الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

كلية هندسة البترول
Faculty of petroleum engineering

General Geology

الجيولوجيا العامة

الوحدة التاسعة

التجوية والظواهر التضاريسية المرافقة

لطلاب المرحلة الأولى

أ.د. محمد رياض الغزي

العام الدراسي

2019 – 2020

القوى الخارجية وأثرها في تشكيل سطح الأرض
التجوية والتعرية

إن العوامل الداخلية تؤثر في طبيعة التركيب الجيولوجي لقشرة الأرض وتنوعه من إقليم إلى آخر، كما تشكل كذلك نظام ميل الطبقات الصخرية الرسوبية وبعض الصخور المتحولة، وتؤدي إلى انبثاق كتل عظمى من اللافا والمصهورات البركانية فوق السطح. وعندما تظهر تلك الصخور بأشكالها المختلفة فوق سطح القشرة الأرضية تتشكل بدورها بفعل القوى الخارجية والتي تتمثل في عوامل التجوية والتعرية.
ومن ثم يمكن القول بأن القوى الداخلية تنبعث أساساً نتيجة للثورانات والاضطرابات التي تنتاب باطن الأرض والغلاف الصخري في حين تتشكل القوى الخارجية في نطاقي الغلافين الجوي والمائي وتؤثر عناصر هذه القوى الخارجية في الأشكال التضاريسية لسطح الأرض. ويقسم الباحثون العوامل الخارجية إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

أ- **عوامل التجوية- Weathering** :
ويقصد بها تلك العوامل التي تؤثر في تفكيك الصخر وتفتيته في موقعه وقد يتم ذلك ميكانيكياً أو كيميائياً.

ب- **عوامل التعرية- Erosional Processes:**
ويقصد بها تلك العوامل التي تعمل على نحت الصخر وإظهار ما يقع تحته، ولا يقتصر عملها على فعل النحت فقط بل ونقل الفتات الصخري من مكان إلى آخر وترسيبه في مناطق قد تبعد مئات الكيلومترات عن المناطق التي انفصلت عنها. ومن أهم هذه العوامل فعل المياه الجارية السطحية والمياه الجوفية والرياح، وفعل البحر وفعل الجليد.

أولاً: فعل التجوية

يمكن أن نميز فعل التجوية فيما يلي:

1) التجوية الميكانيكية: Mechanical Weathering

ويقصد بها تفكيك الصخر وتقسيمه إلى قطع فتاتية حطامية صغيرة الحجم دون أن يتغير تركيبه المعدني. وتتم التجوية الميكانيكية عملها في الصخر بواسطة عدة طرق مختلفة أهمها:

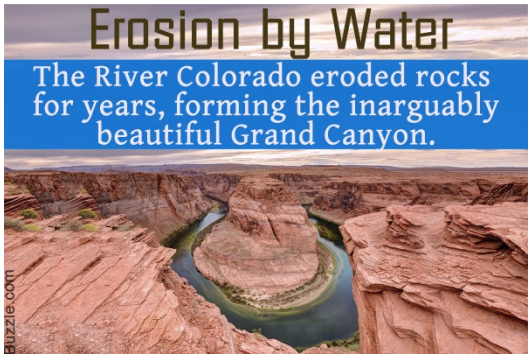
A. تعرض أسطح الصخور لدرجات الحرارة المتغيرة:
وخاصة في المناطق التي يعظم فيها المدى الحراري اليومي والمدى الحراري الفصلي. ففي تلك المناطق تتمدد الجزيئات المعدنية للصخر بفعل سخونة سطحه أثناء النهار أو خلال أيام الفصل الحار في حين تتكمش جزيئات الصخر من جديد عندما يبرد سطحه اثناء الليل أو خلال أيام الفصل البارد. وعلى الرغم من أن عملية تمدد جزيئات

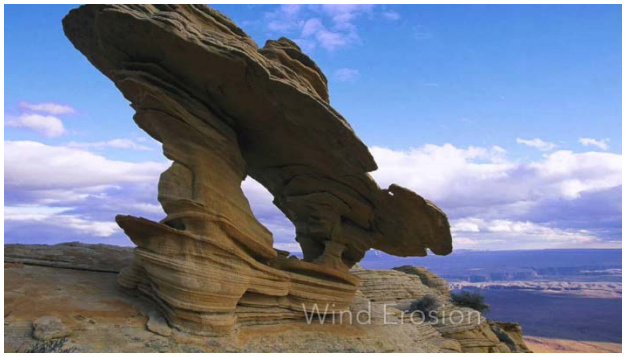
الصخر وانكماشها تحدث ببطء وبنسبة محدودة جداً إلا أن استمرار حدوث تلك العملية يؤدي إلى اتساع الشقوق الصخرية (خاصة في الأجزاء العليا من الصخر) وتساعد هذه العملية بدورها على كثرة وجود مناطق ضعيفة جيولوجية في الصخر من ناحية وتفتيت الصخر وتفكيكيه من ناحية أخرى.

وتعرف عملية تفكيك الصخر وتقشير أجزائه العليا تبعاً لتعرض درجات الحرارة المتغيرة باسم (تقشير الصخر) Exfoliation.

B. تعرض أسطح الصخور للبرودة الشديدة في المناطق الباردة:

فعندما تتعرض الصخور لفعل البرودة الشديدة أثناء الليل أو خلال الفصل البارد، قد يؤدي ذلك إلى تجمد المياه داخل فتحات الشقوق الصخرية، وتبعاً لزيادة حجم المياه بعد تجمدها يتحطم الصخر وتتسع فتحاته وتتفكك جزيئاته. وتعرف هذه العملية باسم تتابع فعل التجمد والذوبان في الصخر.





2) التجوية الكيميائية: Chemical Weathering

قد ينشط فعل التجوية الكيميائية في الصخور تحت الظروف الخاصة وهذه تتوقف أساساً تبعاً للعلاقة المتبادلة بين الغلاف الجوي والتكوين الصخري لأسطح المناطق المختلفة من القشرة الأرضية. وعند حدوث التجوية الكيميائية فإنها لا تؤدي فقط إلى تفتيت الصخر، بل ينجم عنها كذلك تحـــلـله وتحويل بعض من تكويناته المعدنية إلى معادن أخرى قد تكون مختلفة الشكل والتركيب عن حالتها الأصلية، وتعرف هذه العملية باسم (التحلل الصخري) Rock decay.

وتعمل غازات الغلاف الجوي على تحليل الصخر بواسطة التفاعل مع المعادن التي تدخل في تركيبه خاصة على طول أسطح الصدوع (الفوالق) وفتحات الشقوق الصخرية، وعلى الرغم من أن الغلاف الجوي يدخل في تركيبه نسبة كبيرة

من النيتروجين إلا أن هناك غازات أخرى نسبة وجودها بسيطة في الجو، ومع ذلك فتأثيرها الكيميائي في الصخر يعد تأثيراً شديداً، ومن بين هذه الغازات الأوكسجين وثاني اكسيد الكربون وبخار الماء.

وعندما يتفاعل الأوكسجين مع الصخر فإنه يؤدي إلى أكسدة معادن الصخر Oxidation، وتظهر غالباً الصخور باللون الأحمر دلالة على حدوث أكسدة المواد الحديدية بها، أما أثر فعل ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء في الصخور فيعرف باسم عملية (الكربنة) Carbonation وعملية (الاماهة) Hydration على التوالي. كما قد يؤدي وجود الماء كذلك إلى إذابة بعض معادن الصخر مثل كربونات الكالسيوم مثلاً، التي تمثل نسبة كبيرة من تركيب الصخور الكلسية، وتعرف هذه العملية الأخيرة باسم عملية الاذابة Solution.

ومن أحسن الامثلة التي توضح فعل التجوية الكيميائية هي تلك التي تتمثل في تشكيل الصخور الغرانيتية بهذه العوامل. فيتركب صخر الغرانيت من معادن اهمها الكوارتز، والفلسبار بنوعيه (الفلسبار الأرثوكلازي، سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم)، والفلسبار البلاجيوكلازي- سليكات البوتاسيوم والصوديوم أو الكالسيوم)، والبيوتيت والمسكوفيت ونسب صغيرة من بعض المعادن الاخرى ومنها الزركون والأباتيت. وعلى ذلك يختلف تأثير فعل التجوية الكيميائية في المعادن المكونة للغرانيت من معدن إلى آخر. فمثلاً لا يتأثر معدن الكوارتز بفعل التجوية ويبقى كما هو دون أن يطرأ عليه أي تغيير تبعاً لعظم صلابته وعدم قابليته للتحلل والذوبان، ويشابه الكوارتز كل من معدني الزركون والمسكوفيت.

بينما يعد الفلسبار الأرثوكلازي، قابل للتحليل الكيميائي، حيث يتكربن أو يتحلل إلى سيليكا قابلة للذوبان وملح البوتاسيوم، وقد تؤدي البقايا المتراكمة من السيليكا إلى تكوين مادة الصلصال. أما الفلسبار البلاجيوكلازي فيتحلل عادة إلى صوديوم واملاح الكالسيوم كما ويكون في النهاية كذلك مادة الصلصال، ويتضح من هذا المثال أن عمليات التحلل الكيميائي قد يتولد عنها ظاهرات جديدة في مواد الصخر، كما وقد ينجم عنها تكوين الصخر وتشكيله بالوان جديدة. ولفعل التجوية الكيميائية أثراً كبيراً في تحليل الطبقات الكلسية وتكوين ظاهرات عديدة بها مثل الكهوف والحفر الوعائية (كما في الشكل أعلاه).

ولا تستقر المفتتات الصخرية بعد تفكيكها ميكانيكياً أو تحللها كيميائياً في موقع ثابت، بل كثيراً ماتكون معرضة للحركة المستمرة من مكان إلى آخر بواسطة فعل كل من النقل والزحف والتساقط والانسياب والانزلاق. ومن ثم تتجه المفتتات الصخرية دائماً نحو المنحدرات السفلية أو تتدحرج وتنزلق من أعلى إلى أسفل، ويشكل طبيعة عملية تحركها العوامل الآتية:

أ- زيادة للضغط الواقع فوق المفتتات الصخرية تبعاً لازدياد تراكمها فوق بعضها.
ب- زيادة نسبة الرطوبة في الرواسب وارتفاع كمية المياه فيها.
ت- مدى فعل الجاذبية الأرضية.
ث- طبيعة الانحدار العام للسطح.
ج- اختلاف التركيب الصخري للمواد التي تتألف منها المفتتات الصخرية.

وتبعاً لهذه العوامل السابقة قد تكون حركة تدفق المفتتات الصخرية:

1- بطيئة وينجم عنها تكوين الظواهر التضاريسية الناتجة عن عمليات الزحف،
2- أو سريعة وتؤدي إلى تكوين ظاهرات تضاريسية أخرى تنتج عن عمليات التساقط والانزلاق.

(ثانياً) عوامل التعرية

إن التركيب الصخري ونظام البنية الجيولوجية لهما الأثر الأكبر في تشكيل مادة الصخر وتنوع صلابته من جزء إلى آخر، فإن عوامل التعرية هي التي تخلق فيه ظواهر تضاريسية جديدة تختلف مجموعاتها من حيث الشكل والنشأة تبعاً لتنوع فعل عوامل التعرية من مكان إلى آخر.
ومن ثم فعل عوامل التعرية أشبه بالنحات الذي يشكل مادة الصخر التي تقع تحت يديه إلى أشكال وصور مختلفة. ولا يقتصر فعل عوامل التعرية على نحت الصخر فقط بل تعمل كذلك على نقل المفتتات الصخرية من مكان إلى آخر، وترسيبها في مناطق أخرى قد تبعد كثيراً من المناطق التي نشأت فيها.

و سنشير هنا بإيجاز إلى نماذج مختارة لفعل بعض عوامل التعرية وتتمثل فيما يلي:
1- فعل المياه الجارية السطحية.
2- فعل المياه الجوفية.
3- فعل الرياح.
4- فعل البحر.
5- فعل الجليد.

1- المياه الجارية السطحية

يقصد بالمياه الجارية السطحية، المجاري النهرية ومجاري السيول شبه دائمة الجريان، والمياه المذابة من الجليد والتي تجري جميعها فوق سطح الأرض وتنحدر من المناطق المرتفعة المنسوب إلى الأخرى الأقل منسوباً.
وتعد الأمطار الساقطة المصدر الرئيسي لمياه المجاري النهرية. وتعمل المياه الجارية وبما تحمله من رواسب ومفتتات صخرية على شق مجرى النهر وحفره. وقد تتعرض مياه الأنهار لعوامل مختلفة تؤثر في اختلاف منسوب سطح مياه النهر من وقت إلى آخر وتتمثل فيما يلي:

أ- فعل التبخر: الذي يزداد أثره بشكل واضح في المجاري النهرية التي تخترق مناطق حارة جافة.
ب- تسرب بعض مياه مجرى النهر في الصخور المسامية وخلال فتحات الشقوق والفوالق الصخرية.
ت- دخول مجرى النهر مناطق حوضية أو بحيرات ثم يخرج منها أقل حجماً عما كان عليه من قبل.
ث- عبور المياه مناطق مستنقعية تعمل النباتات فيها على امتصاص نسبة كبيرة من مياه مجرى النهر، ولو أن بعض هذه المياه تخرج ثانية إلى الجو عن طريق النتح.

كما تختلف سرعة النهر ومدى اتساع مجراه تبعاً لما يلي:

أ- كمية المياه الممثلة في مجرى النهر.
ب- طبيعة اندفاع المياه في مجرى النهر والتيارات المختلفة فيه.
ت- مدى انحدار مجرى النهر.
ث- طبيعة المواد التي يحملها النهر وتنوع حجم المفتتات الصخرية.

ج- اختلاف التركيب الجيولوجي للمنطقة التي يمر فيها مجرى النهر.
ح- مراحل نمو مجرى النهر ووادیه سواء أكان في مرحلة الطفولة (بداية نموه) أو الشباب أو النضج.

تختلف كثافة المجاري النهرية، تبعاً للعلاقة بين كميات التساقط ومدى التبخر وكمية تسرب مياه الأنهار ونوع الصخور، ويمكن القول بأن كثافة المجاري النهرية تتعاظم بشكل ملحوظ في المناطق المعتدلة والمعتدلة الباردة نتيجة لعظم كميات التساقط، وقلة درجة التبخر، في حين تقل كثافة المجاري النهرية في المناطق الحارة الجافة تبعاً لندرة سقوط الامطار، ولعظم درجة التبخر. ومع ذلك قد تتكون أنهار كبرى في بعض أجزاء المناطق الحارة الجافة (مثل مجرى نهر النيل في مصر) خاصة إذا كانت الصحارى الحارة الجافة تتميز بعظم سقوط الامطار فوقها.
وتعمل المجاري النهرية على نحت الصخور وتعريتها عن طريق ما يعرف باسم النحت الرأسي للأنهار Vertical erosion حيث تعمل المياه الممتزجة بالمفتتات الصخرية على حفر مجرى النهر وتعميقه، وتؤدي إلى تكوين الحفر الوعائية في قاع مجرى النهر. وبمرور الوقت تتسع تلك الحفر وتلتحم مع بعضها ومن ثم يزداد تعمق مجرى النهر في الصخور، ويكوّن لنفسه وادياً عميقاً يبدو على شكل حرف (V) ويتمثل عادة بالأجزاء العليا من المجاري النهرية، أو بمجرى النهر عندما يكون نشيطاً.

وتنقل المجاري النهرية المفتتات الصخرية والرسوبيات بطرق مختلفة يمكن تلخيصها فيما يلي:
أ- نقل المواد التي تحللت من الصخر وأصبحت مذابة في المياه إلى الأجزاء الدنيا من النهر، وتختلف عملية التحلل الكيميائي للصخر تبعاً لعوامل مختلفة أهمها تنوع التركيب الصخري واختلاف درجة حرارة مياه مجرى النهر وشكل الدوامات والتيارات النهرية.
ب- تفتيت الصخور ميكانيكياً بفعل المياه ونقلها إلى المناطق الدنيا من النهر.
ت- نحت جانبي النهر وقاعه عن طريق احتكاك الرسوبيات المنقولة مع النهر، وينجم عن ذلك اتساع أرضية قاع النهر من جهة وتكوين الحفر الوعائية بقاع النهر من جهة أخرى.
ث- نقل المفتتات الصخرية عن طريق جرها وتدحرجها على طول امتداد قاع مجرى النهر. وتؤدي هذه العملية إلى تفتيت أطراف الكتل الصخرية وشطف حوافها وجوانبها، ومن ثم تصبح أصغر حجماً وتميل إلى الشكل المستدير أو البيضاوي.
ج- قد تنقل مع مياه النهر كذلك كميات هائلة من الرسوبيات صغيرة الحجم قليلة الكثافة عن طريق التعلق بمياه النهر لخفة وزنها. ومثل هذه المواد خفيفة الوزن دقيقة الحجم جداً، كثيراً ما تسير مع تيار النهر مسافات طويلة صوب الجزء الأدنى من النهر.

وتعمل المجاري النهرية على تكوين ظواهر تضاريسية مختلفة بفعل الترسيب النهري. وتساعد النهر على القاء حمولته وترسيب المواد التي ينقلها، العوامل الآتية:

أ- ضعف تيار النهر وقلة انحداره.
ب- جريان النهر فوق منطقة سهلية مستوية السطح، ضعيفة الانحدار.
ت- التقاء مجري النهر بمجاري نهرية أخرى تؤدي إلى تجمع الرواسب في منطقة الإلتقاء النهري.
ث- دخول النهر منطقة حوضية او بحيرة ما، ومن ثم قد يعمل النهر على ترسيب حمولته في قاع البحيرة أو على شواطئها.
ج- ضعف قوة النحت الرأسي للنهر عندما يقترب منسوبه من مستوى سطح البحر الذي يصب فيه، ومن ثم يترنح مجراه من موقع إلى آخر، ويرسب ما يحمله من مواد ومفتتات صخرية.

2- المياه الجوفية

لا يقتصرفعل المياه الجوفية على تشكيل باطن القشرة الأرضية فقط، بل تساهم كذلك في خلق ظواهر جيومورفولوجية متنوعة فوق سطح قشرة الأرض. ويظهر عظم فعل المياه الجوفية في المناطق التي تتألف من الصخور الكلسية والحوارية، حيث تعمل هذه المياه على تكوين عدة ظواهر متنوعة منها الحفر الضحلة، والمغارات والمنخفضات، هذا إلى جانب عملها في تكوين ظواهر أخرى تنشأ في جوف القشرة الصخرية ومنها الكهوف بمظاهرها وأشكالها المختلفة ومجاري الأنهار الجوفية أو المفقودة ويمكن أن نقسم المياه الجوفية وفقاً لتنوع مصادرها وأماكن وجودها إلى الأقسام الآتية:

1- مياه جوفية عذبة:

وقد يتمثل مصدرها في مياه المطار الساقطة أو مياه الثلوج المذابة، وتعرف باسم (المياه الجوية) وذلك لارتباط نشأتها بعوامل الجو. وتعتبر المياه الجوية المصدر الرئيسي للمياه الجوفية. وتتوقف طبيعة عملية تسرب المياه الجوفية في صخور القشرة الأرضية تبعاً لما يلي:

- درجة مسامية الصخر، فإذا كان الصخر نفوذاً للمياه وتكثر به الفراغات المتسعة بين حبيباته، فإن ذلك يساعد على تسرب المياه فيه، ويساعد على تجمعها في هذه الطبقة الصخرية إذا كانت الأخيرة ترتكز فوق طبقة صخرية أخرى غير نفوذة للمياه.
- مدى تاثر الصخر بالشقوق والفواصل والفوالق.
- طبيعة ميل الطبقات الصخرية.

2- مياه جوفية عذبة أو معدنية:

وقد تختزن في الطبقات الصخرية المسامية تبعاً لتجمع بعض المياه الساخنة المنبثقة أثناء حدوث الثورات البركانية، وتعرف باسم (مياه الماغما).

3- مياه جوفية مالحة:

وهي التي قد تتسرب من البحار والمحيطات إلى اليابس المجاور تبعاً لميل الطبقات الصخرية المسامية في عكس اتجاه انحدار الشاطئ. وتعرف باسم (المياه المحيطية).

4- مياه جوفية عذبة :

قد تتسرب من مياه المجاري النهرية عندما تشق الأخيرة صخوراً عظيمة المسامية ونفوذة للمياه، كما هو الحال بالنسبة للمياه الجوفية التي تتسرب من مجرى النيل إلى وادي منخفض النطرون خلال وقت الفيضان.

وعلى الرغم من أن هناك بعض الطبقات الصخرية التي تتميز بأنها عظيمة المسامية إلا أنها قد تكون في نفس الوقت غير حاوية للمياه الجوفية، وذلك يرجع إلى عدم إنحباس الأخيرة بواسطة صخور صماء غير مسامية تعمل على إيقاف رحلة المياه إلى جوف قشرة الأرض أبعد من العمق الذي وصلت إليه.

وعندما تتجمع المياه الجوفية في باطن قشرة الأرض عند منسوب دائم فيعرف هذا المنسوب بمستوى الماء الجوفي ويختلف عمق مستوى الماء الجوفي من مكان إلى آخر حيث إنه في المناطق غزيرة الأمطار وتلك المجاورة للبحار قد يكون قريباً من سطح الأرض، أما في المناطق الجافة فغالباً ما يكون مستوى الماء الباطني على أعماق بعيدة من سطح الأرض. ويتميز مستوى المياه الجوفية بأنه ليس ثابتاً، بل هو يختلف من حيث أعماقه من مكان إلى آخر كما يختلف في المنطقة الواحدة من فصل إلى آخر. فإذا كان مصدر المياه الجوفية يتمثل في مياه الأنهار السطحية، فغالباً ما يرتفع منسوبه وقت فيضان هذه الأنهار ثم ينخفض منسوبه ثانية إبان التحاريق.
أما إذا كان مصدر المياه الجوفية خلال فصل سقوط الأمطار وينخفض ثانية خلال فصل الجفاف. فيمكن أن نميز ثلاث طبقات مختلفة ، تبعاً لاختلاف مدى تشبع الطبقات الصخرية بالمياه الجوفية وهي:

1- **طبقية حاوية للمياه الجوفية:**

وهي عبارة عن الطبقات الصخرية عديمة التشبع. وقد تكون هذه الطبقة غير مسامية لا تسمح بتسريب المياه في جوفها أو قد تكون عظيمة المسامية إلا أنه تبعاً لإنفاذها للمياه من جهة ووقوعها في أعماق الطبقات الصخرية من جهة أخرى، تساعد على تسرب المياه خلال جزيئاتها دون أن تختزن المياه فيها، بل تستمر المياه الجوفية في رحلتها صوب الأعماق البعيدة في جوف صخور قشرة الأرض.

2- **طبقة متقطعة التشبع:**

وقد تقع هذه الطبقة أسفل الطبقة الصخرية السابقة، وتنحصر بين أعلى منسوب يصل إليه مستوى المياه الجوفية عقب فترة إزدياد حجم المياه، وأدنى منسوب يهبط إليه عندما تقل كمية المياه في جوف الصخر.

3- **طبقة دائمة التشبع:**

وهي عبارة عن خزان طبيعي للمياه الجوفية تتجمع فيه المياه بعد رحلتها الطويلة خلال الطبقات، وتستقر في هذا الخزان خاصة إذا كان قاعه يتألف من طبقة صخرية صماء تمنع تسرب المياه إلى الطبقات الأخرى السفلية.

مظاهر المياه الجوفية:

على الرغم من انسياب المياه الجوفية إلى أعماق بعيدة في جوف صخور قشرة الأرض إلا أنها قد تظهر فوق سطح الأرض من جديد بصور مختلفة. ويساعد ظهورها فوق سطح الأرض حركتها الدائمة في جوف الصخور والتي ينجم عنها كذلك تشكيل كل من جوف قشرة الأرض وسطحها بظواهر جيومورفولوجية متباينة. ومن أهم هذه المظاهر أو الصور التي تبدو بها المياه الجوفية على سطح الأرض ما يلي:

1- **الآبار الارتوازية: Artesian Wells**

ويقصد بها تلك الآبار العميقة التي تحفر في الصخور للوصول إلى المستوى الدائم للمياه الجوفية، ومن ثم تندفع المياه من أسفل إلى أعلى طبيعياً (بواسطة الضغط الهيدروستاتيكي – نظرية الأواني المستطرقة) إلى أن تظهر فوق السطح.
وعلى الرغم من ان هذه الآبار تدخل الإنسان في صنعها إلا أن وجودها يرتبط عادة بالمياه الجوفية التي تتجمع في خزانات الثنيات الصخرية المقعرة من ناحية، كما أنها تعتبر مظهراً من مظاهر المياه الجوفية على سطح الأرض من ناحية أخرى. ومن أمثلة هذه المجموعة من الآبار تلك التي تتمثل في اقليم أرتوا في شمال فرنسا، والآبار الارتوازية في السهول الوسطى الاسترالية وفي السهول الوسطى بالولايات المتحدة الاميركية.

2- الينابيع Springs

تتكون الينابيع عندما تنبثق المياه الجوفية من الطبقات الحاوية للمياه أو من خزاناتها الجوفية انبثاقاً طبيعياً دون أن يكون للإنسان أي أثر في ذلك. وقد تتركب مياه الينابيع من مياه معدنية خاصة إذا تجمعت فوق تكوينات صخرية من السهل إذابة بعض تكويناتها المعدنية. وتعمل المياه الجوفية خلال رحلتها الطويلة في باطن قشرة الأرض على إذابة كثير من معادن الصخور، ومن ثم ترتفع نسبة المعادن في المياه كما ترتفع كذلك نسبة الكالسيوم وتصبح مياه كلسية عسرة.
وتظهر الينابيع فوق سطح الأرض إذا ما تقطعت الطبقة الحاوية للمياه الجوفية بواسطة جوانب نهرية عميقة، كما قد تظهر الينابيع تحت أقدام الحافات الصخرية وعلى أطول أسطح الصدوع (الانكسارات) أو عندما يعترضها سدود بركانية عرضية أو افقية.

❖ **عسر الماء (أو قساوة الماء)** *ar.wikipedia:*
هو تعبير يستخدم لوصف حالة الماء عندما تكون نسبة الأملاح المعدنية فيه عالية، والتي غالباً ما تكون أملاح الكالسيوم (Ca^{+2}) والمغنسيوم(Mg^{+2}) ، بالإضافة إلى بعض الأملاح المنحلة من البيكربونات والكبريتات .يوجد الكالسيوم في المياه العسرة على شكل كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) حجر كلسي (أو كبريتات الكالسيوم .($CaSO_4$) أما المغنسيوم فيأتي على شكل معدن الدولوميت .والماء العسر هو عادة غير ضار بالصحة ولكن يمكن أن يتسبب بمشاكل خطيرة في البيئات الصناعية ، حيث يتم رصد عسر المياه لتجنب حدوث أعطال مكلفة في المراجل وأبراج التبريد ، وغيرها من المعدات التي تعالج المياه.
أبرز مظاهر عسر الماء هو عدم مقدرته على تشكيل رغوة عند استخدامه مع الصابون أو معجون الأسنان.

❖ **الماء اليسر soft**
هو قليل المحتوى من الأملاح وبخاصة الصوديوم والمعادن أو الكيمياويات الأخرى وهو قليل المحتوى من الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد. والمياه الميسرة تفضلها كل الناس لأن لها القدرة على اذابة الكثير من العناصر المعدنية والكيمياوية وبخاصة لأمور الغسيل ولكن قد تكون من بين هذه المعادن أنواع ذات تأثير سلبي على صحة الانسان كالرصاص والكادميوم والرادون واحتوائها على الكثير من الممرضات والأمراض وتجب هنا المراقبة وأخذ الحيطة واجراء الفحوصات اللازمة لتفاديها لأن هذه المياه تستخدم كمياه صالحة للشرب ويمكن أن تتسبب بالكثير من الاشكالات الصحية الخطيرة لو لم يتم اخضاعها للفحوصات للتعرف على طبيعتها وقيمتها الصحية بحسب معايير الأمان المطلوبة .وعندما لا تتوفر معايير الأمان فهذه المياه تكون سيئة للاستخدام البشري والزراعي والحيواني وكل ما يمت بصلة وطبيعة الكائنات الحية, هذا وان المياه اليسرة تنعم البشرة وتجعلها أكثر نقاء وشفافية

3- النافورات والينابيع الحارة:

دلت الدراسات المختلفة على أنه كلما كانت المياه الجوفية آتية من أعماق بعيدة ارتفعت درجة حرارتها، ويرجع ذلك إلى عظم ارتفاع درجة حرارة باطن الأرض في الأعماق البعيدة عن السطح.

ومن ثم تبين بان مياه الينابيع الحارة لابد وأن تكون قد تجمعت في أعماق بعيدة من سطح الأرض أو فوق صخور ساخنة، وتؤثر هذه المياه الساخنة تبعاً لحركتها من مكان إلى آخر في تحلل بعض معادن صخور قشرة الأرض ويرجع ذلك إلى أن الماء الساخن أعظم قدرة من الماء البارد على عذابة المواد المعدنية التي تتألف منها الصخور من ناحية، كما وأن غاز ثاني أكسيد الكربون الذي تكتسبه المياه الجوفية عادة من الغازات التي لها مقدرة كبيرة على إذابة بعض المواد المعدنية من ناحية أخرى.

3- فعل الرياح (في مناطق الصحارى الحارة الجافة)

يعد فعل الرياح من أهم عوامل الحت دائمة الأثر في تشكيل المظهر الجيومورفولوجي العام لمعظم أجزاء سطح الأرض عامة، وبالمناطق الصحراوية الحارة الجافة خاصة، وذلك يرجع إلى ندرة الغطاء النباتي من جهة وعدم تماسك الحبيبات الصخرية لسطح الصحراء من جهة أخرى، ومن ثم لا يعرقل فعل الرياح أي عوائق كبرى تحد من عملها. وعلى ذلك تعزى نشأة الغالبية الكبرى للظواهر التضاريسية بمناطق الصحاري الحارة الجافة إلى فعل الرياح كعامل هدم ونقل وترسيب.
ويشاهد ظواهر تضاريسية متنوعة مثل الجروف الصخرية، والموائد الصخرية الصحراوية، والأعمدة الصحراوية، والكثبان الرملية، ... وجميع هذه الظواهر تعزى أساساً إلى أثر فعل الرياح في نحت وتشكيل صخور مختلفة التركيب الجيولوجي :

ولا يتوقف مجال عمل الرياح على الصحراء فقط بل تتكون بعض الظواهر الناجمة عن فعلها في مناطق اخرى بعيدة عن النطاق الصحراوي نفسه. وعلى سبيل المثال تتأثر السواحل الشمالية في مصر بالعواصف الترابية الصحراوية والرمال التي تجلبها رياح الخماسين من أواسط الصحراء الكبرى. وتتأثر السواحل الجنوبية لفرنسا كذلك بفعل الرياح المحلية التي تهب من صحراء شمال غرب أفريقية وترسب كميات هائلة من الرمال على طول السواحل الجنوبية لفرنسا المطلة على حوض البحر المتوسط.

ويلاحظ أن حمولة الرياح من المفتتات الصخرية تختلف من حيث الشكل والحجم كذلك. وتبعاً لثقل المفتتات الصخرية الخشنة كبيرة الحجم نسبياً، فهي تعد أول من يتعرض للسقوط والتراكم عندما تضعف قوة الرياح، وبذلك لا تبعد كثيراً عن المصادر الأصلية التي اشتقت منها.
أما حبيبات الأتربة والرمال دقيقة الحجم جداً،فهي تبقى مدة طويلة معلقة في الجو وتحمل مع الرياح مسافات بعيدة عن المصادر التي اشتقت منها.

1- أهم الظواهر الجيو مورفولوجية الناتجة تبعاً لأثر فعل الرياح كعامل نحت أو هدم:

يمكن القول ان فعل الرياح كعامل هدم ينحصر في نقطتين هما:

1. حمل الرياح ذرات الرمال والمفتتات الصخرية ونقلها من مصادرها الأصلية إلى مناطق أخرى بعيدة تبعاً لسرعة الرياح ومدى قدرتها على حمل هذه المفتتات ويلاحظ أن قدرة الرياح على نقل المفتتات الصخرية تعظم عندما يشتد الجفاف ويندر وجود الغطاءات النباتية وتعرف هذه العملية باسم (هبوب الرياح)
2. اثناء هبوب الرياح المحملة بالرمال واصطدامها بالحواف الصخرية وبما يصادفها من عوائق تعمل على تعرية صخور الأخيرة تدريجياً. ويلاحظ أن فعل النحت أو الهدم يشتد في الأجزاء السفلى من الحواف الصخرية وذلك ليس فقط بسبب ليونة الصخر في الأجزاء السفلى ولكن كذلك تبعاً لعظم حمولة الرياح من ذرات الرمال وحبيبات الصخر المفتتة خاصة في الأجزاء السفلية منها والتي تقترب من سطح الأرض.

وتبعاً لإصطدام هذه الرمال واحتكاكها بقوة في الصخر،فإن ذلك يؤدي إلى تكوين مناطق ضعف جيولوجية في الطبقات مما قد يعمل في النهاية على تعريتها وتآكلها بالتدريج.

وتعرف هذه العملية باسم **فعل كشط أو احتكاك الرياح**

ويمكن أن نلخص أثر فعل احتكاك الرياح في تكوين بعض ظواهر السطح في المناطق الصحراوية فيما يلي:

1- تكوين الأسطح الصخرية المصقولة خاصة في الطبقات الجيرية نتيجة لتوالي إحتكاك الرياح بأسطح هذه الطبقات. فتعمل الرياح المحملة بالرمال على اكتشاف مناطق الضعف الجيولوجي في الصخر. ومن ثم تحفر أو تعمق الأجزاء اللينة من أسطح الصخر حتى يتكون فوق السطح الأخير حزوز أو خنادق طويلة يتراوح عمق كل منها نحو بضعة سنتيمترات وتتبع نفس الإتجاه الذي تهب منه الرياح

2- يتشكل الحصى والحصباء (صغار الحجارة : حصيات) في المناطق الصحراوية الحارة الجافة تبعاً لاحتكاكه بالرياح المحملة بالرمال ولذا يبدو مصقولاً أملس السطح. ويطلق على عملية تشكيل الحبيبات الصخرية بواسطة الرياح اسم Ventifact ، كما تعمل الرياح كذلك على كشط الأجزاء المحدبة من الحبيبات الصخرية التي تواجه إتجاه هبوب الرياح. وقد يكشط الحصى من عدة أوجه إذا ما تقلب وتعرض عدة مرات متوالية لفعل إحتكاك الرياح به. وعلى ذلك تبدو الحبيبات الصخرية، طويلة الشكل وكثيراً ما تشبه اللوز البرازيلي. ويطلق على الحصى والحصباء في هذه الحالة تعبير Pebbles Wind- worn .

تبعاً لإحتكاك الرياح المحملة بالرمال بأسطح الصخور مختلفة التركيب الجيولوجي أو بمعنى آخر تلك التي تتركب من طبقات صخرية صلبة متعاقبة فوق صخور لينة، قد ينتج عدة ظواهر جيومورفولوجية منوعة تشكل المظهر العام لسطح الصحراء. فبواسطة فعل احتكاك الرياح بالصخور تتسع جوانب الأودية الصحراوية وفي مراحل متعاقبة قد تتكون كل من الموائد الصخرية والأعمدة الصحراوية أو قصور البنات. وتنتشر في ولاية يوتاه بالولايات المتحدة الأمريكية ظواهر جيومورفولوجية فريدة تمثل مجموعات مختلفة من الموائد الصخرية والأعمدة

الصحراوية التي نتجت بفعل أحتكاك الرياح المحملة بالرمال في الصخور اللينة ونحتها، وبالتالي بقاء الصخور الصلبة على شكل أعمدة ومصاطب صخرية.

3- تكوين تجويفات جانبية عظمى في الصخور في المناطق التي تتألف من طبقات صخرية أفقية صلبة متعاقبة فوق أخرى لينة، قد ينتج عن إحتكاك الرياح في الصخور السفلى اللينة. وتبعاً لاستمرار تآكل الصخور اللينة تتبقى أجزاء من الصخور الصلبة العلوية على شكل رأس المطرقة. وتعرف هذه الظاهرة بإسم (زوجين)، ويتراوح ارتفاع الغطاءات الصلبة فوق منسوب سطح الأرض المجاور من 50 إلى 150 قدم.

4- تتكون الظاهرة المعروفة بإسم (اليادانج) التي تشبه ضلوع الحيوان ويتراوح أرتفاعها من 30 -120 قدم فوق سطح الأرض المجاور، وتنفصل عن بعضها بواسطة خوانق هوائية عميقة تحفر في الصخور اللينة وذلك إذا تميزت الظاهرة السابقة بتنوع أشكال الغطاءات الصلبة تبعاً لشدة فعل إحتكاك الرياح فيها من جهة وتآكل الصخور اللينة السفلى بسرعة من جهة أخرى.

وقد تتعرض هذه الخوانق الأخيرة للامتلاء التدريجي بفعل تراكم المفتتات الصخرية التي تتساقط من الجوانب الصخرية المجاورة. وتنتشر مثل هذه الظاهرة في صحاري أواسط آسيا.

كما قد تظهر كذلك فوق معظم منحدرات المناطق الصحراوية الجبلية في منطقة أمتامفونا في جنوب ناتال بجنوب أفريقة.

5- ظاهرة (ثقوب أو كهوف الرياح): تبعاً لاختلاف التركيب الصخري في الطبقات التي تتعرض لفعل احتكاك الرياح المحملة بالرمال، حيث لا يتساوى مدى فعل الرياح على طول كل جزء من أسطح الصخور، بل تتجوف وتتعمق الأجزاء الرخوة اللينة من الصخور وتبدو على شكل حفر أو ثقوب

جوفية في الصخور بينما تبقى أجزاء الصخر الصلبة على شكل فواصل وأعمدة تفصل بين هذه التجويفات. تتشكل هذه الظاهرة. ومن أجمل أمثلتها في مصر، ثقوب الرياح التي تتكون في الصخور الرملية عند رأس الدب بالصحراء الشرقية قرب خليج السويس.

6- تكوين المنخفضات: وهي من أهم نتائج فعل احتكاك الرياح في الصحاري المصرية ويطلق عليها اسم (الواحات) ومنها منخفض الخارجة والداخلة والفرافرة والبحرية وسيوه والقطارة في الصحراء الغربية في مصر.

2- أهم الظواهر الجيومورفولوجية الناتجة تبعاً لأثر فعل الرياح كعامل ترسيب أو بناء:

تتشابه الرياح مع المياه الجارية في أنها قد تفقد سرعتها بالتدريج أو فجائياً، وينجم عن ذلك عرقلة او إيقاف تأثيرها كعامل نقل ونحت ثم فتح المجال لترسيب حمولتها من المفتتات الصخرية المختلفة على شكل ظواهر جيومورفولوجية متنوعة.

وقد تكون بعض هذه الظواهر غير ثابتة بحيث إنها تتلاشى ثانية بمجرد هبوب رياح شديدة مرة ثانية، بينما يمثل بعضها الآخر ظواهر ثابتة تبعاً لعظم حجمها من جهة وتثبيت جذورها في الأرض بواسطة انضغاطها أو تماسك أجزائها بفعل المياه أو الحشائش التي قد تنبت فيها من جهة اخرى. وأهم الظواهر الرئيسية الناجمة عن فعل ترسيب حمولة الرياح هي تلك المعروفة باسم الكثبان الرملية .

ويطلق لفظ (كثيب) على التلال الرملية التي يختلف ارتفاعها من بضعة أقدام إلى عشرات الأمتار وتتكون أساساً من رمال مستديرة الحبيبات. وقد يكون العامل المساعد في بداية تكوين الكثيب هو تعرض الرياح الى حاجز او مانع في طريق اتجاهها وذلك مثل تل أو شجرة أو بناء ما، تعمل على عرقلة حركة الرياح، وإرغامها على ترسيب حمولتها من الرمال، أو إلى ضعف سرعة الرياح وعدم قدرتها على نقل ماتحمله من رواسب.

أما إذا تميزت الرياح بشدة سرعتها من ناحية وقدرتها على نقل كميات عظمى من الرمال ثم تتوقف حركتها فجأة، فقد تتكون كثبان رملية عظيمة الحجم يتراوح ارتفاعها من 200 – 500 قدم كما هو الحال في بعض اجزاء من الصحراء الكبرى في افريقية وصحراء كولورادو في اميركا الشمالية. ولكن معظم هذه الكثبان حتى الكبرى منها، تتزحزح بفعل حركة الرياح. وهناك حقيقة أخرى يجدر ان نشير إليها وهي انه لا يجب أن نتخيل أن سطح الصحراء يتكون من سهول رملية او كثبان رملية فقط، بل هو في الحقيقة يتشكل بظواهر جيومورفولوجية أخرى مختلفة مثل الأرفة الصحراوية والصحاري الحصوية والصخرية.

وقد تبين أن نسبة الغطاءات الرملية في صحراء بلاد العرب لاتزيد عن ثلث مساحتها الكلية بينما تبلغ مساحة الغطاءات والكثبان الرملية في الصحراء الكبرى نحو 10% من مساحتها الكلية.

3- كيفية تكوين الكثبان الرملية واختلاف أشكالها:

عندما تضعف قوة الرياح قد تتساقط حمولتها من الرمال وهذه تتجمع فوق بعضها ويتشكل مظهر تجمعها العام بواسطة حركة الرياح واتجاهاتها المختلفة، وتتراكم عادة حبيبات الرمال على الجانب المواجه لاتجاه الرياح، ثم قد

يتبقى بعضها في أعالي الكثيب ويتدحرج البعض الآخر على الجانب الآخر الظاهر للرياح، وتتشكل عملية تدحرج الرمال وتزحلقها بفعل قوة الجاذبية الأرضية. ومن ثم تعمل الرياح على تسوية الجانب المواجه لهبوبها أما الجانب المواجه للكثيب الذي تنحدر حبيبات الرمال إلى ما تحت أقدامه بفعل الجاذبية الأرضية فيتراوح انحداره من 20% إلى 30%. ومن ثم فإن أولى مراحل تكوين الكثيب هو تجمع الرواسب على الجانب المواجه للرياح أكثر منه فوق الجانب المظاهر لها. وبالتالي يزداد ارتفاع الكثيب تدريجياً.

وفي المرحلة الثانية تنحدر الرمال من اعالي الكثيب بفعل الجاذبية الأرضية تحت أقدام الجانب الظاهر لاتجاه الرياح، وتكوّن انحداراً شديداً إذا ما قورن بدرجة انحدار السطح المواجه لاتجاه الرياح . وفي المرحلة الثالثة حيث يظهر الاختلاف واضحاً بين كل من الانحدار البسيط المواجه للرياح والانحدار الشديد المظاهر لها تتجمع الرمال على الجانب الأول وكذلك فوق أعاليه، وتنحدر تدريجياً بفعل الجاذبية على الجانب الآخر الذي يتميز كذلك بتأثره بفعل الدوامات الهوائية التي تساهم بدورها على ارتكاز بعض حبيبات الرمال فوق قمة الكثيب وتحول دون هبوطها تحت اقدام الانحدار المظاهر لاتجاه الرياح. هذا فضلاً عن أن الرياح تساعد على تكوين فجوة عميقة في ظهر الانحدار وبذا يبدو الأخير على شكل مقعر ويكتسب لنفسه ذراعين طويلين يمتدان مع نفس اتجاه الرياح الدائمة .

وإذا كان الكثيب منفرداً أو منعزلاً، تعمل الرياح على زحزحة جانبي الكثيب بدرجة أسرع منها بالنسبة للقسم الأوسط منه، وبذا يتخذ الكثيب شكلاً هلالياً ويعرف باسم الكثيب الهلالي أو البرخان (Cresntic Dune or Barchan)، وتتكون مثل هذه الكثبان الأخيرة في المناطق التي تتميز بدوام هبوب الرياح في اتجاهات محددة ثابتة. وكثيراً ما تتميز أسطح هذه الكثبان بتموجات ظاهرية يبلغ عمقها نحو 3 (إنش) تدل على اثر حركة الرياح فوق أسطح الكثيب ويطلق عليها علامات حركة الرياح Ripple Marks.

اما إذا اختلف اتجاه الرياح من فصل إلى آخر، فلا يساعد ذلك على تكوين الكثبان الهلالية، بل كثيراً ما تبدو التراكمات الرملية متقاطعة مع اتجاه الرياح في زوايا مختلفة كما قد تظهر كذلك على شكل سيوف طويلة رملية وتختلف أشكال هذه السيوف الاخيرة تبعاً لعدة عوامل منها:

1- اختلاف المواد التي تتألف منها السيوف الرملية.
2- اتجاه الرياح.
3- طول الزمن الذي تكونت خلاله هذه السيوف.
4- طبيعة شكل سطح الأرض الأصلي الذي تراكمت فوقه الرمال.

ويبلغ ارتفاع بعض السيوف الرملية في صحراء ايران نحو 250 متراً فوق مستوى سطح الأرض المجاور، وتمتد لمسافات قصيرة تتراوح من 1 – 3كم بينما تمتد السيوف الرملية في الصحراء الغربية لمصر لنحو عدة مئات من الكيلومترات.

4- فعل البحر

كل (شواطئ) البحر وسواحله الحالية ما هي إلا نتاج التطور الذي حدث وما زال يحدث نتيجة لتقدم البحر وتقهقره عن الأرض المجاوره له. فيؤدي إرتفاع مستوى سطح البحر أو إنخفاض الأرض إلى إنغمار أجزاء كبيرة من ظاهرات سطح الأرض والتي قد تكون نشأت أصلاً بفعل عوامل التعرية الهوائية الأخرى. وإنغمار الأرض تحت مياه البحر بهذا الشكل قد يساعد على تكوين (سواحل) بحرية أهم ما يميز مظهرها الجيومورفولوجي العام هو تشكلها بواسطة الخلجان، والمضائق البحرية والمعابر الأرضية.

وقد يفصل بين هذه الظواهر المختلفة أشباه الجزر الأرضية. وعلى طول السواحل السهلية الإنخفاضية قد تنشأ كذلك خلجان واسعة عظيمة الأمتداد مثل خليج أستراليا الكبير في جنوب أستراليا وخليج هدسن في شمال قارة أمريكا الشمالية. أما إذا انخفض منسوب سطح البحر أو ارتفع سطح اليابس والرفوف القارية المجاورة أو كليهما معاً، فينجم عن هذه العملية تقهقر أو تراجع البحر خلفياً، وتظهر بالتالي أراض جديدة تضاف إلى اليابسة كانت تمثل من قبل أجزاءً من قاع البحر. وكثيراً ما تغطى هذه الأراضي الجديدة (خاصة إذا كانت حديثة العمر الجيولوجي) بكميات هائلة من الرسوبيات البحرية، ويطلق عليها تعبير السواحل البحرية المرتفعة. والمدرجات البحرية.

وإلى جانب العوامل المختلفة التي أدت إلى نشأة السواحل البحرية، يلاحظ أن الظاهر الجيومورلوجية الساحلية، تتنوع من حيث الشكل والحجم والتوزيع الجغرافي تبعاً لما يلي:

أ- تأثير فعل كل من المد والجزر والتيارات البحرية والأمواج.
ب- طبيعة الساحل وتركيبه الصخري.

ويعتبر عامل إختلاف التركيب الصخري من أهم العوامل التي تشكل الاطارالجيومورفولوجي العام لخط الساحل.فإذا كانت الجروف البحرية التي تشرف على خط الساحل تتألف من طبقات صخرية صلبة متراكبة فوق طبقات صخرية

لينة، وأنها تمزقت وتشققت بفعل الشقوق الكثيفة فتتآكل الصخور اللينة بسرعة بفعل تكسر الأمواج وتلاطمها، وسرعان ما تنزلق الكتل الصخرية أو تنهار وتتساقط من أعالي الجروف البحرية لتقدم إلى البحر رسوبيات قارية جديدة تتجمع فوق أرضية قاعه.

ويعظم فعل التعرية وتتآكل الجروف البحرية بسرعة إذا كانت المادة اللاحمة لصخور هذه الجروف ضعيفة التماسك، كما هو الحال في معظم سواحل كل من شرق إنكلترا، وسسكس، وهامبشير. فعندما تتعرض جروف هذه السواحل لفعل التعرية البحرية تنهار صخورها بسرعة ذلك لأنها تتألف من صخور بليوسينية لينة غير متماسكة.
وإذا أستمر فعل الأمواج في تفتيت صخور الساحل فلا بد وأن تنقل هذه المفتتات بعيداً عن أقدام الجروف البحرية. أما إذا لم تستطيع الأمواج وحركة التيارات البحرية على حمل هذه المفتتات، وبالتالي تكون الأخيرة حاجزاً حصوياً يعرقل فعل نحت الأمواج وتخفيف مدى هدمها لصخور الساحل.

وإذا كانت الجروف البحرية تتركب من طبقات لينة عظيمة السُمك وتقع أسفل طبقات صخرية صلبة تكثر فيها الشقوق الطويلة، فقد يساعد هذا التركيب الجيولوجي على حدوث عمليات الإنزلاق الأرضي والتي تساعد بدورها على تراجع الجروف البحرية، واستمرار تآكلها بفعل التعرية البحرية. وتتمثل هذه الحالة في بعض أجزاء من سواحل إقليم كيثينيس بإنكلترا وكذلك في بعض أجزاء من ساحل منطقة سيتون في ديفون شير بجنوب غرب إنكلترا. وتبعاً لتعدد العوامل التي تؤثر في تشكيل المظاهر الجيومورفولوجية على طول سواحل القارات، واختلف مظهرها العام من جزء إلى آخر تبعاً للظروف المحلية الخاصة بكل ساحل. وعندما يعظم فعل تراجع الجروف خلفياً، تترك أمامها سهولاً أو مدرجات بحرية مستوية السطح، كما هو الحال بالنسبة للمدرجات البحرية في منطقة لاجولا، بساحل كاليفورنيا.

وإذا كانت الجروف البحرية تتركب من طبقات صخرية غير متجانسة ومختلفة الصلابة، سرعان ما تعمل الأمواج على نحت الصخور اللينة، ومن ثم تكتشف مناطق الضعف الجيولوجي فيها، وبمرور الزمن تتسع هذه الفتحات وتتكون ظواهر خاصة مثل الفجوات البحرية والكهوف البحرية.
وقد تعمل الأمواج على إستمرار تآكل الصخور اللينة، ومن ثم يختل توازن الصخور العليا الصلبة وتتعرض لعمليات السقوط والإنزلاق. وإذا تصادف أن تكونت فجوتان متجاورتان في إتجاهين متضادين، فقد تعمل الأمواج على إلتحامها ببعضهما، وتتكون ظاهرة القوس البحري أما إذا اختل توازن أسقف القوس البحري، وإنهارت صخوره، تنفصل ألسنة الجروف الصخرية، وتتكون المسلات البحرية.

ومن أجمل أشكال المسلات البحرية، تلك التي تتكون في الطبقات الحوارية على طول بعض أجزاء من السواحل الغربية لجزيرة وايت بإنكلترا، وخاصة النيدل. والمسلات البحرية التي تتكون في صخور الحجر الرملي الأحمر القديم، على سواحل أوركني بشمال إنكلترا، وعند رأس دنكاسبي، بإقليم كيثينيس بإنكلترا.

كما تتمثل المسلات البحرية أمام ساحل مدينة بيروت (لبنان) بأشكال مختلفة، وأكبرها حجماً تلك المعروفة باسم (الروشة). وتظهر المسلات البحرية كذلك على طول بعض أجزاء من السواحل الشمالية الغربية لمصر، وأشهرها المسلات البحرية أمام ساحل مرسي مطروح. وفي شتاء عام 1964، تعرضت قاعدة إحدى هذه المسلات الأخيرة لفعل الأمواج الشديدة ومن ثم إختل توازنها وسقطت فوق أرضية البحر.

أما إذا كانت صخور الجروف البحرية تتميز بصلابتها وعدم مساميتها، وأن المادة اللاحمة لجزيئات هذه الصخور شديدة التماسك، يقل بالتالي أثر فعل الأمواج في تعرية صخور الساحل. ولكن مع هذا يستمر فعل التعرية بل ويظهر واضحاً على طول مناطق الضعف الجيولوجي التي تتمثل عادة في فتحات الشقوق وأسطح الصدوع. وبمرور الزمن تتسع هذه الفتحات بفعل التعرية البحرية وتكون فجوات داخلية عميقة في جوف الصخر.

يتضح من هذا العرض أن البحر يقوم بعدة عمليات مختلفة يشكل فيها الظواهر الساحلية من جهة، وأرضية قاعه من جهة أخرى. وتبعاً لاختلاف مستوى سطح البحر وتذبذبه خلال العصور الجيولوجية المختلفة، أدى ذلك إلى إختلاف أشكال البحار وطبيعة إمتدادها واستمرار عمليات الصراع والنزاع بين اليابسة والماء في تشكل هذا الكوكب.
وتقوم المياه نفسها وكذلك الأمواج والتيارات البحرية التي تحدث فيها بفعل الهدم أو النحت وينجم عن ذلك ميلاد ظواهر جيومورفولوجية متنوعة تشكل المظهر العام لساحل البحر.
وتعمل الأمواج كذلك على نقل مفتتات صخور الشاطئ إلى أعماق المحيط حتى يترسب معظمها فوق أرضية كل من الرفوف والمنحدر القاري. وينجم عن حركة المياه الدائمة توزيع الرسوبيات وإنتشارها في الأعماق المختلفة تبعاً لحجم حبيبات هذه الرسوبيات من جهة والمصدر الذي تفتتت أو تحللت منه من جهة أخرى. وفي الأعماق البعيدة يتشكل قاع المحيط برواشب الأوز الدقيقة الحجم.

خامساً : فعل ا لجليد

تتأثر مناطق سطح الأرض التي تتغطى بالتكوينات الجليدية لفترة طويلة من الزمن بظواهر خاصة ذات سحنة جيومورفولوجية مميزة. وقد كان فعل الجليد خلال فترات عصر البليستوسين (العصر الجليدي في النطاقات المعتدلة والباردة) أكثر وضوحاً وأوسع مجالاً عما يبدو به اليوم. ولا يزال يشكل فعل الجليد سطح الأرض في المناطق القطبية والمناطق الجبلية العالية التي تقع في مستوى خط الثلج الدائم.

وتتنوع الظواهر التضاريسية الجليدية ليس فقط تبعاً لاختلاف التركيب الجيولوجي بل اساساً وفقاً لأشكال التكوينات الجليدية التي أدت إلى تكوينها، وتتلخص اهم أشكال الجليد فيما يلي:

1- **الغطاءات الجليدية:**

وتتكون تبعاً لتراكم الثلج المتساقط أو بواسطة تجمع الثلج المنحدر من القمم الجبلية على شكل فرشات عظمى فوق المناطق السهلية. وإذا كان تساقط الثلج غزيراً، وظلت درجة الحرارة دواماً دون نقطة التجمد، فلا يتعرض الثلج كثيراً للذوبان بل ينجم عن تجمعه تكوين كتل جليدية تتحرك بدورها فوق سطح الأرض على شكل غطاءات واسعة الامتداد. وتعد كل من قارتي جرينلند وانتاراكتيكا المناطق الوحيدة التي لاتزال مغطاة بغطاءات جليدية قارية عظيمة في الوقت الحاضر.

2- **الجليديات أو الأنهار الجليدية:**

وهذه عبارة عن كتل من الجليد تنحدر من الحقول الثلجية إلى المنحدرات السفلى بفعل الجاذبية، وتكاد تتمثل حقول الثلج الدائمة في مناطق متفرقة بجميع القارات فيما عدا استراليا. ويتعرض الجليد فوق المنحدرات الجبلية للذوبان خاصة خلال فصلي الربيع والصيف، إلا أن بعض أجزاء من الجليد قد لا تتأثر بهذا الفعل وتبقى دائماً موجودة فوق هذه المنحدرات.

ويطلق على المستوى الدائم للثلج الذي لا يتعرض لفعل الذوبان تعبير مستوى الثلج الدائم Snow Line. ويختلف ارتفاع هذا المستوى من منطقة إلى أخرى، حيث يقع في المناطق القطبية على ارتفاع 2000 قدم في حين يظهر في جبال الألب على ارتفاع 13000 قدم وفي الهيملايا على ارتفاع 18000 قدم.

وتنحدر الأنهار الجليدية من مصادرها الأولى في المناطق المرتفعة ببطء شديد على شكل لسان جليدي يستمد مصدره وقوته من الثلج المتراكم في الحقول الثلجية. ومن ثم يتعرض النهر الجليدي للذوبان والتبخر في الصيف بينما يتقدم النهر الجليدي خلال فصل الشتاء ببطء.

وقد تقع مقدمة النهر الجليدي تحت منسوب خط الثلج الدائم والحقول الثلجية بنحو بضعة آلاف من الاقدام. وحيث تتعرض الأنهار الجليدية بالمناطق القطبية في الوقت الحاضر لفعل التبخر والذوبان فإن مقدمات النهر الجليدي في تقلص وانكماش

تدريجي صوب منابعها العليا. وإذا انسابت الانهار الجليدية من اليابسة وانتهى بها المطاف إلى البحر أو المحيط المجاور، تظهر التكوينات الجليدية على شكل جبال ثلجية طافية تحركها الامواج والتيارات البحرية من مكان إلى آخر في قلب المحيط.
ومن المعروف أن نحو 10/9 من حجم هذه الجبال تكون غاطسة في المياه بينما يظهر القسم الباقي من حجمها فوق سطح مياه البحر، ومن ثم تعد الجبال الثلجية الطافية خطراً كبيراً على الملاحة البحرية.

A. الظواهر العامة التي تشكل سطح الانهار الجليدية

يتميز سطح الأنهار الجليدية بانه ليس سطحاً ألمساً متساوياً، بل يختلف من جزء إلى آخر من حيث الشكل والانحدار والظواهرالعامة التي تتكون فوقه. فإذا تجمع الجليد في واد لنهر سابق، أو انحصر بين جوانب جبلية عالية، ينحصر النهرالجليدي في وادي محدد الجوانب، لكن عندما يمر الجليد من وادي متسع إلى آخر أقل اتساعاً، سرعان ما يتجمع فوق بعضه ويزداد سمكاً، ويتكل سطحه بواسطة تجعدات وتجاويف مختلفة.
أما إذا تقدم الجليد من واديه إلى أراضي منبسطة سهلية ومنخفضة المنسوب يتسع امتداده ويقل سمكه، ويتكون فوق سطحه فتحات وشقوق عميقة متشابكة تعرف باسم شقوق الجليد Crevasses. وتبعاً لتراكم الجليد في القسم الأوسط من مجرى النهر الجليدي فإن هذا القسم يتقدم بسرعة أكبر من تقدم أطراف جانبي المجرى الجليدي.
وتختلف طبيعة التعرية الجليدية تبعاً لاختلاف الموقع الجغرافي للاقليم ومدى تضاريسه، وتعد المناطق المرتفعة التي ينحدر منها الجليد، مناطق يشتد فيها فعل التعرية الشديدة. وتتعرض المناطق السهلية المنخفضة التي تقع تحت أقدام الحافات الجبلية لكل من فعل التعرية والترسيب، في حين تتشكل المناطق الحدية أو النهائية من الغطاءات الجليدية بفعل الترسيب. وفي كل من هذه الأقاليم الجيومورفولوجية الثلاثة (الجبلية المرتفعة، والسهلية، والحدية) يتشكل التصريف النهري فيها بفعل المياه المذابة من الجليد.

أولاً: بعض الظواهر الجليدية فى المناطق الجبلية المرتفعة

قد يغطي الجليد معظم الأراضي المرتفعة في المناطق القطبية فيما عدا قمم الجبال العالية التي تظهر عادة بارزة فوق سطح الجليد، ومن ثم تتعرض هذه المناطق الاخيرة لتأثير فعل تجمد المياه وذوبانها. وينجم عن هذه العملية اتساع فتحات شقوق الصخر بالتدريج وخلق مناطق ضعف جيولوجية تؤدي إلى تساقط الصخور وانزلاق الأرض. اما في المناطق التي تقع أسفل القمم الجبلية والتي تغطى بالجليد طوال السنة فإن تأثير حدوث فعل تجمد المياه وذوبانها في جوف الصخر يكون محدوداً.

1- ظاهرة الحلبات الجليدية:

وتعد من أهم الظواهر التي ترمز إلى حدوث فعل التعرية الجليدية في المناطق الجبلية. وتعرف هذه الظاهرة باسم Cums or Cirques وتبدو على شكل ظهر الكرسي المستدير حيث أنها تتركب من ظهر شديد الانحدار، وقاعدة عميقة مقعرة، وانحدار امامي تدريجي. وقد يشغل قاع الحلبات الجليدية بعض البحيرات الصغيرة الضحلة التي تنشأ بفعل ذوبان الجليد وانحباس المياه بواسطة الركامات والرسوبيات الجليدية ويوضح الشكل امثلة للحلبات الجليدية .

وقد أكدت الدراسات الجيومورفولوجية بأنه عند تعرض الحلبات الجليدية لفعل التعرية الجليدية والهوائية وتساقط الصخور وعمليات الانزلاق، فإن ظهر الحلبات الجليدية ياخذ في التراجع الخلفي بمرور الوقت وتتسع أرضية الحلبة وفي مرحلة متأخرة تتكمش مساحة الأراضي الفاصلة بين الحلبات المجاورة لبعضها، وتتكون حواجز جبلية مضرسة، وقمم جبلية لم تطرأ عليها بعد عمليات التآكل التدريجي، ويطلق على تلك الحافات الجبلية البارزة، والتي تشبه عادة السيوف الحادة اسم Aretes. أما القمة الجبلية العليا فتبدو على شكل رأس الهرم أو القرن الجبلي Horn. ويوضح (شكل 108) مراحل تطور تكوين كل من ظواهر الحلبات الجليدية والسيوف الجبلية البارزة والهرم أو القرن الجبلي الجليدي.

2- الأودية الجليدية:

يتعرض الجليد تبعاً لانسيابه البطيء بمساعدة فعل الجاذبية الأرضية للتقدم التدريجي صوب المنحدرات السفلى والأراضي المنخفضة، ولذلك قد يكوّن لنفسه أودية محددة الجوانب يتحرك فوق أرضيتها ويحتك بصخور جوانبها ويقشطها ويعمل على تعميق هذه الأودية، وتعرف الأخيرة باسم (الأودية الجليدية).

وأهم ما يميز القطاع العرضي للوادي الجليدي ظهوره على شكل حرف (U) بخلاف الأودية النهرية التي تبدو قطاعاتها العرضية – خاصة اثناء المراحل الأولى من نشأتها – على شكل حرف (V). أما الأودية الفرعية للنهر أو الوادي الجليدي الرئيسي فهذه تظهر غالباً على شكل أودية معلقة حيث لايصل مستوى قاعها إلى المستوى الذي وصل إليه الوادي الرئيسي. وقد يتشكل قاع الأودية الجليدية بعدة ظواهرجيومورفولوجية تختلف من مكان إلى آخر تبعاً لظروف متعددة. ومن أهم هذه الظواهر تلك المعروفة باسم الأحواض المغلقة والمدرجات الجليدية والصخور الغنمية.

ويتميز مجرى النهر الجليدي بكونه قليل المنعطفات، بل يمتد عادة امتداداً طولياً، بخلاف الحال مثلاً بالنسبة للمجاري النهرية. وتعد كل هذه الظواهر سابقة الذكر والتي تشكل المظهر الجيومورفولوجي العام للوادي الجليدي (الامتداد الطولي للمجرى الجليدي – الألسنة المقشوطة الأودية الفرعية المعلقة – شكل جوانب الوادي وشدة انحدارها) نتاج كل من النحت الرأسي والجانبي للجليد.

فألسنة الأرضية المكشوطة مثلاً كانت في بداية نشاتها أراض مرتفعة تقع بين اودية نهرية صغيرة، ثم تعرضت للاحتكاك نحو جوانب النهر الجليدي الذي عمل على نحت بروزها وألسنتها المتداخلة.

ثانياً: بعض الظاهرات الجليدية على طول السواحل الجبلية

إذا تراكم الجليد أو تجمعت غطاءاته على طول السواحل الجبلية المرتفعة فإن أهم ما ينجم عنه في هذه الحالة تكوين المظاهر المعروفة باسم الفيوردات. وهي عبارة عن أودية نهرية جليدية غاطسة تحت سطح البحر. وقد تبين من الدراسات التي أجريت في قاع الفيوردات أن أعماق المياه فيها تعد عظيمة العمق بالقرب من خط الساحل في حين تبدو أرضية الفيورد ضحلة نسبياً عند مدخله. وإن دل هذا على شيء فإنما يدل على عظم فعل النحت الرأسي الجليدي الشديد بحوار خط الساحل.

ومن المعروف كذلك أن عمق المياه في الفيوردات أعظم بكثير من الإرتفاع الذي طرأ على مستوى سطح البحر خلال عصر البليستوسين. فيبلغ متوسط عمق المياه في فيورد سونفجورد في النروج نحو 4000 قدم، نجد متوسط عمق المياه عند مدخله نحو 600 قدم. هذا ولم يزد الإرتفاع في منسوب سطح البحر منذ عصر البليستوسين حتى

الوقت الحاضر عن 300 قدم. وعلى ذلك يمكن القول بأن إرتفاع منسوب سطح البحر منذ نهاية البليستوسين (تبعاً لذوبان الجليد) ليس له تأثيراً كبيراً في نشأة الفيوردات بالمناطق الجبلية الجليدية.

ثالثاً: بعض الظواهر الجليدية فى المناطق السهلية

عندما تنحدر الأنهار الجليدية من المناطق المرتفعة إلى السهول المنخفضة يتسع سطح الجليد ويعظم أمتداده بينما يقل سمكه، ويتخذ شكل غطاء جليدي أو فرشات جليدية عظيمة الامتداد. وتعمل هذه الغطاءات الجليدية على تكوين ظواهرجيومورفولوجية متنوعة يتركز الكثير منها في الأراضي منخفضة المنسوب، ويرجع نشأة معظمها إلى فعل الترسيب الجليدي. وتنقل هذه الغطاءات الجلاميد والمفتتات الصخرية وترسبها بصور مختلفة في المناطق السهلية، منخفضة المنسوب.

وتتلخص أهم هذه الظواهر فيما يلي:

1- الطفل الجليدي

تعمل الغطاءات الجليدية أثناء سيرها فوق الأراضي المنخفضة المنسوب على احتكاكها بالصخور ونقل الفتات الصخري إلى مسافات طويلة تبعد كثيراً عن مراكزها الأصلية. وعندما تتعرض الغطاءات الجليدية للذوبان التدريجي تتراكم فرشات الرسوبيات فوق سطح الأرض فتغطي كل المقعرات الثانوية، ويطلق عليها (رواسب الطَّفل الجليدي). وتتألف هذه الرسوبيات من حبيبات صخرية مختلفة الشكل والحجم وهي غالباً ما تكون مكشوطة ومحدبة الجوانب وتمتزج مع بعضها بواسطة الرمال الناعمة الدقيقة الحبيبات.

وتعد دراسة رسوبيات المفتتات الصخرية والطفل الجليدي من أهم العوامل التي تساعد على معرفة إتجاهات سير الغطاءات الجليدية أو بمعنى آخر المناطق الأولية التي نشات فيها ثم الطرق التي سلكتها أثناء تقدمها إلى أن رسبت حمولتها.

فتبين مثلاً من دراسة أنواع الطفل الجليدي في منطقتي لانكشير وشرق إنكلترا أنها تتألف من مفتتات صخرية مصدرها الأصلي صخور شمال اسكتلند والكتل الجبلية الأركية القديمة في إسكندينافيا. وعلى ذلك استنتج الباحثون أن الغطاءات الجليدية كانت ذات مصادر مختلفة ووصلت إلى شرق إنكلترا آتية من الشمال والشمال الشرقي.

2- الكتل الضالة:

قد يعمل الجليد على نقل كتل صخرية لمسافات بعيدة دون أن تتأثر هذه الكتل كثيراً بالتعرية الشديدة. وبعد تقهقر الجليد إلى الوراء تبعاً لعمليات الذوبان تتبقى هذه الكتل الصخرية إما على شكل صخور معلقة تتخلف فوق السفوح الجبلية العالية، أو على شكل ما يسمى بالكتل الضالة وذلك عندما تتبعثر في بطون الأودية وفي المناطق السهلية المنخفضة. ومما يؤكد نقل هذه الكتل الصخرية بفعل الجليد ما يلي:

أ- عدم تشابه التكوين الصخري للكتل الضالة بنوع الصخور التي تتركز فوقها.

ب-تتشكل الكتل الصخرية الضالة بالخدوش الكثيفة والتي تظهر خاصة على جوانب الكتل وأسطحها، وهذه إن دلت على شيء فإنما تدل على أن الكتل الصخرية نقلت مسافات طويلة بواسطة الجليد.

3- الركامات الجليدية:

ينقل الجليد كميات هائلة من المفتتات الصخرية وينحصر معظمها في الوادي الجليدي إلى أن تترسب بأشكال جيومورفولوجية مختلفة. ويطلق على الرسوبيات الجليدية التي تحملها الأنهار الجليدية اسم (الركامات الجليدية). وتتألف هذه الرسوبيات من مفتتات صخرية مختلفة الشكل والحجم ويتنوع تركيبها الصخري تبعاً لتنوع صخور المناطق التي أشتقت منها والطرق التي سلكتها، وتبدو على شكل أكوام رسوبية غير متجانسة في الشكل والتركيب الجيولوجي.

وتبعاً لموقع هذه الرسوبيات بالنسبة لأجزاء الوادي الجليدي، تقسم الركامات الجليدية إلى المجموعات الرئيسية الآتية:

أ- الركامات الجانبية:

تتجمع الرسوبيات المختلفة على جانبي النهر الجليدي تبعاً لاحتكاك الجليد بالصخور اللينة على جانبي الوادي، وتعرض الأخير كذلك لعمليات التجمد والذوبان وتفتيت الصخور التي يتألف منها، كما يزداد تجمع الرسوبيات الجانبية تبعاً لما يسقط فوقها من صخور بفعل عمليات التساقط والإنزلاق الأرضي. ومن ثم يختلف سمك رسوبيات الركامات الجليدية ويتنوع تركيبها الصخري وفقاً لطبيعة المواد التي تتألف منها تلك الركامات واختلافها من مكان إلى آخر على طول النهر الجليدي.

ب- الركام الأوسط:

يتكون هذا الركام عندما يلتحم ركامان جانبيان مع بعضهما نتيجة لإتصال أكثر من مجرى نهر جليدي في مجرى واحد. وينجم عن ذلك تكوين أشرطة طويلة مستقيمة من الرواسب تتوسط المجرى الجليدي.

ت- الركام النهائي:

عندما يتعرض النهر الجليدي إلى التراجع خلفياً تبعاً لذوبان الجليد تتخلف كميات هائلة من الرواسب عند النهايات الهامشية للمجرى الجليدي. وحيث تعرض الأخير لذبذبات متعاقبة يرمز بعضها إلى حدوث عمليات تقهقر الجليد في حين تدل الأخرى على حدوث تقدمه (تبعاً لتعاقب حدوث الفترات الدفيئة والأخرى الباردة) أطلق البعض على هذه الرواسب التراجعية. وحيث إن تقدم النهر الجليدي لم يكن مطرداً بل تميز بحدوث ذبذبات متتالية ترمز إلى عمليات التقدم تارة والتراجع تارة أخرى، لذا يحسن تسميتها بالركامات النهائية الجليدية.

ث- الركام الأرضي:

يطلق تعبير الركام الأرضي على مجموعة الرواسب الجليدية التي تحتل الأجزاء السفلى من الغطاء الجليدي النهري وتتركز فوق قاعه ومن ثم تقع مباشرة فوق سطح الارض. وتختلف طبيعة الرسوبيات الجليدية وتتنوع أشكالها من مكان إلى آخر على طول اجزاء المجرى الجليدي، إلا أن رسوبيات الركام الأرضي تتميز بانها دقيقة الحجم وغير متجانسة التكوين ولا تظهر على السطح إلا بعد ذوبان كل اجزاء النهر الجليدي الواقع فوقها.

4- الرواسب الجليدية النهرية:

عندما تتعرض كل من الأنهار والغطاءات الجليدية للذوبان السريع تبعاً لارتفاع درجة الحرارة كما كان الحال في الفترات غير الجليدية تتكون بعض المجاري المائية خاصة أسفل الغطاءات الجليدية وفي قاع الوادي الجليدي نفسه. وتقوم هذه المجاري المائية بالدور الذي تقوم به الأنهار العادية في المناطق الأخرى غير الجليدية. ومن ثم تعمل هذه الانهار على تشكيل الرسوبيات الجليدية النهرية وترسيبها بشيء من التناسق بحيث تبدو في صورة شبه طباقية. وتساهم هذه الرسوبيات في خلق أشكال جيومورفولوجية مختلفة على سطح الأرض ومن بينها:

A. رواسب الأسكرز:

وتتكون رسوبيات الأسكرز من الحصى وفتات الصخور المختلطة مع الأتربة والرمال. وهي تشبه رسوبيات الطفل الجليدي من حيث التركيب الجيولوجي إلا أن الحبيبات الصخرية برسوبيات الأسكرز تتميز باستدارتها وشكلها البيضاوي أو الكروي وسطحها الأملس مما يدل دلالة واضحة على أثر فعل التعرية المائية.

وقد تتكون رواسب الأسكرز على شكل طبقات يختلف كل منها عن الطبقة التي تقع فوقها أو أسفلها من حيث التركيب الجيولوجي وشكل الرسوبيات وأحجامها. وإن دل هذا على شيء فإنما يدل على أن رسوبيات الأسكرز لا ترجع إلى فترة واحدة بل ترسبت خلال فترات متعاقبة.

وتبدو رسوبيات الأسكرز فوق سطح الأرض على شكل حواف جبلية ترسيبية تتميز بما يلي:

- امتدادها الملتوي.
- تشابه انحدار جانبيها بحيث تبدو قطاعاتها العرضية متساوية الجوانب.
- تجمع رواسب هذه الحافات فوق بعض الظاهرات الجيوموفولوجية الثانوية لسطح الأرض والتي كانت موجودة قبل تغطيتها بالجليد. ولذا تعد رواسب الأسكرز حافات موضوعة منطبقة فوق رواسب السطح الأخرى.

B. رواسب الكام:

تختلف رسوبيات الكام عن رواسب الأسكرز بما يلي:

- ظهورها على شكل قباب صغيرة محدودة الارتفاع ومتناثرة فوق سطح الأرض.
- عدم انتظام عملية ترسيب فتات الصخور والحصى بها كما هو الحال في رسوبيات الأسكرز الاكثر تناسقاً.
- تجمع رسوبيات الكام فوق أسطح الجليد وخاصة في بعض الحفر الوعائية أو داخل الفتحات الواسعة للشقوق الصخرية الجليدية.

وبعد عمليات تقهقر الجليد قد تظهر بقايا رسوبيات الكام على شكل مدرجات رسوبية جانبية، تنجم عن أثر تراكم الرسوبيات الجليدية النهرية على جانبي النهر الجليدي. وتتالف الرسوبيات في هذه الحالة من الرمال اللزجة المشبعة بالمياه، كما يختلط معها كثير من الحصى والحصباء المستديرة الشكل. وإذا تصادف ان تجمعت رسوبيات الكام فوق اجزاء ثابتة من الغطاءات الجليدية ثم تعرضت الاخيرة للذوبان التدريجي، ترتفع رواسب الكام إلى أعلى وتظهر على شكل قباب تلالية مستديرة الشكل.

5- الكثبان الجليدية:

يطلق تعبير الكثبان الجليدية على تلك المجموعة من الرواسب الجليدية التي تظهر على سطح الأرض على شكل تلال كثيبة بعد عملية تقهقر الجليد وتراجعه خلفياً. وتتألف هذه التلال من رسوبيات جليدية قوامها الطفل والمفتتات الصخرية المعروفة باسم Till.

ويتضح من دراسة أشكال هذه المفتتات اثر فعل المياه في تشكيل أسطحها المستوية الملساء، وشكلها البيضاوي. وكما هو الحال في رسوبيات الاسكرز فإن رسوبيات الكثبان الجليدية تكونت كذلك اسفل الجليد بفعل المياه المذابة.

وتتكون الكثبان الجليدية عادة في مجموعات تحتل مساحات واسعة الامتداد تميز المنطقة التي تتكون فيها بسطح مموج. وحيث أن الكثيب الجليدي تنغمر جذوره في الرسوبيات العليا لسطح الأرض، بينما تظهر اعاليه بيضاوية الشكل فوق سطح الأرض، لذا عرف سطح الارض الذي تشغله هذه الكثبان الجليدية باسم (سطح سلال البيض). وتختلف الكثبان الجليدية فيما بينها من حيث الحجم والارتفاع، ويتراوح متوسط ارتفاع الكثيب الجليدي الواحد من 10 إلى 100 متراً فوق مستوى سطح الأراضي المجاورة.