

إذا كانت الجبال هي النتيجة المباشرة للعمليات الداخلية فإن هناك أيضاً عمليات خارجية تؤدي دوراً مكملاً للعمليات الداخلية في تكوين معالم وظواهر سطح الأرض.

ولعل الدور الأكبر الذي تؤديه تلك العمليات الخارجية هي إزالة تلك الجبال وجعلها حطاماً ونقل هذا الحطام من أماكنه الأصلية إلى أماكن أخرى ثم ترسيبه إياها.

ويطلق على هذه العمليات اسم شامل لها وهو التعرية Denudation وتشمل كلاً من التجوية weathering والنقل Transportation والترسيب Deposition وكل منها عوامله ووظائفه ونتائجها.

**التجوية : weathering**  
 والتجوية هي أولى مراحل تلك العمليات الثلاث والتي تنتهي بالترسيب مع الأخذ في الاعتبار أنه لا يوجد فاصل بين عملية وأخرى بل إن العمليات الثلاث تتداخل فيما بينهما في معظم الأحيان.  
 والتجوية - من ناحية أخرى - ليست ظاهرة جيومورفولوجية فحسب بل أنها من أكثر الظواهر الجيولوجية أهمية لحياة الإنسان لسبب بسيط للغاية وهو أن التربة الزراعية التي لا يستقيم للنبات الحياة بدونها إنما هي من حصيلة التجوية ونتائجها . كما أن بعض نواتج التجوية هي في الحقيقة الأمر تمثل تجمعاً معدنياً له قيمة اقتصادية في الحياة البشرية .  
 وهو ما سوف نفصله فيما بعد وتنقسم التجوية إلى قسمين :-

### (أ) تجوية فيزيائية (ميكانيكية) (Physical Weathering)

**Mechanical :**  
 ويقصد بهذا النوع من التجوية ، العمليات الطبيعية التي تؤدي إلى تحطيم الصخر وتفكهه إلى فناء وحطام صخري دون المساس بالتركيب الكيميائي .  
 ويرادف التجوية الفيزيائية مصطلح التفكك ( التفتت ) Disintegration .

**Chemical Weathering :**  
 (ب) التجوية الكيميائية  
 وتنشأ عادة من تفاعل الماء ومكونات الهواء الغازية مع المعادن المكونة للصخور فتحول بعض المعادن إلى معادن أخرى .

ويراد التجوية الكيميائية مصطلح التحلل Decomposition والتجوية الميكانيكية ( التفكك ) والتجوية الكيميائية ( التحلل ) تعملان معاً فى الغالب وربما سادت أحدهما على الأخرى حسب الظروف المناخية وعلى سبيل المثال فإن التحلل يسود في المناطق الرطبة والدافئة بينما يسود التفكك في المناطق الصحراوية الجافة .

إن المهمة الرئيسية للتجوية الفيزيائية هي تفكك الصخر وبالتالي زيادة مساحة سطحه ومن ثم زيادة فاعلية التجوية الكيميائية .

### عوامل التجوية الميكانيكية :-

#### 1- التمدد والانكماس الحراري Thermal Expansion and Contraction

تعتبر الصخور بصفة عامة من المواد الرديئة التوصيل الحرارة و لما كان الصخر - أي صخر - يتكون من عدة معادن وأن لكل معدن خصائصه الحرارية الخاصة به سواء أكانت هذه الخصائص تتعلق بمعامل التمدد أو الحرارة النوعية . فإن تأثير درجات الحرارة يظهر واضحاً على الصخور مع البعد الزمني الكبير .

فاختلاف درجات الحرارة وهو اختلاف كبير في المناطق الصحراوية بين الليل والنهار الذي قد يصل في بعض الأحيان إلى ٣٥°C في اليوم الواحد وهناك أيضاً الفروق الموسمية بين الفصول المختلفة . كل هذا يؤدي إلى تكرار عملية تمدد المعادن وانكماسها وبالنظر إلى اختلاف معاملات التمدد الحراري للمعادن فإنها تعمل بمرور الزمن على التفكك من بعضها البعض من خلال الضغوط الناتجة من تمدد المعادن بالحرارة مما يؤدي إلى إجهاد Stress الصخر وبالتالي خلخلة المستويات العليا من الصخر وكوننا غطاء من الفتات الصخري . وتعرف هذه العملية باسم التقشر Exfoliation . وعندما يزال هذا الغطاء بفعل الرياح أو المياه الجارية فإن الصخر يصبح معرضًا لتكرار نفس التأثير .

#### 2- أثر تجمد المياه : Frost Wedging

كثيراً ما تحتوى الصخور على شقوق وفواصيل ومسام صخرية وعندما يتغلغل فيها الماء وبتأثير الحرارة المنخفضة التي تصل إلى ما دون الصفر التي يتجمد فيها الماء .

ويترتب عن تجمد الماء وتحوله إلى جليد زيادة نسبية في الحجم تصل إلى 10% وتسبب هذه الزيادة ضغطاً على الشقوق وفواصيل ومسام الأمر الذي يؤدي

إلى اتساعها وبتكرار عملية التجمد يتفكك الصخر إلى حطام صخري .  
ويتضح تأثير تجمد المياه في المناطق الباردة ومنحدرات الجبال حيث تكثر بها  
الفوائل وتعرف نواتج هذا التأثير بالталوس Talus وهي رواسب من الفتات  
الصخري غير منتظم الأجزاء ويتميز بزواياه الحادة والمترافق حول سفوح  
التلال والجروف .

٣- إزالة الحمل : Unloading  
من المعروف أن الصخور في حالة إنزان مع بعضها البعض بمعنى أن الطبقات  
السفلي من الصخور في حالة إنزان - من حيث الضغط - مع الطبقات التي  
تعلوها لأن الضغط هنا متجانس في جميع الاتجاهات . فإذا حدث ترسيب بعد  
ذلك فإن الضغط يزداد على الطبقات السفلية . ولا يحدث لهذه الطبقات أى تشوّه  
ما لم يتعد الضغط الواقع عليها حد المرونة . وكل ما هناك أنه سوف يحدث  
تغير في الحجم بحيث تتضخم الطبقات السفلية بتأثير الضغط الناتج من زيادة  
الحمل .

إذا أزيل هذا الحمل بسبب عمليات التعرية فإنه سوف يحدث اختلال في حالة  
الإنزان القائمة والتي سادت ما بين الضغط الخارجي (من طبقات الصخور  
العلوية) والضغط الداخلي المضاد لاتجاه الضغط الخارجي (من طبقات  
الصخور السفلية) . وكرد فعل لهذا الاختلال في الإنزان فإن الضغط الداخلي  
سوف يعمل على إعادة الطبقات السفلية - التي تقلص حجمها - إلى حجمها  
الأصلي الذي كانت عليه قبل زيادة الحمل مما يؤدي إلى تكوين مجموعة من  
الشقوق والفوائل موازية للسطح الخارجي للطبقات الصخرية مما يؤدي إلى  
عملية التقشر ويختلف سمك هذه القشور أو الصفائح Sheets من عدة  
سنتيمترات قرب السطح إلى عدة أمتار في الأعماق .

٤- تأثير الغلاف الحيوي : Biosphere effect  
ويتلخص تأثير الغلاف الحيوي في كل من فعل النبات والحيوان والإنسان .  
و فيما يلي تفصيل لتأثير كل منهم -

أ) النبات :  
عندما يمد النبات جذوره في التربة أو الشقوق والفوائل الصخرية فإنه الحقيقة  
يزيد من اتساع تلك الشقوق والفوائل كما أن نمو الجذور يؤدي إلى نشوء قوى  
ضغط شديدة على الصخور فتعمل على تحطيمها .

### ب) الحيوان :

إن الكثير من الحيوانات التي تتخذ من أديم الأرض مأوى لها تساهم إلى حد كبير في عمليات التجوية الميكانيكية . فالحيوانات الحافرة Burrowing ديدان الأرض والحيوانات القارضة Rodents كالأرانب والفئران وكذلك النمل الأبيض Termites تعمل على تفتيت المواد الصخرية وجعلها حطاما وفتاتا من السهل بعد ذلك نقلها بفعل عوامل المختلفة .

### ج) الإنسان :

إن النشاط الإنساني قد ساهم إلى حد كبير في التجوية الميكانيكية لبناء المدن والمجتمعات السكانية وما يتبعها من شق الطرق قد أدى إلى إزالة ما يعترضه من تلال . كما أن أعمال المناجم والمحاجر وحفر الاتفاق قد أدى بالتبعية إلى إزالة الغطاء الصخري في سبيل الوصول إلى مواضع الطبقات الحاملة للخدمات ولاشك أيضا أن اقتطاعه أحجار البناء قد أدى إلى تعريض أجزاء جديدة من الصخور لتأثير التجوية بشقيها الميكانيكي والكيميائي .

ولا يجب أن نغفل أثر النشاط البشري في تبديد الموارد الطبيعية كالترسب والتحكم في الجريان الطبيعي للأنهار بإقامته السدود الذي ينتج عنها وبالتالي اختلاف معدل النحت والترسيب على طول أجزاء المجرى النهرى .

### ( ب ) التجوية الكيميائية : Chemical Weathering

ومهمتها الأساسية التغيير الكيميائي للمحتوى المعدني لصخور ولا سيما المعادن القابلة للتغيير والتجوية الكيميائية أنشط ما تكون في المناطق الرطبة الدافئة ومن أهم عوامل التجوية الكيميائية : -

#### ١- الذوبان : Dissolution

على الرغم من قلة المعادن القابلة للذوبان في الماء إلا أن تأثير الذوبان يكون ذات أهمية خاصة في المناطق التي تحوي رواسب وصخورا ملحية ( مثل الملح الصخري Rock Salt ) . غير أن الماء تزداد فاعليته وتتأثيره على الصخور إذا اتحد بغاز ثاني أكسيد الكربون مكونا حامض الكربونيك الذي يؤثر على الصخور الجيرية التي تتكون أساسا من معدن الكالسييت ( لانتزوب في الماء ) إلى بيكربونات كالسيوم  $Ca(HCO_3)_2$  ( تذوب في الماء ) ومعنى هذا انتقال المادة الصخرية إلى محلول مائي تاركه مكانها فراغات وفجوات وقد تكون باستمرار عملية الذوبان مجارى وذوبان وكهوف ومجاريات .

## ٢- التميؤ : Hydrolysis

وهي عملية من شأنها اتحاد الماء مع بعض المعادن التي تتكون منها الصخور وينتج عنها ظهور معادن جديدة ذات صفات وخصائص جديدة تماماً . ومن أشهر الأمثلة الدالة على التميؤ معادن الفلسبار التي ينتج عن اتحادها بالماء تكون معادن طينية Clay Minerals ، وبطبيعة الحال فإن عملية التميؤ التي تحدث للمعادن تكون أنشط ما يكون في المناطق الرطبة والاستوائية حيث يقوم الماء بالدور الأساسي فيها .

## ٣- الأكسدة : Oxidation

وهي عملية من شأنها تحويل بعض المعادن إلى معادن أخرى عن طريق اتحاد الأكسجين مع بعض العناصر السريعة الاتحاد به مثل عنصر الحديد وذلك في وجود الماء كعامل مساعدة . مثل تأكسد معدن البايريت إلى الليمونايت . وعلى هذا الأساس فإن مركبات الحديدوز في معظم الصخور النارية تتحول إلى مركبات حديديك حيث تتكسر جزيئات السيليكات المعقدة .

## ٤- التكرير : Carbonation

من المعروف أن غاز ثاني أكسيد الكربون قابل للاتحاد بالماء حيث يكونان معاً حمضاً ضعيفاً هو حمض الكربونيكي . ويتفاعل حمض الكربونيكي بدوره مع الصخور الجيرية مكوناً بيكربونات الكالسيوم وهي مادة ذاتية . حيث ينشأ عن هذا التكون ظهور الفجوات والكهوف والمغارف في الصخور الجيرية .

أسباب اختلاف التجوية  
تختلف التجوية - كما وكيفاً - أى من حيث النوع والمقدار باختلاف عاملين  
أساسيين على النحو التالي :

أولاً : اختلاف التضاريس

١- المناسيب العالية :  
تتميز الجبال العالية بوجود الجليد على قممها مما يعطى الفرصة الأكبر لاتساع الشقوق والفوائل بسبب تمدد الجليد .

## ٢- المنحدرات الشديدة :

إن الميول الحادة للتلال والجبال تهيء الفرصة لنواتج التجوية من الحطام والفتات الصخري إلى سقوط أسفل هذه التلال والجبال بفعل الجاذبية وبذلك تتعرض أسطح جديدة للتجوية .

## ٣- السهول والمناسب المنخفضة :

إن الغطاء النباتي الذي يغطي السهول والمناسب المنخفضة هو غطاء يقي التربة من تأثير عوامل التجوية وإن كان هذا لا يمنع من أن النبات يساهم إلى حد ما في توسيع الشقوق والفوواصل عن طريق تغلغل الجذور في التربة . لذا فإن التجوية ذات أثر محدود في هذه المناطق .

### ثانياً : اختلاف نوعية الصخور :

ليست التجوية على حد سواء في الصخور إذ يختلف تأثيرها حسب المحتوى المعدني للصخور فالمعادن يتفاوت تأثير التجوية عليها باختلاف خصائصها الفيزيائية والكيميائية . ولأن المعادن جمعيها تختلف في سرعة استجابتها للتجوية الكيميائية ( التحلل ) فقد تمكّن الباحثون في هذا المجال من وضع دليل لقياس سرعة التجوية Index Weathering Potential بالنسبة لمعدن السيليكات ويمثل هذا الدليل مقاومة النسبة للتجوية بدءاً من معدن الكوارتز الذي أعطى الرقم ( ١ ) وهو أكثر المعادن مقاومة للتجوية بينما تعتبر المعادن التي تمتلك رقم أعلى من ( ١ ) قابلة للتجوية . ( الكوارتز - الأرثوكليز - المسكوفيت - البلاجيوكليز - البيوتيت - الهايورنبلند - البيروكس - الأوليفين ) . إذن فالكوارتز هو أكثرها مقاومة بينما الأوليفين هو أقلها في المقاومة .

### نواتج التجوية :

ليست التجوية بنوعيها الفيزيائي والكيميائي ظاهرة جيولوجية فحسب بل أنها ذات أهمية قصوى للحياة البشرية اقتصادياً وحياتياً فلو ظلت الصخور منذ نشأتها على حالها كما هي لما كونت التربة ولما صلحت للزراعة وكانت أقرب ما تكون إلى صخور القمر والمريخ .. ومن أهم نواتج التجوية ذكر .. التربة - اللاتيريت والبوكسيت - ركام السفوح - حقول الجلاميد .

## ١- التربة Soil :

على الرغم من أن التربة مصطلح عام يقصد به الطبقة السطحية من أديم الأرض والناتج من حصيلة عمليات التجوية إلا أنه في نفس الوقت هناك أكثر من تعريف لها ومن تلك التعريفات أنها الطبقة السطحية المفككة التي تمثل الوشاح الصخري ولا يتعدى سمكها عدة مترات وتكون من خليط من معادن مختلفة قد نتجت من تجوية المكونات الصخرية بالإضافة إلى الدبال Humus وهو المواد العضوية المتراكمة نتيجة الأنشطة الزراعية وبمهما كان من أمر تعدد التعريفات بشأن التربة فإن من المتفق عليه أنه توجد خمسة عوامل تحكم في تكونها وهذه العوامل هي :-

### ١- الصخر الأم :

و خاصة فيما يتعلق بالمحتوى المعدني والعناصر الداخلة في هذا المحتوى ومن الثابت أن التربة تدين ببعض خصائصها إلى الصخر الأم الذي اشتقت منه مكونات التربة وعلى سبيل المثال فهناك تربة جيرية و تربة رملية و تربة حصوية ... الخ .

### ٢- المناخ :

و هو من أهم عوامل تكوين التربة باعتبار أنه يتحكم في نوع و شدة عمليات التجوية المختلفة . كما يؤثر على نوع و كمية الكائنات العضوية في التربة وبالتالي يتحكم في سرعة تحللها . ليس هذا فحسب بل قد ثبت وجود علاقة بين تكوين بعض المعادن الطينية والظروف المناخية في الأقاليم المختلفة فعلى سبيل المثال فإن كميات أكسيد الحديد والألومنيوم المائية تزداد في وجود الأمطار الغزيرة التي تعمل على إزالة السيليكا من التربة الأمر الذي يؤدي إلى تكوين التربة الحمراء لوجود كميات كبيرة من أكسيد الحديد وتعرف هذه التربة باسم اللاتيريت Laterite .

### ٣- الكائنات الحية :

وتشمل كلًا من الغطاء النباتي والمواد العضوية مثل الدبال Humus والبكتيريا والآحماض العضوية Acids Organic ويعتقد الكثيرون من علماء

التربة أن عمليات تكون التربة لا تبدأ إلا عندما يتدخل النشاط العضوي بين الصخر الأم والبيئة المحيطة به . وتحكم نوعية النباتات في سمك المواد العضوية وعلى سبيل المثال فإن الأقاليم الاستوائية التي تتميز بالغابات الكثيفة تكون تربتها ذات سمك قليل من المواد العضوية الدبالية على عكس المناطق العشبية التي تتميز بسمك كبير من المواد العضوية هذا العضوية هذا بالإضافة إلى تدخل النشاط البشري سواء في إزالة الغابات أو إضافة أراضي زراعية جديدة .

#### ٤- الوضع الطبوغرافي :

يتحكم الوضع الطبوغرافي للتربة إلى حد كبير في خصائصها فالسفوح الشديدة الانحدار لا تصل التربة فيها إلى مرحلة النضج لأن عوامل النقل المختلفة تزيل مخلفات التجوية أولاً بأول فت تكون في هذه الحالة تربة ناقصة قد أزيل منها نطاق أو نطاقين علويين . كما يؤثر الوضع الطبوغرافي أيضاً على درجة التصريف وموضع وشكل مستوى المياه الباطنية . وللدلالة على أهمية الوضع الطبوغرافي فإن السهول والمناطق القليلة الانحدار تتميز بوجود تربة سميكة إذ أن الميل البسيط لهذه المناطق يجعلها تستقبل الرسوبيات والفتات الصخري المنقول الذي سبق تجويفه .

#### ٥- الزمن :

ومقصود به هنا الفترة الزمنية التي استغرقها عمليات تكوين التربة . وبطبيعة الحال فإن الزمن يتحكم في سمك ودرجة نضج نطاقات التربة باعتبار أن عمليات التجوية ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالزمن .