية التي يتم تحليلها في أكثر الكائنات الحية فعالية لتوفير طاقة أكثر. في العادة لا يمكن رؤية الكائنات الدقيقة المفردة بالعين المجردة، وإنما ترى في مستعمرات أو مجموعات.

\* pH هو مقياس لدرجة الحموضة والقلوية من ١ إلى ١٤، حيث إن الماء يمثل ٧ فإذا زاد هذا الرقم زادت القلوية وإذا نقص زادت الحموضة. المترجم.

**الطحالب (Algae):** هي نباتات بسيطة جداً تعيش في الأماكن الرطبة أو في مياه البحر أو المياه العذبة. ويمكن أن تظهر في شكل وحل أخضر أو بني اللون أو عوالق في الماء. تعطي الزيادة المفاجئة في أعدادها لوناً ناصعاً كثيفاً يعرف بالتزهير. ويعد النوع البحري أكبر أنواع الطحالب. وحيث إنها هوائية ولها تمثيل ضوئي، فإنها مقيدة بفقدان الأوكسجين والضوء في المياه الصافية في المحيطات حتى عمق ١٠٠ متر، أما عند مصب النهر فينخفض إلى ٣ أمتار.

**الفطريات (Fungi):** وهي كائنات حية بسيطة، توجد عادة في شكل خيط خلوي طويل (hyphae). وتعد أكبر مجموعة من الفطر مسؤولة عن تلف المواد تشمل فطر (Mushroom) مثل الفطر المتعفن الجاف، حيث يمكن رؤية كتلة الخيوط تساب عبر المواد العضوية التي تتغذى عليها الفطريات. في كثير من الأحيان، تفرز الفطريات إنزيمات تقوم بتحليل المواد العضوية إلى وحدات كيميائية صغيرة، يمكن، بعد ذلك، امتصاصها بواسطة هذه الخيوط. وبينما تستخدم الفطريات أنواعاً شتى من المواد العضوية بهذه الطريقة لغذائها، فإن هناك أنواعاً خاصة لا تتغذى إلا على أنواع معينة من المواد العضوية. ويمثل فطر العفن المجموعة الثانية من الفطريات، وهي ليست بتلك الفعالية في تحليل المواد العضوية، حيث إنها تحتاج لوحداث كيميائية صغيرة للغذاء. لسوء الحظ، بالنسبة للمعثورات العضوية المكتشفة، فإنها تنتج جزيئات صغية تكون - في أغلب الأحيان سوداء أو ذات لون فاتح. وكل الفطريات هوائية تحتاج للأوكسجين للتنفس، ماعدا الخميرة أحادية الخلية فإنها مستثناة من هذه القاعدة. أما الفطر المسؤول عن تلف القطع الأثرية فيحتاج إلى نسبة رطوبة لا تقل عن ٦٥٪، وأن يكون هناك توازن فيما بين هذه الرطوبة والأوكسجين. عموماً، يمكن أن ينمو الفطر في أماكن أكثر حموضة من الكائنات الدقيقة الأخرى، لكنها تزدهر بالقرب من الرقم الهيدروجيني pH المحايد (٧).

**الأسنة (Lichens):** هي كائنات حية تنمو في مستعمرات ترى بالعين المجردة، مرتبطة بالطحلب والفطر. وهذا يعني أن لها القدرة على تحمل درجات عالية من الجفاف والرطوبة. ومثل الكائنات الحية الأحادية الأخرى، فهي هوائية وتفرز كمية كبيرة من الأحماض العضوية.

**البكتريا (Bacteria):** تشكل هذه مجموعات كيان ذات خلية واحدة، بحجم لا يتجاوز ١-٢ ميكرومتر فقط، وتقدر بثلاثة بلايين في الجرام الواحد. قد لا ترى بالعين المجردة، ولكن، في العادة، يمكن شمها، حيث إنها تفرز رائحة مميزة. وعندما تتوفر بكميات كبيرة في المواد الصناعية، قد تظهر إما في شكل بقع ملونة، حيث إن العديد منها ينتج جزئيات صبغية، أو في شكل قشريات، أو في شكل مواد لزجة. تتألف إحدى مجموعات الكائنات الحية التي تعرف بالأكتينوميستس (Actinomycetes) من سلاسل خلايا تشبه البكتريا تنتج أيضاً روائح ومواد لزجة. وتفرز البكتريا إنزيمات لتفكيك أنواع مختلفة من المواد العضوية، وهي هوائية مثل الفطر، غير أن هناك مجموعة فرعية منها ليست هوائية، ولا تحتاج إلى أكسجين للتنفس. وعوضاً عن ذلك، فإنها تؤكسد طعامها المولد للطاقة عن طريق اختزال المواد الكيميائية غير العضوية مثل الكبريتات (Sulphates)، والنترات (Nitrates)، وثاني أكسيد الكربون (Carbon dioxide)، والمنجنيز (Manganese IV) وحتى الحديدك (Iron III). وهذا النوع من التنفس غير كافٍ، ومن ثم فإنها تفرز أحماضاً عضوية بدلاً عن ثاني أكسيد الكربون نتيجة لذلك، لكن لا يعني هذا أنها تستطيع أن تبني مستعمرة في الترسبات غير الهوائية. ويستطيع عدد محدود من هذه البكتريا أن يحلل القطع الأثرية العضوية، لكن للبعض منها تأثيراً غير مباشر على كل من المواد العضوية وغير العضوية. وهناك نوع من البكتريا المختزلة للكبريت اللاهوائية (SRB) مثل (Desulphovibrio). فهي تختزل

الكبريتات (Supahes) إلى كبريتيدات (Sulphides)، ويمكن اكتشاف نشاطها بسهولة برائحة "البيض المتعفن" كبريتيد الهيدروجين (Hydrogen Sulphide)، وبالسواد المترسب على المعادن نتيجة تكوّن الكبريتيدات. وبينما تنمو البكتيريا في التربة الرطبة، كما تفعل الفطريات، فإنها تحتاج في نشاطها إلى نسبة رطوبة عالية في الجو تصل إلى ٧٠٪. ووجودها مرتبط بدرجة الحموضة، حيث تفضل مستوى رقم هيدروجيني (pH) يتراوح بين ٦ - ٨. وأيضاً فإن بعضها لا يستطيع العيش في منطقة مضاءة.

### (٢, ٢) البيئة الأثرية

تستخرج معظم القطع الأثرية من بيئات مكثت فيها ما بين مائة سنة وعدة آلاف من السنين. وحيث إن جميع القطع الأثرية معرضة للتلف (كما تبين قوانين الديناميكا الحرارية أن بنية أي نظام تنهار في شكل فوضى)، فإن اكتشاف معثورات أثرية غير تالفة، بعد مدة طويلة من الزمن، يدل على وجود سبب ما وراء ذلك. قد يكون ذلك لغياب عوامل التلف أو لوجود بيئة مناسبة حافظت على هذه القطع الأثرية.

بمعنى آخر، إن سرعة تفاعل عوامل التلف في القطع الأثرية ليس أمراً مهماً، وإنما يؤخذ في الاعتبار وجودها أو غيابها أو تعطل نشاطها. وتزداد أهمية ذلك كلما طالت فترة وجودها في باطن الأرض. ومع أن معدل التلف يكون سريعاً على المادة الأثرية، سواء المدفونة أو المهجورة إلا أن بعض المخلفات لها القدرة على تخفيض معدل سرعة التلف إلى ما يقارب الصفر. فإذا لم يحدث ذلك، فإن تركيب المادة سيتغير ليصبح في توازن مع البيئة، إما للبقاء أو للتحلل الكلي. وفي كثير من الأحيان، تحتفظ القطع الأثرية القادرة على البقاء بالشكل الأصلي لها، وتعرف هذه العملية بالاستبدال

أو الإحلال كاذب الشكل (Pseudomorphic). بينما تظل نسبة بسيطة من المواد الأثرية غير متأثرة بعوامل التلف نتيجة لوجودها في مقابر<sup>(١)</sup>.  
 (٢,٢,١) عوامل التحلل في البيئة الأثرية<sup>(٢)</sup>  
 (٢,٢,١,١) الماء

يوجد الماء في التربة الأثرية داخل التجاويف بين الجزيئات المعدنية وحطام المواد العضوية أو يمتص على السطوح النشطة للطين والديبال\*. ويبقى الماء في داخل التجاويف إذا لم يجد مصرفاً له نتيجة لوجود طبقة تحتية صلبة غير نافذة للماء أو نتيجة لارتفاع منسوب الماء، كما في الترسبات البحرية أو عند مصب الأنهار. الماء، الذي في تجاويف أكبر من (١,٠) مليمتر، ممكن التصريف ولكن الماء الموجود في التجاويف الدقيقة صعب تصريفه، وذلك بسبب قوى السطح المعروفة باسم الجاذبية الشعرية. ومن ثم فإن الماء يبقى محفوظاً في مواد مثل الطين والوحل وحول جزيئات التربة (المتحدة مع الماء).

وبينما يمكن أن يلحق الماء ضرراً فيزيائياً وكيميائياً بالقطع الأثرية، فإنه يعرف باسم "العامل المحفز"، حيث إنه يحفز العديد من عوامل التحلل الأخرى، وبالتالي فإنه يسهل معظم التفاعلات الكيميائية، ويمكن من نمو الكثير من الكائنات الحية. وأيضاً يتحرك الماء بسرعة، عبر ترسبات الرمل أو الحصى الخشنة، فإنه يقوم فيزيائياً بالاحتكاك بالمواد الناعمة مثل الفخار أو العظم. ويمكن أن يكون الاحتكاك الذي تحدثه تيارات الماء مضرًا جداً على القطع الأثرية المغمورة به، عندما تكون قوية أو تحتوي على جزيئات احتكاك مثل الرمل. إضافة إلى أن الماء إذا تجمد في القطع الأثرية المسامية، ومنها بعض الأحجار، فإن له القدرة على التمدد بمقدار ٩٪ من

\* الديبال مادة تنشأ من تحلل المواد النباتية وتشكل جزءاً من التربة المترجم.

حجمه تقريباً، وهذا يسبب تلفاً كبيراً جداً للمادة الأثرية. والدورات المتتالية للتجمد والذوبان هي التي تسبب التلف الملحوظ لتلك المواد الأثرية.

وتحتوي العديد من المواد العضوية على الماء داخل الألياف والخلايا (القسم ١,١,٦) إلى المستوى الذي يحدث فيه توازن بين الماء الذي داخل القطعة الأثرية والجو المحيط. وعندما تتعرض هذه القطع الأثرية لبيئات أكثر بلاءً أو جفافاً، كما يحدث في أماكن الدفن، فإنها تتبلل فتتفخ أو تفقد الماء فتتكمش. وللماء دور غير مباشر ولكنه مهم جداً في تلف القطع الأثرية المسامية المنفذة للسوائل المشبعة بالأملاح، كما سيأتي في (القسم ٢,٢,١,٥).

والماء مادة كيميائية يدخل في تكوين الكثير من القطع الأثرية. في بعض الأحيان، هناك مواد أثرية، مثل المواد الغروية، تذوب في الماء، ولكن في كثير من الأحيان فإنه قد يحدث ترشيح فقط لمكونات المواد الأكثر ذوباناً في الماء. أما المواد غير القابلة للذوبان فقد تتحلل كيميائياً بواسطة الماء، أي أنها تتحلل لإنتاج مواد أخرى قابلة للذوبان في الماء أو غير قابلة. ومن ثم فإن العديد من الأصماغ العضوية تذوب في الماء إلى أن تتحول إلى جزيئات صغيرة لا ترى. أيضاً يمكن أن يتحد الماء مع بعض المواد الكيميائية، فمثلاً عندما يكون حجر الجير غير المطفأ في شكل جبس، يكون الجير مطفأً، وهذا يؤدي إلى تقشرات في سطح الجير (القسم ٢,٣,٤). وبعد الماء جزءاً أساسياً في عملية التآكل، والتفاعلات الكهروكيميائية التي تؤدي إلى حركة الإلكترونات. هنا يسمح "العامل المحفز" للمواد الكيميائية بتكوين الأيونات التي هي جزيئات مشحونة كهربائياً، مما يسمح بنقل الإلكترونات ومن ثم تسريع التفاعلات الكيميائية.

## (٢,٢,١,٢) الأكسجين

يوجد الأكسجين في التربة على شكل غاز، ومن ثم فإن الكمية الموجودة تكون في تناسب عكسي مع كمية الماء الموجودة في التجاويف والمسام (القسم ١,٢,٢). وتتراوح نسبة الأكسجين من صفر إلى ٢١ ٪، حيث تكون المستويات منخفضة نتيجة لإزاحة ثاني أكسيد الكربون الذي يحدث نتيجة لعملية تنفس جذور النبات والكائنات الدقيقة في التربة. وتزيد نسبة الأكسجين في المسام نتيجة لتسربه في التربة. وهذه المستويات العالية من الأكسجين متوقعة عندما يكون محتوى الماء في المسام منخفضاً، ومسامية التربة عالية، ويحدث هذا عندما تكون جزيئات التربة كبيرة وقريبة من سطح الأرض. والأكسجين يذوب في الماء الموجود في المسامات، كما هو في البحر والمياه الداخلية. ومستوى الأكسجين في المياه متغير بشكل كبير، ولكنه يكون زائداً عند طبقات مستوى سطح البحر المضطربة وفي الأعماق حيث يطلق النبات الأكسجين في عملية التمثيل الضوئي، أو في تدفق التيارات الغنية بالأكسجين. يعدّ الأكسجين عاملاً مؤكسداً، ومن ثم يشترك في العديد من التفاعلات. وستناقش هذه التفاعلات في (القسم ٢,٢,١,٤). علاوة على ذلك، فإن وجود الأكسجين أو عدمه هو الذي يسيطر سيطرة تامة على نشاط الكائن الحي، وعليه فدوره رئيس غير مباشر في عملية تلف المواد.

## (٢,٢,١,٣) الحموضة والقلوية

إن الرقم الهيدروجيني (pH) للترسب يصف تركيز أيونات الهيدروجين الموجود ( $H^+$ )، والرقم الهيدروجيني (pH) يعدّ مهماً في البيئات التي تحتوي على الماء، الذي تكون فيه الأيونات في حالة حركة. وتزيد الحموضة (pH منخفض) لعدة أسباب، ولكننا نستعرض هنا أهم سببين مباشرين وهما:

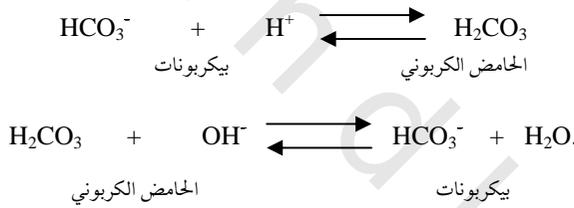
أ- عندما تكون نسبة القلويات قليلة (كاتيونات) (Cations). تكون جزئيات الطين والوحد مشحونة سالباً، ففي غياب القلويات ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ )، فإنها ستحاط بدلاً عن ذلك بـ  $H^+$  مما يسبب هبوطاً في الرقم الهيدروجيني (pH). وتتج القلويات من ذوبان جزئيات الصخور، ولكن في المناطق الغزيرة الأمطار وقليلة التبخر، تزيد الحموضة. ويظهر هذا جلياً عند إنتاج أيونات الألمونيوم، حيث إنها قد تتسبب في انخفاض الرقم الهيدروجيني (pH) إلى ٣ عن طريق التحليل المائي.

ب- عند تحلل المواد العضوية غير المكتمل؛ إذا لم يستطع الأكسجين اختراق المادة العضوية أثناء تلفها، فإن التنفس الهوائي الابتدائي سيتبعه تحلل هوائي، ينتج كميات كبيرة من الأحماض العضوية. ففي المناطق التي لا يمكن فيها التخلص من الأحماض، يهبط الرقم الهيدروجيني (pH) بشكل كبير ويتوقف نشاط الكائن الحي، مما يتسبب، على سبيل المثال، في تكوين رواسب طينية في قاع البحار أو مستنقعات الأنسجة النباتية المتفحمة. وتكون الترسبات القلوية (الرقم الهيدروجيني (pH) بين ٧-٩) شائعة عندما تتجاوز نسبة التبخر نسبة تساقط المطر، كما هو الحال في مناخ المناطق الجافة. إن أي قلويات تتكون نتيجة تحلل جزئيات الحجارة، تظل في التربة، حيث إن حركة الماء إلى أعلى، بواسطة التبخر، أسرع مما يزيله المطر المتساقط. وعليه، فإن الترسبات القلوية ذات الرقم الهيدروجيني (pH) ٧-٩ توجد في البيئات الجافة وشبه الجافة.

عموماً فإن ترسبات الرقم الهيدروجيني (pH) نادرة للغاية. وهذا في العادة بسبب وجود جزئيات (الغرويات) الطين الصغيرة المشحونة أو الوحد، التي تحتوي

على أيونات قلوية يمكن أن تتحرر في الأماكن الحمضية، مما يمنع هبوط الرقم الهيدروجيني (pH). وتختلف هذه القدرة من مكان إلى آخر، وتعرف بقدرة التبادل القلوي.

ويحتوي ماء البحر على نسبة ثابتة ٨.٢ من الرقم الهيدروجيني (pH) حيث إنه، كما في بعض الترسبات، يحدث له استقرار بواسطة المثبت (البيكربونات  $\text{HCO}_3^-$ ). ويعتمد هذا المثبت على عدد كل من أيونات البيكربونات التي تتفاعل مع أي زيادة في  $\text{H}^+$  لتعطي حامضاً كربونياً غير مترابط، مما يمنع هبوط الرقم الهيدروجيني (pH). والحامض الكربوني الضعيف الذي يتفاعل مع أي زيادة لأيونات الهيدروكسيل  $(\text{OH}^-)$ ، مما يمنع ارتفاع الرقم الهيدروجيني (pH):



وفي الترسبات، يمكن أن تظهر الكربونات من حجر الجير المذاب، والطباشير، والملاط، وغيره، وفي البحر من الهياكل الجيرية للكائنات الحية البحرية. عندما تكون نسب هذه الكربونات ملائمة، يمكن أن يثبت الرقم الهيدروجيني (pH) في الترسب بين ٧ و ٨.٥.

ذكرنا سابقاً الأسباب الرئيسة لمجمل الرقم الهيدروجيني (pH) في التربة، إلا أنه من المؤكد أن هناك اختلافات محلية للرقم الهيدروجيني (pH) تحدث في داخله. يمكن أن تكون هذه الاختلافات نتيجة لظاهرة طبيعية مثل التي توجد حول جذور النبات أو عندما تكون الكائنات الهوائية نشطة، حيث ينتج التنفس هنا كميات كبيرة من ثاني

أكسيد الكربون الذي يتفاعل مع الرطوبة ليكون حامض الكربونيك ( $H_2CO_3$ ). وبشكل مغاير، يمكن إنتاج هذه الظاهرة اصطناعياً، فمثلاً، إن كل ترسبات رماد الخشب، أو الملاط أو حجر الجير تذوب ببطء في التربة، معطية مناطق محلية قلوية. إن دراسة البيئات الدقيقة معقدة جداً، ولنقاش أكثر حول هذا الموضوع، وكذلك لوصف أكثر للتربة وللرقم الهيدروجيني (pH) البحري، والذي تم تبسيطه للضرورة، فإن الأمر يحتاج لكتب متخصصة<sup>(٢)</sup>.

يتأثر استقرار المواد بشكل كبير بالرقم الهيدروجيني (pH): فبعض المواد تكون مستقرة عند الحامض، والبعض عند القلوي، والبعض الآخر محايد عند الرقم الهيدروجيني (pH). على سبيل المثال، يمكن أن يسرع أي من الرقم الهيدروجيني (pH) العالي أو المنخفض من التحلل المائي للمواد العضوية، حيث تتأثر البروتينات بشكل خاص بالرقم الهيدروجيني (pH) العالي (أي القلوي)، والسيلولوز بالرقم الهيدروجيني (pH) المنخفض (أي الحمض). فمثلاً كربونات الكالسيوم الموجودة في إناء من حبيبات كلسية أكثر سهولة في الترشيح عند الرقم الهيدروجيني (pH) المنخفض (أي الحمض)، بينما يمكن أن يترسب أكسيد الحديد، الذي قد يكون الشاهد الوحيد لأداة معدنية متآكلة في ترسبات هوائية بشكل ضعيف، ومن ثم يتم الاحتفاظ به عندما يرتفع الرقم الهيدروجيني (pH) إلى حوالي ٥,٥، وفيما دون هذا فإن أكسيد الحديد يكون نشطاً، ومن ثم تتحلل المادة الأثرية.

#### (٢,٢,١,٤) فرق الجهد (الاختزال - الأكسدة) (Redox potential)

سواء كانت التربة مختزلة أم مؤكسدة فإن ذلك يؤثر في حركة كيميائيات معينة واستقرارها وكذلك في نشاط البكتيريا (القسم ٢,١,٢). وعندما يكون الأكسجين متوافراً بكثرة، فإنه يسيطر على تفاعلات الأكسدة والاختزال الحاصلة. وتكون

العناصر في شكلها المؤكسد الخاص بها، ومن ثم فإن أي حديد موجود ستم أكسدته إلى الحديدك (Iron III). وعندما يكون تركيز الأكسجين قليلاً، فإن عوامل الأكسدة والاختزال القليلة تصبح مهمة. وحيث إن عوامل الأكسدة والاختزال كثيرة، في العادة، فإن التفاعلات المتوقعة تكون معقدة جداً، ومن ثم فإن تحديد نتيجة تفاعلاتها يحسب بالنتائج. وعليه، فإن الرقم الكلي للترسبات، فرق الجهد (Eh)، يقاس بالميلي فولت ومن ثم يمكن تصنيف الترسبات كما يلي :

ترسبات مؤكسدة	+ ٧٠٠ إلى + ٤٠٠ ميلي فولت
ترسبات مؤكسدة على نحو معتدل	+ ٤٠٠ إلى + ١٠٠ ميلي فولت
ترسبات مختزلة	+ ١٠٠ إلى - ١٠٠ ميلي فولت
ترسبات عالية الاختزال	- ١٠٠ إلى - ٣٠٠ ميلي فولت

وعلى هذا يمكن التوقع بحركة الكيمياء التي تخضع للأكسدة والاختزال واستقرارها ولونها، على سبيل المثال، عندما تكون احتمالية الأكسدة - الاختزال أقل من ٢٠٠ ميلي فولت، فإن الشكل الثابت من الحديد، سواءً كان المعدن متأكلاً أم متلوثاً من الترسيب فقط، فإنه يكون حديدوزاً (Iron II) ذا لون أسود، بينما إذا كانت احتمالية الأكسدة - الاختزال أكبر من ٢٠٠ ميلي فولت، فإن يكون حديدك (Iron III) ذا لون أحمر بنياً.

وعندما يكون الترسيب مختزلاً باعتدال، فإن المنجنيز (Manganese) يكون في شكل منجنيز (Manganese II) نشط، بينما يترسب في شكل منجنيز أسود (Manganese VI) في الترسبات المؤكسدة. وهذه الكيمياء لا تلون فحسب، بل بوسعها أن تلطخ المواد الأثرية، خاصة الفخار المسامي.

ويجب ملاحظة أن فرق الجهد لأي محلول مرتبط بالرقم الهيدروجيني (pH)، حيث إن أيونات الهيدروجين يمكن أن تشارك في تفاعلات الأكسدة، وذلك بقبولها

للإلكترونات. وعليه، نظرياً، إذا ما ارتفع الرقم الهيدروجيني (pH) للترسب، فإن فرق الجهد يهبط؛ وعملياً، فإن هذا التأثير قد لا يكون ظاهراً بشكل واضح، إذ إن نظام التربة معقد جداً.

### (٥، ١، ٢، ٢) الأملاح

إن تفاعل القواعد مع الأحماض يكون أملاحاً؛ مثل كربونات الكالسيوم أو كلوريد الصوديوم. فعندما تذوب، فإنها تنفصل إلى أيونات الكالسيوم  $Ca^{2+}$  والكربونات  $HCO_3^-$ ، وكذا الصوديوم ( $Na^+$ ) والكلور ( $Cl^-$ ). وتعد تعرية الصخور المصدر العام للأيونات التي تكوّن الأملاح في التربة، وعليه يتم اشتقاق ( $HCO_3^-$ )، ( $Na^+$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $K^+$ ،  $Cl^-$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $HCO_3^-$ ) والسيليكات. إضافة إلى ذلك فإن ( $HCO_3^-$ ) ينتج من ذوبانه وتفاعله مع ثاني أكسيد الكربون في الجو، ومن تحلل المواد العضوية. يعمل هذا التحلل أيضاً على إنتاج أحماض عضوية تنتج أملاحاً. وقد تظهر مستويات عالية من الصوديوم ( $Na^+$ ) والكلور ( $Cl^-$ ) بعد غمرها في ماء البحر أو رذاذ الملح. ويزيد الإنسان هذه الأملاح من خلال بعض نشاطاته الحيوية، فظهور الفوسفات ( $PO_4^{3-}$ ) من الفضلات أو العظام أمر معروف. وتحتوي فضلات الحيوان والإنسان أيضاً على  $Cl^-$ ،  $NO_3^-$ ، ويحتوي رمد الخشب على ( $Na^+$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $K^+$ ،  $SO_4^{2-}$ ،  $HCO_3^-$ )، بينما تنتج المواد الأثرية التالفة مواد كثيرة السيليكات (Silicates) من الزجاج إلى  $Fe^{3+}$  و  $Cu^{2+}$  (من المعادن) بكميات كبيرة. ويضيف صانعو الأسمدة فوسفات أكثر إلى التربة، ويرتفع التلوث الجوي، في شكل ثاني أكسيد الكبريت (Sulphur dioxide)، ومن ذلك يرتفع مستوى الكبريتات. وبخلاف التربة والمياه الداخلية، فإن لمعظم ماء البحر تكويناً ثابتاً من الأملاح الذائبة، مع اختلافات بسيطة تحدث في البحار الداخلية. وتعدّ أيونات الصوديوم والكلور من الأيونات الرئيسة، إلا أن مستويات ( $SO_4^{2-}$ ) عالية أيضاً. ويتوافر أي نوع آخر من الأيونات أو الكاتيونات في البحر بدرجات مختلفة تزيد أو

تنقص ، وتختلف تركيزاتها الفردية بشكل بسيط جغرافياً وموسمياً ما لم تكن داخلية في عمليات بيولوجية.

عندما يصل زوج أيونات (موجب وسالب) إلى مستوى التركيز الحرج في الماء ، فإنه يتحد ليشكل ملحاً صلباً. ويتم بلوغ مستوى التركيز الحرج ، والذي يعرف بقابلية ذوبان الملح ، عن طريق تدفق الأيونات أو عن طريق تبخر الماء. وتعتمد قابلية الذوبان على كل من الموجب والسالب من الأيونات ، وتتأثر بدرجة الحرارة. ومع ارتفاع الحرارة تزيد القابلية للذوبان باستثناء بعض المركبات مثل كبريتات الكالسيوم (Calcium sulphate) ، فإن قابليتها للذوبان في الماء الدافئ أكثر منها في الماء الساخن. ولجميع الأملاح درجة معينة من القابلية للذوبان في الماء ، إذ إن لبعضها قابلية بسيطة جداً يمكن تجاهلها ، فيشار إليها أنها غير قابلة للذوبان. الجدول التالي يوضح قابلية الذوبان النسبية لبعض الأملاح :

الجدول رقم (١، ٢). قابلية الذوبان النسبية للملاح في الماء

قابلية ذوبان عالية	قابلية ذوبان متوسطة	قابلية ذوبان منخفضة
النترات (Nitrates) (جميعها)	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	السيليكات (Silicates) (معظمها)
الكلوريدات (Chlorides) (معظمها)		الأكسيدات (Oxides) (معظمها)
الكبريتات (Sulphates) (معظمها)		الكبريتات (Sulphides) (معظمها)
البيكربونات (Bicarbonates) (معظمها)		الفوسفات (Phosphates) (معظمها)
الأسيتات (Acetates) (معظمها)		الكربونات (Carbonates) (معظمها)

غير أن قابلية الذوبان هذه يمكن تغييرها بواسطة عوامل أخرى ، على سبيل المثال ، الرقم الهيدروجيني (pH). عليه تكون كل الكربونات والأكسيدات والكبريتات أكثر ذوباناً في الرقم الهيدروجيني (pH) المنخفض (الأحماض) ، بينما تكون السيليكات أكثر ذوباناً في الرقم الهيدروجيني (pH) العالي (القواعد). وللكربونات قابلية ذوبان متزايدة بشكل خاص ، عندما تكون تركيزات ثاني أكسيد

الكربون وحامض الكربون عالية. وإذا وضع في الحسبان زوج الأيون الموجب، فإن أملاح الصوديوم والبوتاسيوم كلها تصبح عالية الذوبان. ويوجد الملح بتركيز عالٍ في مناجم الملح والترسبات البحرية والمواقع الساحلية. وبتركيز أقل في المجاري، وبالقرب من المواد الأثرية المعدنية المتآكلة. وتتركز الأملاح في المناطق الجافة، حيث يزيد معدل التبخر على معدل هطول المطر. حيث تسحب الأملاح بشكل دائم إلى سطح التربة بواسطة التبخر أسرع من انجرافها بعيداً. وحيث إن مستويات الرطوبة منخفضة جداً، فإن الأملاح قد تتبلور أو تترسب خارج المحلول، وقد تكون مرئية في التربة.

عندما تتبلور الأملاح القابلة للذوبان أثناء تبخر الماء، يزداد حجمها. فإذا حدث هذا داخل المادة الأثرية المسامية، فإن الضغط يمكن أن يفتت المادة. علاوة على ذلك، يمكن ترسيب الأملاح غير القابلة للذوبان فوق سطح المواد، مما يحجبها كلياً. ويتضح بشكل جلي على الفخار والأحجار، (سوف نفضل ذلك في الفقرة ٤، ١، ٢). لكن يجب تذكر أن الأملاح القابلة للذوبان قد تتسبب في تكسر أي مادة منفذة للسوائل مثل العاج أو الحديد المتآكل أو غيرها. ويمكن للأملاح غير القابلة للذوبان أن تتكاثر في أي مادة أثرية.

وهناك أملاح معينة تكون مسؤولة عن تلون المواد. وقد تطرقنا للحديد والمنجنيز في القسم (٤، ١، ٢، ٢)، لكن من الأمثلة المهمة الأخرى اللون الأخضر من أملاح النحاسوز (copper II) والأسود من العديد من الكبريتيدات المعدنية، وبشكل خاص الحديد، والرصاص، والنحاس، والفضة.

هناك أملاح معينة عند إذابتها في الماء تتفاعل بشكل مباشر مع المواد الأثرية، مما يلعب دوراً مهماً في عملية التلف، وحيث إن هذه الأملاح تحمل شحنات كهربائية

فإنها قد تسهل من التآكل الكهروكيميائي للمعادن (القسم ١, ٥, ٣, ٢)، مما يسرع من عملية تلف المعادن.

#### (٢, ٢, ١, ٦) المركبات

يمكن لكثير من الأيونات الموجبة أن تتحد مع مركبات عضوية، لتصبح الأيونات قابلة للذوبان ظاهرياً في أحوال كانت فيها ثابتة. هذه العوامل عندما تكون في بعض الأحوال مناسبة للرقم الهيدروجيني (pH) ولفرق الجهد (Eh)، فإنه يمكن استخلاص الكالسيوم من الزجاج والحديد من الأدوات الحديدية، مثل بعض مواد فصل المركبات التي تستخدم لتنظيف المواد الأثرية (القسم ١, ٢, ٣, ٣). غير أن تأثيرها في تلف المواد الأثرية في التربة لا يزال غير واضح.

#### (٢, ٢, ١, ٧) درجة الحرارة

من المعروف أن عمق الترسبات يعمل ضد التغييرات في درجة حرارة الجو، ويكون التأثير في طبقات السطح العليا فقط. وتسبب أحوال التجمد والذوبان المتكررة ما يسمى بتلف الصقيع، وفي مكان آخر فإن درجات الحرارة الدافئة تزيد من سرعة التفاعلات الكيماوية والنمو البيولوجي. غير أن درجة الحرارة في عمق الترسبات منخفضة بشكل أكبر من درجة حرارة الهواء ومن هنا تبرز المشكلات عندما تستخرج المواد الأثرية من هذه البيئات الباردة.

#### (٢, ٢, ١, ٨) الحمولة الزائدة

يمكن لوزن التربة والمباني فوق الأرض وغيرها أن تُشوّه المواد الأثرية المدفونة. كما أن المواد المطاطة مثل الجلد، يمكن أن تعود إلى حالتها الأصلية بعد استخراجها من باطن الأرض، إلا أن المعادن والأواني الفخارية والزجاجية وغيرها يكون تلفها دائماً عند استخراجها.

## (٢,٢,١,٩) الكائنات الحية

تؤثر الكائنات الحية في المواد، ويعرف ذلك بالتلف البيولوجي، ويكون ذلك أكثر وضوحاً في المواد العضوية من غيرها، حيث إنها جزء من الدورة الطبيعية للتلف. فقد تتحلل المواد العضوية لتوفير مصدر طعام للقوارض، والحشرات، والفطريات وغيرها، أو لتوفير مأوى للرخويات الثابتة للأخشاب البحرية على سبيل المثال، أو أنها قد تضعف بواسطة منتجات فضلات الأيض\*؛ مثل بول الفئران أو الأحماض العضوية من الكائنات الحية الدقيقة. ويمكن أن يتشوه مظهر المواد الأثرية بواسطة جزئيات الصبغ المنتجة من الفطر والبكتيريا أو بواسطة الكبريتات السوداء الناتجة عن النشاط البكتيري المخزنل للكبريتات، ويمكن أن يحجب السطح بواسطة نمو النبات أو الكائنات الحية الدقيقة عليه.

ورغم أن المواد غير العضوية لا تستطيع توفير مصدر طعام للكائنات الحية بشكل مباشر، إلا أنها تتأثر بكل الطرق التي وُصفت سابقاً. ويمكن لبعض الرخويات البحرية أن تنفذ من خلال بعض الأحجار المسامية، وفضلات الأيض من الحيوانات، والكائنات الحية التي تعيش على الأوساخ في داخل المواد الأثرية. لكل هذه تأثير واضح في تلف المواد الأثرية، حيث تشكل المواد الأثرية المسامية مشكلة عامة.

## (٢,٢,٢) عوامل الاستقرار في البيئة الأثرية

في كثير من الأحيان يصعب تحديد أسباب حفظ مادة ما داخل بيئة أو تربة معينة، لكن هناك بعض الأسباب التي سنتطرق إليها. في بعض الحالات قد تتمثل هذه الأسباب، بكل بساطة، في غياب عوامل التلف الواردة في الفقرة (٢,٢,١) لكن بعضها قد يكون أكثر تعقيداً<sup>(٣)</sup>.

\* الأيض هو عملية التحول الغذائي في الأجسام الحية. المترجم

## (١, ٢, ٢, ٢) انعدام الأكسجين

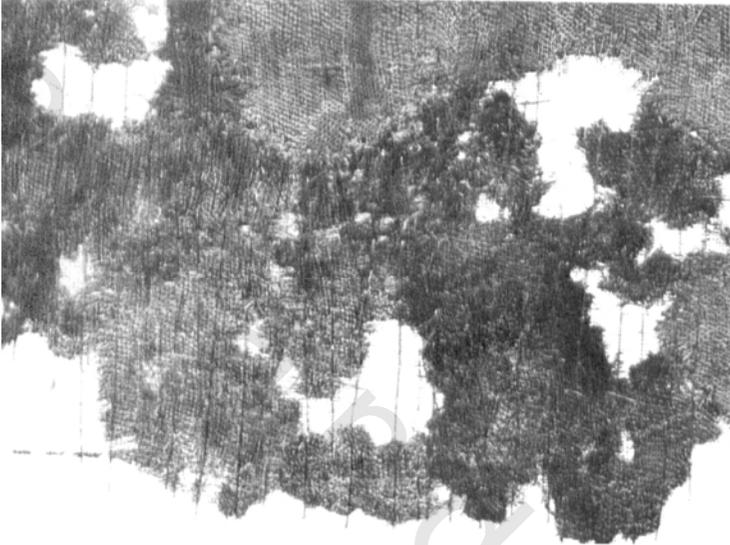
بواسطة هذا العامل وحده، يمكن حفظ الكثير من المواد الأثرية بشكل تام، أو بشكل جزئي، حيث يتوقف نشاط الكائنات الحية الهوائية التي تتلف المواد العضوية، ويتم تقليل تآكل المواد بقدر كبير في حالة انعدام الأكسجين. إلا أن وجود الماء يجعل البكتيريا الهوائية قادرة، ولو ببطء، على تحليل المواد العضوية وتآكل الحديد. وهذا النشاط نفسه يمكن أن يقل، فمثلاً البكتيريا التي تحلل السيلليوز يتوقف تأثيرها في pH أقل من ٣ أو في وجود السمّيات، وأن محتزلات الكبريت (Sulphate-reducers) لا تعمل إذا كان pH أقل من ٥,٥ أو إذا كان فرق الجهد منخفضاً جداً. كما أن وجود الماء يسمح باستمرار ذوبان المواد وتحليلها، ومن ثم لا يكون الحفظ مطلقاً ما لم تتحد هذه الحالة مع الجفاف.

في معظم الحالات، يحدث انعدام الأكسجين نتيجة لوفرة الماء، لكن من الممكن وصف الأوضاع الأخرى التي يتم فيها إقصاء الأكسجين بواسطة وسائل أخرى، مثل، الأضرحة أو التوابيت المغلقة، أو تحت طبقات مضغوطة من الطين المبتل أو حطام المساكن. ويمكن استخدام غاز خامل مثل الميثان (Methane) أو ثاني أكسيد الكربون (Carbon dioxide) لإزاحة الأكسجين كما اقترح لحفظ المواد المترسبة في مقابر الحجر الجيري<sup>(٤)</sup>.

## (٢, ٢, ٢, ٢) انعدام الماء

إذا كان انعدام الماء مطلقاً، فإنه يوفر أحوالاً ممتازة للحفظ، عدا أنه يسبب انكماشاً وهشاشة في المواد العضوية. وبينما تكون هذه الأحوال نادرة في شمالي غرب أوروبا، إلا أنها من المرجح أن تسود في المناطق الأكثر حرارة (اللوحة ٢, ١). غير أن التجفيف الكامل نادر، ومن المستحيل تجنب نوع ما من التلف، فمثلاً يمكن أن يكون

للحشرات والعفن الجاف تأثير في الأحوال الجافة جداً. وربما تكون حالة البرد المتناهي أفضل الحالات للحفظ، حيث إن الماء يتحول إلى ثلج، ومن ثم لا تتأثر المواد العضوية وغير العضوية.



اللوحة (٢، ١). حالة جفاف في مقبرة كوئبرت في كندراية درم حفظت قطع الحرير البيزنطي هذه، هنا تم ترميم النسيج الرخو عن طريق وضع بطانة سفلية باستخدام خيوط طويلة مشبته مع خيوط قصيرة على قاعدة من النسيج .

### (٢، ٢، ٢، ٣) وجود الماء

في كثير من الأحيان يكون وجود الماء بوفرة في البيئة، كما في شمالي غرب أوروبا، أفضل وسيلة لحفظ المواد الأثرية، حيث إن التشبع بالماء يمنع الأكسجين من الوصول إلى المواد. (القسم ١، ٢، ٢، ٢). غير أن تشبع المواد بالماء، يؤدي إلى تحللها، ومن ثم تصبح المواد العضوية أكثر ضعفاً. ولحسن الحظ، فإنها تحتفظ بأشكالها حيث إن الماء يحل محل المواد التي تم تحليلها مائياً. وبهذه الطريقة، يحتفظ الماء بشكل المادة

الأثرية وأبعادها، حيث يمنع تصدعها، رغم أن عملية الذوبان تتواصل بشكل مستمر (القسم ٢، ١، ٦).

وعادة ما يحدث نقص الأكسجين نتيجة للتشبع المائي، فقد يكون الترسب تحت منسوب الماء الطبيعي أو قد يفوق تدفق الماء قدرة الترسب على تصريف الماء، أو قد يتدفق الماء داخلياً من الأرض المرتفعة المحيطة (اللوحة ٢، ٢) (٣، ١٣).

وفي المناطق المنخفضة والترسبات البحرية تُحفظ جميع القطع الأثرية بشكل شامل، بينما، وفي نطاق ضيق، يمكن أن يحدث التشبع المائي في الجداول أو حفر التخزين. وبسبب العمليات المعقدة الفعالة، فإن البحر نفسه يكون، في العادة، ممتلئاً بالأكسجين، بيد أنه في المياه العميقة وفي قاع البحر تسود أحوال غير هوائية.

وفي الظروف الأكثر جفافاً، يمكن القول بأن الماء يساعد على الحفظ حيث إن ضغط سطحه العالي يمكن أن يمسك المادة الهشة بأكملها، كما هو الحال في الأواني الفخارية المتداخلة أو الطلاء المتقشر (القسم ٤، ٥، ٥، والقسم ٤، ٣، ٥).

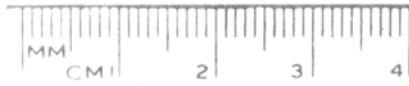


اللوحة (٢، ٢). نقص الأكسجين الناتج عن الغمر بالمياه أدى إلي الحفاظ على بطانة خشبية، سطل، وقطعة أثرية حديدية من القرون الوسطي تم اكتشافه في موقع مدني في يورك .

## (٢,٢,٢,٤) وجود الأملاح والبقايا الأخرى

قد يساعد وجود هذه المواد في حفظ المواد العضوية، حيث إن نمو الكائنات الحية الدقيقة يتوقف نتيجة ارتفاع تركيز الملح، ومن ثم فإننا لا نجد كائنات حية دقيقة في المواد الأثرية العضوية التي يعثر عليها في مناجم الملح أو التربة الجافة الملحية. وأيونات النحاس (اللوحة ٢,٣) من الأملاح التي تسبب تسمماً للكائنات الحية وتحفظ المواد العضوية، في الوقت نفسه. كما أن تشرب المواد العضوية بهذه الأملاح يمنعها من التصدع. ومن الأمثلة الواضحة لهذه الظاهرة، تحجر العظم في كهوف الحجر الجيري. غير أنه يجب ملاحظة أن الأملاح قد تسبب تلفاً كبيراً للمواد المسامية والمعادن (القسم ٢,٢,١,٥).

وتعد البوليفينولات (Polyphenols) من البقايا السامة للكائنات الدقيقة الحية. ويمكن اشتقاقها من عفص (Tannin) المواد الجلدية (حمض التنيك)، أو من النبات المتحلل، خاصة السرخس (Bracken). فقد تسهم هذه في حفظ المواد العضوية، وكذلك المعادن؛ حيث تشكل البوليفينولات طبقات واقية عليها ومن ثم تمنع تأكلها. وتحدث ظاهرة مماثلة عند اتصال الحديد بالفوسفات تحت أحوال معينة، (القسم ١,٢,٥).



اللوحة (٢,٣). المواد السامة القاتلة للأحياء الدقيقة والتي أفرزها إيزيم سبيكة نحاسية أدت إلى الحفاظ على النسيج والجلد المتصل به.

## (٢,٢,٢,٥) انعدام الحركة / التقلبات الجوية

تحفظ المادة الأثرية، عموماً، كونها مدفونة بعيداً عن التغيرات الجوية. وبدقة أكثر، في الفترة بعد تركها، يتعزز حفظ القطع الأثرية إذا تمت تغطيتها وحمايتها بسرعة من الاحتكاك بالرياح أو الجزيئات المحمولة في الماء. وفعلاً، إذا كان الماء غائباً أو راکداً في المنطقة، فإنه يتم تجنب هذا النوع من التلف المادي. وكلما كانت تربة الدفن أكثر عمقاً، قلل ذلك من حدوث تغير درجة الحرارة والرطوبة، ويصبح متوسط درجة الحرارة أبرد. وفي التربة الضحلة، قد يحدث ذلك أيضاً، عندما تكون المادة الأثرية تحت الضغط. وكما رأينا في (القسم ١,٢,٢)، فإن انعدام الحركة واستقرار البيئة الجوية العادية يعزز من فرصة حفظها.

## (٢,٢,٢,٦) استبدال الشكل والآثار الكيميائية

شرحنا سابقاً كيف يمكن للمادة الأثرية، كلها أو جزء منها، أن تحفظ، ليس كما كانت، ولكن بعد أن يتغير شكلها وتستقر كيميائياً في التربة. وعليه، يمكن أن يتغير شكل الحديد، في الأحوال الجوية الطبيعية أو القلوية، بأكسيد الحديد (اللوحة ٤,٢) مقبض سكين كان في الأصل من الخشب والآن أصبح شكله زائف من قطع حديدية متآكلة، ويمكن أن يصبح الخشب المتبل متحجراً في التربة القلوية بوجود كربونات الكالسيوم. ومن الأمثلة البارزة للاستبدال أثر القطعة الأثرية على التربة، التي لا تحتوي على الإطلاق على أية مادة أثرية أصلية، غير تغير لون التربة، مما يدل على مكان شيء ما، وفي بعض الحالات يدل على شكل القطعة الأثرية الأصلي. وأكثر الأمثلة فائدة هو العظم، حيث يظل الحديد والمنجنيز ثابتين في الجزء المعدني الفوسفاتي في العظم المتحلل. وتكون البقع، في بعض الأحيان، نتيجة الأعمدة الخشبية المتحللة أمراً معروفاً تماماً، وكذلك آثار المواد الأخرى مثل الجلد يمكن أن تحدث. وقد تم العثور

أيضاً على آثار غير مرئية للمواد المتحللة ، فيمكن تحديد الفوسفات كيميائياً من العظام المتحللة في التربة بواسطة الكالسيوم أو الحديد أو الألمونيوم. ورغم أن كل منطقة الدراسة التي تضم المواد الأثرية التالفة والبقايا غير المرئية لأنشطة الإنسان قد تم تحديدها منذ زمن بعيد<sup>(٥)</sup>، إلا أن هناك نوعاً ما من التطور قد حدث في التقنيات المتوفرة حديثاً. كما اتخذت خطوات في هذا المجال ، ويُمل التمكن من اكتشاف أدلة كانت في الماضي غير ملحوظة<sup>(٦)</sup>.

إذاً ليس هناك اختفاء شامل للمادة الأثرية من الوجود تماماً ، فمن حين لآخر يتم التعرف إلى بقاياها من خلال الآثار التي تتركها. ومن ثم فإن نسيج قماش اختفى منذ فترة طويلة من الزمن يمكن العثور عليه في الطين الناعم المبتل أو في المادة الأثرية.



لوحة (٤، ٢). مقبض سكين، كان في الأصل من الخشب، والآن أصبح شكله زائفاً من قطع حديدية متآكلة.

### (٢، ٣) تلف التنقيبات الأثرية الفوري

إذا استطاعت المواد الأثرية أو بدائلها البقاء بعد الدفن ، فإن ذلك يحدث عادة نتيجة لأنها حققت استقراراً مع بيئتها. فعندما يتم الكشف عنها ، فإن هذا الاستقرار يتعرض فجأة للخلل الشديد حيث يزج بالمادة الأثرية في بيئة جوية جديدة. عندئذ

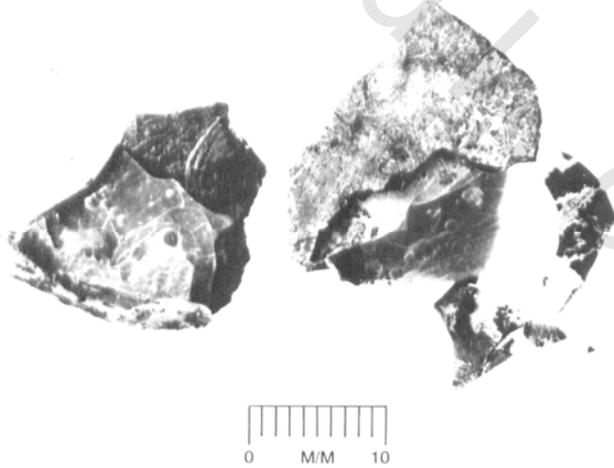
سيحدث التلف مرة أخرى وقد يكون واضحاً بعد مضي بضعة ثوانٍ من الوقت ، لكن قد لا يصبح ظاهراً لسنة أو أكثر. فإذا لم يحدث خلال فترة قصيرة من الوقت استقرار آخر ، فإن التلف المدمر سيستمر. وتسعى عملية الحفظ إلى بلوغ الاستقرار الثاني في أسرع وقت ممكن. والأعمال التنقيبية لا تخل بأحوال الحفظ المذكورة سابقاً فحسب ، بل يمكن أن تعيد تنشيط العديد من عوامل التلف التي ذكرت سابقاً. علاوة على ذلك ، فإن بيئة ما بعد التنقيب تحتوي على أخطار جديدة لم تكن موجودة في بيئة المنطقة الأثرية الأصلية. وأن الأسباب الفورية والعامة لتلف بيئة ما بعد التنقيب سوف تُذكر في هذا القسم.

#### (١، ٣، ٢) محتوى الماء

بالنسبة للعديد من المواد الأثرية فإن أعظم خاصية متلفة للآثار المكتشفة هي التغير في محتوى ماء بيئتها. وأن تلك التي تكتشف في مواقع رطبة أو مبتلة تعاني تسرب الماء منها ، والعكس صحيح في المواقع الجافة التي تعاني تسرب الماء إليها. وفي كثير من الأحيان ، تفقد المواد الأثرية الماء عند الكشف عنها ، حيث إن الهواء يكون أكثر جفافاً في معظم أرجاء الموقع ، ويتفاجم الوضع نتيجة الرياح وأشعة الشمس. ونادراً ما يكون الجو بعد الكشف أشد رطوبة من بيئة الدفن ، كما هو الحال عند فتح تابوت جاف ، أو مادة تجلب من مناخ جاف إلى مناخ معتدل ، هنا قد تمتص المادة الأثرية الرطوبة من الجو. وبينما يكون محتوى الماء ودرجة الحرارة في بيئة المواد الأثرية مستقرين نوعاً ما ، يتقلب هذا النظام بعد الكشف عنها على أساس يومي أو سنوي وبغير انتظام. قد يكون لفقدان الماء عند التنقيب آثار ضارة وخطيرة على القطع الأثرية. ويمكن للماء ، الذي بالداخل ، أن يمسك بالمادة الهشة والتربة المحيطة الأثرية تماماً نتيجة جهد شد السطح. وكذلك يمكن للماء ، داخل مادة عضوية متحللة مشبعة بالماء ، أن يعمل على عدم انهيارها (القسم ٢، ٢، ٣). ويمكن للماء أن يكون جزءاً من تركيبة مواد عضوية أقل

تحللاً. في جميع هذه الحالات، يؤدي الماء إلى التصدع، والانهييار، والانكماش، والتلف للمادة الأثرية (اللوحة ٢,٥) تفتت زجاج متأكل من القرون الوسطي بسبب التجفيف أثناء عملية الحفر. وعندما تجف مواد مسامية محملة بالأملاح، خاصة المواد الأثرية البحرية، فإن الأملاح تتبلور (القسم ٢, ١, ٤)، ممزقة القطعة الأثرية. وينتج التلف على السطح عند الجفاف في كثير من الأحيان عندما يسمح للتربة، خاصة الطين، بأن تجف، حيث إنها تنكمش وتكشط الطلاء والسطوح الرقيقة وغير ذلك. علاوة على ذلك، إذا ما جفت قشور ملحية رطبة غير قابلة للذوبان، فإنها في العادة تصبح صلبة وصعباً إزالتها.

فقدان الماء أثناء التنقيب الأثري ينتج عنه تقليل مستوى الذوبان وتقليل التفاعلات الكيميائية. غير أن بعض التفاعلات، مثل المعادن، التي يتطلب تأكلها كمية قليلة جداً من الماء، ويجب تجفيفها بطريقة أسرع من فقدان الماء عن طريق تعرضها للأحوال الجوية.



اللوحة (٢,٥). تفتت زجاج متأكل من العصور الوسطي بسبب التجفيف أثناء عملية الحفر.

## (٢,٣,٢) الأكسجين

نسبة الأكسجين في الجو هي ٢١ ٪، وهي أعلى بكثير من تلك التي في التربة. ويستطيع الأكسجين اختراق المادة المسامية خاصة عندما تكون جافة. كما أنه يذوب في الماء حيث يتم تخزين المادة المشبعة بالماء.

ويعني هذا المستوى العالي للأكسجين أن تفاعلات الأكسدة مثل التآكل (اللوحة ٢,٦) تمثال نحاس صغير من مصر يبدو عليه تآكل ما بعد الحفر (داء البرونز) والذي يظهر هنا في شكل بلورات باهتة أدت إلي تصدع الطبقة الخارجية المتآكلة، وشحوب الأصباغ يمكن أن تحدث، ومن ناحية أخرى، تنشط الكائنات الحية. وتتعزز هذه الأنشطة كافة بواسطة الماء، ويمكن أن تقود إلى تلف سريع خلال عملية التجفيف أو حتى أثناء التخزين في الماء.



اللوحة (٢,٦). تمثال نحاسي صغير من مصر يبدو عليه تآكل ما بعد الحفر (داء البرونز) والذي يظهر هنا في شكل بلورات باهتة أدت إلي تصدع الطبقة الخارجية المتآكلة.

## (٢,٣,٣) الضوء

يعدّ شحوب الحبر أو الأصباغ أكثر أنواع التلف الملحوظة التي يمكن مشاهدتها في الحفريات، حيث يمكن أن يحدث ذلك خلال دقائق، إن لم تكن ثواني، عندما تنكشف الألوان المتحللة للضوء بعد ظلام دامس لفترات طويلة جداً من الزمن.

## (٢,٣,٤) الكائنات الحية

خلال أسبوع من التنقيب، يمكن رؤية الكائنات الحية الدقيقة، مما يدل على أنها كانت موجودة طيلة هذه الفترة. وتنمو الجراثيم في التربة، وبشكل أسرع في البيئات الرطبة الدافئة خصوصاً. وعبر الفترات القصيرة من الزمن، قد يكون لها تأثير قليل على إضعاف المواد الأثرية، لكن عند تغليفها، بوسعها أن تسبب تلفاً لكل من المواد الأثرية ومواد التغليف نفسها. بالإضافة إلى أن الطحالب، أو المواد اللزجة أو التزهير (القسم ٢,١,١,٢) يمكن أن تحجب المواد الأثرية أو تلويثها، وتجعل بطاقات البيانات غير مقروءة.

ويعد الإنسان أحد أعظم الكائنات الحية تدميراً للمعثورات الأثرية؛ فمعالجة المادة على نحو خاطئ في لحظة اكتشافها يؤدي إلى فقدان الكثير من المعلومات، وكذلك المعالجة غير الضرورية لاحقاً.

ويعد الإخفاق في استرجاع الأدلة كافة المرتبطة بالمادة الأثرية أحد أوجه المعالجة الخاطئة. فمثلاً لا يمكننا التنظيف المفرط للتراب، الذي يغطي القطع الأثرية، في الموقع الأثري أو لاحقاً في المختبر، من معرفة المواد المصاحبة للأثر، التي ربما تحتوي على مواد عضوية متحللة أو صدام معدن معين. ومن أكبر العضلات التي تواجهه من يتعامل مع المكتشفات الأثرية، عدم تقديره أن المواد المكتشفة أكثر ضعفاً مما تظهر عليه. فقد يظهر الشيء كاملاً ومتماسكاً، ولكنه في الحقيقة يكون مفككاً ومتكسراً، ويرقد حيث

انكسر، أو قد يكون مضموماً بواسطة التربة وينهار بكل بساطة عند رفعه. ومن مظاهر هذه المشكلة عملية مسح العملة المعدنية بالإصبع وكشط إناء فخاري هش. أخيراً، فإن ضعف الإدراك بما يحيط بالمادة الأثرية من تلف بعد التنقيب، وكيفية التعامل معه سوف يقودان إلى فقدان الأدلة وضياعها إلى الأبد. لذلك يجب التنبه لذلك باتخاذ إجراءات سليمة ودقيقة.

#### (٢, ٤) عوامل التلف طويلة الأجل للمادة المكتشفة<sup>(٧)</sup>

كما أن هناك العديد من العوامل، في البيئة، التي تؤثر في المواد الأثرية غير المحفوظة، فإنه يجب عدم افتراض أن عملية الحفظ تجعل تلك المواد محصنة ضد تأثيرات هذه العوامل. فعملية الحفظ تسعى لحجز المواد الأثرية بعيداً عن عوامل التلف. لكن في بعض الأحيان، قد يكون هذا الحجز غير ممكن. علاوة على ذلك، قد يضطر في عملية الترميم العلاجي المباشر إلى إدخال مواد جديدة هي نفسها قابلة للتلف. لذا فإن هذا القسم ينطبق على كل من المواد الأثرية، المحفوظة وغير المحفوظة، وكذلك البطاقات، ومواد التغليف المصاحبة لها، والأرفف، وأقمشة العرض، والأرشفيف الخاص بعمليات الحفر، وغيرها. في هذا المقام استعرضنا تمهيداً لعمليات الحفظ، أما غير ذلك فسوف نتعرض له بشيء من التفصيل<sup>(٨)</sup>.

#### (٢, ٤, ١) الماء

يوجد الماء في الجو، بخلاف البيئة المدفونة العادية، في شكل بخار منتشر في الهواء وليس في شكل سائل. من أجل معرفة ما إذا كان الهواء، الجاف بالقدر الكافي أو الرطب بالقدر الكافي، مؤثراً في المواد المكتشفة، فإنه ليس من المفيد قياس الكمية المطلقة لبخار الماء الموجود في الجو؛ لأن الهواء الساخن يمكنه حمل بخار ماء أكثر من الهواء البارد، ومثال للقياس فإن بوسع الإسفنج المتمدد استبقاء ماء أكثر من ذلك

المضغوط. لذلك إذا وجد الهواء والمادة الأثرية داخل كيس بلاستيكي مغلق في غرفة ساخنة، ستكون للهواء المحبوس قدرة زائدة على استيعاب كمية أكبر من الرطوبة التي سيأخذها من المادة الأثرية. والعكس صحيح إذا وضع الكيس في الثلاجة، فإن هذه القدرة سوف تنخفض بشكل مفاجئ، وقد يجبر الماء على الخروج من مرحلة البخار ويظهر في شكل قطرات متكثفة. وقياس الرطوبة في الهواء، مع الأخذ في الحسبان درجة حرارة الوسط المحيط، يمكن معرفة إمكانية تبخر الماء من المادة الأثرية أو تكثفه عليها. ويتم تحقيق ذلك من خلال مقارنة الكمية الفعلية للماء في الهواء، عند درجة الحرارة المعنية، على أساس أنها الكمية القصوى للماء الذي يمكن أن يستوعبه الهواء عند تلك الدرجة قبل ظهور عملية التكثيف. والرقم الأول في هذه المقارنة هو الرطوبة المطلقة (AH) والثاني هو رطوبة التشبع (SH). والمقارنة بين الاثنين يعبر عنها بنسبة مئوية تعرف باسم الرطوبة النسبية (RH):

$$RH (\%) = \frac{AH}{SH} \times 100.$$

ويعني هذا أن الرطوبة النسبية عندما تكون بمقدار ١٠٠٪ فإنها تشير إلى أن الهواء مشبع تماماً، بينما تشير الرطوبة النسبية بمعدل صفر ٪ إلى غياب كامل لبخار الماء من الهواء. أما إذا كانت الرطوبة النسبية ٥٠٪، فإن الهواء يحتوي على نصف كمية البخار فقط.

وإذا كان الهواء والماء في حيز مغلق، تظل الرطوبة المطلقة ثابتة، لكن الرطوبة النسبية قد تختلف. وكلما ارتفعت درجة الحرارة هبطت الرطوبة النسبية، والعكس صحيح. لذلك فإن الهواء داخل كيس من البلاستيك، في مكان العرض، أو في مخزن للمتحف سيصبح أكثر جفافاً بارتفاع درجة الحرارة وأكثر رطوبة بهبوطها. وقد دلت

التجارب العملية أن للهواء المجفف رطوبة نسبية أقل من ٤٠٪، والهواء الجاف رطوبته النسبية ٤٠-٦٥٪، والهواء الرطب رطوبته النسبية ٦٥-٨٠٪. ولتفاصيل أكثر انظر الكتب المتخصصة في هذا الموضوع<sup>(٩)</sup>.

إن العديد من المواد الأثرية المكتشفة متوازنة في مستويات الرطوبة النسبية المتناهية فقط، سواء في أحوال جافة، أو مشبعة أو ثابتة. وتسعى معالجة هذه المواد إلى محاولة جعلها مستقرة في أحوال الرطوبة النسبية التي توجد عادة في معظم أماكن التخزين والعرض. ويجب تذكر أن مادة التخزين أو الأرشيف ذات العلاقة تتأثر كذلك بالرطوبة النسبية للجو. وحيث إن هناك مواد متنوعة فيجب أن يؤخذ هذا في الحسبان. ويمكننا التعميم هنا قليلاً، أما التفاصيل فسوف نستعرضها في الفصول ذات العلاقة. وستواصل المواد غير المعالجة في المخزن أو المعرض التأثر بالرطوبة النسبية بالطريقة نفسها التي تحدث فيها مباشرة عقب الكشف عنها (القسم ١، ٣، ٢)، وستتطرق هنا للمشكلات الإضافية فقط.

الرطوبة النسبية، غير المستقرة أو المتقلبة، تتسبب في المشكلات الفيزيائية التي تطرأ على المواد الأثرية العضوية، حتى وإن تمت معالجتها (القسم ٢، ٣، ١، ٦)، وكذلك على الأرفف المصنوعة من الخشب، وصناديق الكرتون، والأكياس الورقية، والسجلات المكتوبة، والأنواع المختلفة من الأفلام وغيرها. فإذا كانت الرطوبة النسبية منخفضة جداً، فإن هذه المواد تفقد الماء وتصبح متقشرة أو متلفة، وإذا ما تقلبت الرطوبة النسبية فإن المواد الهشة قد تتصدع، أو تصبح الأرفف الخشبية مفككة من ناحية المفاصل. وإذا كانت تقلبات الرطوبة النسبية عالية جداً، فإن الجلاتين الذي يغطي الأفلام أو الصور يصبح ليناً، ويلتصق بعضه ببعض إذا هبطت الرطوبة النسبية مرة أخرى.

كلما كانت الرطوبة النسبية عالية، فمن الصعوبة بمكان وقف حدوث التفاعلات الكيميائية (التلف) حتى مع الترميم العلاجي المباشر. والمصدر العام للماء في هذه التفاعلات هو تكثف الماء من الجو (القسم ٣، ٤، ٢). وفي الرطوبة النسبية العالية تتعرض الأوراق ذات النوعية السيئة والكثير من السجلات المكتوبة، وحاويات الأكياس الورقية للتحلل والأكسدة، مما ينتج عنه ضعف وتغير في اللون.

(٢، ٤، ٢) الأكسجين

(انظر القسم ٢، ٣، ٢)

(٢، ٤، ٣) درجة الحرارة

أثناء عملية التنقيب في باطن الأرض. تكون درجة حرارة الجو دائماً أعلى من حرارة بيئة المنطقة الأثرية، وهي ترتفع أكثر بواسطة أشعة الشمس، والأضواء وغيرها، وتكون خاضعة للزيادة والنقصان أكثر من درجة حرارة التربة. ومن ثم يمكن أن تتقلب بشكل غير منتظم، يومياً أو سنوياً، اعتماداً على الوضع. ويمكن أن تهبط إلى أقصى حد، ربما أكثر انخفاضاً من تلك التي تقع فيها المادة الأثرية في التربة.

وتظهر التأثيرات طويلة الأجل لدرجات الحرارة العالية بشكل ملحوظ، على مواد مثل الرصاص أو الشمع القديم، الذي يلين عند التسخين ويصبح مشوهاً، وفي الحالة الأخيرة، يصبح لزجاً. كما تظهر هذه التأثيرات على الأصماغ والمقويات (القسم ٢، ٤، ٣) (اللوحة ٧، ٢) أو التشطيبات الصناعية وعلى الصور الفوتوغرافية. وتصبح الأفلام هشة بمرور الزمن، وذلك لتلف المواد المصنعة منها. وفي درجة الحرارة المرتفعة، تكون التفاعلات الكيماوية أسرع، ونشاط الكائن الحي أكبر، إذا ما حصل كلاهما على رطوبة كافية.

تقلبات درجات الحرارة من أشد ما يتلف الآثار. فالتجمد والذوبان أحد الأسباب المعروفة جيداً لتحلل الحجر الرطب، حيث إن التمدد المتكرر للماء أثناء تحوله إلى جليد يفتت المواد المسامية. كما أن العديد من المواد تتمدد عند ارتفاع درجة الحرارة، ويقاس هذا التمدد بواسطة معامل التمدد، الذي يكون عالياً في مواد مثل المعادن، التي تستجيب بشكل كبير للارتفاع في درجة الحرارة. ويحدث الخلل عندما تكون هناك مادتان متجاورتان لكل واحدة منهما معامل تمدد مختلف جداً عن الأخرى، فتظل الأولى ساكنة بينما تتمدد الأخرى، مما ينتج عنه تلف أسرع للأضعف\*. ويظهر هذا التلف واضحاً عند تقلب درجات الحرارة حيث تتكرر العملية مرات لا تحصى.

وبما إن الرطوبة في الهواء ودرجة الحرارة مرتبطنان بشكل واضح، فإن هذا يؤثر في عملية التكثيف. فإذا ما حدث تماس بين الهواء الذي يحتوي على رطوبة نسبية عالية قريبة من نقطة التشبع مع مادة باردة، فإن الهواء يفقد الحرارة مما يسبب ارتفاع الرطوبة النسبية حتى يصبح الهواء غير قادر على استيعاب ماء أكثر ومن ثم تظهر عملية التكثيف. وتعد المعادن، من أكثر المواد المكثفة للماء؛ لأنها موصلة جيدة للحرارة، وبناءً على ذلك، فهي تبرد الهواء موضعياً. ولا تتكون قطرات الماء على المواد المعدنية فحسب، بل على الأرفف المعدنية، وخزائن العرض الزجاجية، إذا هبطت درجة حرارة الهواء الرطب المحيط. وحتى إذا لم تهبط درجة الحرارة إلى مستوى منخفض كافٍ لحدوث التكثيف، فإنه يجب تذكر أن الانخفاض في درجة الحرارة يسبب ارتفاعاً في الرطوبة النسبية.

\* مثل السيف أو السكين حيث إنها مصنوعة من الحديد ومقبضها من الخشب أو العاج أو ما شابه. المترجم.



اللوحة (٢,٧). انقباض وتيبس على مادة لاصقة ناتج عن الجفاف مما أدى إلي إزاحة جزء من تابوت خشبي من القرن السابع في مدفن سان كوثربرت.

#### (٢,٤,٤) الضوء

يعدّ الضوء المرئي وفوق البنفسجي من أشكال الطاقة. وحيث إن كمية الطاقة تتناسب عكسياً مع طول موجة الضوء، فإن الضوء فوق البنفسجي والطرف الأزرق اللطيف المرئي، الذي هو الطول الموجي الأقصر، يحتوي على معظم الطاقة. ويقاس الضوء المرئي باللوكس (Lux) (وحدة قياس التدفق الضوئي في المتر المربع)، باستخدام الضوء أو مقياس اللوكس. وباستخدام مراقب الأشعة فوق البنفسجية يمكن تحديد نسبة الضوء فوق البنفسجي في مصدر الضوء المعين. في بريطانيا، يمكن أن يتجاوز ضوء الشمس عند الساعة ١٢ منتصف النهار في يوم صيفي صافٍ ٦٠,٠٠٠ لوكس، محتويًا على نسبة عالية من الأشعة فوق البنفسجية، وفي يوم غائم، يظل مستوى الأشعة فوق البنفسجية عالياً، رغم انخفاض مستوى الضوء، حيث إن نسبته ترتفع في السماء الملبدة بالغيوم. وبوجود الإضاءة الاصطناعية يكون مستوى الضوء منخفضاً كثيراً،

حيث يكون في حدود ٩٥ لوكساً على مسافة متر واحد من مصباح بقوة ١٠٠ واط. وبينما تبعث مصابيح التنجستين نسبة ضئيلة جداً من الأشعة فوق البنفسجية، فإن النسبة في معظم المصابيح الفلورية تظل عالية.

ذكرنا سابقاً أن الضوء المرئي والضوء فوق البنفسجي يعدان من أشكال الطاقة، لذا فإنه بوسعهما المشاركة في التفاعلات الكيميائية، وتتعرّض هذه المشاركة، في كثير من الأحيان، بوجود الرطوبة. هناك ألوان ومواد معينة تمتص طاقة الضوء أكثر من غيرها، ويكون ذلك أكثر شدة في الأصباغ الصفراء والألوان الشاحبة، التي تمتص الضوء الأزرق الخطير، وفي الأصباغ والأحبار التي تحتوي على الحديد ومواد شائبة أخرى. والطاقة الممتصة يمكن أن تؤكسد الأصباغ والألوان، حيث تغير ألوانها، وعادة ما تتسبب في شحوبها. البوليمرات العضوية (organic polymers) حساسة، بشكل خاص، لأكسدة الضوء الذي يسبب هذه التفاعلات المعقدة. لذلك تصبح الأقمشة والجلد والأوراق الرخيصة والصفوف الأصفر، وكذلك العديد من المواد الاصطناعية المستخدمة كمادة لاصقة والورنيش - هشة عند تعرضها للضوء.

### (٢, ٤, ٥) التلوث

ينتج احتراق المتحجرات، التي تستخدم وقوداً، قطعاً صغيرة من الكربون تتحد في كثير من الأحيان مع الأحماض والقطران والمعادن، هذا الاحتراق هو المصدر الرئيسي للتلوث. كما إن المصادر الأخرى للتلوث هي جزيئات التربة والغبار التي تذررها الرياح. إذ إن قطعاً يصل حجمها إلى ١٥ ميكروميتر تظل عالقة في الهواء، بينما ترسب القطع الكبيرة.

يعدّ تلوث المواد الأثرية بالتراب خطراً واضحاً، حيث يثبت التراب عليها خلال تفاعل الشحنات الكهربائية الصغيرة، كما في الطين وغيره، أو بواسطة الالتصاق

نتيجة لمواد القطران أو الطلاء اللزج أو المقوي ، أو عن طريق المسح أثناء رعايتها. وأكثر المواد تأثراً هي المسامية (اللوحة ٢,٨). أما الجزئيات الحادة التي تخترق المواد المرنة الهشة مثل الأقمشة فتسبب كشطاً داخلياً للألياف أثناء ثني المادة.

ويضعف الملح ، المنبعث من رذاذ البحر ، درجة صلد المعادن (القسم ٢,٣,١,٥) ، ولكن التأثير الأكثر ضرراً يسببه التراب المتصق بسطح الأثر. فطبقة التراب تمتص الرطوبة وتحفظ بها مما يسمح بالتآكل ، والتفاعلات الحمضية ، وغمو الكائنات الحية.



اللوحة (٢,٨). ذرات الغبار العالقة في الهواء تسبب تلوث بالغبار على القطع الأثرية المختزنة: إزالة بطاقة الشرح المثبتة على اللوحة الحجرية حدثت مؤخراً لنقش على عمود حجري توضح مدى تغير اللون.

## (٦, ٤, ٢) التلوث الغازي

بينما يعتبر وجود حامض الكربونيك (carbonic acid) في مياه الأمطار، المتكون من ثاني أكسيد الكربون (carbon dioxide) الذائب - أمراً عادياً، نجد أن المستويات العالية من حامض الكبريتيك (sulphuric acid)، الناجم عن أكسدة ثاني أكسيد الكبريت (sulphur dioxide) في الهواء الملوث - شائعة في مياه الأمطار الهائلة على المدن، مما يخفض الرقم الهيدروجيني (pH) فيها إلى ٤. عادة يكون تركيز ثاني أكسيد الكبريت في الهواء داخل مبنى ما نصف الذي في الهواء الطلق. لكن تحت أشعة الشمس وفي وجود الرطوبة والمواد المحفزة مثل الحديد، فإنه قد توجد كميات قليلة من حامض الكبريتيك. وتنطلق الأحماض العضوية في شكل أبخرة من أخشاب المباني، وواجهات العرض، والخزائن وغيرها، خاصة المصنوعة من خشب البلوط أو الخشب غير المعالج، وكذلك أنواع مستحلبات أسيتات البولي فينيل (polyvinyle acetate emulsions) السيئة النوعية (القسم ٢, ٢, ٤, ٣). وتنبعث الكبريتيدات المتطايرة من الأرضيات المطاطية المقوّاة وغيرها، وكذلك من بعض الأقمشة.

وتعزز هذه المركبات الغازية من عملية تآكل المعادن، على سبيل المثال، تكون اللون الأسود على الفضة في وجود الكبريتيد (اللوحة ٩, ٢). ويكون حامض الكبريتيك مضرّاً للأقمشة الهشة بشكل خاص، بينما تكون الأوراق الرخيصة والكرتون عرضة لهجوم التلوث الحمضي، والأحماض المتروكة داخلها أثناء عمليات التصنيع. كما أن القواقع قد تتعرض لهجوم الأحماض العضوية (القسم ٥, ٤, ٦).



اللوحة (٢,٩). اسوداد عام وبلورات كبيرة من الكبريتيد على فأس من الفضة أثناء عرضه.

### (٢,٤,٧) الكائنات الحية

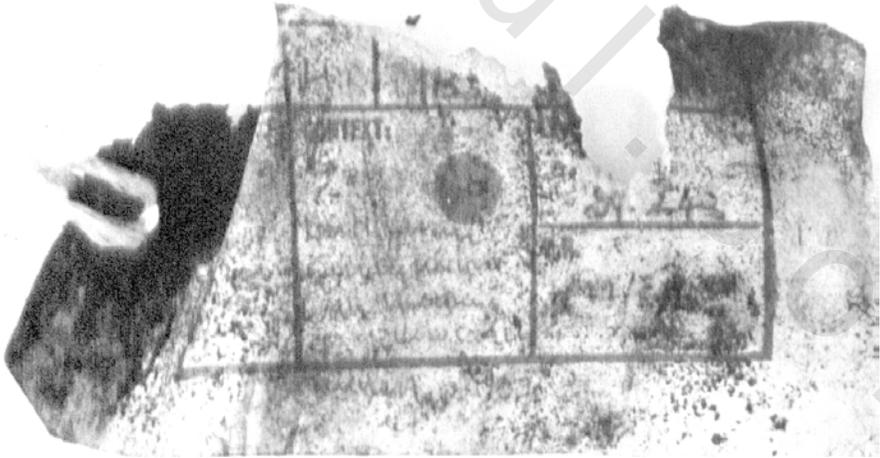
لا يتقيد النشاط البيولوجي في الجو، بفقدان الأوكسجين أو بدرجات الحرارة المنخفضة كما هو الحال في الحفريات. فبالإضافة إلى مصدر الطعام تعدّ الرطوبة عاملاً رئيساً في نمو الكائنات الحية. والمعلومات التالية مبنية على التفاصيل التي نوقشت في القسم (٢,١,١).

### (٢,٤,٧,١) الكائنات الحية في أماكن التخزين المبلل أو الرطب

في حالة المواد الأثرية العضوية والسجلات، على وجه الخصوص، قد يكون مصدر الطعام واضحاً، لكن الكائن الحي قد ينمو في مواد أخرى، تتوفر لها أحوال مماثلة، حيث يتوفر الطعام من خلال الالتصاق بالتربة، وتراكم الغبار، ومواد التغليف

وغيرها. وفي حالات التشبع بالماء، أو عندما تكون الرطوبة النسبية أكبر من ٨٠٪، فإن البكتريا تنشط منتجة بقعاً وأحوالاً، وهي تضعف المواد العضوية إما بالهجوم المباشر عليها أو من خلال إنتاج الأحماض العضوية التي تتولى ذلك العمل. أما الفطريات فتتطلب مستوى ماء منخفضاً قليلاً لإحداث تلف مماثل في المواد الأثرية، لكن الطحالب الفطرية يمكن أن تهاجم المواد العضوية الضعيفة فقط مثل المواد المتحللة، والحشوات والأوراق (اللوحة ١٠، ٢). ويكبح الضوء نمو معظم البكتريات والطحالب؛ ولكن بعضها يحتاج إليه.

في بيئة ما بعد التنقيب يساعد الضوء على نمو الكائنات الحية التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي. وتنمو الأشنة الزرقاء المخضرة، غير المتطورة في الأحوال الرطبة، منتجة أحوالاً فوق المواد الأثرية ومواد التغليف. ويتبع ذلك النباتات العليا في الأحوال الأقل جفافاً، حيث يسبب نمو الجذور والإفرازات الحمضية تكسر المواد.



اللوحة (١٠، ٢). نمو الفطر على الورق يؤدي إلى فقدان هذه البطاقة.

## (٢, ٤, ٧, ٢) الأحوال العادية أو الجافة

هنالك القليل من الطحالب، من بين الكائنات الحية الدقيقة، التي تنشط في الأحوال الجافة، لذلك يقتصر النشاط على الحشرات، والقوارض، والإنسان. وقد نوقش أثر الحشرات على المواد الأثرية العضوية، ومواد التغليف والسجلات المكتوبة في الفصل السادس. من الأمثلة على ذلك: السمكة الفضية التي تلتهم الأوراق وأربطة الكتب، والصراصير التي تتغذى على مواد اللصق، والحشرات الثابتة للخشب التي تترك ممرات على الكرتون أو الورق أثناء بحثها عن طبقة تحية. وتتضاعف عدوى المادة النظيفة بواسطة جراثيم الفطر أو بيض الحشرات في وجود الطعام والرطوبة والدفء.

## (٢, ٤, ٨) سوء الرعاية

يعد سوء الرعاية السبب الرئيس لتلف القطع الأثرية بعد عملية التنقيب (القسم ٢, ٣, ٤). ويمكن تجنب إعادة المعالجة إذا ما تم رعاية القطع الأثرية بعناية وخبرة جيدة، وإذا ما حفظت وعرضت بطريقة جيدة، فبعض الخطوات البسيطة قد توفر الكثير من الوقت والمال.

## (٢, ٥) خلاصة

يحتوي الجدول رقم (٢, ٢) على ملخص لعوامل التلف في بيئات معينة وتأثيرها في بعض المواد الأثرية. من الواضح أن هذا الجدول لا يعدّ شاملاً، ولكنه يمكن أن يكون مرشداً مساعداً في هذا الموضوع المعقد.

جو ما بعد الحفر		مناخات البحر الأبيض المتوسط (مدفونة)			المناخات المعتدلة (مدفونة)			عوامل التحلل	
مناطق	شبه جاف	بحر (غير مرسب)	مشح بالهـاء في منطقة حضرية	مكلس	حصة غير متكسمة	تصنيف سوبغ	تصنيف سوبغ	إلـه	الأكسجين pH Bti
أكثر جفافاً ومتقلب	منخفض جداً	مبتل/جاف	متحرك	راكـد	تصريف	تصريف سريع	تصريف سريع	وجود	وجود
عالي جافاً	أو	موجود	موجود	غالب	موجود	موجود	موجود	وجود	وجود
تلوث حمضي	-	قلوي	قلوي فقط	حايد	قلوي	حمضي	حمضي	وجود	حمضي
موكسد	-	موكسد	موكسد	مختزل	موكسد	موكسد	موكسد	وجود	موكسد
حرق، رذاذ بحر، ... الخ	عال	عال	عال	فوسفات	كربونات	منخفض	منخفض	أملـاح	منخفض
عالية ومقلية	مستورة	عالية/منخفضة للغاية	قابلة بشكل جيد	قابلة	مقلية	مقلية	مقلية	درجة	درجـة
هوائي - العديد جاف في ذلك البحر	الحشرات فقط	هوائي - بعض	هوائي - العديد	غير هوائي ، الكبريتا فقط	هوائي كايـح للعديد من الكبريتا ما عدا الطحالب	هوائي كايـح (غير صالح) للعديد من الكبريتا	هوائي كايـح (غير صالح) للعديد من الكبريتا	الأكاتسات الحية	الأكاتسات الحية
التشققات متصعبة ، تلف بواسطة الأملاح القياسية لللدريان ، السطح متقشر أو متساعج ، تلوث بالتربة وركس	جيد جداً	أضعف بواسطة الأملاح القياسية لللدريان	جيد لكن متشقق ومتساعج بواسطة أملاح غير قابلة لللدريان	جيد لكن متشقق ومتساعج بواسطة أملاح غير قابلة لللدريان	جيد لكن متساعج بواسطة أملاح غير قابلة لللدريان	محكمة أكثر نعومة	محكمة أكثر نعومة	منفسل للساوائل السوراميك	منفسل للساوائل السوراميك
التأثير على المواد السيليكية									

الجدول رقم (٢ ، ٢) . عوامل فساد بيئات معينة وتأثيرها في المواد.

