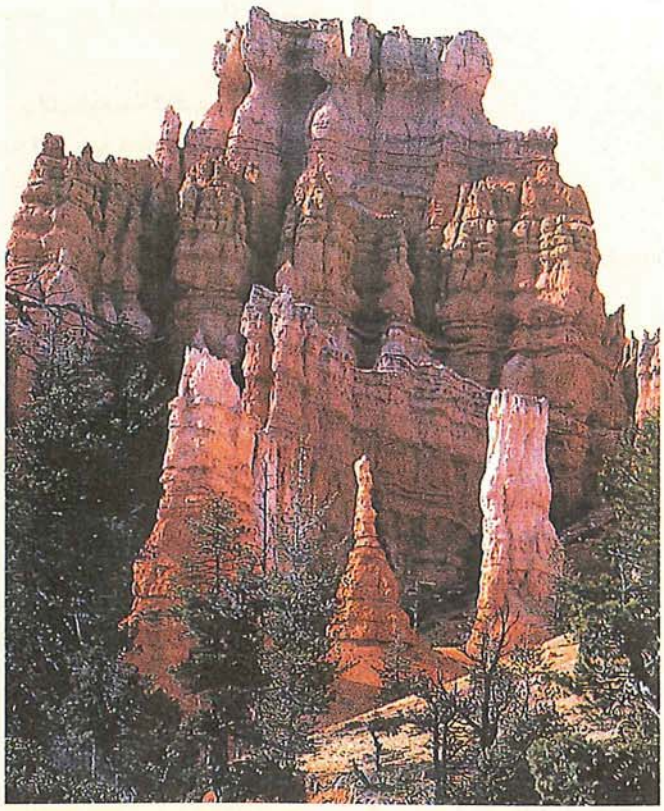
التجوية

أ. عبد الله حسن النصر



يتكون الغلاف الصخري للقشرة الأرضية من أنواع مختلفة من الصخور النارية والرسوبية والمتحولة، تتفاعل مع المحيط الهوائي والمائي والإحيائي للأرض مما ينتج عنه تغيرات فيزيائية وكيميائية في تلك الصخور تعمل على تكسيرها وتفتيتها، وتعرف هذه العملية بالتجوية (Weathering) . وينتقل الفتات الصخري بوساطة عوامل مختلفة(الماء، الرياح، الجليد)، ثم يتم ترسيبه على شكل صخور رسوبية تشكل ـ في الوقت الحاضر ـ ما يقارب من ٥٪ من صخور القشرة الأرضية، وتغطي حوالي ٧٥٪ من سطح الأرض .وتسمى العملية، من بداية التجوية مرورا بعوامل النقل حتى الترسيب، بعملية التعرية (Erosion) .

تعد التجوية إحدى الظواهر الجيولوجية الأكثر أهمية لحياة الإنسان على هذا الكوكب، نظراً لأن نواتجها النهائية، وهي التربة الخصبة الصالحة للزراعة والمعادن ذات الأهمية الإقتصادية، تعد من أهم العناصر التي يستخدمها الإنسان للحصول على طعامه ومنافعه الأخرى . وحيث أن عمليات التجوية تؤثر على المواد العضوية أكثر منها على الصخور، لذلك فإن بقايا الحيوانات والنباتات لا يمكن حفظها ـ من التجوية ـ بسهولة في السجل الصخري . كذلك فإن الكثير من المواد مثل الحديد والأسمنت ـ في أغلب الأحوال ـ لا تصمد أمام عوامل التجوية التي تقوم، إن عاجلاً أو آجلا، بطمس ما يصنعه الإنسان من هياكل بنائية وأدوات ... وغيرها .

عمليات التجوية

تُقسم عمليات التجوية إلى ثلاثة أقسام هي التجوية الميكانيكية والكيميائية والإحيائية، وتحدث عمليات التجوية بشكل متداخل وتلقائي بين بعضها البعض حيث تساعد كل عملية على تعزيز وتعجيل العملية الأخرى . وتسود التجوية الميكانيكية في المناطق شديدة الجفاف والمناطق شديدة البرودة، بينما تسود التجوية الكيميائية في المناطق شديدة الرطوبة والحرارة، أما التجوية الإحيائية فتسود أينما كان النشاط الإحيائي كبيراً ومؤثراً .

التجوية الميكانيكية

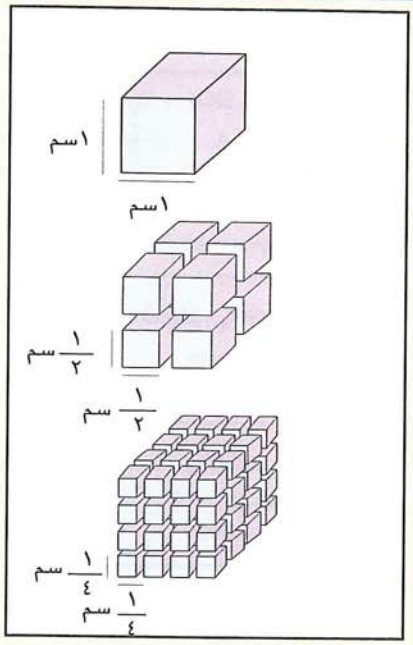
تعمل التجوية الميكانيكية (Mechnical Weathering)، التي تشكل المياه والحرارة أهم عاملان فيها، على تكسير وتفتيت الصخور ـ دون أي تغير في تركيبها الكيميائي ـ وزيادة مساحة سطوحها، وبالتالي تعرض أكبر مساحة من المادة للعوامل الجوية والمياه وغيرها .

ولتوضيح أثر عملية التجوية الميكانيكية على زيادة مساحة سطح الصخر، نأخذ مكعباً طول ضلعه ١سم، فتكون مساحة أوجهه الستة ٦سم٢، وبتقسيم هذا المكعب إلى مكعبات أصغر فأصغر تتراوح أطوال أضلاعها بين $\frac{1}{2}$ سم إلى $\frac{1}{16}$ سم، جدول (١)، فإن المساحة السطحية للمكعب تزداد من١٢سم٢ إلى ٩٦سم٢ . بينما يوضح الشكل (١) زيادة المساحة السطحية لمكعب عند تقسيمه إلى مكعبات أصغر حجماً، ويوضح الشكل (٢) العلاقة بين طول ضلع المكعب ومساحة سطحه .

وهكذا نلاحظ أنه على الرغم من أن حجم المكعب في كل الحالات السابقة يبقى على ماهو عليه (١سم٣) إلا أن مساحته

طول ضلع المكعب(سم)	عدد المكعبات	المساحة السطحية (سم٢)
١	١	٦
$\frac{1}{2}$	٨	١٢
$\frac{1}{4}$	٦٤	٢٤
$\frac{1}{8}$	٥١٢	٤٨
$\frac{1}{16}$	٤٠٩٦	٩٦

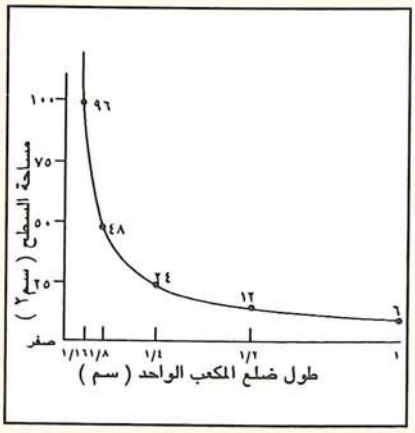
● جدول (١) أثر التجوية الميكانيكية على زيادة مساحة سطح الصخر .



● شكل (١) زيادة المساحة السطحية لمكعب عند تقسيمه إلى مكعبات أصغر حجماً.

السطحية قد إزدادت من ٦سم٢ إلى ٩٦سم٢ نتيجة لتقسيمه إلى مكعبات أصغر، وهذا ما يحدث بالضبط للصخور في حالة تكسرها وتفتتها مما يزيد من مساحة سطحها ويجعلها أكثر تعرضاً لعوامل التجوية المختلفة . يمكن تقسيم عوامل التجوية الميكانيكية إلى ثلاثة أنواع رئيسة هي :

* **التغيرات الحرارية :** يؤدي التفاوت الكبير في درجات الحرارة اليومية خاصة في المناطق الصحراوية ، التي يصل فيها فرق درجة الحرارة بين الليل والنهار إلى ما



● شكل (٢) العلاقة بين طول ضلع المكعب ومساحة سطحه.

يقارب ٣٥°م ، إلى حدوث تمدد وتقلص للمعادن المكونة للصخور . ونظرا لاختلاف معاملات التمدد الحراري للمعادن ، تعمل تلك التغيرات الحرارية مع مرور الزمن على تشقق الصخور وتحطمها . ويروي بعض الرحالة في الصحراء ومتسلقي الجبال سماع أصوات فرقعة عالية عند الغروب ، حيث يعتقد أن مصدر هذه الأصوات ناتج عن تشققات الصخور بسبب الهبوط المفاجيء في درجات الحرارة .

كما تعمل درجات الحرارة المنخفضة (تحت الصفر) على تجمد المياه المتغلغلة بين الشقوق والمسام الصخرية وتحولها إلى جليد فيزيد حجمها ، وينتج عن ذلك تولد ضغط هائل على الصخور المحيطة بها مسببا تكسرها وتفتتها إلى أحجام أصغر . حيث أن الماء عندما يتجمد ويتحول إلى جليد فإن حجمه يزداد بنسبة ٩٪ ، وتسبب هذه الزيادة في الحجم ضغطا على الشقوق والمسام مما يجبرها على التمدد والاتساع ، ذلك لأن السنتيمتر المربع الواحد من الماء المتجمد (الجليد) يتحمل ضغطا يساوى ٢٠٠٠ ثقل كيلو جرام ، بينما لا تتحمل أقوى الصخور أكثر من ٢٤٦ ثقل كيلو جرام على السنتيمتر المربع الواحد .

وحيث أن الرطوبة والماء تتوزعان بشكل عشوائي (غير منتظم) في طبقات التربة ، فإنه عندما تتجمد المياه تسبب ضغطا يؤثر على الطبقة العليا من التربة ينتج عنه تكون سطح متعرج وغير منتظم ، ونتيجة لذلك تندفع الصخور والحصى الكبيرة إلى أعلى التربة لتستقر على سطحها ، مما يضطر المزارعون في المناطق الباردة ـ بعد نهاية فصل الشتاء ـ إلى تنظيف حقولهم من الحصى والحجارة التي تكونت بسبب تلك الظاهرة .

ونظرا لتذبذب درجات الحرارة عشرات المرات ـ أعلى وأسفل الصفر المئوي ـ في الكثير من مناطق العالم ، خلال فصل الشتاء ، فان ذلك يؤثر بشكل خاص على الطرق الاسفلتية مسبباً تآكلها وتكون شقوق وحفر كبيرة فيها ، مما يضطر الجهات المختصة إلى إجراء أعمال الصيانة بعد نهاية فصل الشتاء وموسم الأمطار من كل عام .

* **إزاحة الأحمال (Unloading) :** تتمدد الصخور وتتسع الشقوق والمسام فيها ، عند إزاحة الأحمال عنها وذلك من خلال تجوية ونقل المواد المترسبة فوقها بوساطة عوامل التعرية المختلفة . ونظرا لتكرار هذه العملية مع مرور الوقت ، وإستمرار إزاحة الأحمال فان ذلك يؤدي إلى زيادة الشقوق والمسام وإتساعها مما يساعد على تكسر الصخور وتفتتها . كذلك تتقشر الأجزاء الخارجية لبعض أنواع الصخور ـــ بسبب إنخفاض الضغوط المسلطة عليها ـــ على شكل صفائح بموازاة سطوحها ، وبأسماك تختلف من صخر إلى آخر .

* **التمدد البلوري :** يُعد أحد أفضل الأمثلة على التداخل بين عمليات التجوية الميكانيكية والتجوية الكيميائية . ويحدث التمدد البلوري عندما تتغير الصفات الفيزيائية للصخور نتيجة لتغير صفاتها الكيميائية . فعندما تتغير صفات تلك المعادن الكيميائية فان بلوراتها تتغير بنسب ومقادير متفاوتة، مما يولد ضغوطاً كبيرة بين ذرات ومسام تلك الصخور ، تساعد على تكسيرها وتفتتها بدرجات مختلفة تتوقف على نوعية المعادن المكونة لها ومقدار النمو البلوري لها. ومن الأمثلة على ذلك تغير معادن السيليكا مثل الفلدسبار (Feldspar) إلى معادن الطين (Clay) ، وكذلك تغير بعض المعادن الأخرى التي تحتوي على الحديد مثل البايوتايت (Biotite) والبيروكسين (Pyroxene) والبايرايت (Pyrite) والليمونايت (Limonite) والهيماتايت (Hematite) . كما تتغير اللامائيات (Anhydrites) مثل كبريتات الكالسيوم ($Ca\ SO_4$) إلى جبس ($Ca\ SO_4 . 2H_2O$) .

● التجوية الكيميائية

تعمل التجوية الكيميائية (Chemical Weathering) على تغيير المعادن إلى معادن أخرى ، أكثر تحملاً للظروف

البيئية السائدة على سطح الأرض ، وذلك من خلال تفاعلات كيميائية معقدة يدخل فيها الماء وثاني أكسيد الكربون والأكسجين وغير ذلك من العناصر والمواد الأخرى .

تختلف سرعة إستجابة المعادن للتجوية إعتماداً على الظروف التي تكونت فيها ، فكلما كان تكون الصخور في ظروف بيئية مشابهة لما هو سائد في الظروف الطبيعية على سطح الأرض ، كلما زادت درجة مقاومتها للتجوية . فعلى سبيل المثال تعد الصخور النارية والمتحولة التي تكونت تحت درجات عالية من الضغط والحرارة أقل المعادن مقاومة لعوامل التجوية المختلفة، بينما تعد الصخور التي تكونت في درجات حرارة وضغط عاديين على سطح الأرض - مثل بعض أنواع الصخور الرسوبية - أكثر تحملاً ومقاومة لعوامل التجوية .

ويمكن تقسيم عمليات التجوية الكيميائية ، (معادلات التفاعل، شكل ٣) إلى خمسة أقسام هي كالتالي :

* **الأكسدة (Oxidation) :** تتم باتحاد الأكسجين مع العناصر أو المعادن التي تحتوي عادة على أيونات معينة مثل أيونات الحديد ، مما يؤدي إلى تغير لون المعدن المُؤكسد إلى اللون البني أو الأحمر . ويعمل الماء والرطوبة العالية في الجو على تسريع عملية الأكسدة على سطح الأرض ، ومن الأمثلة على ذلك أكسدة معدن الأولوفين وتحوله إلى هيماتايت من خلال معادلة التفاعل (١) .

* **الذوبان (Dissolution) :** يذوب في الماء - الذي يعد من أقوى المذيبات الطبيعية - الكثير من المواد العضوية وغير العضوية ، وتتحلل هذه المواد وينتج عنها أيونات تذوب في الماء . ومن أشهر المعادن التي تذوب بسرعة في الماء معدني الهالايت والجبس ، معادلتي التفاعل (٢ ، ٣) .

* **التميه والجفاف (Hydration and Dehydration) :** تسمى عملية إتحاد جزيئات الماء مع بعض المعادن لتكوين معادن أخرى بعملية التميه. وعندما يفقد المعدن (Mineral) جزئيات الماء ويتكون معدن آخر تسمى هذه العملية بالجفاف ، وهي تماما عكس عملية التميه . ومن أفضل الأمثلة على ذلك اتحاد الماء مع « بلا ماء كبريتات الكالسيوم » (الأنهيدريت) ، لتكون الجبس بعملية التميه . وعندما يفقد الجبس الماء من خلال عملية الجفاف فإنه يتحول إلى « بلا ماء كبريتات الكالسيوم » مرة أخرى ، معادلة التفاعل (٤) .

م	المعادلة
١	$2Fe_2SiO_4 + O_2 \longrightarrow 2Fe_2O_3 + 2SiO_2$ ألوفين — أكسجين — هيماتيت + سيليكا
٢	$NaCl + H_2O \longrightarrow Na^+ + Cl^- + H_2O$ كلوريد صوديوم — ماء — أيون صوديوم — أيون كلور — ماء
٣	$CaSO_4 . 2H_2O + H_2O \longrightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$ جبس — أيون كالسيوم — أيون كبريتات
٤	$CaSO_4 + 2H_2O \underset{\text{جفاف}}{\overset{\text{تميه}}{\rightleftharpoons}} CaSO_4 . 2H_2O$ بلا ماء كبريتات الكالسيوم — جبس
٥	$4KALSi_3O_8 + 22H_2O \longrightarrow 4K^+ + 4OH^- + 2AL_2Si_2O_5(OH)^-_4 + 8H_4SiO_4$ أورثوكليز — أيون بوتاسيوم — أيون هيدروكسيل — كاولينايت — حامض السلسليك
٦	$2KALSi_3O_8 + H_2CO_3 + H_2O \longrightarrow K_2CO_3 + AL_2Si_2O_5(OH)^-_4 + 4SiO_2$ أورثوكليز — حامض الكربونيك — كربونات بوتاسيوم — كاولينايت — سيليكا
٧	$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$ ثاني أكسيد الكربون — حامض الكربونيك $H_2CO_3 \longrightarrow H^+ + HCO^-_3$ أيون هيدروجين — أيون بيكربونات

● شكل (٣) معادلات تفاعل التجوية الكيميائية .

* **التحلل المائي (Hydrolysis) :** يتفاعل أيون الهيدروجين (H^+) والهيدروكسيل (OH^-) — الناتج من تحلل الماء والعناصر المعدنية - مع بعض المعادن مثل الفلدسبارات (Feldspars) والسيليكات التي تحتوي على الألمنيوم ، حيث تتحول هذه المعادن إلى معادن طينية ، وينتج عن هذه العملية تحرر الأيونات الموجبة مثل الصوديوم والكالسيوم والبوتاسيوم حيث تقوم النباتات عادة بامتصاص البوتاسيوم ، بينما تنتقل أيونات الصوديوم والكالسيوم على شكل محاليل مع الماء ، معادلتي التفاعل (٥ ، ٦) .

* **التحول إلى كربونات (Carbonation) :** حيث يتم أولاً إنتاج حامض الكربونيك (H_2CO_3) وذلك إما باتحاد ثاني أكسيد الكربون (CO_2) ، الموجود في الهواء الجوي - بنسب قليلة — مع قطرات الماء أو مع المياه الموجودة في التربة ، ثم يتحلل هذا الحامض وينتج عنه أيون الهيدروجين الموجب (H^+)