

مجلة جامعة صبراتة العلمية

Sabratha University Scientific Journal



مجلة علمية نصف سنوية محكمة متخصصة في العلوم الإنسانية
تصدرها جامعة صبراتة بشكل الكتروني

التجوية وأثرها في تشكيل أسطح التكوينات الصخرية الساحلية شمال منطقة صبراتة

Weathering and its Impact on Coastal Rock Formation Surface in North of Sabratha

د. عبدالله خليفة مصباح
أستاذ مساعد، كلية الآداب، جامعة صبراتة

رقم الايداع القانوني بدار الكتب الوطنية:

2017-139

الترقيم الدولي:

ISSN (Print) 2522- 6460

ISSN (Online) 2707- 6555

الموقع الإلكتروني للمجلة:

<https://jhs.sabu.edu.ly>

التجوية وأثرها في تشكيل أسطح التكوينات الصخرية الساحلية شمال منطقة صبراتة

Weathering and its Impact on Coastal Rock Formation Surface in North of Sabratha

عبدالله خليفة مصباح
أستاذ مساعد، كلية الآداب، جامعة صبراتة
abdullahdaw@gmail.com

ملخص الدراسة:

التجوية عملية طبيعية تفاعلية بين أسطح الصخور والعناصر المناخية، تتحدد على أثرها أنماط مختلفة من أشكال سطح الأرض، وتضفي عليها بغطاء من الهشيم والترية، ذات خصائص متباينة حسب اختلاف المكان. سعى البحث فيها إلى معرفة تأثير التجوية على سطح المنطقة، وما طرأت عليه من تغيرات، في دراسة يغلب عليها النهج الاستدلالي، الذي تظهر معالمه في العمل الحقلية، وما ترتب على ذلك من ترتيب وصفي للمعلومة، التي خلصت إلى أن فعل التجوية ضعيف التأثير على الأسطح الصخرية، لعوامل محلية، ولا تخلوا المنطقة من وجود تربة ذات صلة بعملية التجوية، يمكن تصنيفها في السلة الاقتصادية للبلاد.

Abstract:

Weathering is an interactive natural process between the surfaces of rocks and climatic elements, according to which different patterns of the surface of the earth are determined, and they are imparted with a cover of regolith and soil, with different characteristics according to the different place. The research adopted an inductive approach in identifying the effect of weathering on the surface of the region, and the changes that occurred to it. The features of this approach appeared in the field work, and the consequent descriptive arrangement of the information, which concluded that the Weathering has a weak effect on the rocky surfaces. Due to local factors the region is not free of a soil related to the weathering process, which can be classified in the country's economic basket.

المقدمة:

كثيراً ما نشاهد من حولنا أرض وقد تناثرت على سطوحها حجارة مختلفة الأحجام، وتربة متباينة القوام، لا بد أنها انفردت من صخور كلسية مازالت بعض أجزائها ظاهرة على السطح، وقد أصبغت عليها الطبيعة باللون البني المحمر.

وجه صخري يحمل على صفحته آثار تجاعيد، وشقوق غائرة مزقت صلابته، ولا تخفي وهنه إلا تربة كانت قد أنسلت من أطرافه لتملاً بعض جوانبه المنخفضة، أو تكسو بعض قواعده العارية. وللباحث وقفة مع مقطع جيولوجي كشف عن نمط مرتب تعلوه تربة ناعمة وأخرى خشنة تفتش خليط بين طين وحصى وحجارة محطمة ترتمي على الصخرة الأم، وهي الأخرى مازالت تنن بكسور وشقوق عديدة، ومن ثم كانت فكرة مشكلة الدراسة.

ودون شك فإن التفكك Weathering علامة للعملية، فهو يصيب الأرض حيث أتى وكأنه بالقواطع التي تقطع الصخر وتفتته أو تحلله وتغير خصائصه، يعطي أشكالاً جديدة للمظاهر البارزة، ويجهز حمولة الناقلات الخارجة من رياح ومياه جارية، مشواره الزمن، وآلياته عوامل غير خفية في ظل المؤثرات المتداخلة لكل من الغلاف الصخري والغلاف المائي والغلاف الجوي والغلاف الحيوي، ويشار في ذلك لبعض مكونات الغلاف الجوي من قوة وتأثير وهي تتفاعل مع معادن الصخور التي تفقد صلابتها بالتحلل والذوبان، أو أنها تهتز وتتقسم إلى أجزاء صغيرة الحجم ثم أصغر، وهو ما عُرف بين الدارسين أيضاً بالتجوية Weathering. وقد كانت من المجالات التي وجدت اهتمام الكثير من المشاهدات والدراسات المورفوجية، التي بدأت بالآراء النظرية والافتراضية، ويتطور البحث تحققت وأصبحت من أصول الدراسات الحديثة، وعلى هذا الطريق اكتشف ابن سينا (1030) أثر العلاقة بين التكوينات الصخرية (الصلبة واللينة) وعوامل نحت الصخور في تشكيل فعل التجوية المتباين، كما أدرك فالثير بينك (1924) بأن عملية تفتيت الصخر وتحلله تعد من أهم العمليات التي تؤدي إلى انخفاض منسوب سطح الأرض، واستطاع بلنير (1950) تحديد مناطق التجوية الطبيعية والكيميائية على أساس المتوسط السنوي للحرارة، والمعدل السنوي للأمطار، وسجل حاجيدرون (1970) مشاهداته في جبال تابستي في ليبيا عن التجوية وتوصل إلى خصائصها الموضوعية، وفي أواخر القرن العشرين تطورت أساليب البحث العلمي باستخدام وسائل وتقنية المعلومات الحديثة، وقد ساهمت المريات الفضائية في معرفة الأثر الناتج عن التجوية، واستخدم الجيومورفولوجيين عدة أجهزة لمعرفة مدى تأثير فعل التجوية، منها جهاز الكلينومتر Clinometer لتقييم فعل التجوية ودراسة الشقوق.

وقد دخلت أبحاث التجوية في الدراسات الهندسية عند إقامة المشاريع المعمارية من إنشاء الطرق والمطارات والمباني... وغيرها وذلك باتباع أفضل السبل في اختيار مواد البناء وحماية المنشآت من آثار التجوية، كما أنها تمثل دليلاً للبيئات الزراعية الناجحة، دليل ربما افتقد الطريق الذي تسلكه الدراسات البحثية في ليبيا، فالمنشورات العلمية في أبحاث التجوية مازالت قليلة، وأدوات الدراسة الحقلية في شأنها بالمؤسسة الأكاديمية غير متيسرة.

ويمكن القول إن الدراسة الحالية اتبعت المنهج الاستدلالي، وذلك بالمتابعة الميدانية لبعض العينات الحقلية، وإجراء بعض النماذج التجريبية في متابعة طريقة التجوية وتقييمها، ومشاهدة أثارها على المظاهر المورفوجية، في معالجة وصفية تعتمد على الإدراك الحسي للباحث في تقدير فعل التجوية في الحقل، ودون

شك مع صعوبة معرفة ظروف التجوية في الوقت الذي تمارس فيه فعلها النخروبي في المكان، مع ما يلاحظ على اختلاف الأمكنة مورفولوجياً في الطبيعة، وهو ما أعطى للدراسة زخماً جغرافياً، حيث يعتبر اختلاف المكان أساس الدراسات الجغرافية، وما يتميز به المكان من شخصية جغرافية لا تتكرر مع مكان آخر رغم ما يظهر من تشابه في بعض الأحيان. هذا الإنفراد يمثله البحث في منطقة الدراسة بما يرتبط فيها من مؤثرات مناخية وتضاريسية، وما تفرزه من مظاهر تشكل علامة مميزة للمكان، تشترك فيها عمليات التعرية المختلفة، حيث تحدد الدراسة عملية التجوية نقطة البداية.

مشكلة الدراسة:

لا تخلو منطقة من بلادنا من آثار التجوية التي ناعمت تربتها، ونخرت صخورها، وكان لسطح الأرض مشاهد على أشكالها، حيث تغطيه تربة مختلفة القوام، سمكها بين سنتيمترات قليلة وأمتار معدودة، أو صخور قد تقاطعتها الشقوق وأحاطت بجوانبها الحروز، وتكدس تحت قواعدها ركام الهشيم. جُمعت في مشهد لمكان الدراسة، وكل ناظراً يحوطه سؤال عن أنماط فاعلها، وغموض مكوناتها، حيث استوتحت الدراسة تساؤلاتها، وكانت محاوراً للبحث، وإجلاء للغموض، وحلاً للجدل القائم على حقيقتها، وتُلخص أسئلة الدراسة فيما يلي:

1. ما واقع التجوية، وما هي أنواعها في منطقة الدراسة؟
2. ما أثر التجوية على الأسطح الصخرية؟
3. ما أثر التجوية على أشكال الأرض في المكان؟

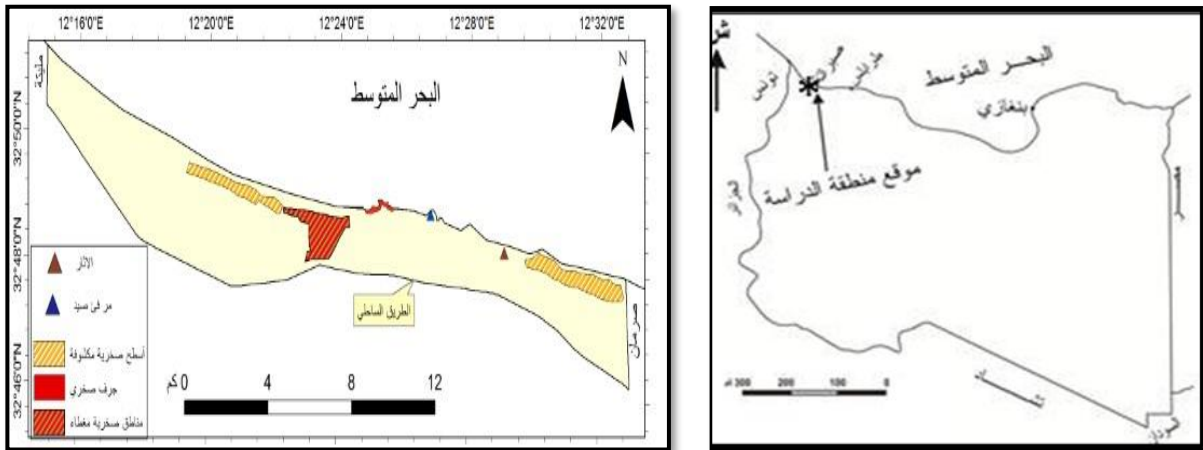
اهداف الدراسة:

1. توضيح العلاقة التي توجد بين عناصر البيئة الطبيعية، وإبراز دورها في تحديد شخصية المكان الجيومورفولوجية.
2. تحديد الدور الذي تقوم به التجوية في تشكيل مظاهر سطح الأرض في المنطقة.
3. اكتشاف آثار التجوية وما يرتبط بها من أشكال سطح الأرض.
4. توضيح نواتج التجوية وأهميتها التطبيقية ومحاولة توظيفها في مجالات التنمية المختلفة.

منطقة الدراسة:

تعتبر المنطقة جزء من شمالي سهل الجفارة غرب ليبيا، حيث تمتد محاذية لخط الساحل شمال منطقة صبراتة من صرمان شرقاً إلى مجمع مليته للغاز غرباً، ولا تكاد تتميز حدودها الجنوبية إلا بتلاشي الصخور الجيرية أو اختفائها من المشهد تحت رواسب هوائية مختلطة وقعت تحت طائلة النشاط العمراني السكني أو الزراعي، وهي تقع فلكياً بين خطي طول (16° 12' - 32° 12') شرقاً، وتتمحور على دائرة عرض 45° 32' شمالاً، شكل (1).

شكل (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: الباحث بالاعتماد على خرائط مصلحة المساحة، لوحة صبراتة 1/1970

وتعتبر بشكل كلي أرض رسوبية ذات منشأ بحري تتركز على صخور جيرية ميسونية ناصعة البياض، وتظهر هذه التكوينات بوضوح في محاجر البلك، وتعتبر ذات أهمية اقتصادية، وغير ذلك يمكن مشاهدة الصخور الجيرية عارية، وقد اكتسبت من ورنيش الطبيعة ألوانها، وهي بارزة على هيئة بقع غير منتظمة الشكل يحيط بها أو يصل بينها خليط من طبقة رقيقة من تربة رسوبية أو حصى أو حجارة مختلفة الأحجام ناتجة من عمليات التجوية والتعرية وتحرك المواد.

ويلم المنظر بربوات صخرية محدبة محدودة القمة تعلو السطوح المجاورة، وهي قليلة الانحدار في الاتجاهات المختلفة، لكن الاتجاه إلى الشمال يمكن أن يصل بنا عند خط الساحل حيث يضمحل البلاج وتقف على شاطئ صخري بامتداد الصخور الجيرية التي تنتظم على سطح المنطقة متصلة به عند منسوب البحر أو قد تشرف عليه مباشرة بجروف قليلة الارتفاع، وعند اختفاء الجروف من ناحية الغرب فإن المظهر الصخري يتخلف قليلاً إلى الجنوب من سيف البحر تاركاً حاجزاً منخفضاً بسطوح متباينة الشكل تظهر أحياناً أو تختفي تحت غطاء الريجوليث Regolith أو النبات الطبيعي.

وعلى الفراش الصخري وتحت ظروف محلية متشابهه تنمو نباتات مختلفة في مجموعات متقاربة أو فرادى متباعدة وفي ذات النوع من النبات يمكن تباين أحجام كتلتها الخضراء لتعطي مؤشراً لمهد جذورها وما يحتويه من رواسب، أو بما يتخلله من شقوق تتعمق الجذور خلالها سواء كانت نباتات فصلية أو دائمة الخضرة ومن أهم أنواعها القزاح، القندول، القرصاب، البلوز، وحشائش أخرى فقيرة تتميز بقدرتها على تحمل الملوحة، وفي اختيار بيدلوجي لوزارة الزراعة الليبية سُجِّرت حلقات من الأرض بشكل غابات قليلة المساحة، في بقاع متفرقة من المنطقة وبجذورها تتسع الشقوق وتستقبل النفاذية المياه المتجمعة عقب سقوط الأمطار، والتعرية هنا تتم بجريان مياه السيول التي غالباً ما تكون قليلة بسبب النفاذية.

مصطلحات الدراسة:

- أراضي صخرية: Rockland مناطق تحتوي على نتوءات صخرية كثيرة، وبها ترب ضحلة تشغل المناطق التي بها نتوءات صخرية على مساحة تتراوح 25% إلى 90% من المساحة⁽¹⁾.
- تضاريس دقيقة Micro Flora: الأشكال الدقيقة في شكل سطح الأرض ذات الأبعاد الصغيرة بحيث إنها لا تظهر على أي خريطة كنتورية بغض النظر عن مقياسها.
- الهشيم Regolith: هو تراكم للقطع الصخرية من الحجارة والحصى بمختلف أحجامها الناتجة عن تجوية الصخور⁽²⁾.
- الريجوليت Regolith: الغطاء الممكن لصخر تعرض للتجوية إضافة إلى مادة التربة على سطح الأرض أو مواد تربة مفككة فوق صخر صلد.
- الفاصل Joint: هو الكسر أو الشق الذي يصيب الصخر دون أن يترتب على وجود زحزحة أو انتقال في الطبقات أو الحوائط الصخرية⁽³⁾.

مفهوم التجوية:

يحسن بنا لكي نتصور عملية التجوية أن نفترض أن سطح الأرض كان في أول الأمر عبارة عن كتلة صخرية لا تربة فوقها، وقد اتفق العلماء على أن التربة من نتاج التجوية، وهي المسؤولة إلى حد كبير عن تكوّن التربة التي تعتبر ضرورية لحياة الإنسان والحيوان⁽⁴⁾.

التجوية إذن هي عملية جيولوجية، ساهمت على مر الزمن بأن تضع من التربة وهشيم الصخور المحطمة (غطاء التجوية) على الكتلة الصخرية الأم، وقد أشتقت منها وكانت من العمليات الضابطة في تطور الأشكال السطحية، وعلى هذا الأساس فإن التجوية عملية بطيئة تناغمت مع التركيب الصخري ومدى استجابة معادنه للفعل، حيث يسحق اللين منها، ويصمد الصلد فيها، ولا بد له من زوال.

تعمل التجوية بطريقتين ميكانيكية Mechanical، وأخرى كيميائية Chemical، متلازمتين في الشغل وإن اختلف تأثير إحداهما عن الأخرى، تجمعهم خاصية الحرارة والتبريد، حيث تسود الميكانيكية مناطق الجفاف، وتختص الكيميائية في مناطق حركة الماء، وترطيب الأجواء، وكل شيء موزون، وقد فُدرت بأنها عملية تخفيض، تفتت علو الراسخات، وتحلل ما بات من حجارة في المنخفضات، ويبقى نتاج التجوية مستقرًا في مكانه، ولكي تستمر التجوية في عملها لا بد أن تنتقل المفتتات من مرقدتها بواسطة عوامل خارجية، كالرياح والمياه الجارية والجليد المتحرك... وغيرها، ونادراً ما تظهر طبقات صخرية فوق سطح الأرض دون أن تغطيها التجوية.

نتاج من الرواسب تميزت بخصائص الصخرة الأم التي انفصلت عنها وحطت قريبة منها وكشفت عن مضمونها، قليلة المعدن خشنة القوام، مثل تلك التي تلتئم في غطاء الرمال على وجه الصحراء.

رواسب أخرى تجمعت بعد أن انشقت من صخور متعددة، وأماكن مختلفة، وقد هوت بها عوامل النقل والترسيب حيث توقفت، بما تشكله من تربة اللويس أو انحساراً عند سهول الفيضانات والسواحل وغيرها. ودون خلط في المفهوم بين عمليتي التعرية والتجوية، فكلّ للأخرى ظهير، حيث تمثل التجوية المرحلة الأولى في تجهيز مواد التعرية التي هي الأخرى تُشكل مرحلة تالية تؤدي إلى إزاحة ونقل مفتتات التجوية إلى أماكن أخرى، بواسطة عوامل التعرية التي تستخدم المفتتات عوامل نحت وهدم للصخر الذي تحتك أو تصطدم به، حيث تزداد تلك المفتتات تجزئية وليونة، في ذات الوقت الذي هيأت فيه ظروف التجوية مرونة للصخر، وقابليته لتفكك.

يتضح في كل ما سبق أن التجوية هي عملية تفكك ميكانيكي وتحلل كيميائي للصخر، بواسطة عوامل طبيعية، وإعداده لكي ينقل بعد ذلك بواسطة عوامل التعرية إلى مكان آخر، وينجم عنها تكوين ظواهر جديدة أو تعديل مظاهر قديمة.

واقع التجوية:

يمكن تمييز عملية التجوية في المنطقة، حيث وجد الباحث في زيارته الاستطلاعية صخرة كبيرة الحجم، بينت الدلائل أنها جيرية التكوين، تعلو جرف صخري بارز بارتفاع يزيد على عشرين متراً فوق سطح البحر، وقد غالبت قاعدتها السفلية المواجهة للبحر تجاوبف عميقة مقعرة الشكل تنتهي من الداخل بحفر وخطوط غائرة مبعثرة شكل (2)، وعند تفحصه وجد أن هذا الجزء من الصخرة نزع منه اللون المحمر الذي اكتسبه من الطبيعة ويكاد يغطي معظم جسم الصخرة، وقد احتفظ بلونه الأصلي أبيض شاحب، وكأن شيئاً خدش حبيباته، وأفسد المادة اللاصقة بينهم وقد سقطت وتراكت أسفلها، بفعل الجاذبية الأرضية، وقد امتزجت برطوبة يروح أنها من صنع بخار الماء، الذي يحمله الهواء الجوي، وهذه الرواسب يعتقد الباحث أنها تشكل أقل من 25% من حجم المفتتات التي انتزعت من الصخرة، في حين تطاير الباقي مع أدراج الرياح التي يغلب عليها اتجاه شرق غرب، بما تشير به تلك الخطوط أو ما ارتمى من المفتتات في ذات الاتجاه.

وقبل الولوج في تحليل ماهية فعل التجوية، نحيط بالصخرة من علٍ لتقع اليد على شقوق منقطة ربما أشدها عمقاً ما يقع على سطح الجهة الجنوبية الذي يتسع من الأعلى ويضيق كلما نظرنا إلى داخل الصخرة، وبين هذا وذلك تشتد الخطورة، ولا يقع النظر إلا على شرائح لا يتجاوز سمها 5 سم، وقد أنتزع بعضها وسقط غير بعيد من الصخرة، وهو ما يمكن أن يسمى بفشور الصخرة Exfoliation أو شظايا الصخور، التي يلاحظ كثرة انتشارها في المنطقة، شكل (3)، وبطبيعة الحال لا بد أن هذه العملية قد تأثرت بعوامل عدة ساهمت في تباين صورة التجوية في المكان الواحد أو خلال المساحة المدروسة، التي تتحدد بنمط طبوغرافي واحد.

شكل (3) شظايا وقشور من تجوية الصخور



شكل (2) صخرة تظهر عليها علامات التجوية



نتائج الدراسة الميدانية 15 / 10 / 2019م.

العوامل المؤثرة في عملية التجوية:

1_ التكوين الصخري Lithology

يقصد بالتكوين الصخري: المواد التي يتكون منها الصخر ومدى تجانس هذه المكونات ومدى صلابتها، وخصائص الفتحات والشقوق التي توجد بها⁽⁵⁾.

تعتبر صخور سطح الأرض هي المجال الذي تتخره التجوية وتفككه بمؤثراتها، والمسرح الذي تمارس عليه عمليات التعرية نشاطها، وتختلف الصخور في مدى قابليتها للتجوية من حيث الخصائص التالية:

أ - التركيب المعدني: تتكون معظم الصخور من معدن واحد أو أكثر، ويختلف التركيب المعدني للصخور اختلافاً كبيراً من صخرة إلى أخرى، أو في داخل الصخرة الواحدة، حيث وجد أن بعض المعادن المكونة للصخور ذات قابلية سريعة لمؤثرات التجوية، بينما معادن أخرى تكون بطيئة الاستجابة لعوامل التجوية، كما يلاحظ أن الصخور ذات التركيب المعدني المتعدد سريعة التجوية، ويتباين فيها فعل التجوية من جهة إلى أخرى داخل الصخرة الواحدة، بينما الصخور الوحيدة المعدن قد تظهر عليها علامات التفكك ببطء، ومما يجدر ذكره أن للقوام الصخري أي (حجم حبيباته) دوراً مهماً في عملية التفكك، فالحبيبات الخشنة أسرع في عملية التجوية من الصخور دقيقة الحبيبات التي غالباً ما يتداخل بناؤها البلوري، وهي تحمل نفس التركيب الصخري.

ب - المفصلية: وتعني احتواء الصخر على فواصل وشقوق Crackeand and Joint، إن اختلاف مكونات الصخر المعدنية، وتعرضه للعوامل الجوية تؤدي إلى كسر الصخر وتشققه دون أي زحزحة أو انفصال للكتلة الصخرية بشكل نهائي، ومن ثم يمكن ملاحظة أنماط عديدة من التشققات، حيث تظهر على الأسطح الصخرية شقوق غير واضحة الرؤية غالباً ما تكون دقيقة متشابكة غير عميقة، وهناك شقوق أخرى

متناسقة واضحة الشكل على سطح الصخرة، إذ يتشكل أغلبها عند السطح وتمتد إلى عمق لا بأس به، وإن تناقصت كثافتها مع العمق، وأهمية هذه الشقوق أنها تسمح للماء بالتوغل والاحتكاك في داخل الصخرة كلما زاد اتساع الشقوق وعمقها، ويبدو أن تأثيرها الكيميائي يقع بإذابة الماء لبواطن الشقوق مما يضعف الصخر ويقلل من تماسكه، ولا يخفى التأثير الميكانيكي بعد اتساع الشقوق أو اندماج مفاصلها محدثاً انقسام الصخور إلى كتل وأجزاء منفصلة عن بعضها البعض.

ج - النفاذية Permeable: هي مدى قدرة الصخور على السماح للمياه أو أي سائل آخر بالمرور خلالها⁽⁶⁾. وتسمى بالصخور المنفذة للمياه؛ لأنها تسمح بمرور المياه عن طريق الفتحات البينية التي توجد بين جزئيات الصخر اتجاه الأسفل إلى المياه الباطنية أو إلى أعلى سطح الأرض، بواسطة القوة الشعرية Capillary Force، يمكن القول إن النفاذية تتخذ نمطين من حيث النشأة أولهما: مسامية الصخر الجيري، وثانيهما: يتمثل في الشقوق غير المنتظمة التي أنشأتها ظاهرة تعاقب الحرارة والبرودة، وهذه الشقوق وإن كانت قليلة الأبعاد ولا تتعمق في الصخر أكثر من مترين إلا أن أهميتها كبيرة، خصوصاً في المناطق الجافة، حيث يقوم الماء أثناء حركته خلال التكوينات الصخرية بعملية التفكك الكيميائي أي ما يعرف بالذوبان، مؤدياً إلى توسيع الشقوق والمفاصل أو تعميقها وتشكيل ظاهرة ما يعرف بحفر التجوية أو الحافات الصخرية، مثل التي تحدث في الصخور الجيرية التي تحضى بنصيب وافر من مياه الأمطار، أما المناطق الجافة فإن النفاذية تقترن بأهميتها بالأمطار الفجائية أو ما تكتسبه من قطرات الندى على الأسطح الصخرية، التي تعمل على ترطيب الصخور وإتاحة المجال للتجوية الكيميائية، ومن الملاحظ أن أسطح الصخور المنفذة للمياه لا تتأثر بالتجوية السطحية للمياه إلا تأثيراً بسيطاً.

د - الصلابة Hordnes: لا جدال في أن نميز بين ليونة الصخر وصلابته بمعرفة خصائص المواد التي تدخل في تركيبه، وأهمها درجة صلابة المعدن والمادة اللاحمة التي تربط جزئياته، وتعد المواد اللاحمة الأعظم شيوعاً هي: السيلكا، كربونات الكالسيوم، أكاسيد الحديد، والصلصال، وإذا كانت المادة اللاحمة هي السيلكا فإن الصخر يكون شديد المقاومة لفعل التجوية، وإذا كانت المادة اللاحمة هي كربونات الكالسيوم فإن فعل المياه الحمضية يذيب المادة اللاحمة، ومن ثم يؤثر على تفكك الصخر، أما المادة اللاحمة التي تتكون من أكاسيد الحديد فقد تكون قابلة للتأثر بعمليات الأكسدة، أما المادة اللاحمة من الصلصال فهي ليست شديدة المقاومة، مما يسمح بتفكك الطبيعي، ولا سيما بالتجمد والذوبان أو الابتلال والجفاف⁽⁷⁾.

تشهد الطبيعة بأن الصخور الصلبة التي تتميز بشدة المادة اللاحمة، بأنها أكثر مقاومة وإطالة لعملية التجوية، وكثير من المشاهد الصخرية التي تتباين فيها المواد المشتركة في تركيبها تبقى قممها الصلبة مرتفعة، وتتخضض بعض أجزائها اللينة، وتعرف في هذه الحالة بالتجوية المتغايرة. وهي ذات طبيعة مؤثرة في بعض التضاريس التي تتألف من طبقات متفاوتة الصلابة، فإذا كانت التكوينات الصخرية تتألف من طبقات صلبة فوق طبقات لينة فإن الطبقات السفلية اللينة ستعرض للتجوية أسرع وأشد من الطبقات

الصلبة، مما يؤدي إلى انهيار الطبقات الصلبة العلوية أو تكون حافات رأسية أو جرفية، وعندما تكون الطبقات متجانسة التركيب الصخري وشديدة الصلابة فقد تظهر حافات عالية على الوسط المجاور لها، بينما عندما تكون التكوينات الصخرية متجانسة ولينة فقد تتكون أراضٍ صخرية واسعة الامتداد مستوية السطح.

استنتاجات حقلية:

لإلقاء الضوء على التكوين الصخري ومعرفة خصائصه المكانية كان للباحث وقفات عدة لمعاينة الصخور في الحقل تبين من خلالها:

- وقفة المشهد الطبيعي: حيث تظهر صخور مكشوفة على الشاطئ بلونها الرمادي أو الأسود، مجاورة لخط الساحل تتقاسمها العديد من الشقوق المتقاطعة والفواصل المتسعة العميقة، متأثرة بأمواج المد العالي حيث تمتلي الحفر والشقوق والفواصل بماء البحر، ويتسرب بين المسام، وعندما تتعرض الصخور الجيرية لفعل مياه البحر يزداد نشاط فعل التجوية في الصخور وتتحلل موادها ومعادنها تدريجياً⁽⁸⁾، كما أن تكون بلورات ملحية داخل الشقوق تساعد على امتدادها وزيادة اتساعها، نتيجة الضغط الذي تسببه البلورات الملحية، كذلك مياه البحر بما تحمله من غاز ثاني أكسيد الكربون الذي تزداد نسبته مع وجود الطحالب محدثاً تفاعلات لها القدرة على إذابة كربونات الكالسيوم وهي المادة التي يتكون منها الحجر الجيري، ومن ثم يتحول الحجر إلى حالة من التحلل والتفكك، حيث إن الصخور الجيرية سرعان ما تتحلل أو تتفتت بفعل مياه البحر خاصة التي تحتوي على نسبة عالية من ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء⁽⁹⁾.

وإذا تركنا صخور الشاطئ المميزة بلونها وقربها من الشاطئ، واتجهنا جنوباً حيث يرتفع منسوب الأرض تدريجياً حتى لا تكاد تميزه العين البشرية، نلاحظ عقد صخرية مستوية أو محدبة يحيط بها أو يصل بينها نتاج التجوية من التربة والحصى والحجارة، تشكلت بأشكال وأحجام مختلفة بفعل عمليتي التجوية والتعرية، شكل (4)، ويعد انتقال حبيبات الحصى والحجارة من الفراش الصخري إلى السطح كنتيجة لعمليات التمدد والانكماش، الناتجة عن عمليات الابتلال والجفاف المتبادلة⁽¹⁰⁾.

قد يختفي غطاء التجوية في بعض الأحيان تحت غطاء نباتي طبيعي أو زراعي غابي، وهو ما يقلل من عملية التجوية، وهناك ما يمكن مشاهدته مجرد ثقب وشقوق غير منتظمة قصيرة الأبعاد ولا تتعمق في الصخر أكثر من سنتيمترات معدودة، إلا أن أهميتها في تجوية الطبقة السطحية من الصخر.

أما المظهر المميز هو أن بعض الأسطح الصخرية مغطاة بغشاء قشرة صلبة لا يزيد سمكها عن بعض المليمترات، وتتركب من الغبار الهش والأترية الدقيقة الحجم، تعمل كمادة لاحمة بحيث تجمع كتل الصخر مع بعضها البعض، وتعمل على تماسك الصخر وهي تقوم بدور حماية الصخور من فعل التجوية، كما قد صادف أيضاً وجود بعض الصخور البارزة بها راقات (تجويفات) سطحية عند جانب قاعدتها المظل الذي يحتفظ بالرطوبة، بما يمكن تفسيره بالفعل الكيميائي للتجوية، ومن ثم تقوم الرياح بتذرية حصيلة التفكك،

بينما يُعرف الحصى المتبقي باسم الحصى المتخلف، أما ما يقع تحت غطاء التجوية من صخور والتي تظهر بشكل واضح في محاجر البلك، وهي الأخرى تجوية بفعل الإنسان، حيث تبدأ ببيضاء اللون عديمة الشقوق مسامية البناء متجانسة التكوين، شكل (5)

شكل (5) صخور جيرية بعد ازاحة الطبقة السطحية



شكل (4) سطوح صخرية.



المصدر : نتائج الدراسة الميدانية 20 / 10 / 2019

- وتماشياً مع خطة الدراسة الميدانية كانت الوقفة الثانية لتمييز الصخور والتعرف على تركيبها، حُددت لها خمسة مواضع على مسافات منتظمة، لفحص عينات من الحجارة وباستخدام أدوات الدراسة الحقلية تبين ما يلي:

- استخدام المسمار لخدش السطح الصخري، الذي وقعت عليه العينة المختارة عشوائياً، وكانت النتيجة التالية:

سهولة الخدش Corrsion، وبيان الأثر الناتج عن احتكاك المسمار، وظهور لون المخدش Streak أبيض، مما يدل على أن الصخر يتأثر بالتجوية الميكانيكية.

- عند طرق الصخرة بالمطرقة بضربات متوسطة الجهد، انفصلت إلى أجزاء متباينة الأشكال والأحجام، وتساقط هشيم يحتوي على حبيبات خليط بين الناعمة والمتوسطة، يصعب تمييز تركيبها بالعين المجردة، وعند استخدام عدسة مكبرة، تبين أن أغلبها تتكون من حبيبات شبه مستديرة أو مفرطحة، وحسب تقدير الباحث أنها ذات منشأ إرساب كيميائي بحري.

- الوقفة الثالثة: تعد استمراراً لعملية التمييز، فقد تم وضع قليل من حمض الأيدروكلوريك على الصخر، وعلى الفور حدث التفاعل والפורان، وتصاعدت فقائيع غاز ثاني أكسيد الكربون، وهي خاصية تنفرد بها الصخور الجيرية.

الصخر الجيري الذي يتألف من جزئيات دقيقة، يمكن أن يندرج ضمن الصخور المسامية التي تحتوي على فراغات بينية تسمح بنفوذ الماء، وأحياناً تكون تلك الفراغات مملوءة بمادة لاحمة هي كربونات

الكالسيوم، مما ينتج عنه بطء سريان الماء إلى عمق الصخر بسبب عملية الإذابة البطيئة لكريونات الكالسيوم، وحركة الماء بين المسام أفقياً ورأسياً في جسم الصخرة. ومن المعروف أن نفاذية الصخور تتناقص مع زيادة العمق بسبب انضغاطها من تكتونيات صخرية أعلى، وقلة وجود الشقوق المتعمقة في جوف الصخر، وما يمكن تأكيده أنه لا تجوية كيميائية بدون وجود الماء⁽¹¹⁾، وعلى ما سبق قوله، ومع الوضع الطبوغرافي للتكتونيات الصخرية بالمنطقة على شكل تلال منحدره الأوجه، بما يسمح لمياه التساقط بالجريان على شكل سيول_ فإن كمية المياه المتوفرة بعد طرح الفاقد من البحر والجريان تبقى قاصرة على إحداث نشاط كيميائي للتجوية، عدا بعض واجهات قطع الصخور المظلمة أو جوانب التجويفات القادرة على الاحتفاظ بالرطوبة فترة أطول، دون ذلك فإن حظ أوفر للصخور المجاورة للنشاط بكثرة الشقوق، وعمق الفواصل، بالتشبع بماء المطر الفصلي، وماء البحر الدوري، يجعل من فعل التجوية الكيميائية أكثر قدرة على تحلل الصخور وتفككها.

2 - المناخ

التجوية لا تعني حالة الجو، وإنما تعتمد على عناصر الجو من حرارة وتساقط والرياح السائدة في الإقليم، وقد ساد منذ فترة طويلة اتفاق فكري بين العلماء على تقسيم سطح الأرض إلى أقاليم مناخية، بمعنى أن كل إقليم مناخي يتميز بعنصر مناخي معين أو أكثر على طول السنة أو خلال فصل من فصولها، وما تتشكل عنه من مظاهر تضاريسية، تحدد التعرية صورتها الحالية، ففي الأقاليم الجافة يساهم ارتفاع درجة الحرارة أثناء النهار، والتبريد أثناء الليل، أي ارتفاع المدى الحراري اليومي وكذلك الفصلي، في تكوين الفوالق والشقوق، خاصة في الصخور المكشوفة الضعيفة، وبتكرار العملية تتسع الفوالق وتتعمق، وتؤدي في النهاية إلى تقسيم الحافات الصخرية إلى كتل صخرية متجاورة، وقشور سطحية متباينة، وهشيم من الحجارة والحصى متناثرة، غير متجانسة في أحجامها، ويطلق عليها أحياناً التجوية بفعل الإشعاع الشمسي.

لكن المشهد في الأقاليم الرطبة تحدده وفرة المياه عند تساقط الأمطار والثلوج وجريان الأودية والأنهار، وهي تجوس نفاذية الصخور تحلل معادن وتذيب أخرى، ويحدث انشطار للصخور بالتجمد والذوبان أو الابتلال والجفاف، مثل الصخور الجيرية والطينية التي لها القدرة على امتصاص كميات من المياه، كما تعمل المياه الجارية على نقل المفتتات من المناطق التي اشتقت منها إلى أماكن أخرى بعيدة عنها، مما يساعد عملية التجوية في الاستمرار في عملها، والجدير بالذكر أنه ليس هناك إقليم بعينه يحظى بجفاف دائم أو رطوبة مستديمة، بل هي مناطق نسبية تسجل ارتفاعات في وقت ومكان ما، وتقل في مكان آخر. ويمكن القول أن تباين العناصر المناخية يجعل تأثير الصخور في إقليم مناخي دون آخر، وهي متشابهة التكوين، ومن أحسن الأمثلة في ذلك صورة الصخور الجيرية وهي تتحلل أجزاءها ويتناقص

حجمها في المناطق الرطبة بما تمثله ظاهرة الكارست، بينما تبقى قممها صلبة بارزة فترة طويلة في المناطق الجافة، متمثلة في بعض حافات الصخور الصلبة أو الموائد الصحراوية وغيرها. وفي دراسة استنتاجية لمؤثرات المناخ على تجوية الصخور في منطقة الدراسة، التي تقع في إقليم مناخ البحر المتوسط الذي يتصف بأنه حار جاف صيفاً، معتدل ممطر شتاءً، ولهذا الموقع تأثيرات مختلفة على الصخور أهمها:

■ الحرارة: يمكن تناول الحرارة من حيث تأثيرها بالظروف المحلية وأثرها في تجوية الصخور على النحو التالي:

- ارتفاع المدى الحراري وشدة الجفاف أثناء فصل الصيف الذي يصل فيه الفرق بين أقصى درجة حرارة وأقل درجة حرارة حوالي 15 درجة مئوية، ويرجع كبر المدى الحراري بالطبع إلى تأثير مناخها بظروف الكتل الهوائية المدارية الجافة⁽¹²⁾، ومثل هذا المدى الحراري قادر على إثارة جهد كبير يعرض الصخور لعمليات التمدد والانكماش، حيث تتمدد الصخور بارتفاع درجة الحرارة، وتنكمش بانخفاض درجة الحرارة خصوصاً الصخور الداكنة اللون التي تتميز بها صخور الشاطئ.

- يؤثر الإشعاع الشمسي بمعدلات مختلفة على الجهد الذي تعانيه الصخور، وفي الحقيقة أن أغلب الصخور تعتبر ضعيفة التوصيل للحرارة، حيث غالباً لا يتعدى تأثيرها على عدة سنتيمترات في جوف الصخر الجيري، وتختلف من صخر إلى آخر هذا التفاوت بين سطح الصخرة والأجزاء السفلية يؤدي إلى انشطار الأجزاء السطحية في مستوى موازٍ للسطح؛ ولهذا فإن تأثير التغير الحراري ينحصر في مستوياتها العليا دون السفلى، وتنشأ عن ذلك ضغوط خلال مكونات الصخر تؤدي إلى إحداث تكسر مواز لسطوحها⁽¹³⁾.

- تعرض المنطقة في بعض أيام السنة إلى رياح القبلي القارية شديدة الجفاف، حيث ترتفع درجة الحرارة أثناء هبوبها، وتؤدي إلى موت النباتات بما تخلفه جذورها المتعفنة من شقوق وحفر، وتعمل الرياح على تخرية وانكشاف تجاوبها.

- وقوع المنطقة بجوار البحر يجعلها تتأثر بشكل مباشر بالمسطح المائي حيث يؤدي رذاذ البحر مع كل موجة مد عالية إلى عمليات عديدة مساعدة لفعل التجوية منها تبلر الملح وسط فجوات الصخور المجاورة نتيجة تبخر الماء وما يحدثه التبلر من ضغط داخل الفراغات والفجوات وما يتبع تلك العملية من إضعاف للصخور الساحلية وتزايد عدد حفر التجوية الملحية شكل (6)

- انخفاض درجة الحرارة في بعض أيام فصل الشتاء إلى ما دون 15 درجة مئوية تعمل على زيادة نشاط التحلل الكيميائي للصخور.

■ الأمطار وأثرها في عملية التجوية:- من المعلوم أن موسم سقوط الأمطار يبدأ من شهر أكتوبر ويستمر إلى شهر أبريل، وتتراوح كميتها بمعدل 270 مم/ السنة، وتتركز قمة المطر في شهري ديسمبر

وبناير، حيث يتوافق التساقط مع انخفاض في درجة الحرارة، وما يتصل به من عمليات كيميائية، على سطح الصخر أو جوفه، التي تتناسب طردياً مع وجود الماء بين مسامه.

- الأمطار إعصارية على شكل رخات قوية، وعلى فترات متباعدة، وتتركز في أيام قليلة ولا تتعدى 15% من أيام السنة، وهذا يقلل من تأثيرها على تعرية وتجوية الصخر عما إذا سقطت نفس الكمية لفترة أطول على مدى أيام وأسابيع.

شكل (7) حفر التجوية بفعل الرطوبة



شكل (6) حفر وقشور التجوية الملحية



المصدر: نتائج الدراسة الميدانية - 20/10/2019

- سقوط قطرات المطر على سطح صخري عارٍ ينتج عنه نقر وحفر صغيرة تتناسب مع حجم قطرات المطر وخصائص الصخر، هذه الثقوب تعمل على إضعاف الصخر وقلة مقاومته، وقد لاحظ الباحث أن هذه الحفر يكثر وجودها على الأسطح العلوية للصخر، شكل (7)، كما أن قطرات المطر تؤدي إلى تناثر حبات التربة بعيداً عن مكانها، بما يُمكن عملية التجوية من الاستمرار في عملها.

- أدى سقوط الأمطار وتوفر الرطوبة على أسطح الصخور الجيرية إلى تفتيت وإذابة الصخور الجيرية، ويشترط في ذلك وجود نسبة عالية من المياه بحيث يكون الصخر مشبعاً تماماً بالماء إلى أن يتحول إلى محلول غروي (الكاولينه)، يزداد تركزه أثناء حركته إلى أسفل بفعل الجاذبية واحتكاكه بصخور سفلية، وخلال فصل الصيف وبمرور الوقت تتعرض للتبخر والجفاف تاركة وراءها قشرة صلبة متماسكة، تؤدي إلى حماية ما تحتها من آثار عوامل التعرية ومنع جذور النبات من التعمق والتقليل من رطوبة التربة في الصخر، وقد لاحظ الباحث عقد كلسية بيضاء متماسكة يصل سمكها حوالي 3سم موزعة بأحجام مختلفة على شكل بقع متفرقة خالية من النبات.

3- الطبوغرافيا Topography

الطبوغرافيا هي التي تصف ما يدل على الطبيعة الجغرافية للمكان، بما تمثله من أشكال الأرض Land Forms المختلفة للوحدة الجغرافية، من حيث الارتفاع والانحدار أو الميل والاستواء، هذا

الاختلاف غالباً ما يرتبط بالتدرج في الانحدار، رغم وحدة مادة الأصل والمناخ العام المشترك، إن الظروف المحلية تؤثر على سيادة تجوية معينة، حيث تزداد التجوية في المناطق المضرسة، بينما تقل في المناطق المستوية، كما أن الصخور عادة ما تتأثر في مستوياتها العليا المعرضة للإشعاع الشمسي لمديات حرارية أعلى من أسافلها، بحكم أن الصخور رديئة التوصيل للحرارة، حيث تتعرض سطوح الصخور وأجزائها المحدبة للتجوية الميكانيكية عن طريق ظاهرة التكسر والتفشر، وتقل التجوية الميكانيكية عند الأوجه الجانبية من الصخر وذلك لتناقص سقوط الأشعة الشمسية، ولا تشكل التجوية الكيميائية أهمية على السطوح المستوية والخالية من الشقوق أو التي تكون موضعاً لركود المياه وعدم تجدها، وذلك لأنها قليلة الحمضية وغير متشعبة بالمواد الكيميائية المؤثرة في تجوية الصخور.

قد تبدو السطوح المستوية ذات منسوب واحد متماثل، لكن بالتدقيق في دائرة بقطر عدة أمتار يتضح ظهور إختلافات في المناسيب في حدود (30 - 60) سم، وأحياناً على شكل حفر ويُعرف الشكل العام بالتضاريس الدقيقة أو المنحدرات البسيطة، وهي أكثر عرضة للتجوية بنوعيتها، وتمثل نظام ديناميكي تختلف سرعة تغيره حسب ظروف تكوين المنطقة والعوامل المؤثرة عليه.

يلاحظ أن الانحدار له تأثير ملحوظ في نمط ودرجة التجوية والتعرية، فالانحدار العادي محصلته جريان مائي بطي، غالباً ما يؤدي إلى تجوية كيميائية ملحوظة، حسب التركيب الصخري والغطاء النباتي ووجود شقوق متشابكة على وجه الصخر، عكس الانحدارات الشديدة التي تشهد أغلبها جريان مائي قوي وسريع، مما يؤدي إلى عمليات جرف وتعرية الطبقة السطحية، وجعل الصخور عارية كاشفة عن وجه صخري من مادة الأصل يسودها جفاف نسبي محلي، في حين أن أسفل المنحدرات تعتبر منطقة ترسيب وتراكم للمفتتات، ومن المألوف أن المحتوى الرطوبي للصخور عند مستوى سطح الأرض خاصة تلك المواجهة للرياح الرطبة يزيد بدرجة أكبر عن المناطق العليا والمعرضة للشمس.

إن نظرة على الصورة التضاريسية للمنطقة تكشف عن واقع التجوية من الوجهه الطبوغرافية، وهي على نمط فيزيوغرافي متماثل يجمع بين الاستواء والتضرس البسيط، وما يخفي تحته من عمق لقطاع التربة، الذي يلم بين مفاصله جذور نبات الأرض، وقد يكون لتشابك الأغصان حماية ما على سطح الأرض من عيوب قابلة للتجوية، حيث يؤثر الغطاء النباتي أو البقايا النباتية المتجمعة على السطح في الخصائص الحرارية عندما يقوم بعزله عن الإشعاع الشمسي المباشر، كما أنه يقلل من الأشعة المنعكسة (الالبيدو) مما يقلل من فاعلية التسخين والتبريد في تفتت وتشقق الفراش الصخري⁽¹⁴⁾.

وبالرغم من استواء السطح فإن الواجهة الشمالية باتجاه البحر تكون أكثر انحداراً، وصخور الشاطئ أشد تضرساً مقارنة مع الياابس المجاور، وعند المنطقة المحاذية لخط الساحل تتفاوت معدلات التجوية، وذلك تبعاً للتداخل الديناميكي للعمليات الجيومورفولوجية، وعلى الياابس المجاور لا تظهر في الصورة إلا تلك التلال المحدبة من صخور جيرية التكوين سواء كانت مفردة أو على شكل ضهير صخري متتابع

باتجاه شرق غرب، وقد غالبتها حفر وخنادق المحاجر، وهي من أعمال الإنسان في صناعة حجارة البناء، والجدير بالذكر أن هذا النوع من الحجارة تتناسب وأغراض البناء المختلفة، كأن تكون خالية من الفواصل والشقوق حتى يتوافر فيها قوة الاحتمال والمقاومة الكافية، التي تنشأ من التغير في درجة الحرارة والمناخ⁽¹⁵⁾، ودون ذلك فإن نوعاً من التجوية تتم ببطء في موضعها، حسب فيزيوغرافية المكان وطبيعة الظروف المحيطة.

4- العامل الحيوي

نبات وأشجار وشجيرات يرتبط وجودها بنوع التربة وظروف المناخ السائد، تكون قد حجبت بظلالها أشعة الشمس من على سطوح الصخر وقللت من فعل التجوية الميكانيكي، وفي ذات الوقت امتدت بجذورها بين طبقات الصخر تغزو الضعيف في مكوناته، وفي نموها تخترق تقاسيم الشقوق، حيث يفرز بعض منها أحماض تحلل ما أحيط به من معادن، حيث يضعف نسيجه وتتفتت أجزائه، وربما جذور أشجار نمت وزاد حجمها بين بواطن الشقوق وبالضغط على مفاصله، اتسعت الهوة، وانفكت روابطه، وتكسرت جوانبه، إلى أشكال متنوعة.

كما تعمل أوراق النباتات المتعفنة وجذور الأشجار الميتة على زيادة الأحماض والبكتريا المؤكسدة Oxidative becteru، بتحليل البقايا العضوية وبالتالي زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في هواء التربة، بما يوفره من زيادة طاقة ماء الأرض المتسرب خلال الصخور على الإذابة.

كما تعمل الآشنيات (وهي عبارة عن مستعمرات مشتركة من الفطريات والطحالب يمكنها الحياة فوق الصخور العارية محقظة بغشاء من الماء عند ابتلالها مما ينشط عملية التجوية الكيميائية بما تفرزه من مواد مخلبية Chelating وحمضية) على استخلاص بعض العناصر الكيميائية الرئيسية من معادن الصخر، الذي تنمو عليه مما يؤدي إلى تحلله أو تفكك طبقة السطح كلية.

وإذا كانت العمليات ذات الطبيعة البيوكيميائية التي سبق ذكرها، بطيئة التفاعل والمفعول فإن فعل الإنسان يعتبر من أسرع وأكثر العوامل تأثيراً في نشاط فعل التجوية، سواء كان ذلك بإزالته للنبات الطبيعي، أو تغييره لتركيب محاليل الماء بواسطة النشاطات البشرية المختلفة، وكذلك ما يسببه من إنبعاث للغازات في الجو، الذي يتفاعل مع بخار الماء ويتساقط كأماطر حامضية على سطح الصخور، وخير مثال على ذلك المفسدة التي نخرت سطح الصخور وجدران المباني.

5- الزمن

يعد الزمن من أصعب الأمور إدراكاً لعملية التجوية، فملاح الأرض الصخرية التي تبدو لنا عبر عشرات السنين دون تغير، هي في الحقيقة تتغير ببطء شديد عبر الآف السنين وربما ملايين السنين مضت، ومن يدري لعلها حينها كانت سطوح قمم جبلية، وأصبحت اليوم تلال صخرية.

وجدير بالذكر قول (هاتون) نحن لا نجد علامة للبداية، ولا نملك توقعاً للنهاية، أو لعلها كانت دورة من دورات التسخن، التي أشار إليها أيضاً بأنها صهير تبلر في أعماق الأرض، أو فوق السطح بنشأة الصخور النارية، التي تعرضت لعمليات التجوية، وبعملية التعرية تراكمت الرواسب بصورة طبقية مثقلة بالضغط الواقع عليها، وهي عرضة للتجوية من جديد، أو قد تتعرض لحرارة وضغط أكثر حتى تتغير خصائصها، وتتصلب إلى صخور نارية أو متحولة، وفي كل الحالات تكون التجوية عامل للهدم التدريجي في كل الحلقات الصخرية، ولا بد للصخر أن يتهدم بنفس المعدل الذي يبني به، استجابة للبيئة المتغيرة⁽¹⁶⁾.

بشكل عام فإن معدلات التجوية في الصخور تقدر بعملية نسبية، تختلف من مكان إلى آخر، طبقاً لعوامل موضع الصخر ومكونات الصخر وطبوغرافية المكان والظروف المناخية. وقد ذكر أحد الباحثين أن مقدار بوصة واحدة من التربة، قد يأخذ من الوقت في تكوينه إما عشر دقائق أو عشرة مليون سنة⁽¹⁷⁾.

أنواع التجوية:

تحدث التجوية بواسطة العوامل الطبيعية على سطح الأرض، حيث تؤدي بعض العوامل عملها بطريقة تفكيك الصخر آلياً إلى قطع صغيرة، وتستمر في تجزئة الصخر قطعة أصغر فأصغر مع الاحتفاظ بنمط تكوينه الأصلي دون أي تغيير في التركيب الكيميائي، وفي مجملها تسمى بعملية التجوية الميكانيكية.

هناك عوامل طبيعية أخرى مثل الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء، ولهذه العوامل صلة دائمة بالماء⁽¹⁸⁾، تعمل على تحليل وإذابة الصخر، حيث تحلله من عناصره الأصلية إلى عناصر أخرى ثانوية، قد تكون مختلفة الخصائص عن مكونات الصخر الأصلي، وتؤدي إلى تكوين مواد جديدة أو تحلل الصخر وإذابته بطريقة كيميائية.

وبالرغم من اختلاف الطريقتين في تأثيرهما على الصخر، إلا أن النتيجة هي تفككه ومن المستبعد أن تمارس إحدى الطريقتين عملها بمفردها، وكلاهما تعملان مجتمعتين في مكان واحد ووقت واحد، والبيئة هي التي تحدد سيادة فعل إحداهما على الأخرى على السطح الصخري.

وفيما يلي توضيح لكلتا العمليتين على حده، التي تتآكل بواسطتها الصخور عند تعرضها لفعل التجوية.

أولاً_ التجوية الميكانيكية: وهي تمارس عملها في تفلق الصخور بالطرق التالية:

أ - التمدد الحراري: تشير الدلائل الجيومورفولوجية إلى أن المناطق التي تتلقى حرارة الشمس المرتفعة، أثناء النهار تعقبها برودة أثناء الليل، تتعرض سطوح الكتل الصخرية فيها إلى توالي عملية التسخين والتبريد، وربما لا يزيد تأثيرها على عدة سنتيمترات داخل الصخر، باعتبار أن الصخور رديئة التوصيل للحرارة، وقد يؤدي تكرار هذه العملية إلى تمدد وانكماش الصخر حتى تنفصل الطبقة السطحية على شكل قشور سطحية أفقية، يتآكل فيها الصخر من أعلى إلى أسفل بالتدرج، حيث يلاحظ فتات صخري يختلف

حجمه من أقل من سنتيمتر إلى أكثر من عشرين سنتيمتر، في بعض المناطق المكشوفة التي لا تغطيها رواسب سطحية أو نباتات.

كما أن حدوث ظاهرة التمدد الحراري في الفصل المطير والأوقات الباردة من السنة، عندما تنخفض درجة الحرارة إلى أقل من 4 درجات مئوية أثناء الليل، وما أن تشرق الشمس حتى تبدأ درجة الحرارة في الارتفاع، ويذوب الصقيع الذي تبلر على مسام الصخر وفي فتحات الشقوق البسيطة، حيث تتظاهر مجموعة من العمليات التي تساهم في تفكك الصخر وتفتته. كما أن تجمد المياه يزيد من حجمها بمقدار 9%، حيث تولد ضغطاً كبيراً على الصخور المحيطة بها يصل إلى 70 كجم/سم²، مما يؤدي إلى تشقق الصخر واتساع فتحاته، ولكي تكون هذه الظاهرة ذات أثر فعال لا بد أن تتكرر عدة مرات على الصخور، وقد أثبتت الدراسات أن أي شق في الصخر يتعرض لجهد تحت تأثير الصقيع يتضاعف اتساع الشق إذا تكررت العملية عشر مرات⁽¹⁹⁾، ويشترط في هذه العملية ظروف بيئية مناسبة بين التجمد والذوبان والجفاف.

وإن لم يكن للصقيع أهمية تذكر على السطوح الصخرية بالمنطقة، نظراً للظروف المحلية وندرة انخفاض درجة الحرارة إلى ما دون درجة التجمد، فإن لتعاقب ظاهرة الابتلال والجفاف أثرها في انتفاخ الطبقة السطحية من الصخر وزيادة حجمها في فترة الابتلال، بينما تنقلص في فترة الجفاف، وما ينتج عنهما من حدة في التمدد والانكماش وما يحدثه من تشققات، تتخذ نمطاً يختلف في درجة انتظامه وضعفه أمام جبهة التجوية والتعرية السطحية، كذلك حدوث تموجات خاصة في أسطح الطين المحلية، وقد تظهر علامات التماوج نتيجة لفعل المد البحري والجفاف على الصخور الشاطئية، ويلاحظ الباحث أن ظاهرة التقشر السطحي للصخور بفعل العمليات السابقة هي الأكثر انتشاراً على السطوح الصخرية في المنطقة.

ب- البلورات الملحية: ماء مالح سواء كان مصدره ماء البحر أو ماء التربة أو المياه الجوفية المالحة، التي تجمعت في الحفر أو الشقوق السطحية للصخور، عندما تتعرض للتبخر والجفاف فإن بلورات الملح قد تكتسب من القوة ما يسبب إجهاد على جوانب موضعها من الصخر، بما يؤدي إلى تكسره وتفتته، وعلى سبيل المثال يقدر بأن درجة واحدة من درجات فوق التشبع للمحلول الملحي، يمكن أن تبلر الكالسيت بقوة مضادة تصل إلى 10 كجم/سم²(20).

ج - إزاحة الحمل: غطاء سميك من الريبوليث قد يغطي سطح الصخور العليا، ويحمي تلك الصخور من عمليات التجوية، التي تجهد الصخر وتفتته، أو صخور طبقية مثقلة بضغط قد وقع على صخور القاعدة وعندما تتعرض تلك الأحمال إلى التعرية الطبيعية أو تزال بواسطة النشاطات الحيوية، فإن الصخر يقل حمله ويخف الضغط الواقع عليه وتتمدد جوانبه ويتشقق سطحه ويسمح بتسرب الماء إلى بواطنه ويشند فعل التجوية، حيث تؤدي إلى انفصال القشور من أعالي الصخر وتفككه إلى كتل.

د - النشاط الحيائي: سطح الصخور وما تحويه من مسام وشقوق، قد تكون مهذاً لجذور النباتات والأشجار ونموها، وبزيادة حجم تلك الجذور يزداد أحياناً حجم الشقوق والفواصل وزيادة نشاط التجوية، ومن جهة أخرى قد يلاحظ أن مدقات الحيوانات ذات الحوافر أو مخالب الحيوانات الحافرة، لها تأثير الحفر والخدش خاصة على الصخور الضعيفة، ولا شك أن نشاط الإنسان يعتبر من أقوى القوة الفاعلة في تشكيل سطح الأرض، بما يقوم به من قطع للأشجار وأعمال الحفر وكشف أسطح الصخور أمام عمليات التجوية.

ثانياً - التجوية الكيميائية

هي عملية تغير كيميائي للمحتوى المعدني للصخور القابلة للتغير بواسطة المياه لما لها من خواص قطبية، وما تحويه من غازات ذائبة، خصوصاً الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون، ونتيجة هذا التغير تضعف أو تتحلل الصخور الأصلية، مع البعد الزمني الكبير، وتتم هذه العملية بطرق عدة من أهمها:

(1) الإذابة Solution: وهي عملية انتقال المادة الصخرية المتشعبة بالماء إلى محلول مائي، تاركة مكانها فراغات وفجوات، أو تحول الكتلة الصخرية الصلبة إلى كتلة هشة، تتألف من ذرات غير متلاحمة، وتتم هذه العملية بدرجات متفاوتة بين الصخور، حيث تعتمد على كمية المياه المتوفرة، وقابلية الصخر للإذابة، وخير مثال على ذلك ذوبان الحجر الجيري في الماء النقي، التي تزداد وضوحاً في وجود حمض الكربونيك إلى أن تتحلل.

(2) التكرين Carbonation: قد لا يوجد الماء في الطبيعة بصورة نفية تماماً، وغالباً ما يندمج مع غاز ثاني أكسيد الكربون في صورة حمض الكربونيك (CO_2 ك³)، الذي له تأثير فعال على إذابة كربونات الكالسيوم وتحويله إلى بيكربونات الكالسيوم، وهي مادة سهلة الإذابة من مكونات الحجر الجيري، وقد يؤدي تجمع بلورات الكربون على الصخور إلى إضعافها، وتعرضها للنحت والإذابة.

كما أن الماء المتسرب بين الشقوق والفواصل ومسام الصخر الذي يحتوي على أحماض سواء كانت عضوية من مخلفات النباتات المتحللة أو كيميائية من مياه الأمطار أو مياه المد البحري، فإن تأثيره الحمضي فعال خصوصاً في إذابة القشرة السطحية.

(3) الأكسدة Oxidation: عندما تكون أسطح التكوينات الصخرية عارية، أو تحتوي على شقوق وفواصل، فإنها تكون أكثر عرضة لرطوبة الهواء الجوي، بما يحويه من غازات تتفاعل مع معادن الصخر، وأهمها الأوكسجين الذي يعمل على أكسدة بعض المعادن المكونة للصخر، مما يضعف من صلابتها، ويقلل من مقاومتها لعوامل النحت الأخرى، وكثيراً ما نلاحظ في الطبيعة أسطح بعض الصخور ذات اللون البني المحمر، دلالة على أكسدة المواد الحديدية (ح² أ³)، وقد تُشكل أكاسيد الحديد المادة اللاحمة لبعض الصخور الرسوبية، وإذا ما تعرضت للصدأ تمددت وزاد حجمها، وأدى إلى تمزق الصخر وتفككه.

(4) الإماهة Hydration: وهي عملية اتحاد الماء مع بعض المعادن المكونة للصخر، ولا جدال في أن هذه العملية تكون ملازمة لجميع حالات التجوية الكيميائية التي سبق ذكرها، سواء كانت بالتكرين أو الأكسدة، وقد تمثل حالة التفاعل التمهيدي لعملية الإذابة والتحلل، وتتم عملية الإماهة عندما يحيط غشاء من الماء بالصخر وتشبعه، فإنه يؤدي إلى انتفاخه وتمدده أو تحول معادنه الأصلية إلى معادن ثانوية، وبالتالي فإن التركيب المعدني يصبح ضعيفاً وعرضة للتحلل.

تكامل عمليات التجوية:

بات من المعروف أن الماء والحرارة هما المحددان الرئيسيان لنوع التجوية، في أي مكان يتوافق معه استجابة الصخور لمؤثراتهما، التي تكون بمعدلات متفاوتة على سطح الأرض، وقد أجمع الباحثون أن الماء هو المحرك الرئيسي لمعظم التفاعلات الكيميائية مع المعادن المكونة للصخور، وأن بخار الماء يكاد يوجد في كل مكان على سطح الأرض، وبالتالي فإن التجوية الكيميائية ليس لها حدود مكانية، بقدر تفاوت معدلاتها طردياً مع ارتفاع الرطوبة، وزيادة كثافة التساقط واستمراريته، وخاصة في الجهات ذات الحرارة المرتفعة، مثل الأقاليم الاستوائية والمدارية، التي تتميز بسيادة التجوية الكيميائية، التي تضعف مع تناقص الأمطار وارتفاع حرارة الشمس وتسارع نشاط عمليات التجوية الفيزيائية في المناطق الجافة وشبه الجافة، من خلال الاختلافات اليومية والفصلية في درجات الحرارة، وأثرها على الصخور بالتمدد والانكماش أو دورات الابتلال والجفاف.

يمكن القول إن التجوية هي عملية كيميائية فيزيائية مشتركة تؤثر مع بعضها البعض في تفكك الصخور وتحللها، وقد تبين من الدراسة الحقلية أثر فعل التجوية على الأسطح الصخرية بالمنطقة، في وجود حُفر مختلفة الحجم والعمق على سطح الصخر، ترجع نشأتها إلى ضربات قطرات المطر أو رذاذ البحر المحمل بغاز ثاني أكسيد الكبريت، مما أدى إلى إذابة الأماكن الضعيفة، من خلال تواتر قطرات المطر على المكان، وأعقب ذلك عملية الابتلال والجفاف في عملية فيزيائية تفتت جوانب الصخر، وأثناء فترات الجفاف الطويلة تقوم الرياح بكنس مخلفات التجوية حتى يستمر عملها، وتشير الدلائل المكانية إلى أن الهشيم الذي يغطي أجزاء واسعة من المنطقة يرجع إلى نواتج تفكك الصخور الجيرية في الظروف جافة، وإذا ما تعرضت تلك الصخور للفعل الكيميائي فإنها تتلاشى بفعل الذوبان والتحلل، بل إن بعض الكتاب حدد أن الصخور لا بد أن تمر بحالة ضعف من جراء التجوية الكيميائية قبل أن تتهشم بواسطة النشاط الحراري⁽²¹⁾.

نواتج التجوية:

1- مواد ذائبة: تعد المواد الذائبة من نتاج التجوية الكيميائية، وعادة ما تنقل بواسطة المياه الجارية، حيث تعد السيول وحركة ماء البحر من أهم العوامل الناقلة لمواد التجوية الذائبة، وغالباً ما تنقل إلى مسافات

بعيدة عن موضع تحللها حيث تترسب في المناطق المنخفضة، ويلاحظ أن المواد الذائبة والحبيبات الناعمة المنقولة بحركة السيول، تشكل غطاء التجوية أو التربة، التي تحتوي على مركبات كيميائية تختلف في خصائصها عن خصائص الصخرة الأم، ومع زيادة معدل التجوية يزداد سمك التربة مع الزمن، وغالباً يصل إلى المتر أو المترين ما لم يتعرض للانجراف، وتميل التربة في هذه الحالة إلى الخصوبة، بفعل المعادن الذائبة أو المواد العضوية المتحللة، التي يمكن استثمارها في الزراعة، بعد معالجة المشاكل المحلية من زيادة قلوبية التربة أو وجود قشرات صلبة كلسية Duricrusts على سطح التربة، التي يعتقد أن زيادة تركيزها في المنطقة كانت بسبب أعمال الإنسان من مخلفات صناعة التحجير، وتداخل مياه البحر.

2- المواد غير الذائبة: هي القطع الصخرية التي لم تكتمل بها التجوية الكيميائية إلى حد التحلل والإذابة، بل تفككت إلى أجزاء متباينة الحجم تتراوح بين الجلاميد وحبيبات متناهية في الصغر، وتفيد الدراسة الحقلية لمادة التجوية بعد تفككها، أنها مستقرة في موضعها ما لم تنقلها عوامل النقل المختلفة، وهناك في الواقع ثلاثة أنواع من حصيلة التفكك: قطع من الحجارة يزيد سمكها على 10 سم، ودون ذلك حصى لا يزيد سمكه على 3 سم، وقد تداخلت مع خليط من المفتتات سواء كانت خشنة الجسيمات أو دقيقة الحبيبات، ويعتقد الباحث أن هذه الحصيلة ترمز إلى التغيير في درجة الحرارة بين الليل والنهار، وربما كان بعض الهشيم بقايا تفكك بفعل الابتلال والجفاف، ومن الصعب التعميم فهناك طرق أخرى للتجوية الميكانيكية.

هشيم في مجمله قد يحمي سطح الصخر، ويعيق فعل التجوية لمدة طويلة، ولا يحسبه البيدولوجون من تصنيفات التربة الحقيقية فأفقه لا يتعدى سنتيمترات، وقد يتحول من أفق حصوي إلى أفق سطح صخري إذا قفزت حبيباته إلى غير مكان بفعل الرياح أو المياه الجارية.

الآثار المتخلفة من التجوية:

لا يمكن أن نرد كل ما نراه على سطح الصخر من نبش وقشور هو من فاعليات التجوية، فالصورة قد تكون مشتركة مع عمليات النحت الأخرى، لكن ما يمكن التأكيد عليه هو أن عوامل التجوية هي معاول الهدم التمهيدي لأي شكل سطحي، وما يترتب عليه من آثار على سطح الصخر، قد يتطور باستمرار الفعل أو مساهمة عوامل النحت.

وتبرز على الأسطح الصخرية بالمنطقة ظاهرة جيومورفولوجية مجاوة، دقيقة التضرس، متنوعة الشكل، ومن أهمها:

1- **حفر التجوية:** لا يكاد يخلو سطح صخري من نقر أو حفر التجوية، فهي تنتشر على السطوح الصخرية الجيرية الأفقية المكشوفة لقطرات المطر المسئولة على النمط العام في تشكيلها، بإذابة كربونات الكالسيوم، الذي تنشأ عنه حفر غير منتظمة الشكل، ما تلبث أن تظهر عقب تبخر الماء صغيرة الحجم،

لا يتعدى قطرها 10 سم، وعمقها 5 سم، لكنها تتسع بمرور الزمن لتصبح أعمق وأعرض، وقد تندمج أكثر من حفرة، كما هو الحال عند صخور الشاطئ التي تتأثر برذاذ أمواج البحر. وقد توجد حفر أقل حجماً من الحفر المطرية السابق ذكرها، وتتميز باتساع فتحاتها العلوية، ولكن ليس لها شكلاً محدداً، يمكن أن تكون نتاج تفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الهواء الرطب على سطح الصخر.

2- قشور الصخر: شكلاً من أشكال التجوية الميكانيكية، يشبه قشور البصل، وآلة التقشير ليست بالطبع السكاكين الحادة، وإنما هي قواطع الطبيعة بين التسخين في النهار، والتبريد في الليل، حيث يتم تقشير شرائح بسمك مليمترات، تزداد كثافتها في المنطقة المتأثرة بالتمدد والانكماش، التي تتماشى مع سطح الصخر، باعتبار بقاء انتقال الحرارة المكتسبة إلى بقية أجزاء الكتلة الصخرية، وتتابع عملية الحرارة والبرودة، تتساقط قشور الصخر واحدة بعد أخرى بالتدرج من أعلى الصخر إلى الأسفل حيث تتساقط غير بعيدة عن الصخر ويتوالي العملية يزداد عددها مع الزمن، وعند ذلك تتعرض لعمليات ديناميكية من التجوية والتعرية المختلفة حتى تتلاشى، وقد لاحظ الباحث مواقع انتشارها في عدد من الأماكن القريبة من الصخور البارزة فوق سطح الأرض، وأماكن صخرية أخرى مجاورة لخط الساحل.

3- حافات التجوية: يمكن وصف سطح المنطقة بين التحذب البسيط والاستواء، ولا نجد في الوصف خلالها أي حافات يمكن الحديث عليها، إلا تلك الحافات الجرفية التي تمتد في بقاع متفرقة على خط الساحل بمحاذاة البحر، شمال المصيف العائلي باتجاه الشرق، حافات جرفية بسفح شمالي مواجه للبحر، تتكون من طبقات متتالية من صخور رسوبية متفاوتة الصلابة، أي بمعنى: (طبقات صلبة فوق طبقات لينة)، حيث تتآكل الطبقات اللينة بفعل الانحلال الكيميائي، وتبقى الصخور الصلبة معلقة فوق سطح الأرض، تحت تأثير التشقق الطبيعي والجاذبية الأرضية، ويطلق عليها بالتجوية المتغايرة، وهي عرضة للانهياب مع الزمن ويكون التساقط على شكل كتل منفردة صخرية كبيرة الحجم، وقد لاحظ الباحث كتلاً صخرية تحت قدم الجرف، تكون قد سقطت في مياه البحر على الشاطئ المجاور، شكل (8)، وتؤدي هذه العملية إلى تراجع الحافات الجرفية.

4- الحزوز والتجاويف: أبرزت التجوية الكيميائية ظواهر جيومورفولوجية دقيقة متنوعة، على جوانب الصخور الجيرية، خصوصاً عند قواعدها الملامسة للرطوبة الأرضية، حيث تتعرض للعمليات الكيميائية المختلفة مثل الكربنة والإذابة، في وجود الرطوبة المشبعة بثاني أكسيد الكربون، تتكون فيها ثقبون تتسع تدريجياً حسب مستوى التأثير الكيميائي وتتعمق على شكل تجاويف، تمتد أفقياً بمستوى سطح الأرض الملامس للصخرة، على شكل حزوز مجعدة، ومع الزمن تعمل على إضعاف قاعدة الصخر ويكون عرضة للسقوط والتفكك، وتعتبر هذه الظاهرة ذات تأثير ضار على جدران المباني المشيدة بالأحجار الجيرية غير المحمية بغطاء إسمنتي أو واقي للرطوبة، شكل (9).

شكل (9) حروز وتجاويف عند قاعدة أحد الأسوار



شكل (8) حافات صخرية منهارة



المصدر: نتائج الدراسة الميدانية 20 / 10 / 2019

5- النتوءات الصخرية: ليست من الشواهد الصخرية التي كتب عنها الجغرافيون، ولا تشبه الموائد الصحراوية التي وصفها الرحالة، حيث ترجع نشأتها إلى التعرية الريحية في الأراضي الصحراوية، بل هي بروزات صخرية متفاوتة يبلغ ارتفاعها بين (5 - 30) سم، تبرز فوق سطح صخري أو أعالي حافة جرفية، تكون قد تخلفت من عمليات تجوية وتعرية مختلفة، تحت حماية طبيعية، وقد صُقلت جوانبها نتيجة التقشير السطحي الفيزيائي، ولا بد لها من زوال.

6- الهشيم: يغطي الهشيم معظم سطح المنطقة، عدا بعض أجزاء السطوح الصخرية ويتكون من مواد خشنة تتمثل في صورة قطع من الحجارة مختلفة الأحجام والأشكال، وهي قريبة من موضع انفصالها عن الصخور الأصلية، وأخرى ناعمة تتكون من مسحوق نتاج التجوية، يقل حجمه عن الحصى، ويمكن نقله من مكان إلى آخر بواسطة الرياح أو المياه الجارية، ويسمى التربة: وهي تراكم لأجسام طبيعية، تحتل جزء من سطح الأرض، وتمد النبات بالحياة وخصائصها، نتيجة تكامل وتفاعل كل من المناخ والكائنات الحية التي تعيش فيها وتنمو وتتكاثر على صخور القاعدة المهيئة بوضعها التضاريسي، وعلى فترة من الزمن⁽²²⁾.

نتائج الدراسة:

1. يؤثر فعل التجوية بنوعيتها في تفكك الصخر وتحلله، وقد ينجم عنها تغيير الصخر أو تشكله بألوان جديدة.
2. تعد المنطقة ذات صخور متجانسة من التكوينات الميسونية البحرية للحجر الجيري، وحيد المعدن، الذي يعتبر بطيء التأثر بعمليات التجوية في الظروف الجافة.
3. إن مدى أثر فعل التجوية في الصخور يختلف من صخر إلى آخر تبعاً لعوامل محلية متعددة.

4. تشكل عمليات التجوية تفاعل بين المناخ شبه الجاف وطبيعة الصخور الجيرية، حيث تتضح معالم التجوية الميكانيكية تحت مؤثرات ظروف التغير الحراري.
5. يتناسب فعل التجوية الكيميائية على الأسطح الصخرية مع المواضع الكامنة للرطوبة حيث يتضاعف عملها على الصخور الشاطيء بفعل التأثيرات البحرية المختلفة.
6. أبرزت التجوية ظواهر جيومورفولوجية متنوعة ودقيقة الحجم في الصخور الجيرية، منها حفر التجوية وبتوءات الصخور وغيرها.
7. بشكل عام يعتبر فعل التجوية ضعيف التأثير على الأسطح الصخرية بالمنطقة لعوامل محلية منها المناخ المحلي والغطاء النباتي ومادة الريبوليث وقلة الفواصل والشقوق.
8. تعتبر نواتج التجوية كالهشيم والترية ذات أهمية اقتصادية في النشاط البشري.

الخاتمة:

التجوية أو التفكك فعل طبيعي على صخور الأرض قد لا يدركه الكثيرون، بالرغم من كثرة مشاهدته في الطبيعة التي تبدو على شكل جلاميد وحصى وترية متنوعة القوام والنسيج أو ما تخلفه من أشكال للصخور، تكون قد تخلفت من آثار الفعل، متمثلة في حفر التجوية أو الحافات الصخرية وغيرها. بين ثناياها بحثت الدراسة في أصولها، وقد كشفت عن أنواعها وعواملها وحددت نواتجها وآثارها ضمن مساحة دراستها، التي أشارت فيها إلى أهميتها الاقتصادية ومخاطرها الجيومورفولوجية، ولعل في هذا البحث دراسة افتتاحية لدراسات أخرى تالية تكون أكثر حظاً في توفر مواد البحث العلمي وأدواته الحقلية، بأمل أن تشمل كل ما يثير الأرض وصخورها على المدى الطويل من التجوية والتعرية وحركة المواد، وما تعود به نتائجها من فائدة تطبيقية للإنسان.

المراجع:

- 1- R. L.Hausenbuiller، علم التربة، ترجمة، فوزي محمد الدومي، البيضاء، جامعة عمر المختار، 2000، ص963.
- 2 - ادوارد جي، فردريك ك، الأرض، مقدمة للجيولوجيا الطبيعية، ترجمة، عمر سليمان وآخرون، مالطا، 1984، ص153.
- 3 - جودة حسين جودة، معالم سطح الأرض، بيروت، المكتب الجامعي الحديث، 1998، ص264.
- 4 - محمد صفي الدين، جيومورفولوجية قشرة الأرض، بيروت، دار النهضة للطباعة والنشر، 1991، ص130.
- 5 - حسن سيد ابوالعينين، أصول الجيومورفولوجيا، ط 11، الإسكندرية، مؤسسة الثقافة الجامعية، 2000، ص177.
- 6 - عويس أحمد الرشيد، محاضرات في الجغرافيا الطبيعية، القاهرة، جامعة عين شمس، ص 139.
- 7 - سباركس ب. و. الجيومورفولوجيا، ترجمة - ليلي عثمان، القاهرة، مكتبة الانطو المصرية، 1975، ص54.
- 8 - حسن سيد ابوالعينين، أصول الجيومورفولوجيا، مرجع سابق، ص532.
- 9 - المرجع نفسه، ص364.
- 10 - خالد رمضان بن محمود، الترب اللببية، طرابلس، الهيئة القومية للبحث العلمي، 1995، ص65.

- 11 - حسن رمضان سلامة، أصول الجيومورفولوجيا، عمان، دار المسيرة، 2004، ص125.
- 12 - الهادي ابولقمة، الجماهيرية دراسة في الجغرافيا، تحرير، سرت، الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع، 1995، ص146.
- 13 - جودة حسين جودة، معالم سطح الأرض، مرجع سابق، ص285.
- 14 - حسن رمضان سلامة، أصول الجيومورفولوجيا، مرجع سابق، ص129.
- 15 - الهادي ابولقمة، الجماهيرية دراسة في الجغرافيا، تحرير، مرجع سابق، ص80.
- 16 - ادوارد جي، فردريك ك، الأرض، مقدمة للجيولوجيا الطبيعية، ترجمة، مرجع سابق، ص22 - 24.
- 17 - محمد محسوب ، محمد راضي ، العمليات الجيومورفولوجية، القاهرة، دار الثقافة للنشر والتوزيع، 1998، ص27
- 18 - جون إي سنדרس، وآخرون، الجيولوجيا الفيزيائية، ترجمة، مجيد عبود جاسم، البصرة، جامعة البصرة، 1976، ص59.
- 19 - محمود محمد عاشور ، الجزء الأوسط من سهل الجفارة وجبل نفوسة، أطروحة دكتوراه، غير منشورة، القاهرة، جامعة عين شمس، 1979، ص84.
- 20 - محمد سامي عسل، الجغرافيا الطبيعية، القاهرة، مكتبة الانجلو المصرية، 1984، ص242.
- 21 - ادوارد جي، فردريك ك، الأرض، مقدمة للجيولوجيا الطبيعية، ترجمة، مرجع سابق، ص143.
- 22 - محمد محسوب ، محمد راضي ، العمليات الجيومورفولوجية، مرجع سابق، ص39.