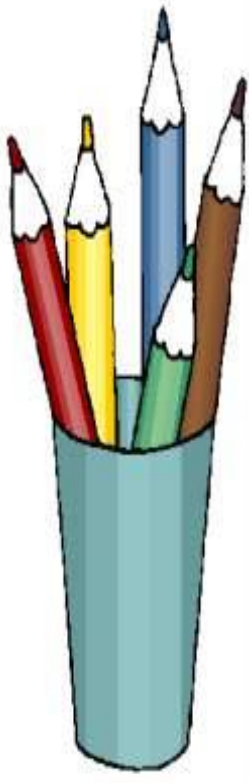
الفصل الخامس

العمليات الخارجية {التجوية وأنواعها وعملياتها- تكوين التربة وانواعها وخصائصها المنحدرات والمخاطر الجيومورفية}

جامعة البصرة – كلية التربية للبنات – قسم الجغرافية

المرحلة الأولى – الدراسة الصباحية والمسائية

للعام الدراسي ٢٠٢٥ – ٢٠٢٦



إعداد المحاضرة من قبل

م. م زينب صائب الجمالي بالاعتماد على كتابي

أساسيات علم شكل الأرض للمؤلف سعد عجيل الداجي

اشكال سطح الأرض: سرحان نعيم الخفاجي

التجوية:Weathering

التجوية بصورة عامة تعني عملية تفكك أو تكسر أو تحلل أو نحت أو تهشيم الصخور في موقعها بطرق كيميائية أو فيزيائية أو حياتية وبهذا فهي العملية التي تهيئ الفتات الصخري لعمليات النقل المعروفة (المياه الجارية – الجليد- الرياح – الأمواج البحرية).

إلا إن ميدان نشاط عمليات التجوية بالنسبة للأرض ككل ميدان محدود للغاية وذلك لكون عمليات التجوية عمليات خارجية بحتة يقف أثرها عند حد الأسطح المكشوفة من الصخر وقلما تتجاوز لأبعد من بضعة سنتمترات تحته إلا إذا كانت تسلك خلال فجوات الصخر وفوالقه الكبيرة لبضع عشرات من السنتمترات أو الأمتار. وتنقسم التجوية إلى ثلاثة أنواع مهمة وهي كالآتي :

١- التجوية الميكانيكية Mechanical Weathering

ويقصد بها العمليات التي تؤدي إلى تحطيم الصخر وتجزئته إلى مفتتات بشرط أن يبقى تركيبه ثابتا لا يتغير أي من دون أن يصحب ذلك أي تغير في الصفة الكيميائية أو المعدنية للصخور. وهناك عدة عوامل تساهم في تفعيل دور التجوية الميكانيكية أو الفيزيائية وهي:

أولا - التمدد الحراري.

يتضح تأثير التمدد الحراري الذي ينتج عن التباين الكبير في درجات الحرارة بشكل خاص في المناطق الصحراوية حيث يصفو الجو ويشتد الجفاف ففي أثناء النهار ترتفع درجات الحرارة مما يؤدي إلى تمدد الصخور وفي الليل عندما تنخفض الحرارة تنكمش، إن تكرار عملية التمدد والتقلص يؤدي بالتالي إلى تكسر الصخور وتفتتها ولما كانت الصخور رديئة التوصيل للحرارة فان تأثير التغير الحراري ينحصر في مستوياتها العليا دون السفلى وينشا عن ذلك ضغوط stresses خلال مكونات الصخور تؤدي إلى إحداث تكسر مواز لطولها وتتفكك الصخور حينئذ في هيئة أشرطة توازي سطوحها ويطلق على هذه العملية اسم التفسير exfoliation.

ثانيا - النمو البلوري.

يساعد عامل النمو البلوري على تشقق الصخور وتكسرها فعندما تملا مياه الأمطار هذه الشقوق أو الفواصل ويصادف أن تتجمد هذه المياه فان حجمها يزداد حوالي (١٠٪) وذلك لنمو بلورات الثلج وهذه الزيارة في الحجم تسبب ضغطا على الصخور التي تجاورها، وبالتالي فان الصخور تتهشم وتتفكك ويزداد تأثير هذا العمل في المناطق التي تتعاقب فيها فترات الانجماد والذوبان.

ثالثا- التمدد Dilation .

يحدث هذا النوع من التجوية عندما يزاح الضغط المسلط على الصخور، فالصخور النارية والمتحولة تتبلور تحت ظروف حرارية وضغوط مختلفة عن تلك التي توجد على سطح الأرض، وهذا يعني إن المعادن المكونة لهذه الصخور لا تكون ثابتة في ظروف ودرجات حرارة السطح وضغطه، فإذا ما أزيحت الطبقات الصخرية هذه لسبب ما فان الضغط المحصور يقل وبالتالي تتقشر هذه الصخور الكرانيتية المحاطة بأسطح موازية لسطح التضاريس، ومما لاشك فيه فان الفواصل تتكون نتيجة لهذا التمدد، وعليه فان التجوية الكيميائية، وقوة الضغط المحصور يتضافران كلاهما مع تغيرات الحرارة لتكوين الشقوق في الصخور الصلبة، وقد استنتج ماثس (١٩٣٧) إلى إن التقشر الذي تتصف به معظم قباب أمريكا الشمالية، وخاصة في منطقة المتنزه الوطني قد نتج عن تمدد هذه القباب بعد أن أصابتها عوامل التعرية وعملت على إزاحة الترسبات الثقيلة عن كاهلها، وقد دلت الدراسات المجهرية للصخور هذه إلى إن التمدد كان ميكانيكيا في طبيعته وليس ناتجا عن تغير كيميائي (*النقاش، والصحاف، ١٩٩٠، ص ٥٠*).

رابعا- الكائنات الحية.

تلعب الكائنات الحية دورا مهما في عمليات التجوية، فالأشجار إذ تضرب بجذورها في شقوق الصخر سعيا لإيجاد تربة هشة وذات محتوى رطوبي مناسب، فإنها تؤدي إلى توسيع الشقوق وتعميقها واتصالها خاصة بعد استمرار نموها وتضخم جذورها، ويترتب على ذلك في النهاية أن تنفصل كتل من الصخر وتقتلع

من مواضعها، وهناك أمثلة كثيرة على ذلك منها على سبيل المثال التشققات التي تلاحظ على الأسوار والجدران التي تحفها صفوف من الأشجار تتلف بواسطة جذورها المباني المجاورة لها وتتسبب في تداعيها.

كذلك الديدان الأرضية التي توجد بمئات الملايين في الفدان الواحد من الأرض، هذه الديدان تنحت طريقها في جوف التربة مخلفة ورائها متاهات من الثقوب والمسارب فتزيد من مساميتها، وبالتالي من قابليتها على التهوية وسريان المياه، كما إن هذه الكائنات حين تموت وتتعفن بقاياها تدخل مع الماء في تركيب أحماض عضوية تنشط العمليات الكيميائية، وأخيراً فان بعض الحيوانات الأرضية كالجرذان والأرانب والحشرات، كأنواع النمل المختلفة حين تحفر مآويها في باطن الأرض تساعد على تفتيت الصخر وإدخال الوهن إلى جوفه.

٢ - التجوية الكيميائية Chemical Weathering.

تتم خلالها عملية تحلل الصخور وتحويل بعض مكوناتها المعدنية إلى معادن أخرى قد تختلف في الشكل والتركيب عن حالتها الأصلية، ويتم ذلك من خلال تفاعل غازات الجو، مثل الأوكسجين، وثاني اوكسيد الكاربون، وبخار الماء، مع العناصر التي تتألف منها معادن الصخور، وهناك خمسة عمليات مهمة تؤدي إلى تحلل الصخور نتيجة للتجوية الكيميائية وهي كالآتي :

أ – التحلل المائي Hydrolysis.

تكمن فاعلية الماء في إتمام عمليات التحلل المائي في ايونات الهيدروجين الصغيرة التي تستطيع أن تتخلل التركيب البلوري للسيليكات وان تفتته، وبذلك تتكون مركبات جديدة ابسط تركيباً من السيليكات الأصلية، هذه المركبات بدورها تتفاعل كيميائيا مع العناصر المكونة للهواء والمحاليل المائية مما ينتج عنها اكاسيد وهيدروكسيدات وكربونات وأحيانا كبريتات، بالإضافة إلى بعض السيليكات الأبسط تركيباً من السيليكات التي لم يسبق أن تأثرت بعمليات التجوية الكيميائية، ومن اشهر الأمثلة على عملية التحلل المائي في تجوية المعادن عملية تحول الفلدسبار البوتاسية إلى كالونيت Kaolinite، إذ تقوم الكميات القليلة لثاني أكسيد الكاربون

الموجودة في الهواء بدور كبير في تنشيط هذه العملية، في حين يعمل الماء الجاري الذي يسيل على سطح الأرض قبل أن يتخلل المسام الموجودة في التربة على إذابة بعض جزيئات من ثاني اوكسيد الكاربون الموجودة في الجو التي سرعان ما تتحول إلى حامض الكاربونيك بالطريقة الآتية :

$$H_2O + CO_2 \text{ ---------- } H_2CO_3 \text{ ---------- } -2(H^+ + HCO_3)$$

ماء + ثاني أو كسيد الكربون — حامض الكاربونيك — ايون هيدروجين ايون بيكربونات

إن هذه العملية تزيد من مقدار ايونات الهيدروجين الموجودة في الماء وتتخلل هذه الايونات الصغيرة من الهيدروجين في التركيب البلوري للفلدسبار البوتاسي وتحللها بالطريقة الآتية :

$$2KALSi_3O_8 + 2(H^+ + HCO_3) + H_2O \text{---} 2KHCO_3 + AL_2Si_2O_5(OH)_4 + 4SiO_2$$

فلدسبار بوتاسي — ايون بيكربونات ايون هيدروجين — ماء — بيكربونات البوتاسيوم — كالونيت — سليكا

إن من ابرز نتائج هذا التحلل هو بقاء الكالونيت على هيئة معدن متبقي أو ثانوي، إما السليكا والبوتاسيوم فانهما يترشحان من التربة أو الصخر الأساس.

ب – عملية الأكسدة Oxidation.

يتم في هذه العملية إضافة مزيد من الأوكسجين إلى تركيب المعادن الحديدية التي توجد في المستويات التي تعلو مستوى الماء الأرضي، ومثال ذلك ما يحدث للصخور الرسوبية الطينية التي تتميز بلونها الأزرق أو الرمادي لاحتوائها على مكونات حديدية طالما كانت بمعزل عن الهواء، وحينما تتعرض للجو تتأكسد مكوناتها الحديدية فيتحول لونها إلى اللون الأحمر أو البني، ومن اشهر الأمثلة على التأكسد الطبيعي تحلل معدن البيريت وهو شائع في كثير من الصخور ويجري التفاعل حسب المعادلة الآتية :-

$$Fes_2 + 2O_2 \text{ ---------- } Feso_4 + S$$

كبريت — كبريتات الحديدوز — أوكسجين — بيريت

ج – عملية التميؤ Hydration.

يتم في هذه العملية اتحاد الماء مع بعض العناصر التي تتألف منها معادن الصخور فتكبر وتتمدد وينشأ عن هذا التمدد ضغوط تؤثر في الصخر وتعمل على إضعافه وتفككه، ومن المعادن التي تقبل التميؤ معدن الانهدرايت Anhydrite وهو كبريتات الكالسيوم اللامائية فيتحول باتحاد الماء إلى الجبس وهو كبريتات كالسيوم مائية ويحدث ذلك وفق المعادلة الآتية :

$$Caso_4 + 2H_2O \text{ ---------- } Caso4.2H_2O$$

انهدرايت + ماء — جبس

د – عملية الكربنة Carbonation

يتحد في هذه العملية حامض الكاربونيك مع بعض القواعد أو مع كاربوناتها وخصوصا اكاسيد وكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم فتتكون الكاربونات أو البيكاربونات، ومن ابرز الأمثلة على هذه العملية هو تأثير حامض الكاربونيك على الصخور الجيرية مما يؤدي إلى إذابة الصخور حسب المعادلتين الآتيتين :

$$CO_2 + H_2O \text{ -------- } H_2CO_3$$

ثاني أو كسيد الكار بون — ماء — حامض الكاربونيك

$$Caco_3 + H_2CO_3 \text{ ---------- } Ca(Hco_3)_2$$

كاربونات الكالسيوم — حامض الكاربونيك — بيكربونات الكالسيوم

ه – الإذابة Solution .

هذه العملية ليست شائعة الحدوث في الطبيعة، وذلك لكون المعادن القابلة للذوبان في الماء مثل الملح الصخري Halite قليلة للغاية، وهي في نفس الوقت لا تدخل في تركيب الصخور إلا نادرا، ومع ذلك فقد تكون الإذابة البسيطة ذات

أهمية خاصة في بعض المناطق التي يكثر فيها وجود صخور ملحية.(*النقاش والصحاف، ١٩٩٠، ص ٦٠*)

٣ - التجوية الحيوية.

تتضمّنُ التجوية الحيويةُ تفككُ الصخور والمعادن بسبب القوى الكيميائية أو الفيزيائية للكائن الحي. أنواع الكائنات الحية التي يُمكِنُ أنْ تُسبّبَ التجوية تتمثل بالبكتيريا والنباتات والحيوانات. وتتضمّنُ التجوية الحيويةُ العملياتُ التي يُمكنُ أنْ تكُونَ امّا كيميائية أو فيزيائية في طبيعتها. البعض مِنْ العملياتِ الأكثر أهميّةً تتمثل بالاتي :

أ - الكسر البسيط للجزيئاتِ.

باستهلاك جزيئاتِ التُرَبِ بواسطة الحيوانات. الجزيئات يُمكِنُ أنْ تكْسرَ أيضاً بسبب اختباء الحيوانِ أو بالضغطِ الذي ينتج عن نمو الجذور.

ب - الحركة وخَلْط الموادِ.

تُسبّبُ العديد مِنْ كائنات التربةِ الحية الكبيرةِ حركةِ جزيئاتِ التربةِ. هذه الحركةِ يُمكِنُ أنْ تُقدّمَ الموادَ إلى عملياتِ تجوية مختلفة تم وجودها في مواقع متميزة في مقاطع التربة.

ج - العمليات الكيميائية البسيطة.

مثل الذوبانِ الذي يُمكِنُ أنْ يتحَسّنَ بثاني أكسيد الكاربون الناتج عن طريق التنفس. خَلْط ثاني أكسيد الكاربون بالماءِ تُشكّلُ حامض الكاربونيك.

د - الكائنات الحية يُمكِنُ أنْ تُؤثّرَ على نظامِ الرطوبةَ في التُرَبِ

ولذلك تعمل على تحسين التجوية. ظِلّ مِنْ الأوراقِ والجذوعِ، وجود كتل من الجذورِ، ودبال كُلّها تعمل على زيادة توفرِ الماءِ في مقطع التربةَ. والماء مكوّن ضروري في العديد من عمليات التجوية الفيزيائية والكيميائية

هـ - الكائنات الحية يُمكِنُ أنْ تُؤثّرَ على الأس الهيدروجيني pH لمحلول التربة

تنفس مِنْ جذور النبات يطلق ثاني أكسيد الكاربون. إذا مزجِ ثاني أكسيد

الكاربون بحامض الكاربونيك يترتب على ذلك تخفيض الأس الهيدروجيني pH للتربة. تفاعلات تبادلِ الايونات الموجبةِ التي فيها تمتصُّ النباتاتَ المواد المغذيةَ مِنْ التربةِ يُمكِنُ أنْ تُسبّبَ التغييراتَ أيضا في الأس الهيدروجيني pH. تتضمّنُ عملياتُ الامتصاص تبادلَ الأيونات الموجبةِ الأساسيةِ في أغلب الأحيان لأيونات الهيدروجين. عموماً، التركيز العالي لايونات الهيدروجين يجعل الترب تكون ترب حامضية.(Fundamentals of physical Geography -)

العوامل التي تسهم في تحديد درجة ونوعية التجوية :

إن العوامل التي تسهم في تحديد درجة ونوعية التجوية كثيرة ومتنوعة، وبالتالي فإنها سوف تحدد نوعية التجوية فيما إذا كانت فيزيائية أو كيميائية وهذا ما يترتب عليه أيضا اختلاف في نواتج التجوية من مكان لآخر وسوف نتطرق إلى هذه العوامل بشكل مختصر :

١- الطبقة الصخرية.

تتركب الصخور من معادن متباينة وكل معدن يختلف عن الآخر في درجة تأثير بالتجوية ولذلك فان الصخور التي تتكون من معادن مقاومة للتجوية مثل الكرانيت الذي لا يتحلل بسهولة على عكس الصخور التي تتألف من معادن قابلة للتجوية مثل الحجر الجيري.

٣ – البنية Structure .

تتميز الصخور النارية بوجود الفواصل Joints ، بينما تتميز الصخور الرسوبية بكثرة سطوح الانفصال Bedding Planes، إما الصخور المتحولة فإنها تتميز بما يشبه الطباقية (النسيج الورقي أو الصفائحي)، إن وجود هذه التراكيب في الصخور يعمل على مساعدة عوامل التجوية بشكل فعال لأنها تزيد من مساحة أسطح الصخور المعرضة لتأثير العمليات الكيميائية، وتسمح بنفاذ المياه والأوكسجين، وكذلك تمثل خطوط ضعف تستغلها التجوية الميكانيكية أثناء حركة الجليد وكلما كثر وجودها في الصخر كلما ازداد تأثر الصخر بعوامل التجوية، فضلا عن ذلك

فان الصخور التي يصيبها الالتواء والانكسار أكثر تعرضا للتجوية من غيرها نظرا لما يحدث بها من تصدع وتفلق يضعفها.

٤ – المناخ Climate .

للمناخ دور واضح في تحديد نوعية التجوية، حيث إن الأمطار وتوزيعها لها أهمية كبيرة في تحديد سرعة التجوية، كما إن الرطوبة هي الأخرى تحدد السرعة أيضا، ففي مناطق الدائرة الاستوائية حيث الرطوبة عالية تنشط التجوية الكيميائية، وبالتالي نحصل على تربة سميكة في حين إن المناطق الجافة تنشط فيها التجوية الفيزيائية ولذلك تكون التربة قشرية هناك، إما الحرارة فإنها تؤثر تأثيرا فاعلا في عملية التجوية الفيزيائية، وخير مثال لتأثير المناخ على تجوية الصخور هو مقارنة عملية تجوية حجر الكلس في الظروف المناخية الرطبة والجافة، ففي المناطق الرطبة يتجوى حجر الكلس بوجود المحاليل في حين إن هذا الحجر لا يتأثر في الظروف المناخية الجافة، ولهذا السبب تظهر الطبقات الصخرية الكلسية بشكل حافة وتضاريس واضحة في هذه المناطق، وبصورة عامة تكثر عمليات التجوية الفيزيائية في المناطق الباردة والجافة، بينما تسود التجوية الكيميائية المناطق الرطبة الحارة، إما في المناطق ذات المناخ المعتدل فأن عمليات التجوية بنوعيها تحدث فيها.

٥ – التضاريس Topography.

تتباين عمليات التجوية بتباين الارتفاع عن مستوى سطح البحر، ففي المناطق الجبلية فوق خط النبات والتي تتميز بكونها مكشوطة السطح عارية الصخر وذلك لكونها تتعرض إلى الإزالة المستمرة سواء بواسطة الانزلاقات الأرضية أو زحف التربة أو انسيابها، ولهذا السبب فان الصخور تكون معرضة للتجوية الميكانيكية باستمرار سواء كانت بوسيلة التجمد والانصهار أو التمدد والانكماش بسبب التفاوت الحراري، وفي مثل هذه المناطق الشديدة الانحدار فان تعرية الصخور يضعف فعل التجوية الكيميائية لان المياه تنصرف بسرعة عبر المنحدر، بينما في المناطق الواطئة القليلة الانجماد توجد في العادة طبقة من التربة أو غطاء سميك من المواد التي تعرضت للتجوية، وهذه وتلك تحمي الصخر

الذي ترتكز علية من عملية التجوية الميكانيكية، لكنها حينما تتشبع بالمياه تبدأ التجوية الكيميائية بنشاطها.

٦ – الزمن.

من البديهي انه كلما طال زمن تعرض الصخور للتجوية كلما اشتد عمقها، وزاد تأثر الصخر بها، ومع هذا فمن الممكن أن يكون هناك حد لفعل التجوية ما لم يكتسح نتاجها من فوق الصخر باستمرار، ويعتقد بعض الجيومورفولوجين إلى إن التربة أو نتاج التجوية يحمي الصخر الذي يرتكز عليه من فعل التجوية، فان صح هذا بالنسبة للتجوية الميكانيكية فانه لا يصلح تماما بالنسبة للتجوية الكيميائية التي تستطيع النفاذ إلى الصخور والتأثير فيها قبل أن تنكشف للجو أي أثناء وجودها مدفونة أسفل الحطام الصخري، وكثيرا ما يحدث أن تصبح التربة مشبعة بالأحماض العضوية التي تؤثر في الصخور أسفلها فتعمل على تجويتها.

نواتج التجوية.

تختلف نواتج التجوية بحسب العوامل التي أنتجتها وليس من السهل أحيانا ترجيح أي نوع من نواتج التجوية إلى عامل معين والسبب في ذلك هو إن هناك عدة عوامل تؤثر عادة في نفس الوقت على الصخور، ولكن في نفس الوقت فان احد هذه العوامل سيكون تأثيره واضحا ومؤثرا من بين جميع تلك العوامل وبالتالي يترك أثره بشكل واضح على هذه النواتج وسوف نتطرق إلى أهم هذه النواتج :

١ – التقشر Exfoliation.

عندما تتعرض كتلة من الصخر إلى التباين في درجات الحرارة فان الجزء السطحي من الكتلة الصخرية يبرد وينكمش بسرعة بينما تحتفظ باقي الكتلة الصخرية بحرارتها لفترة أطول من الزمن، وبذلك لا تتأثر بالانكماش الذي يصاحب الانخفاض في درجة الحرارة، وبتكرار هذه العملية تتكون قشرة سطحية على الكتلة الصخرية تنفصل بمرور الزمن عن باقي الكتلة نتيجة للتمدد

والانكماش المتكرر للمادة الصخرية قرب سطح هذه الكتلة الصخرية ويكون من نتيجة هذه العملية أن تصبح الكتل المقشرة مستديرة تقريبا.

٢ – ركام السفوح Talus.

ويقصد به الحطام الصخري الذي يتراكم على المنحدرات السفلية للتلال والجبال نتيجة للتجوية الطبيعية، ويتكون من قطع صخرية مدببة أو غير مهذبة ذات زوايا، ويسمى هذا الركام أيضا كولفيوم Colluvium وهي كلمة لاتينية تعني ركام.

٣ – حقول الجلاميد Boulder Fields.

وهي مساحات شاسعة جدا ومسطحة تنتشر عليها الجلاميد المستديرة التي يعزى ظهورها أساسا إلى أثر التجوية الكيميائية، إذ إن معظم الصخور الجيرية تحمل درنات صخرية Concretions مختلفة الأحجام، وتتكون هذه الدرنات من مادة مختلفة عن مادة الصخور التي تحتويها، وتكون هذه الدرنات عادة من الصوان وهو أكثر صلابة من الحجر الجيري، وعند تعرض الصخر الأصلي للتجوية الكيميائية نتيجة لنشاط المياه الجوفية أو مياه الأمطار، فان المكونات الجيرية للصخر تذوب بمعدل أسرع من معدل ذوبان الدرنات الصخرية والتي لا تستجيب إطلاقا للتجوية الكيميائية، وبذلك يتآكل الصخر الأصلي مخلفا على أسطحه كميات كبيرة من الدرنات المختلفة الحجم مما يترتب عليه تكوين حقولا شاسعة الانتشار من الجلاميد التي أصلها درنات قاومت التجوية الكيميائية.(*النقاش والصحاف، ١٩٩٠، ص ٧٠*).

٤ – حقول الكارست Carist.

تساهم عملية الإذابة (الكربنة) في تشكيل سطح المناطق التي تتركب من صخور جيرية ودولومايتية، فينتج عن ذلك فجوات وحفرا خاصة، كما تعمل على تخفيض منسوبه، فمثل تلك المناطق التي تقع في الأقاليم الرطبة تتميز بأنها اقل ارتفاعا من الجهات المجاورة التي تتألف من صخور مقاومة لعملية الإذابة، وقد تؤدي كذلك إلى تكوين الكهوف والمغارات (*جودة، معالم سطح الأرض، ص ٨٧*).

٥ – التربة Soil.

إن الحطام الصخري المتآكل المتحلل بفعل التجوية هو مصدر التربة فمنه تنشأ وبفضل توافره تنمو وتزداد سمكا، بالإضافة إلى فتات الصخور الأصلية التي تتجمع على أسطح الصخور الصلدة التي انفصلت عنها، ولذلك فان رواسب البحيرات، والمواد الفيضية، والركامات الجليدية، ورمال الصحراء، تمثل مصادر أخرى للتربة، ولما كان لكل نوع من هذه المواد مكونات معدنية خضعت بدرجات متفاوتة لعملية التجوية فانه من المتوقع أن تتباين خصائص التربة بتنوع الصخور التي اشتقت منها، ومدى ما أصابها من تفكك وتحلل *(البحيري، الجغرافيا الطبيعية، ص ١٥٩)*.