أعداد م. د . نجم عبدالله الكراعي

جامعة تكريت – كلية العلوم- قسم علوم الارض التطبيقية

اختصاص / جيومورفولوجيا تطبيقية

عمليات التجوية Weathering Processes

تعني التجوية التحول والتفكك الفيزياوي Disintegration أو التحول والتحلل الكيماوي Decomposition أو كليهما لمعادن الصخور على سطح الأرض أو بالقرب منه. إن معظم الصخور والمعادن المنكشفة على سطح الأرض أو بالقرب منه أو تحته مباشرة تكون متواجدة في بيئة لا تتشابه مع البيئة التي تكونت فيها هذه الصخور. وخاصة الصخور النارية والمتحولة التي تكونت في درجات حرارة وضغوط عالية. لذلك يمكن إيجاز تعريف **عملية التجوية بأنها عملية تحول الصخور ومعادنها إلى إشكال قد تكون أكثر ثباتا في ظل وضعيات جديدة في بيئتها بفعل الرطوبة ودرجات الحرارة والنشاط البايولوجي.**

والتجوية عملية خارجية لا صلة لها بباطن الأرض. وقد عرفها البعض بأنها عملية ابتدائية تعمل على تمهيد الصخور لعمليات الحمل والنقل والارساب، ولولا عملية الإعداد هذه لما تمكنت عوامل الحت والنقل من تأدية عملها على الوجه الأكمل، وتحتاج عمليات التجوية كافة إلى الطاقة اللازمة لقيامها بعملها سواء كان ذلك العمل ميكانيكيا أم كيماويا أو حيويا، ويهيئ الجو تلك الطاقة من خلال أشعة الشمس وطاقتها الحرارية. حيث أن الطاقة الشمسية هي المسئولة عن أي تغيير يحدث في حالة الغلاف الغازي الذي يحيط بالكرة الأرضية وينعكس ذلك بدوره على فعاليات عمليات التجوية المختلفة.

وتعتبر عملية التجوية مهمة جدا للحياة على سطح الأرض إذ أنها المسؤول الرئيسي عن تكوين التربة التي تعتبر الأساس الأول لدورة الحياة على سطح الأرض.

أنواع التجوية:

تضم التجوية العمليات الكيماوية والفيزياوية (أو الميكانيكية) التي يستطيع الجو من خلالها أن يؤثر على الصخور. ولذلك فهي تقسم إلى التجوية الميكانيكية أو الفيزياوية والتجوية الكيماوية. ويضيف البعض من المختصين نوعا ثالثا من التجوية وهو التجوية العضوية او الحيوية حيث يناقشون فيه اثر الأحياء على الصخور. غير أن عمل الأحياء هذا لا يتعدى كونه عملا فيزياويا (ميكانيكيا) أو عملا كيماويا ولذلك فمن المستحسن أن تقسم التجوية إلى القسمين الأولين فقط. وبذلك فان عمليات التجوية تعمل كأداة تكيف الصخور المكونة للقشرة الأرضية مع البيئة التي توجد فيها، وفيما يلي توضيح لأنواع التجوية:

أ- التجوية الميكانيكية (الفيزياوية):

يقوم الجو من خلال هذه العملية في التأثير على الصخور بأساليب فيزياوية حيث تتحطم الصخور إلى فتات صخري اصغر حجما من الصخور الأصلية، ولا يحدث أي تغيير مهما كان

بسيطا في التركيب الكيماوي للصخور الناتجة. ويلعب هذا النوع من أنواع التجوية دورا مهما في زيادة المساحة السطحية للفتات الصخري الناتج عن تحطم الصخرة الأصلية، الأمر الذي يزيد من احتمالات تعرضها إلى عمليات التجوية الأخرى وخاصة التجوية الكيماوية. ويمارس الجو دوره الفيزياوي بأساليب متعددة يمكن إجمالها بالاتي:

1- تأثير التمدد والتقلص على التجوية:

إن المعادن لها معاملات تمدد مختلفة عن بعضها البعض، كما أن الزيادة في الحجم نتيجة للتمدد تختلف بين صخر وأخر بعد التسخين. والصخور عدة معادن وهذه المعادن تتمدد بشكل مختلف من معدن لأخر، وهذا التفاوت في التمدد يؤدي إلى إنفراط المعادن لان قوة التماسك بينها تقل، وبعد التقلص لا تعود إلى مكانها بل تبتعد قليلا وهذا يؤدي إلى إحداث فراغات في الصخور مما يزيد التجوية الميكانيكية. أي الذي يؤثر على التجوية هو التفاوت في التمدد والتقلص، والتفاوت في البداية قد يؤدي إلى انفراط أو انفصال في الصخر (Fritting). كما أن الصخور بصورة عامة تتلقى الشمس من الأعلى لذلك فان الطبقة العليا هي التي تسخن أولا كذلك هي التي تبرد أولا، أما الطبقة السفلى فتكون الحرارة فيها اقل وعندما تبرد لا تبرد بسرعة، وهكذا كلما زادت الأعماق في هذه الحالة تتفاوت درجات الحرارة في طبقات الصخر كلما انخفضنا للأسفل، أي أصبح لدينا نطاقات حرارية في الصخر، وبالتالي عندما تتمدد الطبقة العليا فإنها تختلف في تمددها عن الطبقات التي أسفلها، وهذا يؤدي إلى تفاوت في التمدد والانكماش الناتج عن التبريد والتسخين بين كل طبقة وأخرى مما ويؤدي إلى انفصال أفقي عن الطبقات التي تحتها، وتفتت الصخر، وهكذا تنفصل كل طبقة عن الأخرى وهذا يؤدي إلى وجود مفاصل أفقية أو دائرية. وبالتالي فان المنطقة التي تتأثر بذلك تتحول إلى طبقات صخرية من نفس النوع وفي هذه الحالة فان الطبقة الأولى تنسلخ عن الطبقة الثانية وتفقد تماسكها مع بقية الكتلة الجبلية ومع مرور الزمن تنتزع الطبقة العلوية على شكل كتل كبيرة، وهكذا تنسلخ كل الكتل الصخرية. ب- تأثير الحرارة والرطوبة:

ب- تأثير الحرارة والرطوبة:

تحدد درجة الحرارة وكمية الأمطار ونوع وشدة عمليات التجوية المختلفة. إذ تتعرض الحبيبات المعدنية والأسطح الصخرية إلى التفتت Fretting والتشقق والتقشر Exfoliation بسبب الاختلافات الحرارية اليومية الشديدة، وما تؤدي إليه من تفاوت في معدلات التمدد والتقلص المعدني. أما الرطوبة سواء كانت متوفرة على شكل مطر أو ندى، فإنها تعمل، أيضا، على إضعاف الصخر كيماويا وميكانيكيا معتمدة في ذلك على نسبة الحموضة PH ومعدل تركيز المطر أو حجم قطراته المائية. فالمعادن المختلفة تتحلل في ظروف حمضية مائية متفاوتة: فالألمنيوم على سبيل المثال، يصبح أكثر تأثرا بعملية الإذابة من السيلكا إذا قل معدل PH في الماء عن 4، في حين يصبح غير قابل للذوبان إذا تراوح هذا المعدل ما بين 5 – 9، وذلك على عكس السيلكا التي تزيد قابليتها للذوبان في هذا المعدل. أما الحديد فان قابليته للذوبان تزيد بحوالي 100000 مرة إذ بلغ معدل PH في الماء 6 عنها إذا كان المعدل 8.5.

ولا يمكن الفصل بين تأثير كل من درجة الحرارة والرطوبة في إضعاف الصخر. إذ تزيد فعالية التجوية الكيماوية بحوالي الضعف أو الثلاثة أضعاف لكل ارتفاع في درجة الحرارة يعادل عشر درجات مئوية كما أن انخفاض درجة حرارة الماء إلى ما دون نقطة التجمد يزيد من نشاطه الميكانيكي. ففي حالة تجمد الماء يزداد حجمه في الفراغات الصخرية بنسبة 9% مما يضغط على الصخور ويفتتها ويشققها. وقد يصل ضغط الماء المتجمد والمحصورر في الصخور عند درجة الحرارة – 22°م إلى 2100 طن / قدم مربع.

من ناحية أخرى، يمكن أن تؤدي الأمطار إلى انجراف التربة وانكشاف الصخر لعوامل الجو مباشرة بفعل ما تقوم به من تعرية متناثرة Splash erosion أو تعرية طبقية Sheet erosion أو قنوية Channel erosion. وتعتمد الأمطار في نشاطها الحتي على طاقتها الحركية Kinetic energy ومدة الأمطار وكذلك على نوعية الغطاء النباتي وتماسك حبيبات التربة، ويمكن أن يؤدي ضغط قطرات المطر إلى رفع حبيبات التراب لعلو قدمين في الهواء ونقلها لمسافة خمسة أقدام مما يساهم في تفتت الصخور.

أما دور التغيرات في درجات الحرارة في التأثير على التجوية وتفتت الصخور فانه ما زال غير واضح الى حد الآن. إذ يحدث أن تتعرض الصخور في المناطق الجوفية وشبة الجوفية إلى التسخين الشديد أثناء النهار جراء تعرضها إلى أشعة الشمس ولكونها جردا خالية من الغطاء النباتي، فان المعادن ألمكونه لهذه الصخور تتمدد بدرجات متفاوتة. ويعمل انخفاض درجات الحرارة في أثناء الليل على التقلص، وبالنظر إلى عدم تساوي معاملات التمدد والتقلص هذه لكل المعادن ألمكونه للصخور فان تكرار هذه العملية يؤدي إلى تفكك الصخور وتحطيمها.

وتلعب التغيرات في درجة الحرارة دورا آخر في عملية تحطيم الصخور عندما يحدث نوع من التقشر exfoliation نتيجة تعرض الطبقة العليا من الصخور إلى التغيرات اليومية في درجات الحرارة الأمر الذي يحتم عليها أن تنفصل عن بقية أجزاء الصخرة الواقعة أسفلها والتي لا تتأثر بالدرجة نفسها بالتغيرات الحاصلة في درجات الحرارة. وينتج عن هذه العملية انفصال قشور صخرية بشكل صفائح رقيقة تتساقط عند أسفل المنحدرات. وتتأثر الصخور النارية بهذه العملية أكثر من الصخور الرسوبية لان معظم الصخور الرسوبية كانت في الأصل صخورا نارية مرة بهذه العملية. إن الصخور ليست جيدة لتوصيل الحرارة، وان انتقال الحرارة من السطح إلى الداخل يكون قليلا، وبالتالي لا تتمدد الأسطح الداخلية بنفس تمدد وتقلص السطوح الخارجية وهذا يؤثر على مدى انفراط وتكسر الصخر.

لقد أجرى الباحث الجيومورفولوجي جرجز (Griggs) تجربة كان الهدف منها معرفة كيف يؤدي التسخين والتبريد إلى تفتيت الصخر. واحضر جرجز ثلاثة قطع صخرية من الجرانيت وقام بتسخينها على درجة حرارة 140 ^{5} م لمدة 5 دقائق داخل فرن وبعد ذلك برد القطع الصخرية الثلاثة على درجات حرارة 30 ^{5} لمدة 10 دقائق وكرر العملية 89400 مرة في مدة 3 سنوات ولكن الصخر لم يظهر علية أي تفتت، إذا في هذه الحالة اثبت خطاء النظرية وهذه يحتاج لتفسير، وهكذا لاحظ جرجز لما أعاد

العملية في جو آخر واحضر نفس الصخور وسخنها وبردها بواسطة التغطيس بالماء وكان التبريد لمدة (6) ساعات في جو درجة حرارته 12 ^{5}م تحت الصفر، والتسخين لمدة ساعة في ماء لمدة درجة حرارته 20 ^{5}م ، وكرر العملية 5000 مرة ولم يحدث أي تغيير على الصخر. ولكن بعد ذلك وقبل بدء تسخين الصخر وضعة في محلول من الماء وسلفات الصوديوم وبعد أن نقع الصخور في هذا المحلول وسخنها وبردها بالماء كرر العملية 42 مرة فقط، وبعد ذلك تفتت الصخر وانفرط. وهذا يدل على عدم وجود تجوية ميكانيكية لوحدها بل تتداخل العمليات الميكانيكية والكيماوية. أي دخلت عوامل الماء والاكاسيد والحوامض وهذه المواد الكيماوية تساهم في تفتت الصخر بدليل تجربة جرجز، والتي دلت على تداخل التجوية الميكانيكية والكيماوية مع بعضهم البعض في تفتت الصخور.

ج- اثر الصقيع:

يعتبر الصقيع من أكثر عوامل التجويه الميكانيكية تأثيرا، إذا يزداد حجم الماء عند تجمدة إلى حوالي 9% من حجمه السابق. فلو فرضنا أن هذا الماء كان محصورا في مكان ما فانه سوف يولد ضغطا يصل إلى حوالي 2000 باوند على كل 1 بوصة مربعة، أو 125 كغم على كل 1 سم مربع. ومن الطبيعي أن يؤدي تجمد الماء الموجود داخل المفاصل والشقوق أو المسامات الموجودة داخل الصخور إلى زيادة الضغط والى تحطيم تلك الصخور إلى قطع صغيرة. ويؤدي تعاقب عملية الانجماد والذوبان إلى توسيع الشقوق الموجودة بين الصخور حتى تتكسر بعد ذلك إلى كتل منفصلة. ويتركز اثر الصقيع بصورة خاصة في مناطق العروض الوسطى والعالية وكذلك فوق الارتفاعات العالية، حيث تسمح ظروف الحرارة السائدة بتكرار عملية الانجماد والذوبان. وتتأثر الصخور الرسوبية بهذه العملية أكثر من الصخور النارية بسبب كثرة المفاصل والشقوق والفراغات فيها، وتتحول الصخور من جراء هذه العملية إلى حطام صخري ذي جوانب حادة. ويظل ذلك الحطام الصخري في مكانه إذا كان موجودا فوق منطقة ذات انحدار قليل، تتساقط المفتتات ويتجمع عند أسفل المنحدرات مكونا أشكالا مخروطية الشكل تعرف باسم التالوس Talus أو Scree.

د - اثر إزالة الضغط:

عند إزالة الضغط يحصل تمدد للصخور، والتمدد لا يحصل بصورة متكافئة بل يحدث بصورة تدريجية ويتبعها تشقق في الصخر، مثل المناطق التي كانت مغطاة بالجموديات (الجليد) حدث بها خدوش وشقوق بعد زوال الجليد عنها، مما أدى إلى تصدعها على شكل تجوية ميكانيكية، ونفس الشيء ينطبق على المناطق التي كانت مغطاة بالبحار. هذا ويؤدي تناقص الضغط المسلط على الصخور بسبب تعرضها للتعرية وإزالة الطبقات العليا منها إلى حدوث نوع آخر من التقشر إذ تظهر المفاصل والشقوق بوضوح في الصخور الأمر الذي يعرضها إلى المزيد من تأثير التعرية.

هـ- التمدد الناتج عن التغيرات الكيماوية والنمو البلوري:

ويتكون من جراء بعض العمليات الجوية الكيماوية التي تتعرض لها الصخور وخاصة إذا رافق ذلك عمليات ترطيب، تتكون أنواع جديدة من المعادن التي تكون اكبر حجما من المعادن الأصلية الأمر الذي يؤدي إلى حدوث تفكك لمكونات الصخور. وهناك نوع آخر من التمدد الذي يحصل للصخور نتيجة تغلغل البلورات الملحية داخل المسامات الموجودة بين ذرات الصخور. وتسود هذه الحالة في المناطق الجافة وشبة الجافة بدرجة رئيسة حيث يؤدي نمو معادن ملحية اكبر حجما نتيجة لعمليات كيماوية إلى تحطيم المواد اللاحمة لذرات تلك الصخور. وتحدث هذه العملية أيضا عندما يرتفع الماء الجوفي خلال مسامات الصخور نحو الأعلى بموجب الخاصية الشعرية حيث يتبخر في النطاق الأعلى الجاف من الصخور الذي يقع فوق مستوى الماء الجوفي تاركا ما يحمله من أملاح داخل المسامات الصخرية. وبنمو تلك البلورات الملحية تتفكك المواد اللاحمة لذرات الصخور وتتقشر طبقات منها بسبب التمدد الحاصل في حجم البلورات الملحية. ومن أهم المعادن الملحية التي تتسبب في هذه العملية هي الجبس والهاليت (كلوريد الصوديوم).

ب- التجوية الكيماوية:

تظم التجوية الكيماوية مجموعه من التفاعلات المعقدة التي تقوم بها مواد مختلفة كالماء والأوكسجين وثاني أكسيد الكربون والحوامض والمواد العضوية. وتعمل هذه المواد عند تأثيرها على الصخور إلى تغيير وتبديل المعادن وتركبها الكيماوي.

وينتج من معظم العمليات الكيماوية للجو تغييرات تشمل:

1- زيادة في الحجم الذي يؤدي بالتالي إلى زيادة الضغط الداخلي للصخور.

2- تقليل في كثافة المعادن.

3- ذرات ذوات أحجام صغيرة ينتج عنها زيادة في المساحة السطحية.

4- مواد أكثر استقرار أحيانا.

5- مواد أكثر قدرة على الانتقال.

وتعتبر الزيادة في المساحة السطحية (البينية) ذات أهمية خاصة إذ بموجبها سوف يزيد معدل التفاعل بين مواد الصخور وبين المحيط الغازي أو السائل المجاور لها وتعتبر التجوية الكيماوية وعلى نطاق الأرض كلها أكثر فعالية من التجوية الميكانيكية في تحطيم الصخور. ويبدو هذا النوع من التجوية مسيطرا تماما في بعض الأقاليم التي ترتفع فيها درجات الحرارة مع زيادة في كمية الأمطار.

وتضم التجوية الكيماوية عدة عمليات هي:

1- عملية الذوبان Solution

تأتي عملية الذوبان كمرحلة أولى في التجوية الكيماوية، حيث تظهر هذه العملية أثناء جريان الماء أو عندما يقوم الماء بالاحاطة بذرات الصخور بشكل غشاء رقيق. وتعتمد عملية الذوبان على كمية الماء الذي يمر فوق سطوح الذرات وكذلك على قابلية الذوبان للذرات الصخرية نفسها. فعلى سبيل المثال

يكون ملح الطعام ذا قابلية عالية للذوبان في الماء النقي ولذلك فانه لا يظل موجودا في القشرة الأرضية إلا في المناطق الجافة. وتكون قابلية الجبس على الإذابة اقل منه وكذلك الحالة بالنسبة إلى الكاربونات. وتعتبر عملية الذوبان ذات أهمية قليلة في التجوية الكيماوية فيما عدا حالات نادرة عندما تتكشف الصخور الملحية على سطح الأرض، غير أنها تلعب دورا هاما في نقل المنتجات المتخلفة عن عمليات تجوية أخرى وخاصة عملية التحليل المائي وعملية التكربن.

2- عملية التحلل المائي Hydrolysis

تعني هذه العملية التفاعل الكيماوي الذي يجري بين الماء ومعادن الصخور. ويحدث هذا النوع من التفاعل حيثما يوجد اتصال بين المعادن الصخرية وبين الماء الذي قد يكون ماء نقيا. وتعتبر هذه العملية من أهم عمليات التجوية الكيماوية بسبب تأثيرها على الفلسبار وهو المكون الرئيسي لمعظم المعادن الصخرية حيث يدخل الماء إلى التركيب الذري للمعدن الصخري مكونا معدنا جديدا. وتعد الحالة التي تحصل لمعدن الارثوكليز مثالا جيدا على هذا النوع من التفاعل الكيماوي، إذ يتمثل الفدسبار بصورة نموذجية في معدن الارثوكليز الذي يؤلف بدوره احد المعادن التي تحتويها صخور الجرانيت. حيث يتفاعل الارثوكليس مع الماء الذي يحتوي بدوره على كميات من حامض الكاربونيك فينتج عن التفاعل معدن جديد هو الكاؤولين كما في المعادلة التالية:

$$2k\ Al\ Si_3\ O_8 + 2H_2\ CO_3 + 9H_2O \longrightarrow Al_2Si_2\ O_5\ (OH4) + 4H\ SiO_4 + 2K\ (HCO_3)$$

الارثوكليس + حامض الكاربونيك +الماء ⟵ الكاؤولين +حامض السيليسيك + بيكاربونات البوتاسيوم

وبذلك فقد تحول احد معادن صخور الجرانيت النارية الصلبة إلى الكاؤولين وهو معدن لا يستطيع مقاومة عوامل التعرية وخاصة المياه الجارية الأمر الذي يجعل الصخرة كلها غير مقاومة لهذه العمليات الجيومورفولوجية. وتكونت بهذه الطريقة معظم معادن الطين وذلك لان الفلسبار شديد الانتشار بين الصخور.

3- عملية الترطيب (الاماهة): Hydration

تحدث هذه العملية عندما تتحد جزيئات الماء مع التركيب الكيماوي لواحد أو أكثر من معادن الصخور. حيث يزداد حجم المعادن تبعا لذلك، إضافة إلى التغير الكيماوي الذي يحصل عليها. وخير مثال على ذلك ما يحدث عن تحول معدن الانهايدرايت anhydrite بعد ترطيبه إلى الجبس كما في المعادلة التالية:

$$CaSO_4 + H_2O \longrightarrow Fe_2O_3\ .3H_2O$$

ماء + انهايدرايت ⟵ الجبس

ومن الأمثلة المعروفة على هذا النوع من التجوية الكيماوية ما يحصل عند ترطيب معدن الهمياتايت إذ يتحول إلى معدن الليمونايت كما في المعادلة التالية:

$$2FeO_3 + 3H_2O \longrightarrow Fe_2O_3 .3H_2O$$

هيماتايت + ماء ⟵ ليمونايت

(احمر اللون) (اصفر اللون)

تزيد عملية الترطيب من حجم المعادن الصخرية ويؤدي هذا التغير في الحجم إلى تحطيم الصخور بسبب زيادة التضاغط بين ذراتها. وتتأثر الصخور النارية بهذه العملية أكثر من الصخور الرسوبية فيما عدا بعض الصخور الرملية التي تحتوي على المايكا بكثرة إذ تتأثر هذه بعملية الترطيب وتتحول الصخور الرملية بعدها إلى ذرات منفصلة. وتحضر هذه العملية من سطوح المعادن الصخرية لكي تصبح أكثر قابلية على التأثر بالعمليات الكيماوية الأخرى مثل التأكسد أو التكربن. وترجع ألالوان الجميلة المتباينة للصخور في المناطق ذوات المناخ الجاف وشب الجاف لتعرض الحديد في الصخور إلى عملية الترطيب

4- <u>عملية التكربن (التفاعل ألايوني) Carbonation</u>

و تتحول بعض المعادن الصخرية مثل الجير والصودا والبوتاس وغيرها من الاكاسيد القاعدية إلى كاربونات بوساطة حامض الكاربونيك في الماء أو في الهواء، ويعتبر ثاني اوكسيد الكربون مصدر تكوين حامض الكاربونيك ويوجد هذا في هواء التربة وكذلك في الغلاف الجوي حيث يتكون حامض الكاربونيك عند ذوبان هذا الغاز بالماء. وتكون لهذا الحامض القابلية على مهاجمة الصخور التي تحتوي معادنها على عناصر الحديد والكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم، حيث تذوب هذه العناصر بحامض الكاربونيك فتتحول إلى كاربونات ذات قابلية كبيرة على الذوبان. ويهاجم الماء الذي يحتوي على حامض الكاربونيك الحجر الجيري حيث يتحول إلى بيكاربونات تكون قابلية ذوبانها اكبر بمرات عديدة من قابلية الإذابة للحجر الجيري كما في المعادلة التالية:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

كاربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) + ماء + ثاني اوكسيد الكربون ⟵ بيكاربونات الكالسيوم

هذا وتنتقل البيكاربونات وهي ذائبة في الماء تاركة المواد الأخرى التي لا تذوب فيه بالسرعة نفسها في مكانها. وقد تكونت بهذه الطريقة معظم الأشكال الكارستية والكهوف. ويزداد تأثير حامض الكاربونيك من خلال أنواع أخرى من الحوامض العضوية الموجودة في التربة والناتجة من تحلل المواد النباتية بالدرجة الأساسية وتهاجم الأحماض العضوية الموجودة في التربة الفلسبار أثناء الفصل المطير وتكون نواتج ذلك مهمة في عملية النمو النباتي.

5- <u>عملية التأكسد (الاكسده) Oxidation</u>

تحدث هذه العملية عندما يتحد الأوكسجين الموجود في الغلاف الجوي مع المعادن المكونة للصخور وعلى الرغم من سعة انتشار هذا النوع من التجوية الكيماوية الا أن أهميتها قليلة.

6- التجوية الكيماوية العضوية:

توجد الأحياء في التربة بكميات هائلة وخاصة في الأقاليم المناخية الرطبة حيث تقدر بحدود 30 – 40 طن في الهكتار الواحد. وتحتوي التربة بين 2 – 14 مليون بكتريا في كل 1 سم مكعب، وينتج عن وجود نشاط البكتيريا تكون مادة معقدة تعرف بالمواد العضوية humus. وتذوب هذه في الماء الذي يكون بشكل حامض التركيز ويقوم هذا بدوره بمهاجمة السيليكات الموجودة في الصخور، حيث تتحول حتى المعادن غير القابلة للذوبان فيا بهذه الطريقة إلى محاليل غروية يسهل على الجذور امتصاصها.

ج- التجوية البايولوجية (النشاط الحياتي):

ويمكن تقسيم التجوية البايولوجية إلى تأثيرات فيزيائية وكيماوية إلا انه من الملائم دراسة كلا النوعين مع بعضهما، ذلك لأنها تعتبر مهمة في الوقت الحاضر، وبالرغم من أن العمليات التي تنطوي عليها مثل هذه التجوية إلا انه لم يتم دراستها بشكل واف حتى الوقت الحاضر. ودرس التأثير الفيزيائي بشكل بسيط وذلك عند الكلام عن الدور الذي تقوم به جذور النباتات إضافة إلى تأثير الحيوانات التي تعمل على حفر الأرض كما يشار إلى التأثير الكيماوي الحياتي عند التكلم عن ظاهرة اقتناص بعض ايونات المعادن (Chelation) على أن التأثير الرئيسي للنباتات والحيوانات يظهر في زيادة ثاني اوكسيد الكربون في التربة وذلك من خلال عملية التنفس، حيث يزداد هذا الغاز إلى بضعة أضعاف ما هو عليه في الغلاف الغازي، لذلك أصبح الدور الذي يقوم به ثاني اوكسيد الكربون يأتي عن طريق الغلاف الحياتي وليس عن طريق الغلاف الغازي.

وبالإضافة إلى ما سبق تقوم بعض الحيوانات المجهرية بالتفاعل مع ايونات المعادن المكونة للصخور ومن بين هذه الحيوانات بكتريا الانتحاء الكيماوي (Chemotropic bacteria) التي تعمل على أكسدة بعض المعادن مثل الكبريت والحديد. وبالإضافة إلى ذلك فان الكوانكو (فضلات الحيوانات) (Guano) تكون في الواقع قادرة على تجوية الصخور الجيرية. إن هذه التأثيرات وغيرها قد أثبتت على أنها أكثر أهمية في عملية التجوية مما كان معروفا عنها في السابق. ويمكن للأحياء أن تتسبب في تحطيم الصخور ميكانيكيا بطرق مختلفة إذ تتمكن جذور النباتات أن تتغلغل داخل شقوق الصخور ويساعد نمو تلك الجذور على توسيع تلك الشقوق. ولا تقوم جذور الأشجار الكبيرة فقط بهذه العملية بل تقوم بها حتى جذور النباتات الصغيرة كالحشائش. وتقوم حيوانات الإنفاق أيضا بتحطيم المواد الصخرية عندما تقوم بحفر ممراتها مثل دودة الأرض earth worms التي تقوم بابتلاع التربة من اجل الحصول على غذائها، ويوجد من هذه الدودة في الأرض الخصبة بحدود مليون واحدة في الايكر الواحد، وتستهلك هذه الدودة لغذائها حوالي 50 طن متري من التربة في العام الواحد. كما تعمل حيوانات الأنفاق مثل السنجاب الأمريكي على تجوية التربة والصخور. وان الإنسان ليعجب حقا عند ملاحظتها الاكوام الكثيرة من التربة التي يخرجها ذلك الحيوان عند حفره للممرات والإنفاق.

قام كل من الإنسان والحيوان وما زالا ونتيجة لحركتهما فوق سطح الأرض بتفتيت الصخور بطريقة ميكانيكية. كما ويحرث الإنسان في العام الواحد حوالي 6% من سطح الأرض. وقد لعب البشر دور آخر من خلال الغطاء النباتي، فعلى سبيل المثال أزال الصينيون مناطق غابات كثيرة منذ قرون طويلة مضت وقد قطع جامعوا الأخشاب مساحات واسعة في نيوانجلند في شمال شرق الولايات المتحدة في الآونة الأخيرة. وقد أدت إزالة الغابات إلى جرف شديد للتربة بحيث ظهرت الصخور الأصلية في أقسام كبيرة منها وتجويتها كما ساهمت فقد عرض حرفة التعدين في مناطق واسعة من القشرة الأرضية كأحد عوامل التجوية.

العوامل المؤثرة في التجوية:

تعتمد سرعة تأثر الصخور بالتجوية، ونوعية عملية التجوية، على عدة عوامل عديدة يمكن إجمالها كما يلي:

1- نوعية الصخور:

إذ تختلف الصخور كثيرا تبعا لدرجة صلابتها ويرجع ذلك إلى تباين المعادن المكونة لها، وطبيعة المواد اللاحمة لذراتها ودرجة تضاغطها. وتقسم المعادن حسب درجة صلابتها بموجب مقياس (Moh) للصلابة إلى درجات تتراوح بين 1 إلى 10، فالجبس على سبيل المثال تكون درجة صلابتة 2 والكالسايت 3، الارثوكليز 6 والكوارتز 7 وهكذا. وتعتبر الصخور الرسوبية في معظمها لينة رغم أنها تحتوي على معادن صخرية صلبة أحيانا، فالحجر الرملي يتكون معظمة من الكوارتز لكنة لينا بسبب ضعف المواد اللاحمة للكوارتز مثل أكسيد الحديد وكاربونات الكالسيوم.

وان من الأمور المعروفة لدى الجيومورفولوجيين ان لدرجة صلابة الصخور أثرا في مقدار تأثيرها بالتجوية، حيث تتأثر الصخور حتى الصلبة منها بعمليات التجوية الميكانيكية والكيماوية حسب مقدار تعرضها لهذه العمليات. ويؤثر لون المعادن في قابلية الصخور لامتصاص أشعة الشمس وحرارتها مما يؤدي إلى درجات تمدد غير متساوية لهذه المعادن حسب لونها، الأمر الذي سوف يساعد على زيادة سرعة تفكك تلك الصخور بالتجوية، حيث تتسخن الصخور ذوات الألوان الداكنة مثل البازلت والجابرو بسرعة اكبر وتتأثر بعملية التفكك بشكل أوضح مما في الصخور ذوات الألوان الفاتحة مثل الطباشير والحجر الجيري الذي يعكس معظم أشعة الشمس الساقطة عليه.

كما تؤدي زيادة المفاصل إلى زيادة المساحة السطحية من الصخور والتي قد تتعرض لعمليات التجوية المختلفة، إذ يتركز دخول الماء المحمل بالأحماض إلى الصخور من خلال المفاصل الموجودة فيها، كما تساعد المفاصل في عملية تعاقب الانجماد والذوبان إذ يتغلغل الجليد خلالها.

2- المناخ:

ويظهر دور المناخ من خلال درجة الحرارة والرطوبة، أي العلاقة بين كمية الأمطار ودرجة الحرارة وبين قيمة وشدة وتنوع عمليات التجوية. حيث انه كلما زادت الحرارة والرطوبة تزداد التجوية الكيميائية والعكس صحيح، وإذا قلت الحرارة والرطوبة زادت التجوية الميكانيكية والعكس صحيح، ويظهر تنوع عمليات التجوية وتفاوتها حسب كميات الأمطار والحرارة حيث تصبح التجوية كيميائية نشطة في المناطق التي تزداد فيها درجة الحرارة والأمطار، أي في الإقليم الاستوائي وتضعف وتنعدم في الأقاليم التي تنخفض فيها درجات الحرارة والأمطار أي في القطبي، أما في الإقليم المعتدل فالتجوية من النوعين، وتنشط التجوية الميكانيكية في المناطق التي تقل فيها الأمطار وتنخفض فيها درجة الحرارة أي في الاقليم القطبي، وينشط في الإقليم الصحراوي الحار التجوية الميكانيكية وتقل الكيميائية. وللمناخ اثر أخر من حيث تكون الصقيع في المناطق التي تتعاقب حدوث الانجماد والذوبان فيها. حيث يستطيع الماء الموجود على السفوح الخالية من الغطاء النباتي والتربة أن ينفذ إلى الشقوق والمفاصل ويكون إسفينا جليديا يفتت الصخور.

3- التضاريس:

تؤثر التضاريس في عملية التجوية من خلال تأثرها على نوعية المناخ الذي يسود فوقها. حيث تختلف السفوح الجبلية فيما بينها في درجة ارتفاعها وكذلك مقدار تعرضها لأشعة الشمس ودرجة مواجهتها للرياح الرطبة. وتؤدي كل هذه الاختلافات إلى ظهور أنماط متنوعة من المناخ تؤدي تاى زيادة في تأثير أنواع خاصة من التجوية.

كما وتختلف التضاريس في درجة انحدار سفوحها ويؤثر ذلك بدورة على سرعة ونوعية عملية التجوية الموجودة عليها. إذ تزداد حدة التجوية الميكانيكية على السفوح الشديدة الانحدار والتي يمكن أن يحصل فيها ظواهر مثل الانزلاق الأرضي، زحف التربة... الخ بحيث تبقى تلك السفوح عارية من التربة وتكون صخورها معرضة لعمليات التجوية الميكانيكية مثل اثر الصقيع أو التمدد والتقلص الناتج عن تباين درجات الحرارة. وتزداد سرعة جريان المياه السطحية فوق هذه السفوح الأمر الذي يزيد حتى من عملية تجوية تلك السفوح تجوية كيماوية.

ويتبع قلة درجة انحدار السفوح وجود غطاء سميك من التربة فوق الصخور الأصلية التي نتجت هي الأخرى من خلال عمليات التجوية المختلفة، ويقوم ذلك الغطاء بحماية ما تحته من صخور من أن تتعرض إلى التجوية الميكانيكية بالدرجة الأساسية. ولكن وبسبب احتواء تلك التربة على كميات من المياه، على الأغلب، فان ذلك يساعد على قيام تجوية كيماوية عليها.

4- تأثير الزمن على عملية التجوية:

من الواضح انه كلما طال الزمن الذي تستمر فيه عملية التجوية، كلما توغلت هذه الظاهرة إلى مسافة أعمق في داخل الأرض. وربما هناك حد لفعالية هذه العمليات، إلا إذا كانت هناك استمرارية واضحة في نقل مخلفات عمليات التجوية.

5-تأثير النسيج الصخري على عملية التجوية:

يمكن تعريف النسيج الصخري (Texture) بأنه الوضعية المتبلورة للصخر أي كونه خشن الحبيبات أو ناعم الحبيبات أو زجاجيا. ففي وضعيات معينة تستجيب الصخور الخشنة الحبيبات لعمليات التجوية بسرعة تفوق استجابة الصخور الناعمة الحبيبات رغم أنهما يتكونان من معادن متشابهة على انه من النادر أن نجد بعملية التجوية أن تستجيب جميع المكونات المعدنية في الصخور بدرجة متشابهة.

نتائج عملية التجوية :

يتكون الغطاء الصخري بفعل عملية واحدة أو أكثر من عمليات التجوية التي مر شرحها فيما تقدم. ويعني هذا الغطاء الحطام المفكك الذي يتكون من الصخور والمعادن في مختلف مراحل تحللها والذي يغطي بدورة الصخور الصلبة غير المتفككة التي تعرف بالصخور الأصلية bed rock وفي الغالب يسمى هذا الغطاء الصخري المفكك الذي ينقل من مكان إلى أخر باسم يتفق والعملية التي قامت بنقلة وارسابه مثل الثلاجات والرياح والأنهار ... الخ ولذلك فهناك رواسب طموية أو مائية ناتجة عن ترسيب الأنهار ورواسب جليدية ناتجة عن ترسيب الجليد و رواسب اللويس والكثبان الناتجة عن عمل الرياح. ويبقى هذا الغطاء الصخري المفكك دون أن يتحرك إلا قليلا في المناطق السهلية المستوية وفوق قمم الهضاب المسطحة وكذلك في أقاليم الغابات الكثيفة وفي الأقاليم ذوات التربة المتجمدة.

بعض الأشكال الأرضية الناتجة عن التجوية:

عندما تتعرض الصخور التي تتباين طبقاتها أو مكوناتها في درجة مقاومتها لعمليات التجوية يحدث أن يكون تأثير تلك العمليات شديدا فوق الجهات اللينة أو القليلة المقاومة بحيث تتآكل تلك الأجزاء في حين تظل الطبقات الصلبة بارزة. ويعرف هذا النوع من التجوية باسم التجوية المتباينة Differential وتتكون بهذه الطريقة أشكال متنوعة منها، الأشكال الأرضية التي تشبه نبات الفطر Mashroom rock. وينتج من تعرض الركام جليدي وصخور المجمعات البركانية (البريشيا) إلى عملية التجوية أعمدة أو أبراج توجد في أعلاها جلاميد صخرية كبيرة صلبه تحمي الحطام الصخري المفكك الموجود أسفلها ويطلق على هذه الأشكال اسم .Demoiselles والتالوس Talus وهو أيضا احد الأشكال الجومورفولوجية التي تنتج عن عملية التفكك الصخري بواسطة تكرار عملية التجمد والذوبان، وينتج عن التجوية عدة أشكال أرضية منها:

1- **الحرافيش أو القشعات: Lapies** وهي عبارة عن حزوز أو شقوق واسعة تنتشر فوق الصخور الجيرية التي تختلف في نفاذيتها ونظام مفاصلها أو أسطح تطبقها، وغيرها من الخصائص الطبيعية والكيماوية التي تحدد سير عملية الإذابة المتفاوتة بفعل ماء المطر الحمضي المتسرب.

2- **الأعمدة المسننة: Stylolitites** وتتطور هذه الأعمدة الصغيرة بفعل الإذابة المتغايرة التي تحدث على سطح الصخور الجيرية. ففي الأجزاء الضعيفة من الصخر الجيري تتعمق عملية الإذابة بينما تبقى المراكز السطحية الصلبة قائمة فوق مستوى سطح الأرض المحيطة على شكل أعمدة، ويعتمد تطورها على وجود المفاصل المتعمقة، خاصة العمودي منها، ونشاط عملية الإذابة وانجراف نتاج هذه العملية.

3- **حفر التجوية: Weathering pits** وتنتشر فوق الأسطح الصخرية المكشوفة قليلة الانحدار خاصة على طول المفاصل الصخرية أو نقاط الضعف المعدني أو نتيجة للتفاوت في تآكل الصخر. وتنشا هذه الحفر بفعل التجوية المتغايرة خاصة في الصخور الصماء وما يتبع ذلك من إزالة للهشيم وتآكل متغاير مركز في نقاط الضعف. ويزيد حجمها باستمرار بتجمع الرطوبة في داخلها وما تقوم به عملية الاماهه أو التميؤ Hydration. ويمكن أن تساهم الجذور المتباينة بما تفرزه من أحماض، في تكون حفر التجوية صغيرة الحجم نسبيا، وتكون في هذه الحالة متجاورة وغير منتظمة، وتسمى هذه الحفر بالتنخربات Honeycombs لارتباطها بالتجوية الحفرية أو التنخبرية (من نخر) / Cavernous Honeycomb Weathering.

4- **الجلاميد: Boulders** وتتكون الجلاميد في صخور صلبة قليلة المسامية كالجرانيت بفعل عمليتين متتابعتين هما، التجوية السفلية المتغايرة والتعرية المتفاوتة، فعندما يتسرب الماء الحمضي عبر المفاصل تتعرض أطراف الكتل الصخرية لتجوية مركزة تعمل على توسيع المفاصل واستدارة الكتل الصخرية، حسب نظام المفاصل السائد، وتطويرها إلى جلاميد مستديرة صغيرة الحجم نسبيا تسمى الحجارة القلبية Gore stones/ Kernels وتظهر على السطح بعد إزالة نتاج التجوية. ويحدد نظام المفاصل وطبيعتها شكل الجلاميد المتطورة، ففي حالة وجود مفاصل قليلة الاتساع ومحددة للتسرب المائي، تتطور أنواع أخرى من الجلاميد كبيرة الحجم نسبيا تسمى الانسلبرغ Inselbergs أو القباب أو الأعلام الصحراوية، وتتخذ الشكل المستدير في أماكن المفاصل المكعبة والشكل البيضاوي أو الاسطواني في أماكن المفاصل الأفقية والمستطيله والشكل ألبرجي في أماكن المفاصل العمودية والشكل ألقبابي .(Bornhards)

5- **الأشكال الناتجة عن التجوية المتباينة المدى:** يستخدم هذا المصطلح للإشارة إلى عملية التجوية التي تعمل على حت وإزالة الأجزاء الضعيفة من الكتل الصخرية المعرضة إلى هذه العملية، وقد تؤدي هذه العملية إلى ظهور سطوح صخرية محفورة، أو أنها تعكس بشكل بارز ظهور النطاقات الصلبة من الصخور والطبقات الرسوبية التي تستطيع مقاومة عمليات التجوية. وتشير الدلائل

الموجودة في الطبيعة مثلا إلى أن صخور البريشيا أو الطفل الجليدي إذا ما تعرضت إلى عمليات التجوية المتباينة فإنها تنتهي إلى أشكال تضاريسية تشبه الأعمدة (pillars) أو الاسطوانات (Column) تتغطى هذه بكتل صخرية اكبر أو شظايا صخرية كبيرة الحجم تعمل على حماية الكتل الصخرية المتفككة الواقعة تحتها، ويطلق على هذه الأعمدة (Demoiselles). ويعتبر الهشيم الصخري (Talus) نتاجا أخر لعمليات التجوية، والهشيم مفتت صخري ينتج عن التفكك الذي يحصل في سفوح شديدة الانحدار، ويتجمع هذا الهشيم عادة عند قاعدة السفوح، وقد يسمى في بعض الأحيان (Scree). فإذا اتخذ هذا التراكم شكلا مخروطيا شديد الانحدار فعند ذلك يطلق عليه اسم مخروط الهشيم (Talus cone).

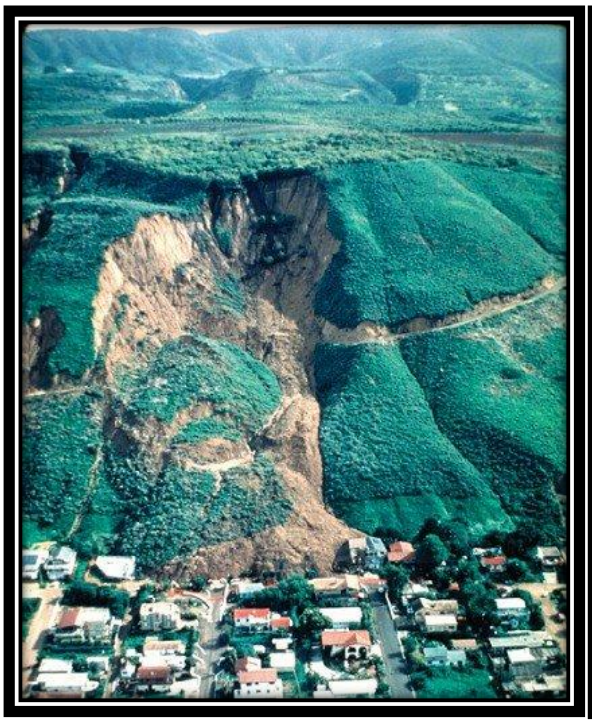
6- **ومن أثار التجوية الأخرى للتجوية الكتل الماكثة Residual Boulders** وتتقطع مثل هذه الكتل بواسطة سلسلة أو أكثر من الفواصل، فتتحول إلى ألواح كتليه ذات أحجام مختلفة، وليس من الغريب أن تتواجد هذه الفواصل على شكل مناطق أو خطوط ضعف، بحيث تجد الرطوبة والعوامل الفعالة الأخرى، طريقها من خلالها إلى داخل الصخور فتؤدي وبشكل تدريجي إلى استدارة زوايا هذه الكتل حتى تنتهي أخيرا على شكل بيضاوي.

7- **زحف التربة: Soliflustion or Soil Creep** ويستخدم هذا المصطلح من الناحية الجيومورفية للدلالة على الحركة البطيئة غير المنظورة لكتل الصخور والتربة المشبعة بالماء، من ارض عالية إلى جهات منخفضة. ومن الجدير بالذكر أن ظاهرة من هذا النوع يمكن تتبعها في الجهات التي تتميز بوجود جهات جبلية ذات مناخ رطب، وتظهر على شكل كتل من الصخور متباينة الحجم ممتزجة مع التربة وتتخللها كمية لا بأس بها من المياه، ويكون مصدر هذه المياه من الجليد الذائب في غالب الأحيان، يتحرك هذا المزيج الثلاثي وبشكل تدريجي عبر منحدر من الأعلى نحو الأسفل. على أن ضخامة هذا المزيج أثناء هذه الحركة تتراوح من مناطق لوحية واسعة (Extensive Sheets) وثلاجات صغيرة الحجم يطلق عليها اصطلاحا اسم الثلاجات (Mud Glaciers) وفي الجهات الجبلية اوالتلالية التي تتعرض إلى مثل هذه الظاهرة يظهر تناقص واضح في شدة التضاريس المحلية المتواجدة على السطح، فعلى سبيل المثال نلاحظ آن الجهات التي تتميز بمناخات شبه جليدية (Sub glacial Regions) والتي يتساقط فيها الثلج بغزارة في فصل الشتاء تصبح هذه العملية عاملا فعالا في هدم الأشكال الأرضية السطحية البارزة وفي الوقت نفسه، نلاحظ أن المناطق القطبية وشبه القطبية، حيث لا تتغطى الأرض بالجليد فان هذه العملية تكون مستمرة بشكل دائم. أما التدفق الطيني، ويشار إليه في بعض الأحيان على انه انسياب (Mudflow) فانه ظاهرة تتجمع التربة بموجبها ثم تتحرك بصورة بطيئة عبر الثلاجات المحتوية على الصخر والوحل. وفي حالة من هذا النوع تشتمل الحركة على صخور من مختلف الأحجام. ومن ابرز الأمثلة المعروفة عن مثل هذه الحركة هو التدفق الطيني في منطقة ينابيع ندكن سون في مقاطعة كولورادو في أمريكا، وقد أدى هذا

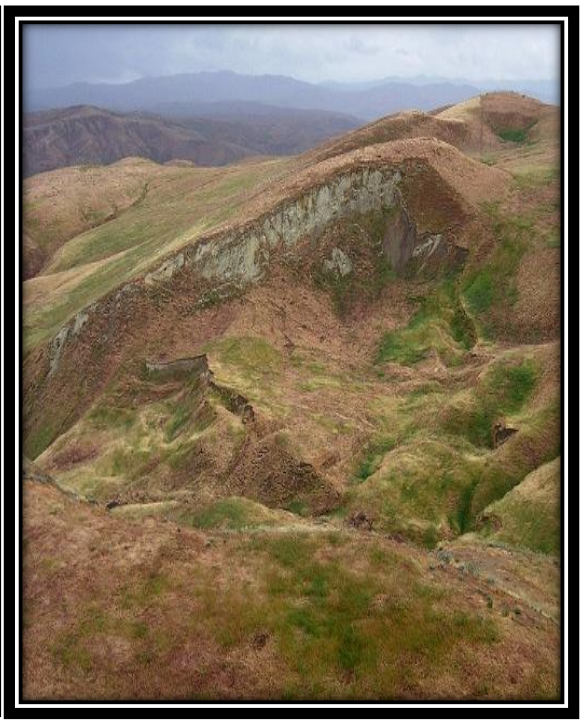
التدفق إلى تكوين ما يشبه الدلتا، في غير موضعها بطبيعة الحال و أدى ذلك إلى تكوين بحيرة كرستوبال (san Cristobel lake) ولقد بلغ مجموع هذا التدفق حوالي أربعة أميال كما بلغ انحداره 2.500 قدم وقد يتراوح سمك الوحل الذي بدا على الوادي بين 200 إلى 300 قدم.

8- **قباب التقشر**: (**Exfoliation Domes**) من الملاحظ أن الكتل الصخرية المتجانسة الضخمة تتقشر على شكل أغشية رقيقة عند تعرضها إلى تغيرات متطرفة في درجات الحرارة. وتعود هذه الظاهرة إلى تفكك الكتل الجرانيتية إلى أغشية محدبة وإن هذا التركيب – كما هو معروف، يتصل اتصالا وثيقا بالحالة الصهيرية التي كانت عليها هذه الصخور في بداية تكوينها ومع ذلك هناك نواح عديدة ترجح فرضية أخرى لتفسير هذه الظاهرة ومرجع هذه النظرية، إن ظاهرة تقشر الصخور ترجع إلى التذبذب الحاصل في درجات حرارة البيئة المتواجدة فيها، فمن الملاحظ أن البيئة القبابية لا تمتد باتجاه سفلي أو جانبي إلى مدى لا نهائي، ودليل ذلك أن أغشية التقشر لا تمتد في غالب الأحيان إلى عمق يزيد على 50 قدم، وهذا دليل على أن هذه ظاهرة سطحية وليست ظاهرة تمتد إلى أعماق الغلاف الصخري، هذا فضلا عن أن هذه البيئة لا تقتصر على مظهر القباب بل تتواجد أيضا في خوانق وحوائط وواجهات السلاسل الجبلية وحتى في قيعان الوديان الأخدودية. ولقد اجمع بعض علماء الجيومورفولوجيا على وجود ثلاثة تفسيرات لظاهرة التقشر السطحي هي: (1) تغير فصلي في درجات الحرارة يؤدي إلى تمدد وتقلص بشكل ملائم بحيث يدفعان إلى حدوث التقشر، و (2) تمدد سطح الصخور نتيجة التميؤ (دخول الماء في تركيب الصخر) وخاصة صخور الفلسبار وذلك لتكوين الكاؤولين و(3) وجود تضاريس ذات ضغط داخلي، وتنتج هذه التضاريس عن تعرية الكتل الصخرية السطحية.

إن تمدد وتقلص سطح الصخر، استنادا إلى معامل تمدد صخر النايس المعروف، يؤدي في الواقع، إلى زيادة في طول الصخر يصل إلى حوالي 0.5 بوصة لكل 100 قدم، وذلك عند ارتفاع درجة الحرارة إلى حوالي 100 ^{5} ف. وتصبح هذه الدرجة اقل من ذلك في الأعماق وذلك لان المدى الحراري في هذه الجهات يكون اقل من ذلك بكثير، فيكون التمدد والانكماش على عمق قدم واحد، تحت السطح مقاربا إلى حوالي 20/1 ملم يوجد من نفس هذا المعدل على السطح. لذلك يمكن القول انه ما دامت السطوح التي تتعرض إلى مثل هذه الظاهرة تكون متسعة بحيث تصل إلى ألاف الإقدام فان الضغط المتواجد بين الطبقات العليا والطبقات السفلى يكون كبيرا وواضحا، ومن الضروري الإشارة إلى أن عملية التقشر لا تحدث أو تظهر بشكل بارز إلا إذا توفرت عوامل مساعدة لها منها الشقوق المجهرية الصغيرة التي تعمل على إيصال الحرارة والماء إلى داخل الصخر فضلا عن فعل النباتات المجهرية. ويبدو أن تغيرا بسيطا في درجات الحرارة يحدث على عمق 15 قدم يكون أكثر فعالية من تغيرات مماثلة تحدث على سطح الصخر ذاته، وسبب ذلك أن صخور السطح تكون في وضعيتها الحالية قد تاقلمت مع بيئتها، إذ لا مجال أمامها لمقاومة تغيرات نوعية من هذا الطراز.

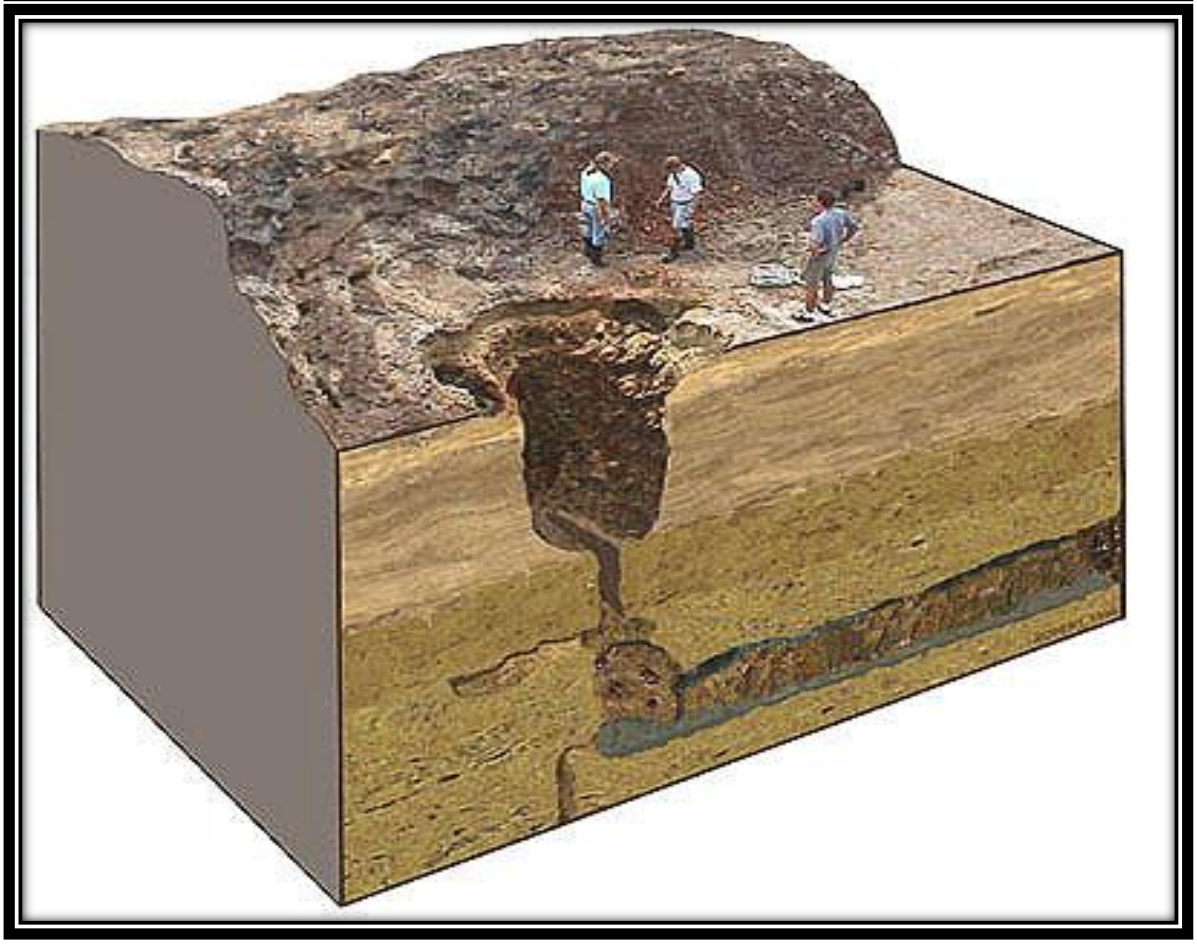


انزلاق (SLID)



التدفق (FLOW) :

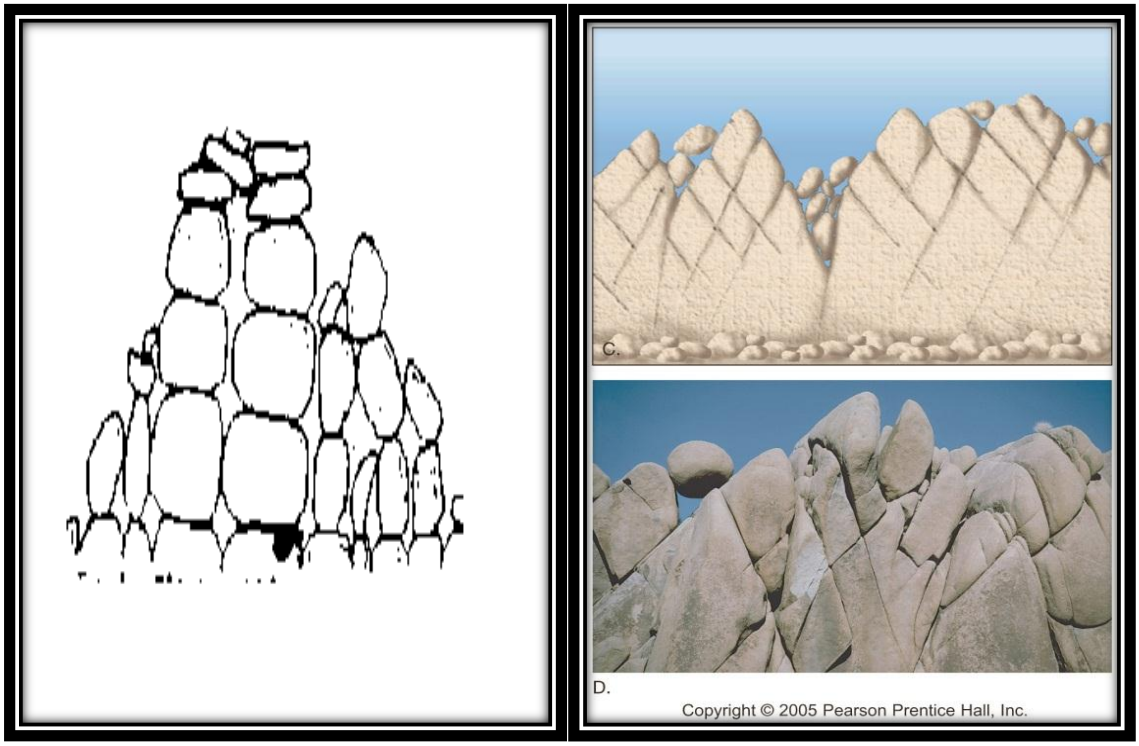
حفر التجوية



فعل التقشر

قبة صخرية تتعرض لفعل التقشر

المظهر العمدانى



أعمدة رأسية بعد تأثرها بالتجوية الميكانيكية

التفلق الصخرى

التفلق الصخـرى

Block Sparation التفكك الكتلى

التفكك الكتلى

جذور شجرة تتوغل داخل الفواصل فتعمل على توسيعها وتكسر الصخور