جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الأنبار- كلية الآداب

قسم الجغرافية

المرحلة: الثانية

أستاذ المادة: أ.م.د. وليد حنوش حمد

اسم المادة باللغة العربية: الجيومورفولوجي التطبيقي

اسم المادة باللغة الانكليزية: **Applied Geomorphology**

اسم المحاضرة الثالثة باللغة العربية: عمليات التجوية

اسم المحاضرة الثالثة باللغة الإنكليزية: **Weathering Processes**

عمليات التجوية Weathering Processes

تعني التجوية التحول الفيزيائي Disintegration أو التحول 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 والإرساب, 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. تتميز عمليات التجوية بأنها بطيئة جدا بصورة عامة بحيث لا يمكن ملاحظتها بصورة مباشرة. وقد أمكن من خلال المباني التي أقامتها الحضارات الإنسانية الأولى وما جمع عنها من معلومات أثرية وتاريخية تقدير معدل التجوية لأنواع الصخور المختلفة وعلى فترات طويلة.

أنواع التجوية:

تضم التجوية العمليات الكيماوية والفيزيائية (أو الميكانيكية) التي يستطيع الجو من خلالها أن يؤثر على الصخور. ولذلك فهي تقسم إلى التجوية الميكانيكية أو الفيزيائية والتجوية الكيماوية. ويضيف البعض من المختصين نوعا ثالثا من التجوية وهو التجوية العضوية حيث يناقشون فيه اثر الأحياء على الصخور. غير أن عمل الأحياء هذا لا يتعدى كونه عملا فيزيائيا (ميكانيكيا) أو عملا كيماويا

1- التجوية الميكانيكية (الفيزيائية):

يقوم الجو بوساطة هذه العملية في التأثير على الصخور بأساليب فيزيائية 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 الفيزيائي بأساليب متعددة يمكن إجمالها بالاتي:

أ- 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 انفراط 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 أولاً كذلك هي التي تبرد أولاً, أما الطبقة السفلى فتكون الحرارة فيها أقل 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.

ب- تأثير الحرارة والرطوبة:

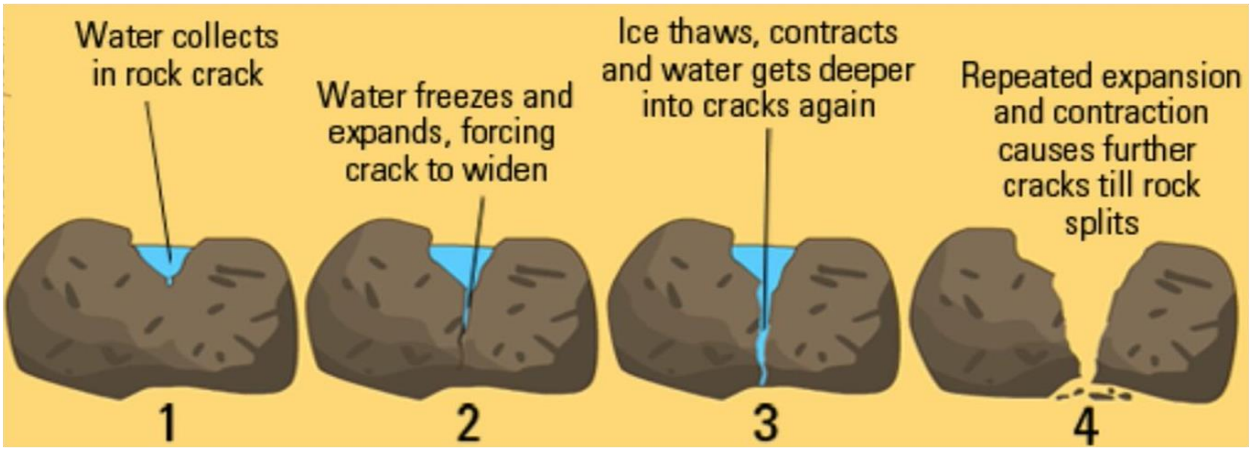
تحدد درجة الحرارة وكمية الأمطار ونوع وشدة عمليات التجوية المختلفة. إذ تتعرض الحبيبات المعدنية والأسطح الصخرية إلى التفتت Fretting والتشقق والتقشر Exfoliation بسبب الاختلافات الحرارية اليومية الشديدة, وما تؤدي إليه من تفاوت في معدلات التمدد والتقلص المعدني. أما الرطوبة سواء كانت متوفرة على شكل مطر أو ندى, فإنها تعمل, أيضا, على إضعاف الصخر كيماويا وميكانيكيا معتمدة في ذلك على نسبة الحموضة PH ومعدل تركيز المطر أو حجم قطراته المائية. 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 والمحصور في الصخور عند درجة الحرارة – 22م 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.

تلعب 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.

ج- اثر الصقيع:

يعتبر الصقيع من أكثر عوامل التجوية الميكانيكية تأثيرا، إذا يزداد حجم الماء عند تجمده إلى حوالى 9% من حجمه السابق. فلو فرضنا أن هذا الماء كان محصوراً في مكان ما فإنه سوف يولد ضغطاً يصل إلى حوالى 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



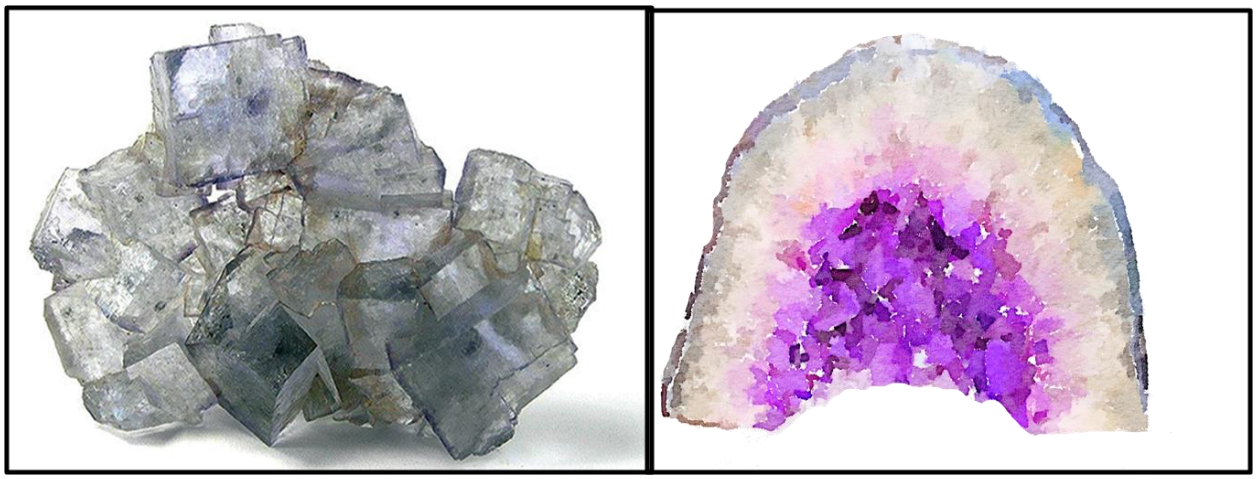
د - اثر إزالة الضغط:

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 حجماً 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 حجماً 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).



2- 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 وتركيبها 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 مسيطراً تماماً في بعض الأقاليم التي ترتفع فيها درجات الحرارة مع زيادة في كمية الأمطار.

وتضم التجوية الكيماوية عدة عمليات هي:

أ- عملية الذوبان Solution :

تأتي عملية الذوبان كمرحلة أولى في التجوية الكيماوية, حيث تظهر هذه العملية أثناء جريان الماء أو عندما يقوم الماء بالإحاطة 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 موجوداً في القشرة الأرضية إلا في المناطق الجافة. وتكون قابلية الجبس على الإذابة اقل منه، وكذلك الحالة بالنسبة إلى الكاربونات. تعتبر عملية الذوبان ذات أهمية قليلة في التجوية الكيماوية فيما عدا حالات نادرة عندما تنكشف الصخور الملحية على سطح الأرض, غير أنها تلعب دوراً هاماً في نقل المنتجات المتخلفة عن عمليات تجوية أخرى وخاصة عملية التحليل المائي وعملية التكربن.

ب- 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 نقياً. 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 معدناً جديداً.

ج- عملية الترطيب (الإماهة): 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. 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 الألوان الجميلة المتباينة للصخور في المناطق ذوات المناخ الجاف وشب الجاف إلى تعرض الحديد في الصخور بعملية الترطيب.

د- عملية التكربن (التفاعل الأيوني) Carbonation :

وتتحول بعض المعادن الصخرية مثل الجير والصودا والبوتاس وغيرها من الأكاسيد القاعدية إلى كاربونات بوساطة حامض الكربونيك في الماء أو في الهواء، ويعتبر ثاني أوكسيد الكربون مصدر تكوين حامض الكربونيك ويوجد هذا في هواء التربة وكذلك في الغلاف الجوي حيث يتكون حامض الكربونيك 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 الكربونيك فتتحول إلى كاربونات ذات قابلية كبيرة على الذوبان. ويهاجم الماء الذي يحتوي على حامض الكربونيك الحجر الجيري حيث يتحول إلى بيكربونات تكون قابلية ذوبانها اكبر بمرات عديدة من قابلية الإذابة للحجر الجيري. هذا وتنتقل البيكربونات وهي ذائبة في الماء تاركة المواد الأخرى التي لا تذوب فيه بالسرعة نفسها في مكانها. وقد تكونت بهذه الطريقة معظم الأشكال الكارستية والكهوف.

هـ- عملية التأكسد (الأكسدة) Oxidation

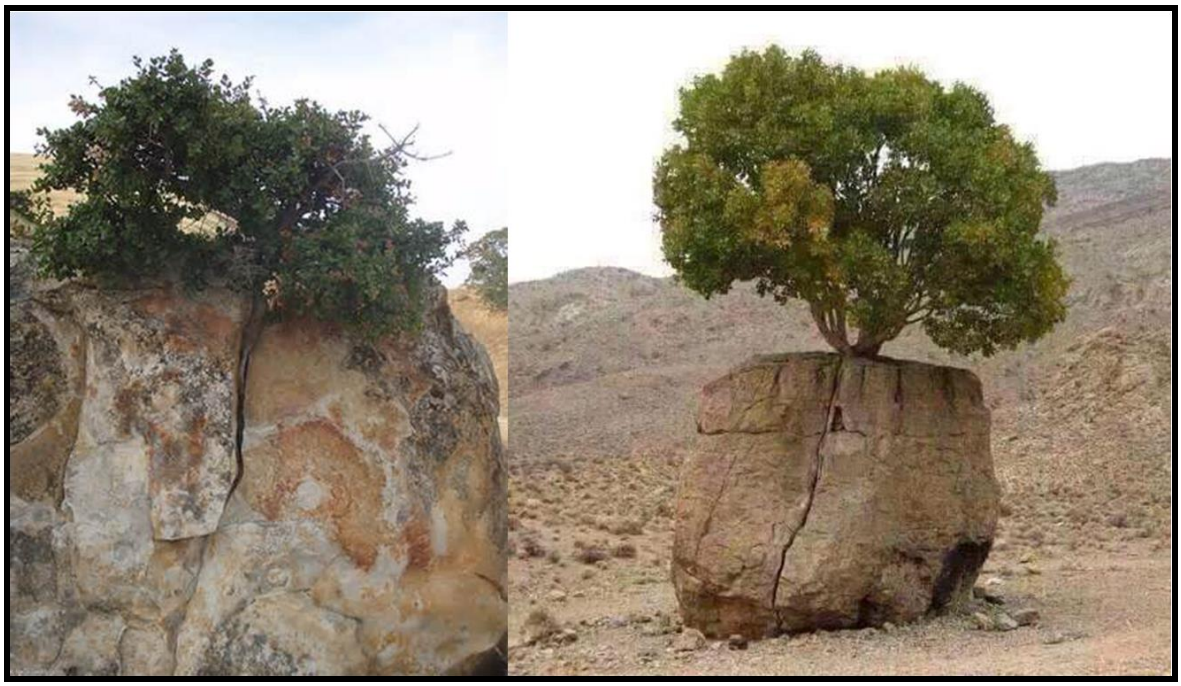
تحدث هذه العملية عندما يتحد الأوكسجين الموجود في الغلاف الجوي مع المعادن المكونة للصخور وعلى الرغم من سعة انتشار هذا النوع من التجوية الكيماوية الا أن أهميتها قليلة.

و-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 فيها بهذه الطريقة إلى محاليل غروية يسهل على الجذور امتصاصها.

3- 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 أيونات المعادن على أن التأثير الرئيسي للنباتات والحيوانات يظهر في زيادة ثاني أوكسيد 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 أوكسيد الكربون يأتي عن طريق الغلاف الحياتي وليس عن طريق الغلاف الغازي.

وبالإضافة إلى ما سبق تقوم بعض الحيوانات المجهرية بالتفاعل مع أيونات المعادن المكونة للصخور ومن بين هذه الحيوانات بكتريا الانتحاء الكيماوي التي تعمل على أكسدة بعض المعادن مثل الكبريت والحديد. 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 التي تقوم بابتلاع التربة من اجل الحصول على غذائها، ويوجد من هذه الدودة في الأرض الخصبة بحدود مليون واحدة في الأيكر الواحد، وتستهلك هذه الدودة لغذائها حوالى 50 طن متري من التربة في العام الواحد. كما تعمل حيوانات الأنفاق مثل السنجاب الأمريكي على تجوية التربة والصخور. وإن الإنسان ليعجب حقاً عند ملاحظته الأكوام 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 حوالى 6% من سطح الأرض. وقد لعب البشر دور آخر من خلال الغطاء النباتي, مما أدى ذلك إلى جرف شديد للتربة في مناطق واسعة من القشرة الأرضية.