جامعة الملك سعود
كلية الآداب - قسم الجغرافيا

محاضرة رقم (5)

مدرس المقرر: أ. د. محمد بن عبدالله الصالح

masaleh@ksu.edu.sa
masaleh@windowslive.com
http://fac.ksu.edu.sa/masaleh/course/235342

التجوية Weathering

التعرية Denudation مصطلح عام يطلق على عمليات الهدم والتي تشتمل على عمليات التجوية Weathering بنوعيها وعلى عمليات تحرك المواد Mass movement وعلى عمليات النحت Erosion والنقل Transportation.

تعد عمليات التجوية weathering الحلقة الأولى من سلسلة العمليات الجيومورفولوجية الخارجية.

التجوية عبارة عن مجموعة من العمليات تؤدي الى تفتيت وتحلل الصخور السطحية أو القريبة من السطح.

يقتصر تأثير التجوية على تفكيك وتحلل الصخور في اماكنها ولذا فهي تعمل على تحضير مواد السطح ليتم نحتها وازالتها.

تنقسم عمليات التجوية الى مجموعتين رئيسيين هما التجوية الميكانيكية (الطبيعية) والتجوية الكيميائية.

عمليات التجوية الطبيعية تؤدي الى تكسير الصخور ميكانيكيا دون أن تتغير مكوناتها المعدنية أما عمليات التجوية الكيميائية فتؤدي الى تحلل الصخور وذلك بتغير تركيبها الكيميائي.

(أ) التجوية الميكانيكية

ذكرنا أن التجوية الميكانيكية هي عملية تحطيم وتفتيت الصخور بدون إحداث أي تغيير كيميائي بها . وتسود عمليات التجوية الطبيعية في المناطق المناخية التي يضعف فيها فعل العوامل الكيميائية مثل الأماكن الشديدة الجفاف أو الشديدة البرودة ، ولكن هذا لا يعني أن المناطق التي تسود فيها التجوية الكيميائية لا تحدث بها تجوية طبيعية . ففي مثل هذه المناطق تطغى آثار التجوية الكيميائية السائدة على ما يحدث من تجوية طبيعية . وتؤدي التجوية الطبيعية في هذه المناطق عملاً هاماً ، وهو تحويل الصخور الى فتات تزيد مساحة أسطحه المعرضة لفعل العوامل الكيميائية زيادة ضخمة بالنسبة لمساحة الأسطح الأصلية للصخر التي كانت تتعرض للجو قبل تحول الصخر الى حطام . ومن المعروف أنه كلما ازدادت مساحة السطح المعرض للتفاعل الكيميائي (وتعرف هذه المساحة باسم **السطح النوعي** specific surface) ازدادت سرعة وكفاءة هذا التفاعل ، ولذلك يمكن القول إن التجوية الطبيعية ، بالاضافة الى أنها عامل هام في تفتيت الصخور ، تمهد للتجوية الكيميائية وتسهل عملها .

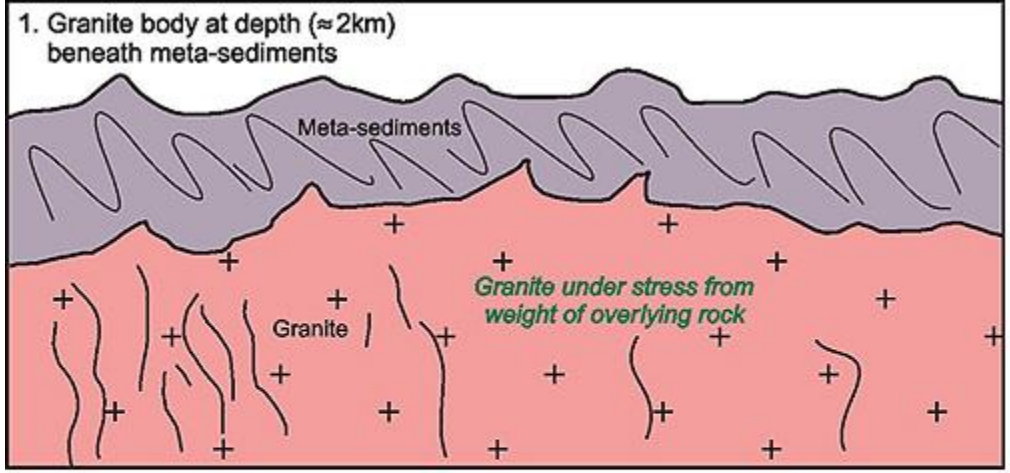
تتضمن التجوية الميكانيكية (الطبيعية) مجموعة من العمليات تعمل على تفكيك الصخور منها: التجوية بزوال الحمل، التجوية الحرارية والتجوية بسبب التجمد والتجوية الملحية والتجوية بسبب النبات والحيوان.

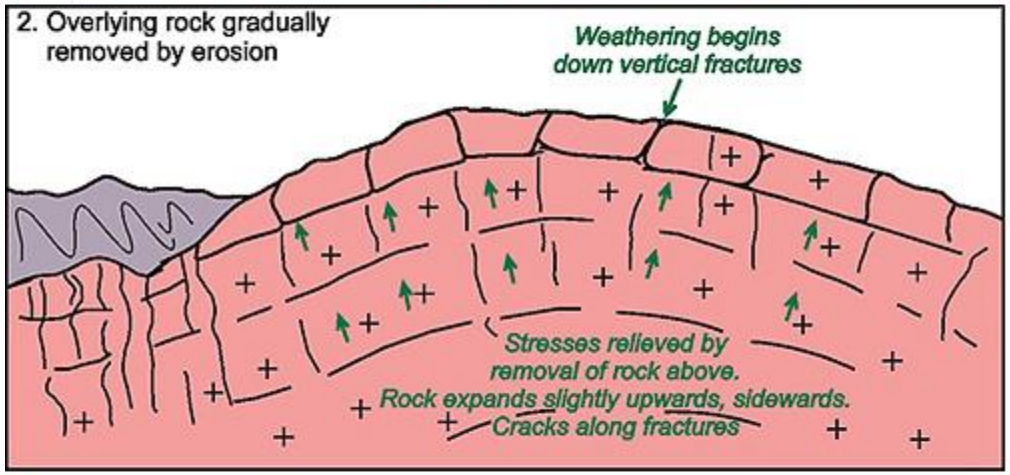
(١) **ازالة الحمل** unloading . يؤدي **الضغط** المتزايد على جسم ما الى تقليل حجمه ، كما أنه قد يحدث تغيراً في شكله . ومادام الضغط أو الكبس لم يتعد حداً معيناً يسمى **حد المرونة النسبي** (انظر الشكل ٥ ــ ١٠ ، ص ١٣٣) فإن **التشوه** أي التغير في الحجم والشكل لايكون تشوهاً دائماً ، بل **تشوهاً مرناً** (انظر ص ١٣٣) ، فعند ازالة الضغط الواقع على الجسم يعود الجسم إلى شكله وحجمه الأصليين . ويمكن تفسير هذه الظاهرة بأن الجسم تتولد داخله قوى مساوية للقوى الخارجية ولكنها مضادة في الاتجاة بالنسبة إلى هذه القوى الخارجية التي يتعرض لها الجسم . وبازالة الضغط الخارجي تنعدم حالة التوازن التي كانت سائدة بين القوى الخارجية والقوى الداخلية ، وعندئذ تعيد القوى الداخلية الجسم إلى شكله وحجمه الأصليين . ويشبه تأثير هذه القوى الداخلية التي تضغط في الجسم من الداخل إلى الخارج تأثير قوى **شد** خارجية تجذب أسطح الجسم نحو الخارج .

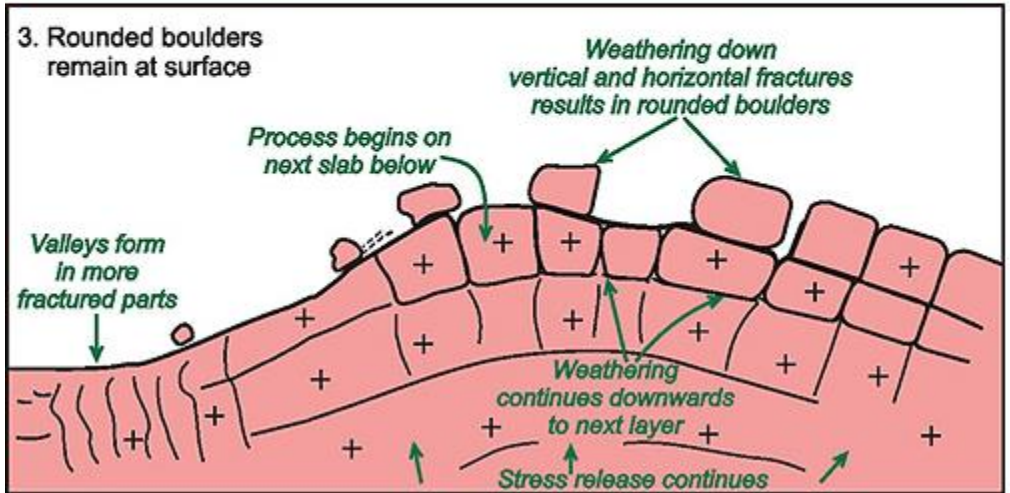
وعند تطبيق هذه المعلومات في دراسة تأثير قوى الضغط على الصخور الرسوبية مثلاً ، يمكن ملاحظة أن الرسوبيات التي تتراكم في **حوض ترسيبي** هابط تدفن باستمرار أثناء تراكمها تحت رسوبيات جديدة ، وذلك يؤدي إلى تعرض الرسوبيات السفلى الدفينة الى ضغوط شديدة بسبب تزايد حمل الرسوبيات الواقع عليها . واذا عرض صخر في المعمل لضغط ولو أقل من الضغط الذي قد يتعرض له في الطبيعة نتيجة لتراكم الصخور عليه ، فإن التشوه الذي يصيب الصخر في المعمل يمكن أن يتجاوز حد **التشوه المرن** ، أي إن الصخر قد يتشوه تشوهاً دائماً ، بل يمكن أيضاً أن يصل الصخر الى حد **الانهيار** (انظر ص ١٣٣) . ولكن وضع الصخور المتعرضة لضغوط عالية في باطن الأرض يختلف عن وضع نفس الصخور في المعمل . ففي الطبيعة تكون قطعة الصخر التي توجد تحت السطح واقعة تحت ضغط متساو من جميع الجهات ، ويساوي هذا الضغط وزن عمود الصخور التي تعلو قطعة الصخر الدفينة . أما في المعمل فالضغط يكون في اتجاه واحد فقط ، أما في باقي الاتجاهات فيكون الضغط أقل بكثير ، إذ هو يساوى الضغط الجوي العادي . ويسمى الضغط المتساوي من جميع الجهات **بالضغط الحابس** confining pressure ، وهو يرفع من حد المرونة الخاص لكل مادة صلبة ، ويعنى هَذا أن الصخر الواقع تحت **ضغط حابس** كبير (كما هو الحال بالنسبة لصخر يقع على بعد كبير نوعاً ما تحت سطح الأرض) يمكنه أن يتحمل ضغوطاً كابسة كبيرة بدون أن يتشوه تشوهاً دائماً وبدون أن يتحطم .

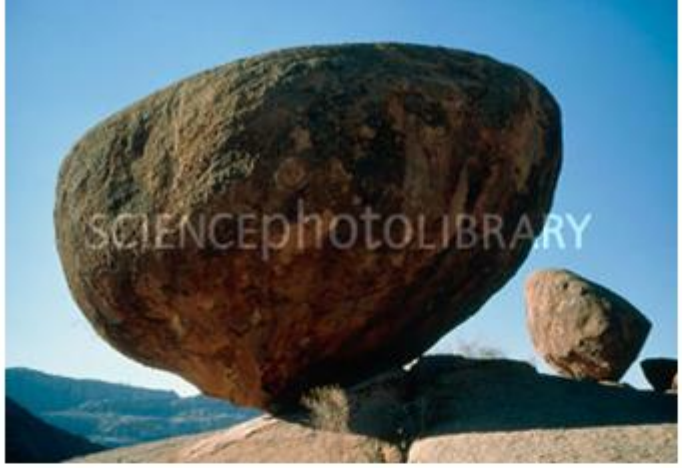
وإذا أزيلت كميات كبيرة من الصخور بواسطة عوامل التعرية فإن الضغط الحابس الواقع على الصخور التي أصبحت قريبة من السطح يقل كثيراً ، ومن ثمَّ فإن القوى الداخلية التي كانت متوازنة مع الضغط الخارجي ، تحاول أن تدفع سطح الصخر نحو الخارج . واذا كان الضغط الخارجي الذي أزيل بالتعرية كبيراً فإن القوى الداخلية ، التي تشبه قوى خارجية كما ذكرنا ، تؤدي الى تكون شقوق في الصخر ، وتكون هذه الشقوق موازية لسطح الأرض . وتكون هذه الشقوق متقاربة بالقرب من سطح الأرض ، وتتباعد تدريجياً كلما بعدت عن سطح الأرض . ولمَّا كانت الطبقات التي تحددها هذه الشقوق تشبه الصفائح المتتالية فإن هذه الظاهرة تسمى **بالتصفح** sheeting . ويختلف سمك الصفيحة من بضعة سنتيمترات بالقرب من السطح الى عدة أمتار في الأعماق الكبيرة قليلاً .

ويمهد التصفح لعمليات التجوية الطبيعية الأخرى بما ينشئه من مستويات ضعف أو شقوق موازية للسطح ، وبذلك يسهل على عمليات التجوية الأخرى تحطيم الصفائح وجعلها جلاميد وكسراً صخرية مختلفة الأحجام .


1. Granite body at depth (≈2km)
beneath meta-sediments
Meta-sediments
Granite under stress from
weight of overlying rock
Granite


2. Overlying rock gradually
removed by erosion
Weathering begins
down vertical fractures
Stresses relieved by
removal of rock above.
Rock expands slightly upwards, sidewards.
Cracks along fractures


3. Rounded boulders
remain at surface
Weathering down
vertical and horizontal fractures
results in rounded boulders
Process begins on
next slab below
Valleys form
in more
fractured parts
Weathering
continues downwards
to next layer
Stress release continues



(٢) **اختلاف درجات الحرارة temperature variations** . ان اختلاف درجة الحرارة بين الليل والنهار يؤدي الى تكرار تمدد الصخور وانكماشها . وهذا يؤدي من بعد الى خلخلة أجزائها وتفتتها . ويلاحظ نشاط هذا العامل بوضوح أكثر في المناطق الصحراوية ذات المناخ القاري حيث الفرق في درجات الحرارة بين الليل والنهار كبير ، وقد يصل في بعض الأحيان الى ٣٠ أو ٤٠ درجة مئوية . وعندما ترتفع درجة الحرارة بالنهار تسخن الصخور إلى درجة عالية ، أما عند انخفاض درجات الحرارة أثناء الليل فتبرد الصخور نتيجة للاشعاع من سطحها المعرض للجو بينما يظل باطن الصخور ساخناً . ويؤدي هذا الى تشقق القشرة الخارجية للصخر وتفتتها وانفصالها عن السطح

ويتضح أن التأثير المفتتي للتغيرات في درجات حرارة الجو على الصخور ناتج عن صفتين مهمتين هذه الصخور وهما :

أ — أنها ليست موصلات جيدة للحرارة ،

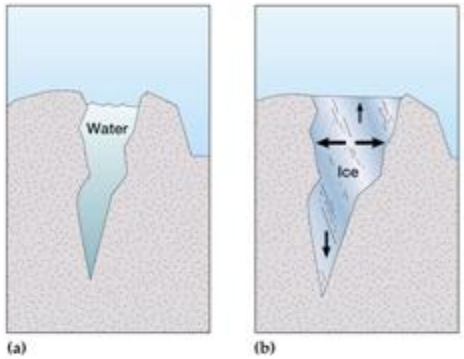
ب — أن تركيبها ، ولاسيما الأنواع المتبلورة منها (**الصخور النارية والمتحولة**) . غير متجانس ، أي إنّ بهذه الصخور معادن متبلورة مختلفة يكون لكل معدن منها معامل تمدد خاص وقابلية خاصة لتوصيل الحرارة ، وذلك يؤدي عند احداث تغيرات في درجات حرارة الجو إلى ظهور ضغوط وإجهادات متباينة لها اتجاهات مختلفة في داخل الصخور ، وينتج من ذلك مع مرور الوقت ظهور تشققات غير منتظمة في اتجاهاتها ، وكل ذلك يساعد على تهشم الصخر وتفتته .

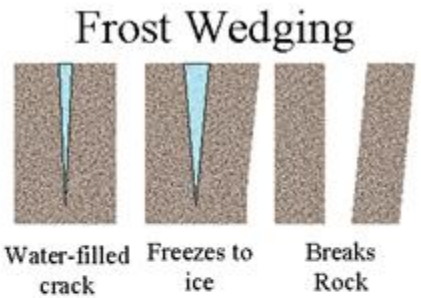
وتحدث هذه التغيرات على وجه الخصوص في طبقات الصخور الخارجية القريبة من تأثير الظروف الجوية ، ثم يمتد التأثير إلى الطبقات التي تليها من الداخل وهكذا .

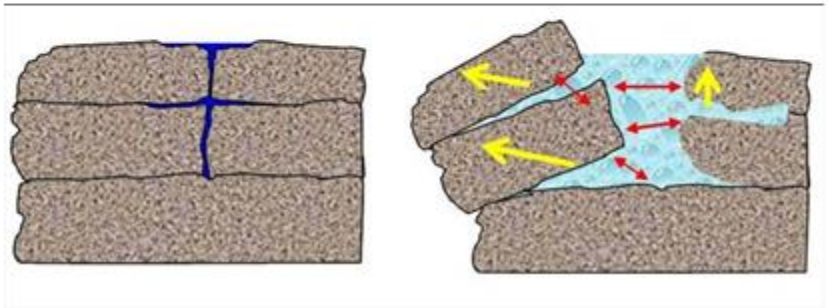
وتجدر الاشارة هنا إلى أن رداءة توصيل الصخور للحرارة لها أهمية خاصة في حمايتها من التجوية . فحتى في المناطق الصحراوية تستطيع طبقة رقيقة من الكسارة أو **الفتات الصخري** أو **التربة** أن تحمي باقي الصخر من التجوية ومن تأثير التغيرات في درجات حرارة الجو . فتقوم التربة **بعزل حراري** insulation للصخور الواقعة تحتها . ولا يمكن أن تستمر عمليات التجوية إلا اذا قامت عوامل النقل بازالة الفتات الصخري أو التربة من فوق الصخور ، لكي تعريها وتعرضها مرة ثانية لعوامل التجوية .

(٣) **الجمد frost** . ينكمش الماء مع انخفاض درجة الحرارة حتى يصل في ذلك إلى حد أدنى عندما تصل درجة الحرارة الى ٤° مئوية . فإذا برد الماء أكثر من ذلك فانه يبدأ في التمدد حتى تصل درجة الحرارة إلى درجة التجمد (صفر مئوية) ، وعند هذه الدرجة يزداد التمدد فجأة حتى يصل إلى زيادة قدرها ١/١٠ من حجم الماء الأصلي قبل التجمد مباشرة . ويصحب هذا التمدد الفجائي انطلاق قوة عظيمة تساوي أكثر من طنين على السنتيمتر المربع .

وفي المناطق الممطرة يتخلل الماء الصخور ليصل إلى المسام والشقوق والفجوات الموجودة بداخل هذه الصخور . وعندما تنخفض درجة الحرارة إلى الصفر يتجمد هذا الماء مكوناً الجمد ، وهذا يتمدد حينئذ بسرعة محدثاً ضغطاً عظيماً يسبب تهشم الصخر ، وقد يصل التهشم الى أعماق كبيرة . ويكون الجمد عاملاً فعالاً من عوامل التجوية في المناطق الباردة أو الجبلية .





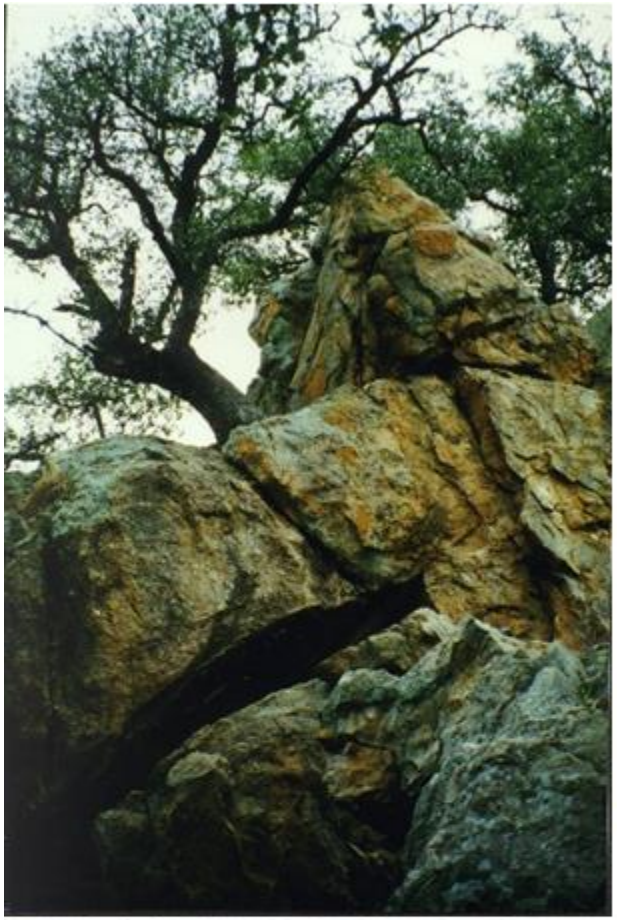


(٤) **قوة التبلور crystalization force** . عندما تنمو **البلورات** في حيز محدود يصاحب نموها ضغط هائل على جدران المكان الذي تنمو فيه ، ويشبه هذا الضغط إلى حد بعيد الضغط الناتج عن الماء عند تجمده . وفي الأماكن القليلة الأمطار تتخلل مياه الأمطار الصخور والتربة ، وعندما ينقطع المطر يبدأ جزء من الماء في الصعود نحو السطح اذا كانت الفتحات الموجودة بين الحبات صغيرة بالقدر الكافي ، وذلك نتيجة **للخاصة الشعرية capilarity** . وسرعان ما يتبخر الماء عند السطح أو بالقرب منه مرسباً مابه من أملاح . وباستمرار هذه العملية تنمو بلورات الأملاح محدثة ضغطاً كبيراً على الحبات التي تلامسها ويؤدي ذلك الى تفكك الصخر وتفتته .

وتكون هذه العملية واضحة في المناطق شبة **الصحراوية** التي تتناوب فيها فترات المطر وفترات الجفاف . ولكن تبلور الأملاح قد يتم أيضاً في الأماكن التي توجد فيها المياه الجوفية بالقرب من سطح الأرض ، حيث تقوم الخاصة الشعرية برفع كميات متجددة من **المياه الجوفية** نحو السطح . وتترسب الأملاح التي توجد في **المياه الجوفية** بين الحبيبات المكونة للصخور قرب السطح فتفككها .

(٥) **التشبع بالماء والجفاف saturation and dessication** . عندما يتعاقب تشبع الصخور بماء المطر وجفافها تحت تأثير أشعة **الشمس** يحدث ذلك تفككاً في أجزائها ، ويؤدي أخيراً إلى انهيارها على هيئة تراب أو **فتات صخري** ، ويكون هذا التأثير على أشده في الصخور الطينية التي لها قدرة كبيرة على امتصاص الماء . أما اذا زادت كمية المطر إلى الحد الذي يمكّن **الماء الجاري** على سطح الأرض من نقل الفتات الصخري ، فإن تأثير الماء على الصخور يتحول من مجرد التجوية الى التحات أيضاً .

Surface Cracks of dry soil.



(٦) **التأثير الميكانيكي للكائنات الحية mechanical action of living organisms .**
للحيوانات والنباتات دور هام في تفتت الصخور ، سواء أكان بطريقة مباشرة أم غير مباشرة . فالنباتات الراقية خاصة ترسل جذورها إلى داخل شقوق أو فجوات الصخور ، وهذه الجذور عندما تنمو داخل الصخور ينتج عن نموها قوة كبيرة تكفي في كثير من الأحيان لفلق الصخور وشطرها . ويؤدي تكرار عملية الشطر هذه إلى تفتت الصخور وتحولها إلى حطام . كما أن **الحيوانات الحفارة كديدان الأرض والنمل والسنجاب الأرضي** وغيرها تساعد عوامل التجوية عن طريق تعريض أجزاء جديدة من الصخور إلى السطح ، وأيضاً بتهيئة مسالك سهلة لعوامل التجوية لكي يصل تأثيرها إلى ما تحت سطح الأرض . وقد أثبت العالم البريطاني الشهير **داروين** أن الديدان الأرضية التي تعيش في هيكتار واحد من الأرض تبتلع وتلفظ من أمعائها ما يصل الى أكثر من عشرة أطنان من التربة في السنة الواحدة .

(ب) التجوية الكيميائية

يمكن القول إن أهم مكونات الجو من الناحية الجيولوجية (أي من حيث تأثيرها الكيميائي على الصخور) هي **الأكسجين وثاني أكسيد الكربون** وبخار الماء ، لأن لهذه المكونات نشاطاً كيميائياً . ويعتبر بخار الماء من أهم هذه المكونات ، وذلك لما له من تأثير مباشر في **التحلل المائي والتمُّوه** وتأثير غير مباشر لاتمام التفاعلات الكيميائية ، ولاسيما في عمليات **الأكسدة والتكربن** . وإلى جانب المواد التي سبق ذكرها هناك مواد أخرى نشيطة كيميائياً توجد في الهواء الجوي ، ولكن كمياتها ضئيلة ، وانتشارها منحصر في أماكن محدودة ، تلك هي **حمض الكبريتيك** ، والنتريك ، وغاز الأمونيا .

ويزيد الإرتفاع في درجات الحرارة من قدرة التجوية الكيميائية كما هو معروف أيضاً بالنسبة لمعظم التفاعلات الكيميائية الأخرى . ووجود الرطوبة عامل آخر مهم لإتمام هذا النوع من التجوية ، لأن وجود الماء يساعد على تحريك **الأيونات** لكي يتفاعل بعضها من بعض . ولذلك تكون التجوية الكيميائية أكثر كفاءة في المناطق الدافئة الرطبة منها في المناطق الباردة أو الجافة .

وهناك خمس عمليات مهمة تؤدي الى تحلل الصخور نتيجة للتجوية الكيميائية وهي :

(١) **التحلل المائي hydrolysis** : وتكمن فعالية الماء في اتمام عمليات التحلل المائي في **أيونات الهيدروجين** الصغيرة التي تستطيع أن تتخلل التركيب البلوري **للسليكات** وأن تفتته . وبذلك تتكون مركبات جديدة أبسط تركيباً من السليكات الأصلية . ولا يمكن في العادة أن تبقى هذه المركبات البسيطة ملامسة للعناصر المكونة للهواء وللمحاليل المائية بدون أن تتفاعل كيميائياً معها لتكون **أكاسيد وايدروكسيدات وكربونات** وأحياناً **كبريتات** بالاضافة إلى بعض **السليكات** التي هي أبسط تركيباً من السليكات التي لم يسبق أن تأثرت بعمليات التجوية الكيميائية .

ويتضح من المناقشة السابقة أن التحلل المائي يمهد في العادة لعمليات التجوية الكيميائية الأخرى التي سنعالجها فيما بعد .

ومن أشهر الأمثلة على عملية التحلل المائي في تجوية المعادن النارية عملية تحويل **الفلسبارات** البوتاسية (مثل **الأورثوكلاز**) الى **كاولينيت** Kaolinite ، والكاولينيت أحد المعادن الطينية المنتشرة في الطبيعة . وهذا المعدن يوجد في معظم **الصخور الطينية** بالاضافة إلى **معادن طينية** أخرى . وتعرف أحياناً عملية تحول **الفلسبارات البوتاسية** إلى كاولينيت باسم **الكولنة** kaolinitization .

(٢) **التأكسد oxidation** . يمكن اعتبار التأكسد أحياناً اتحاد **الأكسجين** مع العناصر أو المركبات ، ويوجد **الأكسجين** في الهواء الجوي بنسبة ٢١٪ (انظر ص ٣٥) ، وهو يذوب في الماء . وتتوقف عملية التأكسد الطبيعية على وجود جو رطب ، كما أنها أكثر سرعة في المناخ الحار ، ولذلك نجد أنها أكثر نشاطاً وتأثيراً على الصخور في المناطق الاستوائية حيث تنتج عنها أنواع من التربة تكثر هناك وتعرف باسم **اللاتريت** laterite و**البوكسيت** bauxite . وتمتاز الأولى بلون أحمر لعلو نسبة أكاسيد الحديد بها ، أما الثانية فهي ذات لون أصفر أو أبيض لانخفاض نسبة أكاسيد الحديد وارتفاع نسبة **أكاسيد الالومنيوم** بها .

وبما أن الكثير من **الصخور النارية والمتحولة** تحوى عنصر **الحديد** على هيئة **كاتيونات** موجبة (غالباً تكون **حديدوزاً**) في تركيب معادن **السليكات** المكونة لها (انظر الفقرة ٤ ــ ٤ ــ ٥ من هذا الكتاب في تركيب السليكات) فان عملية التحلل المائي التي تتبعها عملية التأكسد تؤدي في معظم الأحيان إلى تكوين **أكاسيد الحديديك** بكثرة بسبب التجوية ، وذلك يجعل اللون الأحمر غالباً في معظم نواتج هذه التجوية . وتتحول الصخور المعرضة للتجوية أولاً إلى ألوان سودٍ أو صفرٍ محمرّة ، وأخيراً إلى اللون الأحمر أو البني ، وذلك بسبب تحلل المعادن إلى مركبات الحديدوز أولاً ، ثم تعرض هذه المركبات إلى التأكسد والاتحاد بالماء شيئاً فشيئاً .

ومن أشهر الأمثلة على التأكسد الطبيعي تحلل معدن **البيريت** ، وهو شائع في كثير من الصخور ، ويجرى التفاعل بحسب المعادلة الآتية :

$$FeS_2 + 2O_2 \rightarrow FeSO_4 + S$$

بيريت	**أكسجين**	**كبريتات الحديدوز**	**كبريت**

وكبريتات الحديدوز الناتجة سهلة الذوبان في الماء وسريعة التحول إلى مواد أخرى . أما الكبريت الناتج فلا يلبث أن يتأكسد ويتحول إلى حمض كبريتيك ، وهذا سرعان ما يتفاعل مع معادن الألومنيا والكربونات مكوناً الكبريتات ، وهذه معظمها قابلة للذوبان ، وذلك يساعد على زيادة تحلل الصخور .

(٣) **التَكَرْبُن carbonation** . وفي هذه العملية يتحد **حمض الكربونيك** مع بعض **القواعد** أو مع **كربوناتها** ولاسيما **أكاسيد** و**كربونات الكالسيوم** و**الماغنسيوم** و**الصوديوم** و**البوتاسيوم** فتتكون **الكربونات** أو **البيكربونات** .

ومن أشهر الأمثلة على التكربن في الحياة اليومية تجمد الملاط (المونة)من فعل ثاني أكسيد الكربون في الهواء على الجير :

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

ماء — **كاربونات كالسيوم** — **ثاني اكسيد الكربون** — ملاط (جير)

ومن أمثلة التجوية الكيميائية بالتكربن ذات الأهمية الجيولوجية تأثير حمض الكربونيك على **الصخور الجيرية** ، وهذا يؤدي إلى إذابة هذه الصخور بحسب المعادلتين الآتيتين (انظر أيضاً ص ٧٤) :

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

ثاني اكسيد الكربون — ماء — **حمض كربونيك**

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

كربونات كالسيوم — **حمض كربونيك** — **بيكربونات الكالسيوم**

والجدير بالذكر أن بيكربونات الكالسيوم قابلة للذوبان في الماء ، وبذلك يؤدي فعل حمض الكربونيك على الصخور الجيرية إلى ذوبانها وارتشاحها . ويمكن أن تتخلل المياه المحملة بثاني أكسيد الكربون الشقوق في الصخور الجيرية ويؤدي ذلك إلى ذوبان الصخر وإلى تكوين فجوات وكهوف ، ولذلك تكون المناطق التي بها مكاشف شاسعة من الحجر الجيري غنية عادة بالكهوف ، وقد يؤدي ذلك إلى انهيار الصخور المتبقية كأسقف لهذه الكهوف مكونة أشكالاً طبوغرافية مميزة على سطح الأرض تشبه **الأحواض** ، إذ ينحدر سطح الأرض في كل واحد منها نحو مركز الحوض . وهذا يؤدي إلى نشوء ملامح تضاريسية خاصة تعرف أحياناً باسم **تضاريس الكارست** karst topography (انظر الشكل ٦ــ٤) . وكلمة كارست كلمة **يوغسلافية** تشير إلى منطقة توجد في هذه البلاد وتتميز بهذا النوع من الطبوغرافية .

(٤) **التموُّه hydration** . التموُّه هو عملية اتحاد الماء مع بعض المعادن مكونا مايسمى بالمعادن المائية . فمعادن **السليكات** ومعادن **الأكاسيد** تتحول نتيجة هذه العملية إلى **سليكات أو أكاسيد مائية** ، وهكذا . وفي حالة السليكات تصحب عادة عملية التموُّه عملية التحلل المائي ، فالتحلل المائي يؤدي إلى تفكك التركيب البلوري الأصلي للمعادن . أما التموُّه فهو إضافة جزيء أو عدة جزيئات من الماء إلى التركيب البلوري للمعدن ، ويمكن أن تؤثر هذه الاضافة على التركيب البلوري للمعدن ، ولكنها لا تؤدي إلى هدم هذا التركيب ولا إلى استبدال أو فقدان بعض العناصر الموجودة داخله كما هو الحال في عملية التحلل المائي . ففي حالة تكوين **الكاولينيت** يفقد التركيب البلوري **للفلسبار** الأصلي **البوتاسيوم** و**الألومنيوم** نتيجة التحلل المائي ، أما اكتساب ناتج هذا التحلل لجزيئات من الماء فهو عملية تموُّه . ويمكن تمثيل التفاعل المبين في ص ٢١٢ كالآتي :

$$2KALSi_3O_8 + 2H_2O + CO_2 \rightarrow AL_2Si_2O_7.2H_2O + 2\,4SiO_2 + K_2CO_3$$

فلسبار بوتاسي (أورثوكلاز) — ماء — **ثاني اكسيد كربون** — **كاولينيت** — **سليكا** — **كاربونات بوتاسيوم**

وهناك مثال آخر مشهور للتموُّه في الصخور وهو تحول معدن **الانهيدريت** الى معدن **الجبس** .

$$CaSO_4 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O$$

أنهيدريت — ماء — **جبس**

وذلك يفسر كثرة وجود الجبس في مكاشف هذه الصخور التي تتأثر بالغلافين الجوي والمائي أما الانهيدريت فيوجد معظمه في التتابعات تحت السطحية .

(٥) **الـذوبـان** . هو ذوبان المعادن المكونة للصخور إما **في المياه الجوفية** وإما في مياه **الأمطار** . وعملية الذوبان في ذاتها عملية كيميائية ، والحقيقة أن المعادن القابلة للذوبان في الماء النقي قليلة جداً ، ولكن معظم المعادن يمكنها أن تذوب بدرجات متفاوتة في الماء إذا كان هذا حاوياً لبعض المواد الكيميائية النشيطة . فمثلاً **السليكا** لا تذوب في الماء النقي ، ولكنها تذوب إلى حد ما في المياه القلوية . وقد بينا من قبل كيف يعمل **وجود ثاني أكسيد الكربون** في الماء الطبيعي على المساعدة على تكوّن **كربونات الكالسيوم** وتحول هذه **الكربونات** إلى **بيكربونات** قابلة للذوبان في الماء .

وكثيراً ما يكون الماء الطبيعي مختلطاً ببعض الأحماض العضوية التي تنشأ من تحلل المواد النباتية في التربة والتي تسمى **بالأحماض الدبالية** humic acids . وتزيد هذه الأحماض قدرة المياه الطبيعية على إذابة المعادن ، فالسليكا مثلاً و**الألومينا** (Al_2O_3) و**أكاسيد الحديد** أكثر ذوباناً في المياه المختلطة بهذه الأحماض منها في الماء العادي .

وهناك عدد قليل جداً من المعادن يمكن أن يذوب دوباناً بسيطاً في الطبيعة ، ومن أكثر هذه المعادن انتشاراً **الملح الصخري** ثم **النطرون** اللذان يذوبان في الماء النقي بسهولة .

الأشكال الأرضية المرتبطة بعمليات التجوية

- تسهم عمليات التجوية بوضوح مع العمليات الجيومورفولوجية الأخرى في تشكيل سطح الأرض فهي الحلقة الأولى من سلسلة العمليات الجيومورفولوجية الخارجية.
- أغلب أشكال سطح الأرض ناتج عن أكثر من عملية جيومورفولوجية، ولكن بعض المعالم التضاريسية يكون لعمليات التجوية الدور الرئيسي في تشكيلها.
- ومن أشكال سطح الأرض الناتج بشكل رئيسي عن عمليات التجوية ما يلي:

١) الزعانف Fins

٢) الأقواس الصخرية Arches

٣) التجاويف والكهوف Alcoves

٤) الدحول

٥) حفرة التجوية (قرو) Weathering Pit

٦) تجاويف وكهوف الصخور الجرانيتية Tafoni

٧) الرجوم الطبيعية Tors

٨) التلال-الجبال القبابية Bornhardt

نشأة التلال-الجبال القبابية Bornhardt

- هي تلال معزولة تأخذ شكل القبة، وتكون سطوح جوانبها ملساء نسبيا وشديدة الانحدار. ويعتقد أنها في الأصل كانت تحت سطح الأرض مكونة من كتلة ضخمة من صخور الجرانيت خالية نسبيا من الفواصل (الكسور)joints ومقاومة لعمليات التجوية الكيميائية.
- وتحت ظروف مناخية رطبة وحارة تعرضت المناطق المحيطة بها إلى تجوية كيميائية أدت إلى تفكيك الصخور فيها.
- مع مرور الزمن أزيلت المواد الصخرية المفككة وظهرت الكتلة المقاومة للتجوية الكيميائية على السطح.
- عند ظهور كتلة الصخور الجرانيتية على السطح، تسهم عملية التقشر exfoliation في تطورها.