الجامعة السورية الخاصة

كلية هندسة البترول

الجيولوجيا الفيزيائية

(الجيولوجيا الطبيعية)

لطلاب المستوى الثاني

الفصل الأول 2019 – 2020

أ. د. ميخائيل معطي

م. ج. يوسف رضوان

1 – المقدمة

2 – ظف شكىءآهك – تكتونيك الصفائح

3 – ظف شكطكتمى – التجوية

4 – ظف شكطكثكت – الصخور الرسوبية

5 – ظف شكطكىخظ – الزمن الجيولوجي

6 – ظف شكطكخءا ز – طبيعة قاع الأقيانوس

7 – ظف شكطكزئخ ز – بناء الجبال وتطور القارات

8 – ظف شكطكزئاظ – المياه الجارية

9 – ظف شكطكتذام – المياه الجوفية

10 – ظف شكطكةئزظ – الجليديات والتجلد

11 – ظف شكطكعئسذ – الصحارى والرياح

12 ظف شكطكحئخى عسذ – البحار

مقدمة

علم الأرض هو علم يعنى بدراسة الأرض وفهم نشأتها وتكوينها. وقد اتفق العلماء على تقسيم علم الأرض إلى فرعين رئيسيين، هما : علم الأرض الطبيعي (الجيولوجيا الطبيعية) وعلم الأرض التاريخي (الجيولوجيا التاريخية). والجيولوجيا الطبيعية هي علم يبحث في المواد المكونة للأرض، ويسعى لفهم الظواهر التي تحدث تحت أو فوق سطحها. أما الجيولوجيا التاريخية فهي فهم أصل الأرض وتطورها عبر الأزمنة الغابرة. ولهذا، فهي تسعى لتأسيس نظام زمني مرتب للتغيرات الطبيعية والحياتية المتعددة التي توالت عبر الماضي البعيد، وطبيعي أن تسبق دراسة تاريخ الأرض دراسة الجيولوجيا الطبيعية، لأنه لا بد من معرفة الطريقة التي تتغير فيها الأرض قبل محاولو كشف ماضيها.

خلال القرنين السابع عشر والثامن عشر :انت نظرية الكوارث تشكل الفلسفة السائدة التي تفسر حركية الأرض، والتي تقول بأن تغير.سطح الأرض بما عليها من جبال وأخاديد، يتم عن طريق كوارث هائلة.

لقد مرّت الأرض بأحداث متعددة وشهدت تغيرات هائلة خلال تاريخها الغامض، وهذا أمر واضح لكل عين بصيرة. ولكن تجميع هذه التغيرات في فترة قصيرة تعد بآلاف السنين قد تحتاج إلى فلسفة تناسب المقام. وهذه الفلسفة تعتمد على التغيرات العنيفة والمفاجئة.

بالرغم من التغيرات التي تطرأ على الأرض، فإن نظام الطبيعة لم يتبدل. وأن قوانينها هي الوحيدة التي قاومت كل تغير. فالأنهار والصخور والبحار والقارات قد اعتراها التغير في جميع أجزائها. ولكن القوانين التي تتحكم في هذا التغير والقواعد التي تسيّره قد بقيت كما هي.

في محاولة لشرح التغيرات السابقة لسطح الأرض بالرجوع إلى الأسباب القائمة الآن، فقد أوضح العالم البريطاني لاييل بعناية بالغة مبدأ وحدة الطبيعة عبر الزمن، وأن العمليات الجيولوجية التي نشاهدها اليوم هي نفسها التي نشاهدها اليوم. وهي نفسها التي كانت سائدة في الماضي.

على الرغم من أهمية نظرية الانتظام للجيولوجيا الحديثة، وعندما.نقول أن العمليات الجيولوجية في الماضي كانت تماما كما هي في الحاضر، فإننا نعني أنها كانت تتم بنفس المعدل. ولو أن العمليات قد بقيت في الغالب كما هي، إلا أن معدلاتها قد تفاوتت بدون شك عبر الزمن.

بالنظر إلى أن الانتظام يعني سيادة قوانين ومبادئ ثبتة وأزلية، فإنه يمكن القول بأنه ليس هناك من أمر، في علمنا الواسع وغير المتكامل، يتعارض مع هذه الحقيقة.

خلال القرن التاسع عشر، وقبل اكتشاف التأريخ الإشعاعي، تم نطوير تقويم جيولوجي باستعمال مبدأ **التأريخ النسبي**. ويعني التأريخ النسبي أن الأحداث توضع في تتابع مناسب أو ترتيب دون معرفة عمرها

المطلق بالسنوات. ويمكن عمل ذلك بتطبيق مبادئ معينة مثل **قانون التتابع الطبقي** الذي ينص على أنه في أي تتابع سليم للصخور الرسوبية، كل طبقة تعتبر أقدم من الطبقة التي فوقها وأحدث من الطبقة التي تحتها.

والمستحاثات التي هي بقايا أو آثار حياة ما قبل التاريخ،كانت هي الأخرى ضرورية لتطوير التقويم الجيولوجي. وهناك أيضا مبدأ أساسي بهذا الخصوص يعرف باسم **مبدأ تتابع الأحياء.** وينص على أن مستحاثات الكائنات الحية يعقب أحدها الآخر بترتيب محدد ومعاوم. وعليه فإن كل فترة زمنية تتميز بمحتواها المستحاثي. وعلى أساس هذا المبدأ تمكن الجيولوجيون من تحديد الصخور ذات العمر الواحد في أماكن متفرقة من العالم ، وبالتالي بناء التقويم الجيولوجي.

إن أكبر تقسيمات التقويم الجيولوجي هي الدهور. هناك دهران: **دهر الحياة الخفية** حيث معالم الحية فيه مجهولة، ويطلق عليه اسم **البريكمري، ودهر الحياة الجلية** ويضم ثلاثة أحقاب: **حقب الحياة القديمة** (الباليوزوي)، و**حقب الحياة المتوسطة** (الميزوزوي) و**حقب الحياة الحديثة** (السينوزوي). ويقسم كل حقب إلى وجدات زمنية تسمى **أدوارا**. وهناك سبعة أدوار في حقب الحياة القديمة، وثلاثة أدوار في حقب الحياة المتوسطة ودوران في حقب الحياة الجديثة. ويقسم كل من الأدوار الأثني عشر إلى وحدات أصغر تسمى **الطوابق**.

البنية الداخلية للأرض

تشكل الأرض واحدة من تسعة كواكب تدور حول الشمس. وقد ساهم الانشطار الذري للعناصر المشعة مع الحرارة المنبعثة من تصادم الأجسام، في إحداث انصهار جزئي في داخل الأرض. ويعتقد أن هذا الانصهار قد أدى إلى غوص العناصر الثقيلة نحو الأسفل . وهي الحديد والنيكل بصورة رئيسية بينما طفت المكونات الصخرية الخفيفة نحو الأعى. وبنتيجة هذا التمايز الكيميائي فإن البنية الداخلية للأرض ليست متجانسة وتتألف من قشرات وأغلفة مرتبة على النحو التالي:

1 – النواة الداخلية: وهي نطاق صلب غني بالحديد، يبلغ نصف قطره 1216 كم.

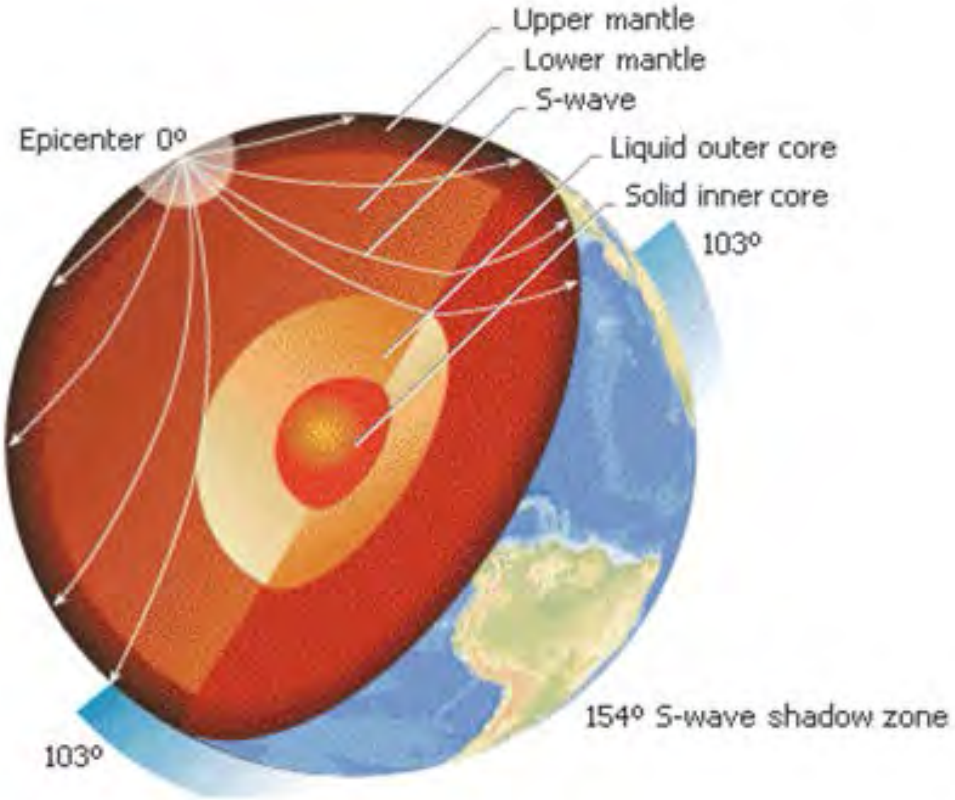
2 – النواة الخارجية: وهي طبقة معدنية منصهرة تبلغ ثخانتها 2270 كم.

3– المعطف : وهو طبقة صخرية صلبة تبلغ أقصى ثخانة لها 2885 كم.

4– القشرة : وهي غشاء خارجي خفيف تتراوح ثخانته بين 5 و 40 كم.

هناك نطاق هام يقع ضمن المعطف يسمى **بالغلاف الوهن**، يقع على عمق 100 إلى 700 كم. وهونطاق ساخن ضعيف قادر على التدفق التدريجي. والنطاق الذي يقع فوق الغلاف الوهن هو الغلاف الصخري الذي يشمل القشرة والجزء العلوي من المعطف.

والنتيجة الهامة التي ترتبت على التفاضل الكيميائي هي أن المواد الغازية قد تسربت من باطن الأرض وكونت **الغلاف الجوي**. وبفضل هذا الغلاف أمكن للحياة كما نعرفها أن تخرج إلى حيز الوجود.

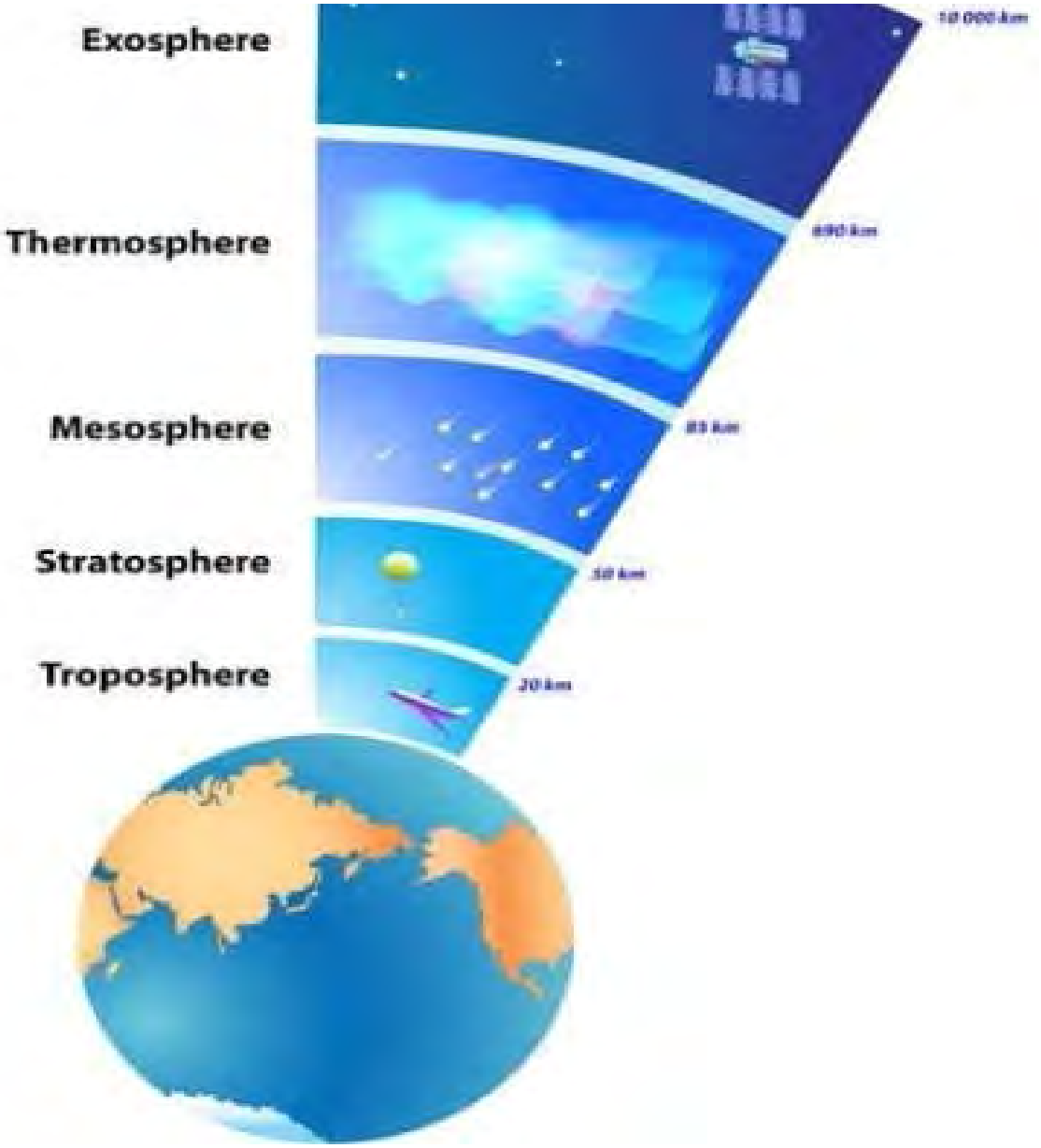


شكل – البنية الداخلية للأرض

المظهر الخارجي للأرض -

تقسم البيئة الطبيعية للأرض إلى ثلاثة أجزاء -

1 – الغلاف الجوي : غطاء يكتنف الحياة على الأرض، تصل ثخانته إلى مئات الكيلومترات. وهو لا يوفر فقط الهواء الذي نستنشق، بل يعمل على حمايتنا من حرارة الشمس المحرقة ومن إشعاعاتها الخطرة. وعمليات تبادل الطاقة التي تجري باستمرار بينالغلاف الجوي وسطح الأرض وبين الغلاف الجوي والفضاء الخارجي هي التي ينتج عنها تغيرات نسميها الطقس والمناخ.



شكل – المظهر الخاجي للأرض

2 – الغلاف المائي : هو عبارة عن كتلة دائمة الحركة تنتقل باستمرار من البحار إلى الهواء، ومنه إلى اليابسة، ثم تعود مرة أخرى إلى البحار التي تغطي 71 % من سطح الألاض. ويشمل الغلاف المائي كذلك المياه العذبة الموجودة في الأنهار والبحيرات والكتل الحليدية إلى جانب المياه الجوفية.

3 – الغلاف الصخري : -

هو الأرض الصلبة تحت الغلاف الجوي ومياه البحار. فالملامح الأساسية لسطح الأرض هي القارات والبحار. ومن الغريب أن الشواطئ الحالية ليست هي الخط الفاصل بين هاتين المنقتين المتياينتين. بل يوجد على امتداد معظم الشواطئ مصطبة فليلة الاتحدار تسمى السطيحة القارية. ويعد أفضل مكان للخط الفاصل بين القارات وأحواض البحار هو منتصف المنحدر القاري الذي يشكل هوة شديدة الانحدار تبدأ من طرف السطيحة القارية في اتجاه أحواض البحار العميقة.

من أبرز ملامح القارات السلاسل الجبلية. وتحتوي أحواض البحار على أضخم سلسلة جبلية على الأرض، وهي منظومة متون وسط الأقيانوس الممتدة على مافة 65000 كم حول الكرة الأرضية. وتتألف هذه المتون من طبقات متتابعة من ضخور كانت منصهرة في الأصل صاعدة إلى قاع الأقيانوس من باطن الأرض.

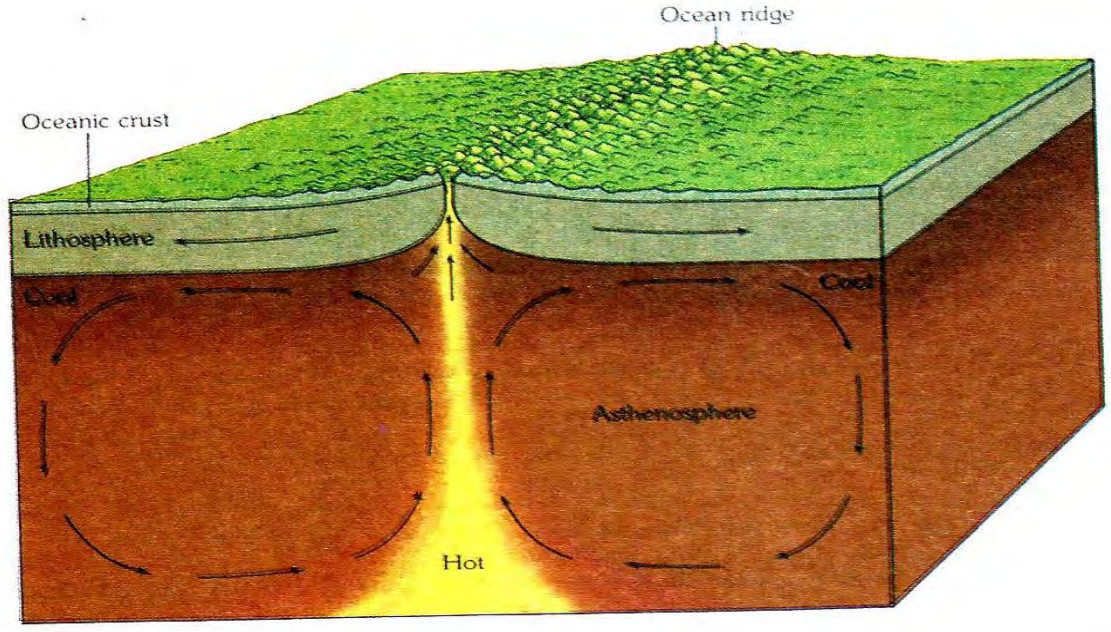
ويحتوي قاع الأقيانوس أيضا على أخاديد بالغة العمق، يصل عمق بعضها إلى 11.000 م. ورغم أنها لا تمثل رقعة كبيرة من قاع الأقيانوس، إلا أنها تعد من الملامح الهامة.

الأرض دائمة الحركة -

حسب النظرية الحركية الحديثة للأرض فإن الغلاف الصخري قد تمزق إلى عدة قطع منفردة تشكل صفائح منفردة وصلبة. وهي تتحرك ببطء وباستمرار. والمسؤول عن هذه الحركة هو تيارات الحملان الحرارية التي ترتفع من الأعماق إلى السطح. وتتحرك كل صفيحة كوحدة مستقلة وتلتقي مع بعضها على امتداد حوافها. وقد تم التعرف على ثلاثة أنواع مختلفة من حواف الصفائح والتي يمكن تمييزها عن طريق الحركة التي تحدثها. وهذه هي :

- **الحواف المتباعدة** : وهي مناطق تتباعدفيها الصفائح عن بعضها تاركة ثغرة بينها.

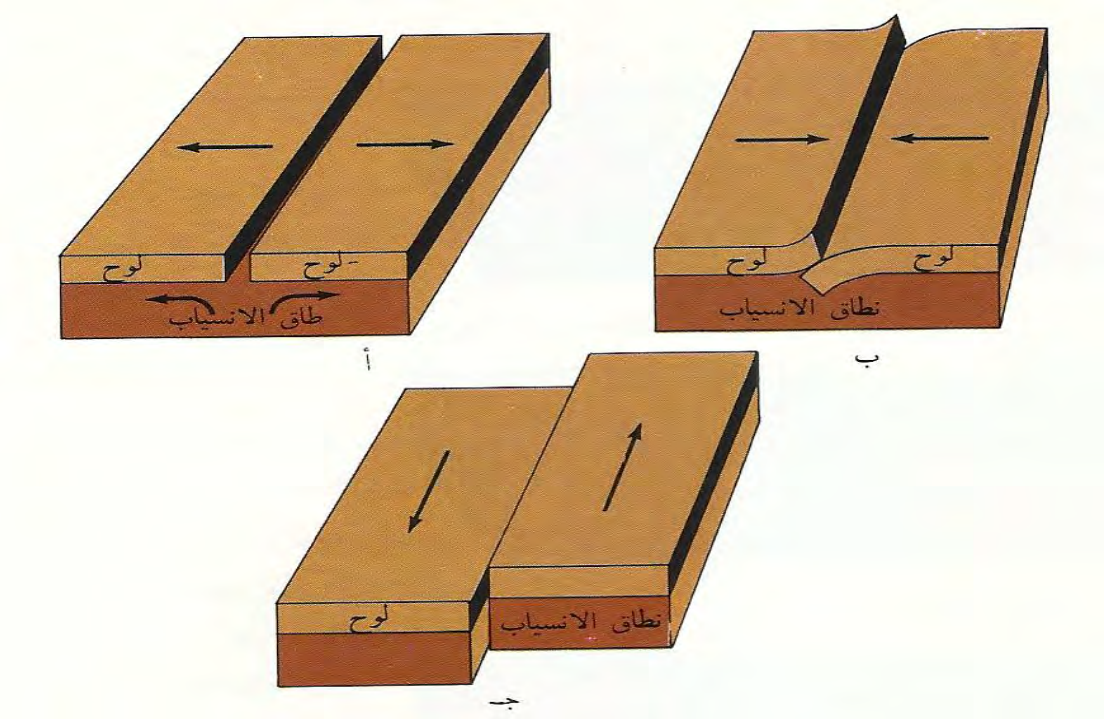
- **الحواف المتقاربة :** وهي مناطق تتقارب فيها الصفائح من بعضها مسببة انزلاق إحدى الصفيحتين المتقاربتين تحت الأخرى. كما يحدث عندما يتعلق الأمر بالقشرة الأقيانوسية أو عندما تصطدم صفيحتان من القشرة القارية.



شكل – تيارات الحملان تحرك القشرة الخارجية للأرض

حواف فالق التحويل : وهي مناطق تنزلق فيها صفيحتان جانبيا بحيث تشكل كل منهما الأخرى.

عندما تلتقي صفيحتان فإن حافة أحداهما المقتربة تنصاع إلى أسفل مسهلة بذلك عملية انزلاقها تحت اصفيحة الأخرى. وعندما تصطدم صفيحتان صخريتان إحداهما أقيانوسية والأرى قارية، فإن المادة الأقيانوسية التي هي دوما أكبر كثافة، تغوص في الغلاف الوهن الضعيف تحتها.



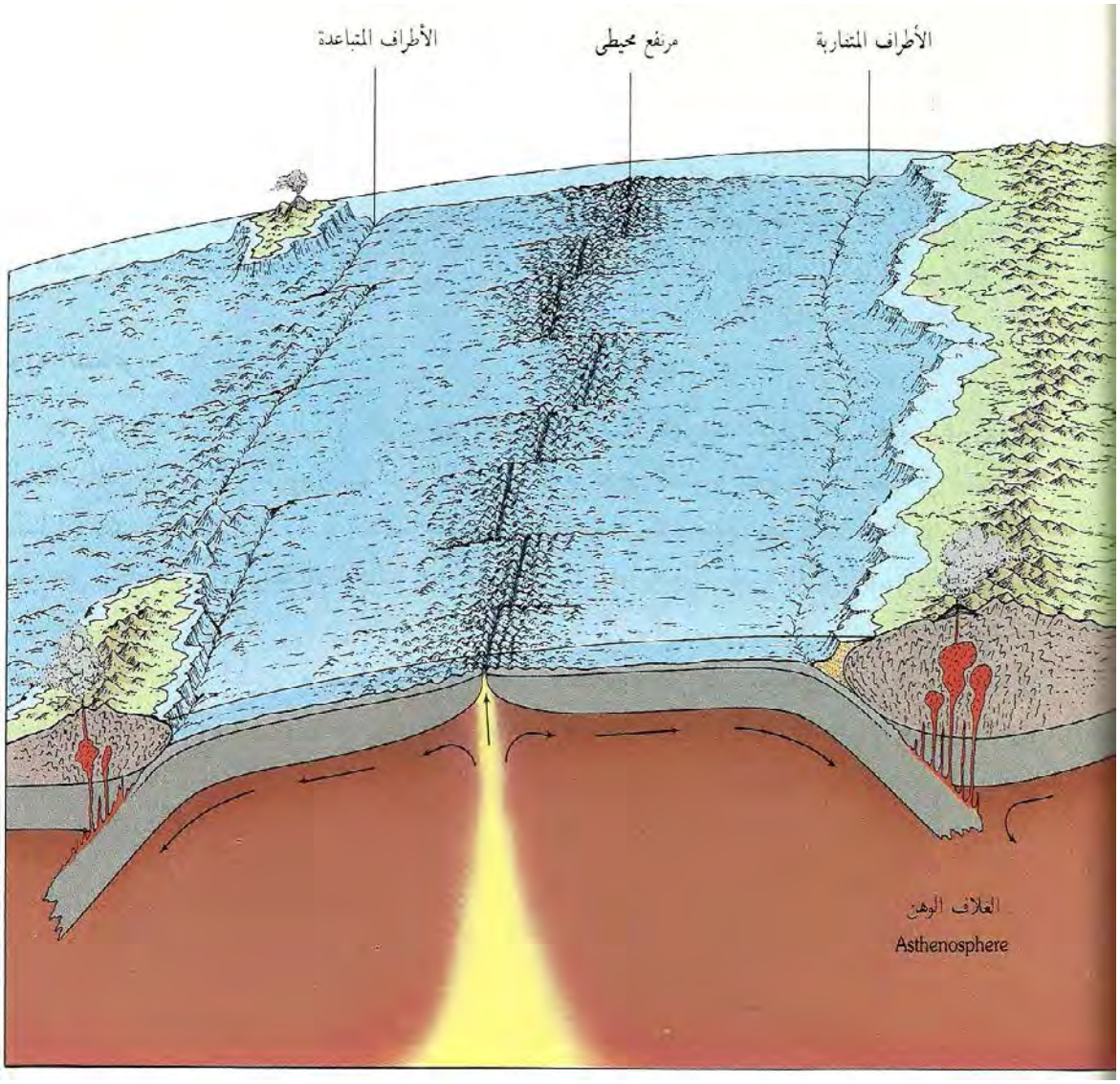
شكل – رسم توضيحي لحواف الصفائح (أ) حواف متباعدة (ب) حواف متقاربة (جـ) حدود فالق تحويل

تسمى المناطق التي يتم فيها التهام الغلاف الصخري الأقيانوسي **نطاقات الغوص**. وفي هذه المناطق، عندما تتحرك الصفائح الصلبة إلى أسفل، فإنها تصبح تحت حرارة وضغط مرتفعين، وسوف تنصهر المواد الغائصة في هذه الحالة وتصعد إلى أعلى مخترقة الصفيحة التي فوقها. وقد تصل هذه الصخور المنصهرة حيانا إلى سطح الأرض حيث تؤدي إلى فوران بركاني.

ولقد تبين حديثا أن تأثر الصفائح بعضها ببعض على امتداد أطرافها هو السبب في معظم النشط البركاني والزلازل وبناء الجبال.

طالما بقيت الحرارة عالية جدا في باطن الأرض عما هي عليه على السطح، فإن تيارات الحملان الحرارية سوف تستمر في الحركة. وهذا التدفق الداخلي سوف يعمل على تحرك القشرة الخارجية الصلبة للأرض. وعليه فإن مواقع وأشكال القارات والأحواض الأقيانوسية سوف تتغير وسوف تبقى الأرض كوكبا دائم الحركة.

الحواف المتقاربة متن أقيانوسي الحواف المتباعدة



شكل – علاقة الحواف المتقاربة مع الحواف المتباعدة في الصفائح

الفصل الأول

تكتونيك الصفائح

حدث تطور كبير خلال العقود الزمنية القليلة الماضية في علوم الأرض. وذلك لتراكم العديد من المعلومات الجديدة، مما غيّر جذلايا في مفهومنا حول تركيب الأرض والعوامل المؤثرة فيها. وقد أدرك العلماء الآن أن مواقع الكتل الأرضية ليست ثابتة، بل إنها تتحرك ببطء . وقد أدّى انشطار الكتل القارية إلى تكوين بحار عميقة. وفي نفس الوقت اصطدمت أجزاء أخرى من الكتل القارية المنفصلة وكوننت السلاسل الجبليةالكبيرة.

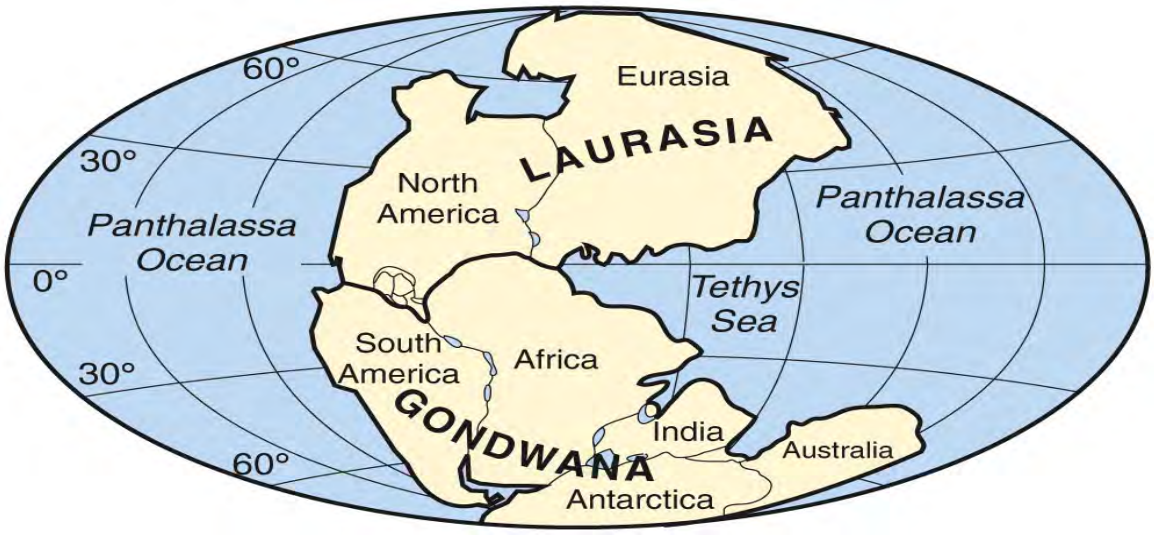
انسياح القارات

لقد برزت فكرة التوافق الشكلي لحواف القارات، وعلى الأخص أميركا الجنوبية وأفريقيا. ولم تعط هذه الفكرةأهمية إلا عندما قدّم العالم الألماني فاغنر شرحا مفصلا عنها، معلنا عن اعتقاده بوجود قارة عظمى أطلق عليها اسم البانجيا (تعني كل اليابسة)، وأن هذه القارة تعرضت للانشطار إلى قارات أصغر. ثم أخذت هذه القارات الصغيرة الانسياح حتى بلغت مواقعها الحالية.

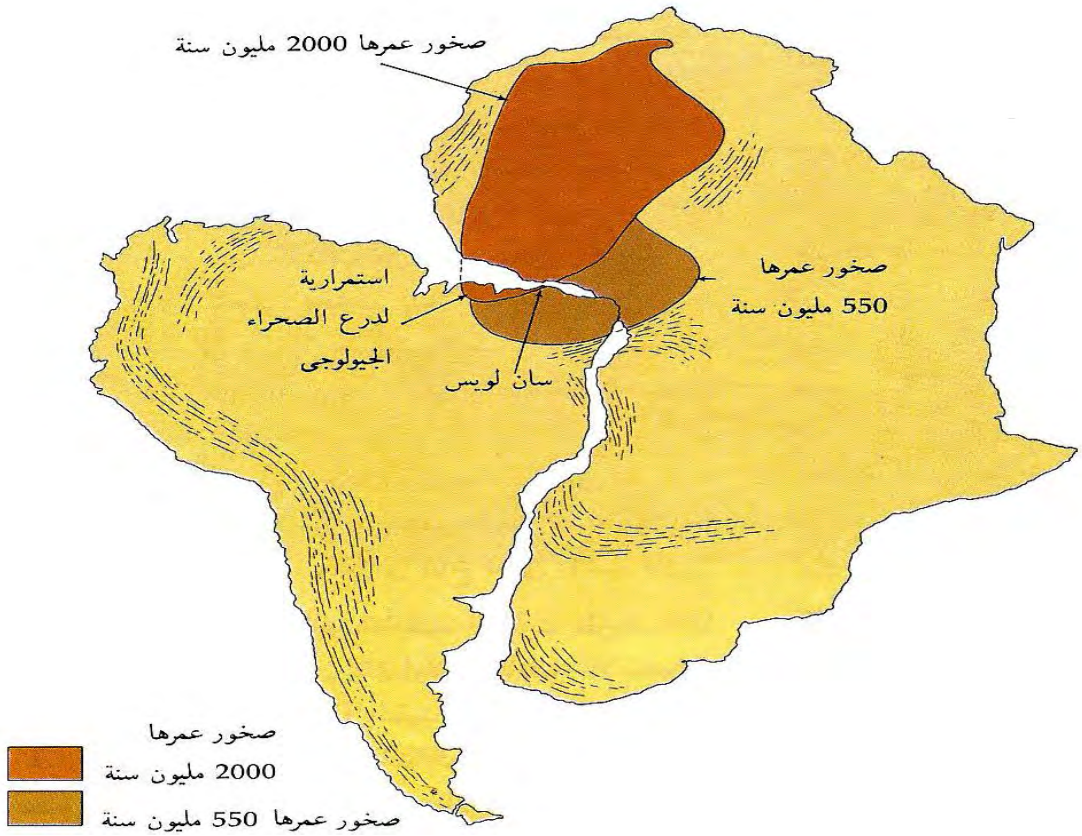
وقد قدّم فاغنر، مع العديد من مؤيديه، الأدلة على فرضيته، نورد فيما يلي أهمها:

- **التوافق الشكلي لحواف القارات؛** كما يبو للعيان على جانبي الأطلنطي، الأمر الذي يوحي باحتمالية أتها كانت متصلة ببعضها البعض.

ولقد وجد أن الحواف الخارجية للسطيحة القارية تمثل حدودا أكثر دقة للقارات. وتقع حواف السطيحات القارية اليوم تحت أعماق تبلغ مئات الأمتار تحت سطح البحر.



شكل – إعادة تركيب قارة بانجيا كما يعتقد أنها كانت عليه منذ 200 ملين سنة تقريبا



شكل – التوافق الشكلي بين قارتي أميركا الجنوبية وأفريقيا، ويوضح التشابه في عمر الصخور هذا التوافق

– **الدليل المستحاثي؛** مثل انتشار بعض أنواع من الكائنات الحية من حقب الحياة المتوسطة،التي ليس بمقدورها الانتقال عبر البحار التي تفصل بين القارات الحالية، وعلى الأخص نبات ، وهو من السراخس الواسعة الانتشار في القارات الجنوبية، أي أفريقيا، أميركا الجنوبية، استراليا. وأيضا بقايا نوع الحيوان وهو من الزواحف المائية، بقاياه المستحاثة منتشرة في شرقي أفريقيا وفي غربي أميركا الجنوبية. ومن المؤكد أن هذا الزاحف ليس بمقدوره الانتقال سباحة عبر الأطلنطي.

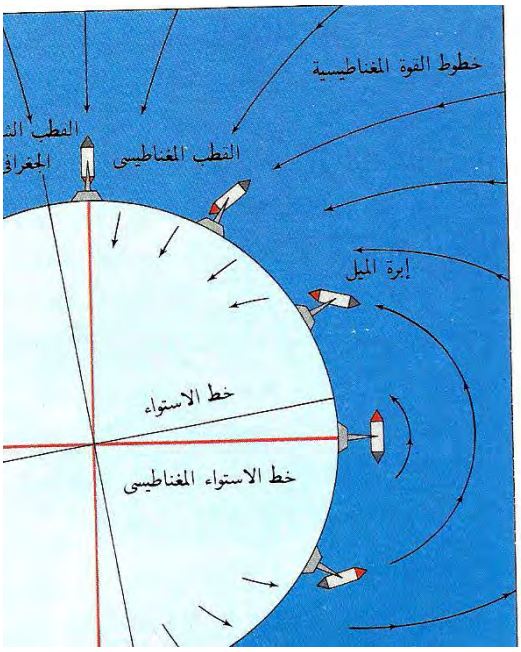
– **تشابه أنواع الصخور والبنيات؛** لقد وجد أن الصخور في شمال غرب أفريقيا متشابهة مع صخور شرقي البرازيل. وقد أوضحت الدراسات الحديثة صحة هذا الدليل.

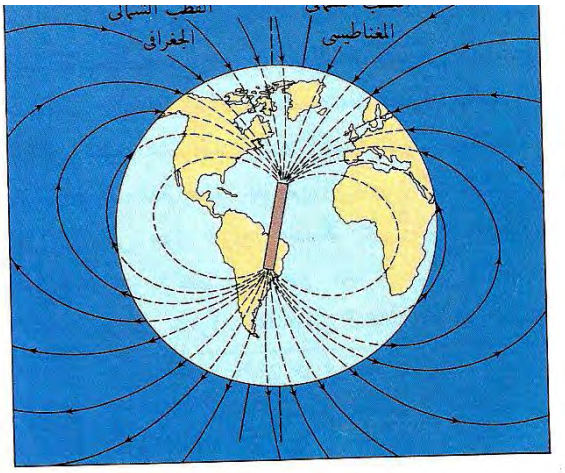
ودليل آخر على انسياح القارات هو السلاسل الجبلية التي تنتهي عند ساحل إحدى القارات لتظهر ثانية في كتلة قارية أخرى، كجبال الأبالاش في شرق الولايات المتحدة على تخوم شاطئ الأطلنطي، وجبال مشابهة لها في العمر والبنية في غرينلاند بشمال أوروبا.

إنسياح القارات والمغنطيسية القديمة

يعتمد اسلوب دراسة المغنطيسية القديمة على حقيقة وجود بعض الفلزات التي تعمل كبوصلات مستحاثة داخل صخور معينة. وتكثر هذه الفلزات الغنية بالحديد في صبات المهل ذات ذات التكوين البازلتي. وعندما تصبح الفلزات صلبة فإنها تحتفظ باتجاه مغنطيستها. وإذا ما تحرك الصخر أو تغير موقع القطب المغنطيسي

فإن مغنطيسية الصخر في معظم الأحوال ستحتفظ باتجاهها الأصلي. وقد أدت الراسات الحديثة للصبات المهلية إلى أن ترتيب اتجاه الفلزات الغنية بالحديد داخل هذه المهل يختلف اختلافا كبيرا بناء على اختلاف أعمارها. وقد أدى توقيع أماطن الفطب المغنطيسي الشمالي على الخريطة نسبة للأزمنة المختلفة إلى اكتشاف أنه نغير في موقعه من منطقة بالقرب من هاواي تجاه الشمال عبر سيبيريا خلال الخمسمائة مليون سنة الفائتة.وهذا دليل واضح على أن الغطبين المغنطيسيين قد غيرا مواقعهما عبر الأزمنة الغابرة أو أن القارات قد انساحت.





شكل 16 ـ 7
يتكون مجال الأرض المغناطيسي من خطوط قوة كما لو أن بداخلها قضيب ممغنط

انفتاح قاع البحر

أدت الدراسات الدقيقة للمتون الأقيانوسية إلى أن هذه المتون ذات اتجاهات موازية للحواف القارية، وإلى اكتشاف وادي فالقي على طول متن وسط الأقيانوس، مما يدل على قوة شد كبيرة في المنطقة. باللإضافة إلى ذلك، ,جد أن منظومة متن وسط الأقيانوس تتميز بدفق حراري مرتفع وبعض النشاط البركاني. وقد تم جمع هذه الاكتشافات في فرضية عرفت بفرضية **انفتاح قاع الأقيانوس**.

وقد كتب العالم هاري هيس عن هذه الفرضية يقول بأن متن وسط الأقيانوس يقع فوق الأجزاء الصاعدة من خلايا ضخمة من تيارات الحملان الحرارية داخل معطف الأرض. وكلما انتشرت المواد الصاعدة من المعطف جانبيا كلما انساح قاع الأقيانوس بعيدا عن قمة المتن. وتعمل كذلك قوى الشد الناتجة عن التيارات المتباعدة جانبيا على فتح الطريق أمام المهل الصاعدة التي ستشكل قشرة أقيانوسية جديدة. وبناء عليه كلما تحرك قاع الأقيانوس كلما حلت محله قشرة أقيانوسية جديدة.

هناك اتفاق عام الآن على أن المغنطيسية القديمة تعتبر أكثر الأدلة إقناعا بفرضية انسياح القارات وانسياح قاع الأقيانوس، وأصبح التفكير العلمي إلى جانب فرضية الأرض المتحركة.

تكتونيك الصفائح

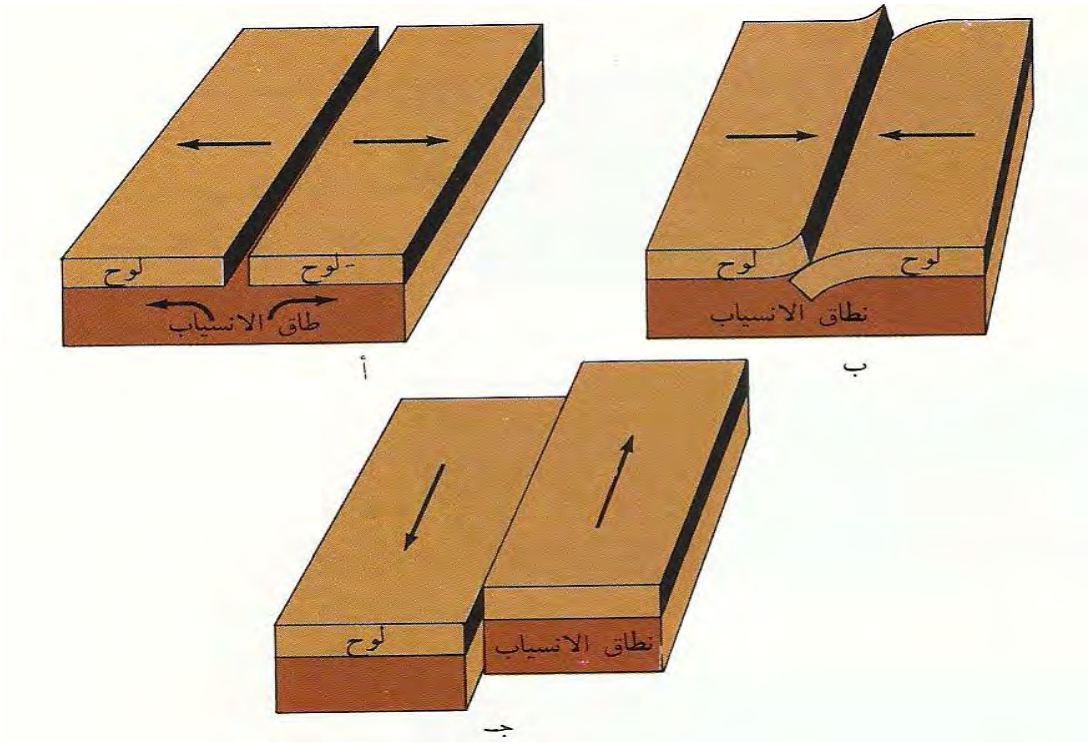
تم توحيد فرضيتي إنسياح القارات وانفتاح القاع الأقيانوسي في نظرية عرفت **بحركية الصفائح** التي تقول بأن غلاف الأرض الصخري الجامد مكوّن من عدة أجزاء تدعى الصفائح. وأكبر هذه الصفائح هي الصفيحة الباسيفيكية التي يقع معظمها داخل الأقيانوس الباسيفيكي. وتحتوي غالبية الصفائح الضخمة على قشرة أقيانوسية إلى جانب القشرة القارية، في حين تتكون غالبية الصفائح الصغيرة .من مادة أقيانوسية.

من أحد معتقدات نظرية حركية الصفائح أن كل صغيحة تتحك كوحدة مستقلة بالنسبة إلى بقية الصفائح الأخرى. ويعتقد أن السلوك الحركي للصخور داخل النطاق الوهن يسمح بحركة الصفائح في قشرة الأرض الخارجية الصلبة. وعليه فإن معظم آثار هذه الحركة تقع عند حواف الصفائح، وإن معظم النشاط الاهتزازي للأرض والبركنة وعملية بناء الجبال تقع على امتداد حواف الصفائح..

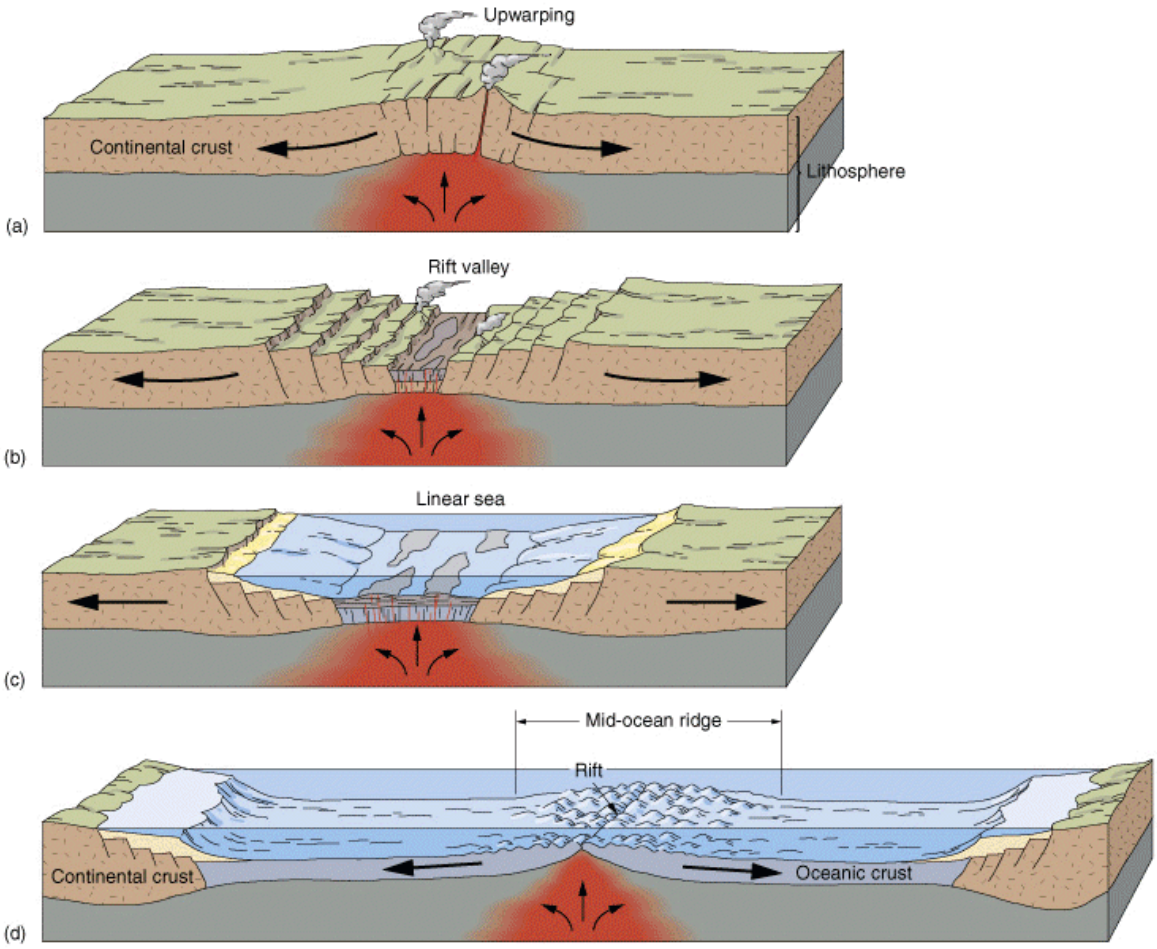
حواف الصفائح

توجد ثلاثة أنماط من من حواف الصفائح، يتميز كل منها بحركة مختلفة، وهي :

1 – حواف متباعدة ، حيث تتحرك الصفائح بعيدة عن بعضها، مما ينجم عنه خروج مواد من المعطف لتشكل قاعا بحريا جديدا. وهذه الحواف هي مواقع انفتاح قاع الأقيانوس عند قمة متن وسط الأقيانوس، حيث تقوم المهل المتصاعدة من الغلاف الوهن الحار بملء الفراغ الناجم عن تباعد الصفائح عن محور المتن. وتبرد المهل ببطء مكونة جزءا جديدا من قاع الأقيانوس.



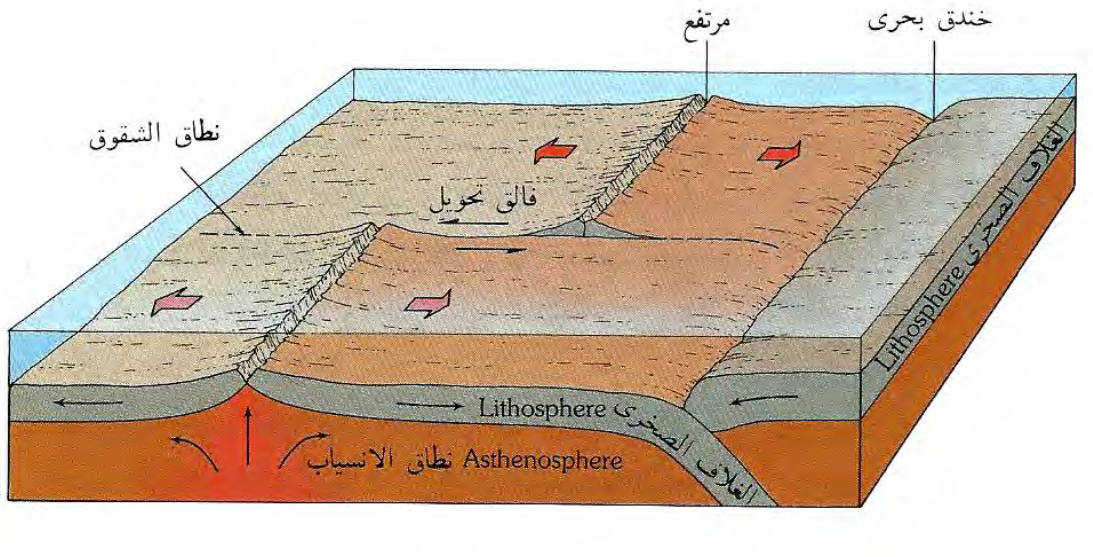
شكل – رسم نخطيطي لحواف الصفائح: أ– حافة تباعد ؛ ب– حافة تقارب ؛ جـ– حافة فالق تحويل



شكل – (أ) صعود المهل سبب تشققات في الغلاف الصخري. (ب) مع الشد الحاصل على القشرة المشققة تباعدت اجزاؤها عن بعضها. (جـ) المزيد من الانفتاح شكل بحرا ضيقا. (د) وتشكل في النهاية أقيانوس ومتن في وسطه.

2 – حواف متقاربة، حيث تتحرك الصفائح نحو بعضها. فعند مراكز الانفتاح تتكون باستمرار إضافات جديدة لغلاف الأرض الصحري. وحبث أن مساحة سطح الأرض الكلية ثابتة لا تتغير، فإن هذا الغلاف لا بد أن يستهلك بنفس النسبة. وقد وجد أن نطاق تقارب الصفائح هو الموقع الذي يستهلك فيه غلاف الأرض الصخري. فعند اصطدام صفيحتين تنثني حافة إحداهما وتغوص تحت الأخرى.وهند دخول مقدمة الصفيحة إلى النطاق الوهن الحار ترتفع درجة حرارتها وتفقد تماسكها.

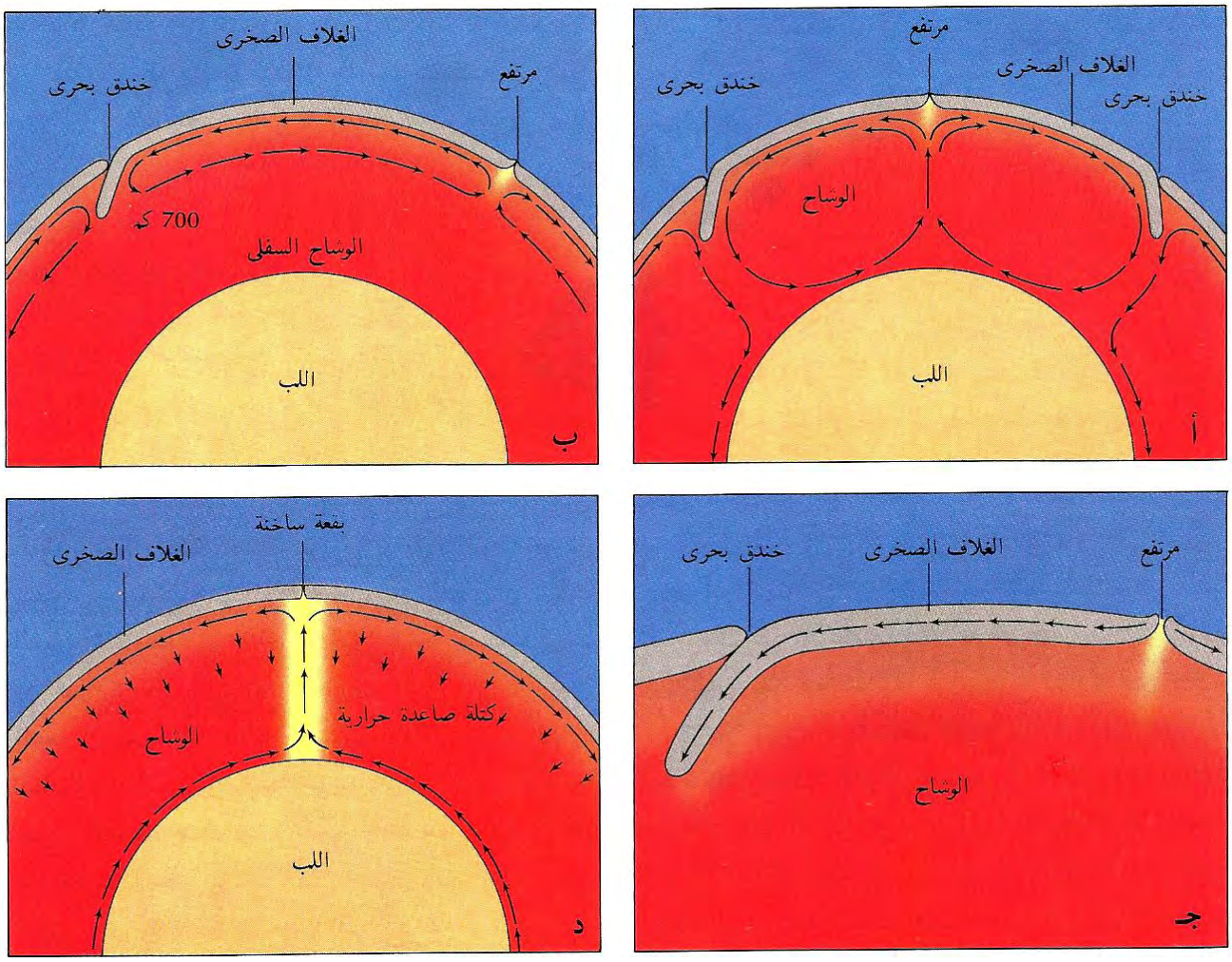
3 – حواف فوالق التحويل، حيث تنزلق الصفائح قبالة بعضها البعض دون استحداثها أو تحطيمها للغلاف الصخري. وهي توجد عند مواقع انزلاق الصفائح بمحاذات بعضها البعض دون تكوين قشرة جديدة، كما هي الحال عند متون وسط الأقيانوس.وبدون تحطم القشرة. وهي توازي تقريبا اتجاه حركة الصفائح.



سكل – فالق التحويل بين امتنين المنفصلين. الغلاف الصخري يتحرك في اتجاهين متعاكين بين المتنين

الميكانيكية المحركة

يبدو أن التوزع اللامتساوي للحرارة داخل الكرة الأرضية هو السبب الرئيس في حركة الصفائح. إذ يعتقد كثير من الجيولوجيين بأن اختلاف درجة الحرارة داخل الأرض قد نجمت عنه خلايا من تيارات الحملان الضخمة داخل المعطف.. فمكونات المعطف السفلي الحارة وذات الكثافة الضعيفة بالنسبة لما فوقها، ترتفع بالتدريج عند متون وسط الأقيانوس. وعند انبساط هذه المكونات جانبيا تبرد وتصبح أكثر كثافة لتبدأ بالغوص من جديد نحو المعطف، وترتفع درجة حرارتها.



شكل – نماذج مقترحة للقوة الدافعة لحركية الصفائح

الفصل الثاني

التجوية

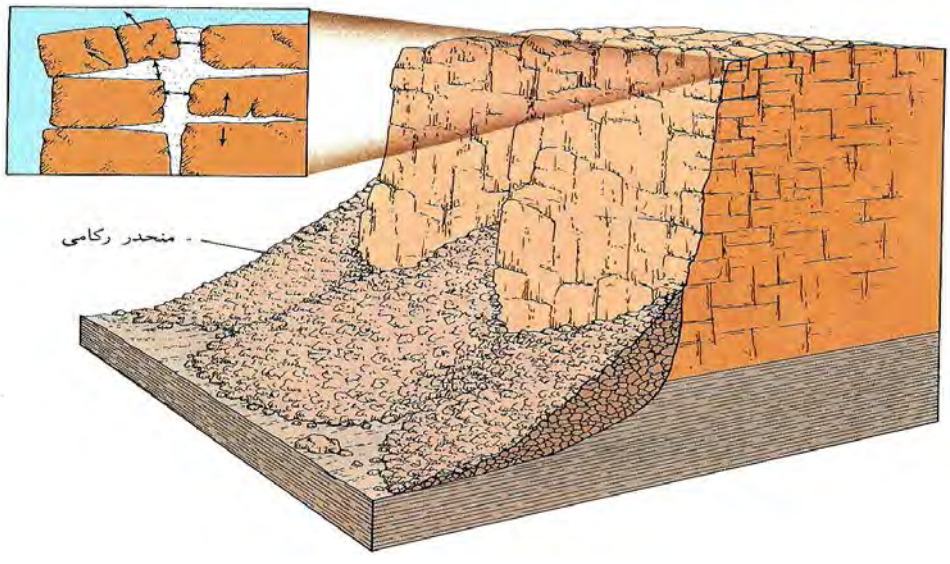
تتعرض المواد في الطبيعة إلى التجوية، فتتكسر الصخور وتتفتت طبيعيا تلقائياأو ذاتيا وتتحلل كيميئيا. وتتسم التجوية الميكانيكية بواسطة قوى طبيخية تفتت الصخور وتجز~ها إلى فطع أصغر فأصغر دون أن تغير في تركيبها الكيميائي. أما التجوية الكيميائية فإنها تتناول تغير التركيب الكيميائي للصخور. فالتجوية ببساطة هي استجابة مواد الأرض للبية المتغيرة.

التجوية الميكانيكية

عندما يتعرض الصخر إلى التجوية الميكانيكية فإنه يتجزأ إلى قطع صغيرة. وهناك أربع عمليات طبيعية تؤدي إلى تكسير الصخور و تقطيعها: دسر الصقيع، التمدد الناتج عن تخفيف الحمل، التمدد الحراري والنشاط الحياتي.

- فعل الصقيع:

يعتبر تفاوت التجمد والدفء من أهم عمليات التجوية الميكانيكية. فللماء ميزة فريدة هي تمدده بمقدار 9% عند التجمد. فالماء المتسرب إلى الشقوق والفراغات في الصخور يزداد حجمه عند تجمده، وتحدث هذه الزيادة في الحجم ضغطا يؤدي إلى تحطم الصخر. ويحدث معظم حالات دسر الصقيع في المناطق الجبلية، حيث توجد دورة يومية للتجمد والدفء.



شكل 0 تأثير الصقيع: المخرب. عندما يتجمد الماء فإنه يتمدد ويضغط بقوة كافية لكسر الصخور

- **تخفيف الحمل:**

عندما تتعرض الصخور النارية إلى عوامل التجوية، ومن ثم إلى التعرية، تبدأ الصفيحات الخاجية بالانفصال، مشكلة قشورا عى السطص الخاجي للصحر شبيهة بقشور البصل. وتسمى هذه العملية بالتورق. ويعتقد أن تشكلها يعزى جزئيا إلى انخفاض الضغط عندما تنزاح الصخور التي تغلوها.

- **التمدد الحراري:**

يعتقد بأن التغيرات اليومية في درجة الحرارة تعمل على إضعاف مقاومة الصخور للجوية، وعلى الأخص في المناطق الجافة ذات الحرارة المرتفعة، حيث يزيد الفرق في درجة الحرارة اليومية عن 30° م.

شكل – تقشّر سببه تمدّد الصخور البلورية

- **النشاط الحياتي:**

تحدث التجوية أيضا عبر نشاط النباتات والحيوانات الحفارة وبواسطة الانسان أيضا. هذا بالاضافة إلى أن معظم الكائنات الحية ينتج عنها أحماض عند تحللها مما يزيد من فعل التجوية الكيميائية.

إن عوامل التعرية، الرياح والمياه الجارية والجليديات مهمة جدا، لأنها لا تنفك عن التفتيت المستمرلتكسر الصخورأثناء نقلها.

شكل – مائدة كلسية نحتتها عوامل الطبيعة (الجبال الساحلية)

التجوية الكيميائية

تشمل التجوية الكيميائية عمليات معقدة تغير من البنية الداخلية للفلزات من خلال إضافة أو حذف بعض العناصر.

وتعتبر المياه أهم عوامل التجوية الكيميائية. والعمليات التي تحلل فيها المياه الصخور هي عمليات الذوبان والتأكسد والحلمأة.

– الذوبان:

إن أكثر فلزات الصخور ذوبانا في الماء هو فلز الهاليت (ملح الطعام)، وهو مؤلف من إيونات الصوديوم وإيونات الكروم. ومع أن معظم الفلزات تذوب في الماء، فإن وجود كمية ضئيلة من الأحماض في الماء يزيد بشكل ملحوظ القوة المذيبة للمياه. فمثلا، فلز الكالسيت الذي يشكل مادة الحجر الكلسي، من السهل جدا إذابته بأقل المحاليل الحمضية تركيزا. ومما يدل بوضوح على هذه الفعالية وجود أعداد كبيرة جدا من الكهوف والمغاور في المناطق التي تنتشر فيها الصخور الكلسية.

شطل – التجوية الكارستية. دولينة حفرتها المياه الكربونية (الجبال الساحلية)

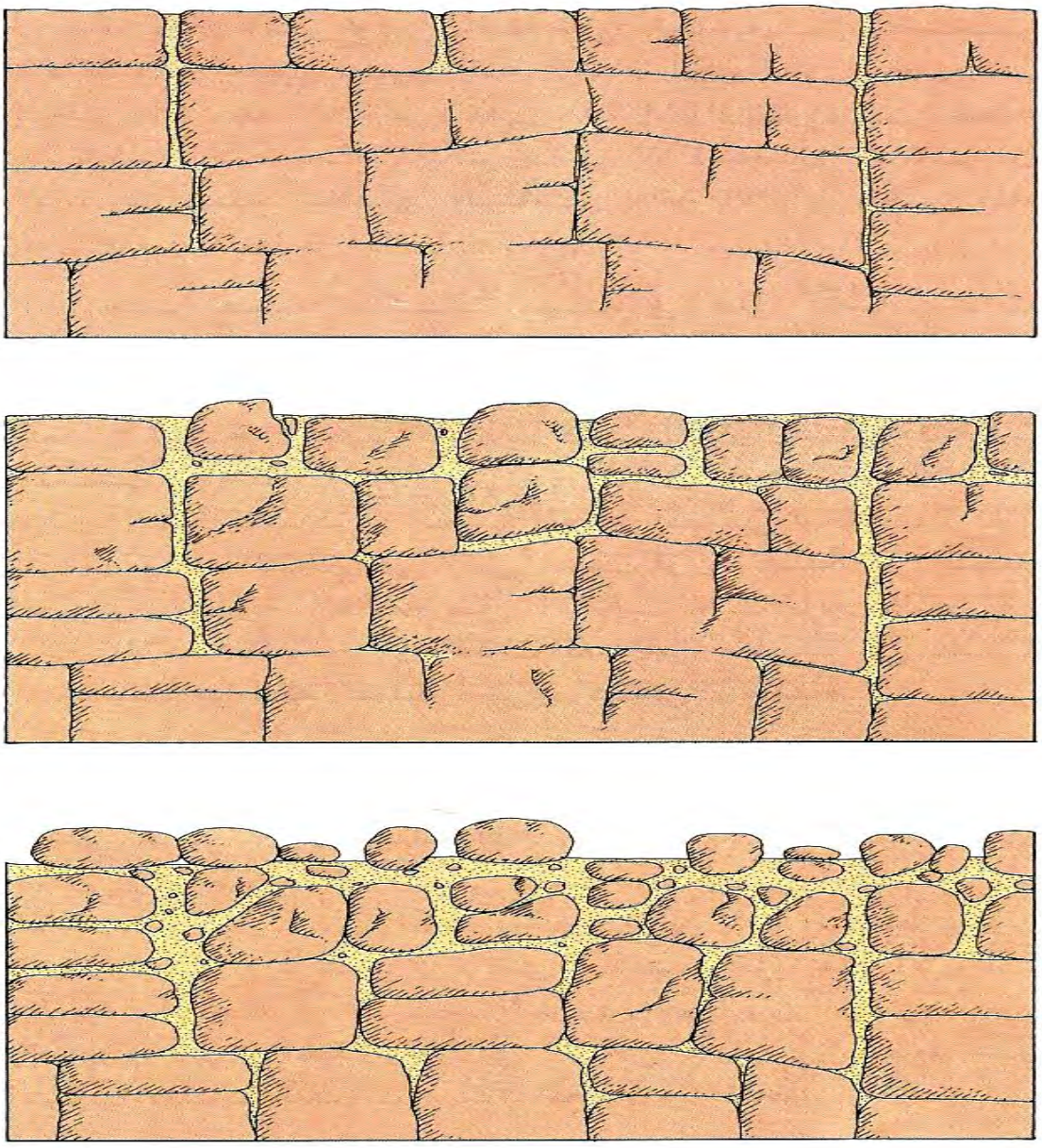
– الأكسدة:

تعتبر عملية الأكسدة مهمة في تحلل الفلزات ذات التركيب الحديدي. فالأكسيجين يتحد بسهولة مع الحديد في هذه الفلزات لينتج أكسيد الحديد ذي اللون البني المحمر، أو هيدروكسيد الحديد ذي اللون الأصفر. وهذه النواتج هي التي تسبب لون الصدأ على سطح الصخور النارية القاتمة مثل صخر البازلت.

– الحلمأة:

تتحلل مجموعة السيليكات التي هي أكثر المجموعات الفلزية انتشارا في الطبيعة، بطريقة الحلمأة التي هي تفاعل أي مادة مع الماء.

وفي الطبيعة، يحتوي الماء عادة على مواد أخرى تساهم بإيونات إضافية للهيدروجين مما يعمل على الإسراع في عملية الحلمأة. ومن بين أهم هذه المواد ثاني أكسيد الكربون الذي يذوب في الماء منتجا حمض الكربونيك.



شكل – التجوية الكروية على الصخور المكتظة بالشقوق

– التغيرات التي تحدثها التجوية الكيميائية:

إن من أهم نواتج التجوية الكيميائية هي تحلل الفلزات غير المستقرة مع تشكل فلزات أخرى متوازنة مع الظروف السائدة على سطح الأرض.وهذا يفسر كثرة فلزات معينة في المواد السطحية مشكلة ما يسمى بالتربة. وبالاضافة إلى تغير التركيب الداخلي للفلزات، تسبب التجوية الكيميتئية تغيرات طبيعية. فمثلا، عندما تتعرض قطع الصخور المزوّاة للميه الجارية في الفواصل الصخرية، تأخذ هذه القطع الصخرية أشكالا مستديرة. وتعطي هذه العملية الصخر المجوّى مطهرا مكورا، ويطلق عليها في هذه الحالة بالتجوية الكروية.

كثيرا ما يحدث أثناء تشكل الجلاميد المكورة أن تنشأ قشور متتابعة تنفصل عن الصخر الرئيس. وتختلف هذه الظاهرة عن ظاهرة التورّق التي تتم عملية انفصال الوريقات نتيجة لتخفيف الحمل.

شكل – آثار الحت الكارستي على الصخور الكلسية (جوراسي السلسلة الساحلية)

شكل – الصواعد والنوازل

معدلات التجوية

يتأثر معدل تجوية الصخور ونوعها بعدة عوامل، من أهمها التركيب الصخري والمناخ والتضاريس.

- **التركيب الصخري:**

يتضمن التركيب الصخري كافة الخصائص الكيميائية للصحور، بحيث يشمل التركيب الفلزي وقابلية الذوبان. كما يشمل الملامح الطبيعية التي يمكن أن توجد في الصخور، مثل الشقوق والسطوح الطبقية والفجوات.

- **المناخ:**

تعتبر العوامل المناخية، وعلى الأخص الحرارة والرطوبة، ذات أهميةأساسية لمعدل تجوية الصخور. وتتحكم هذه العناصر المناحية إلى حد كبير في معدل التجوية، وتحدد بصورة غير مباشرة نوع وكمية الغطاء النباتي.

إن البيئة المناسبة للتجوية الكيميائية هي وسط بين درجات الحرارة ووفرة الهواء الرطب. ففي المناطق القطبية، ليس للتجوية الكيميائية أي تأثير لأن درجات الحرارة القاسية تحبس الرطوبة على هيئة ثلج. وكذلك الحال في المناطق الجافة، فإن انعدام الرطوبة يبطئ عملية التجوية الكيميائية.

- **التضاريس:**

تؤثر التضاريس في الصخور المعرضة لقوى التجوية. كما أن وضع التضاريس قد يتحكم بصورة غير مباشرة في كية الأمطار وفي نوعية وكمية الغكاء النباتي.

تكثر التضاريس ذات النتوءات الصخرية البارزة في المناطق الجافة، بينما تكثر التضاريس المستوية في المناطق الرطبة التي تغطيها النباتات وتراكمات التربة. وتعزى هذه الفروق إلى زيادة نشاط التجوية الكيميائية في المناطق الرطبة، وزيادة نشاط التجوية الميكانيكية في الماطق الجافة. والقول الأصح هو أن التجوية الكيميائية مهمة في المنطقتين، إنما تزداد التجوية الميكانيكية أهمية في المناطق الجافة.

إن مجموع هذه العوامل يحدد نوع ومعدل تجوية الصخور في أي منطقة. ولكن هناك فوارق واضحة في كل منطقة تعمل على تفاوت التجوية في الصخور. وهذا التفاوت في التجوية وما يتبعها من تعرية هما المسؤلات عن المناظر الطبيعية الخلابة التي تميز الجبال والهضاب والوديان.

جبل الحرمون الخالد والمناطق المجاورة

الجبال الساحلية السورية

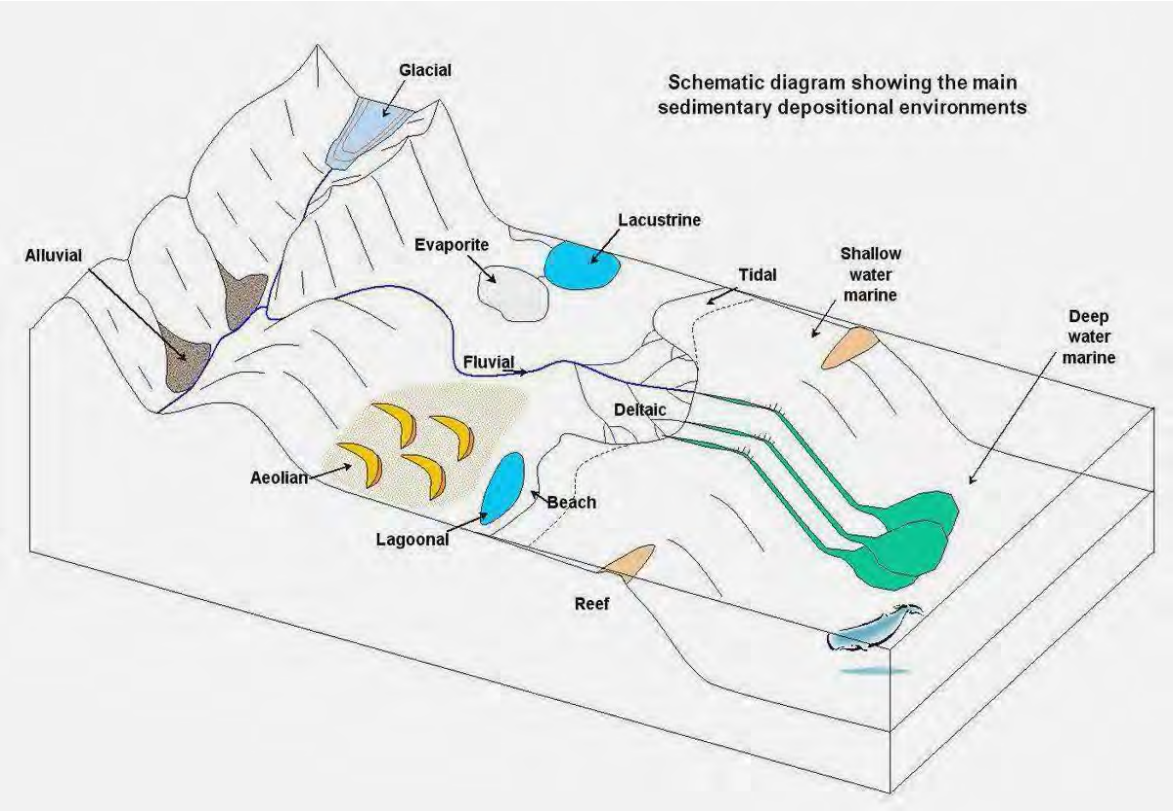
الفصل الثالث

الصخور الرسوبية

تشكل نواتج التجوية الميكانيكية والكيميائية المواد الخام للصخور الرسوبية، لأنها مواد مترسبة في البحار والبحيرات والأنهار بعد أن تم نقلها بالماء والرياح. وبمرور الزمن، تلتحم هذه الرسوبات مع بعضها بمواد تحتل الفراغات بين حبيباتها لتكون صخرا متماسكا صلبا.

من معاينة الصخور المتكشفة على سطح الأرض، نجد أن معظمها من الصخور الرسوبية (75%). ولهذا يمكن اعتبار أن الصخور الرسوبية تشكل طبقة رفيفة غير متصلة في الجزء العلوي من القشرة الأرضية.

تحفظ الصخور الرسوبية بين طياتها إشارات للبيئة التي ترسبت عناصرها فيها. كما تجدر الإشارة إلى أن الصخور الرسوبية ذات أهمية اقتصادية، فكثير من مصادر الطاقة الأساسية، كالنفط والغاز الطبيعي، ملازمة للصخور الرسوبية.



شكل – رسم تخطيطي يبين الأوساط الرسوبية المختلفة

أنواع الصخور الرسوبية

...تتألف الرسوبات الناجمة عن التجوية الميكانيكية من عناصر متفتتة حتية.وتسمى الصخور الرسوبية التي تضمها بالصخور الرسوبية الحتية. وتعرف الرسوبات الصادرة عن المواد المنحلة الناجمة عن التجوية الكيميائية بالرسوبات الكيميائية. وتسمى الصخور الناتجة عنها بالصخور الرسوبية الكيميائية.

الصخور الرسوبية الحطامية

تمثل فلزات الغضار والكوارتز المكونات الرئيسة لمعظم الصخور الرسوبية الحطامية.ويعتبر حجم الحبات في هذه الصخور هو المعيار الأساسي في التمييز بين أنواع الصخور الرسوبية الحطامية المختلفة. ويمكن عادة ربط حجم حبيبات في الصخور الرسوبية الحطامية بطاقة الوسط الناقل. فكلما كان التيار قويا كان حجم الحبيبات التي ينقلها كبيرا.

-- **الغضار**، هو من أهم الصخور الرسوبية الحطامية، مؤلفة من فلزات دقيقة الحبيبات، ويشكل ما يقدر ب70% من كل الصخور الرسوبية.

- **الحجر الرملي** المؤلف من حبات الكوارتز لأنه شديد المقاومة للتجوية الكيميائية. ويشكل ما يقدر ب20% من كافة الصخور الرسوبية.

- **صخر الكونغلوميرا** المؤلف بمعظمه من عناصر حطامية تتراوح بين الحصى والجلاميد الكبيرة. وعادة ما تمتلئ الفراغات بين عناصر الصخر بالغضار والرمل، ثم تلتحم الكتلة برمتها وتصبح صخرا صابا.

الصخور الرسوبية الكيميائية

تتألف الصخور الرسوبية الكيميائية من مواد كانت قد حملت إلى البحيرات والبحار على هيئة محاليل. وقد ترسب بعضها على شكل جزيئات نتيجة لعمليات لاعضوية كالأملاح التي تتركها المياه المالحة بعد تبخرها، أو بطريقة غير مباشرة نتيجة لعمليات بيولوجية للكائنات المائية التي تنتزع المواد المعدنية المذابة لتبني أصدافها وأجزاء صلبة أخرى.

- **الحجر الكلسي**؛ يعتبر الحجر الكلسي أكثر الصخور الرسوبية الكيميائية وفرة، حيث يمثل 15% من مجموع الصخور الرسوبية. يتألف بصورة رئيسية من فلز الكالسيت (CO_3Ca) الذي يترسب بطريقة لاعضوية أو نتيجة للطرق البيوكيميائية.

يتكون الحجر الكلسي ذو الأصلاللاعضوي عندما يعمل التبخر أو ارتفاع درجة الحرارةعلى زيادة تركيز كربونات الكالسيومإلى الدرجة التي تترسب عندها. مثال ذلك الحجر الكلسي الذي يترسب في الكهوف ويسمى **ترافرتان**.

– **الدولميت**؛ صخر يتألف من فلز الدولوميا المؤلف من كربونات الكالسيوم والمغنيزيوم. ينشأ معظمه عندما يحل عنصر المغنيزيوم في مياه البحر محل بعض الكالسيوم في الحجر الكلسي.

– **حجر الصوان** ؛ يتألف من السيليكا (SO_2)، مجهري التبلور. توجد رسوباته عادة في إحدى حالتين: إما على شكل عقيدات غير منتظمة في صلب الحجر الكلسي،أو على شكل طبقات صخرية.

– **الملح الصخري والجص الصخري**؛ غالبا ما تتشكل الرسوبات الكيميائية عبرعمليات التبخر. وأهم الفلزات المتشكلة على هذا النحو هي الهاليت (كلوريد الصوديوم)، وهو المكون الصخري الرئيسي للملح الصخري، والجبس (كبريتات الكالسيوم) وهو المكون الصخري الرئيسي للجصالصخري. تعد هذه الرسوبات اليوم مصدرا مهما لمواد كيميائية عديدة.

الوضع الأصلي للتشكيلات الرسوبية

نعتبر بصورة عامة جدا، بأن الوضع الأصلي لمعظم الرسوبات المكونة للتشكيلات القديمة هو أفقي أو قريب من الأفقي. وبالتالي، فإنه عندما تبدي صفوف هذه التشكيلات ميلا ما، فإن ذلك يعود إلى الحوادث التكتونيكية.

إن وجود سطوح انقطاع بين المتتاليات المتتابعة يدل على أن الترسب قد توقف مدة من الزمن. ويتعلق نمط الانقطاع الموافق باهمية هذه المدة الزمنية.

سطوح الانقطاعات الرسوبية

قد يكون النوقف عن الترسب المسبب للانقطاع الرسوبي طويلا، برهة، او يوما، أو سنة، أو عشرات السنين، أو هدة ملايين من السنين...ونصل هكذا إلى تمييز الانقطاعات الصغرى عن الانقطاعات العظمى.

– الانقطاعات الصغرى

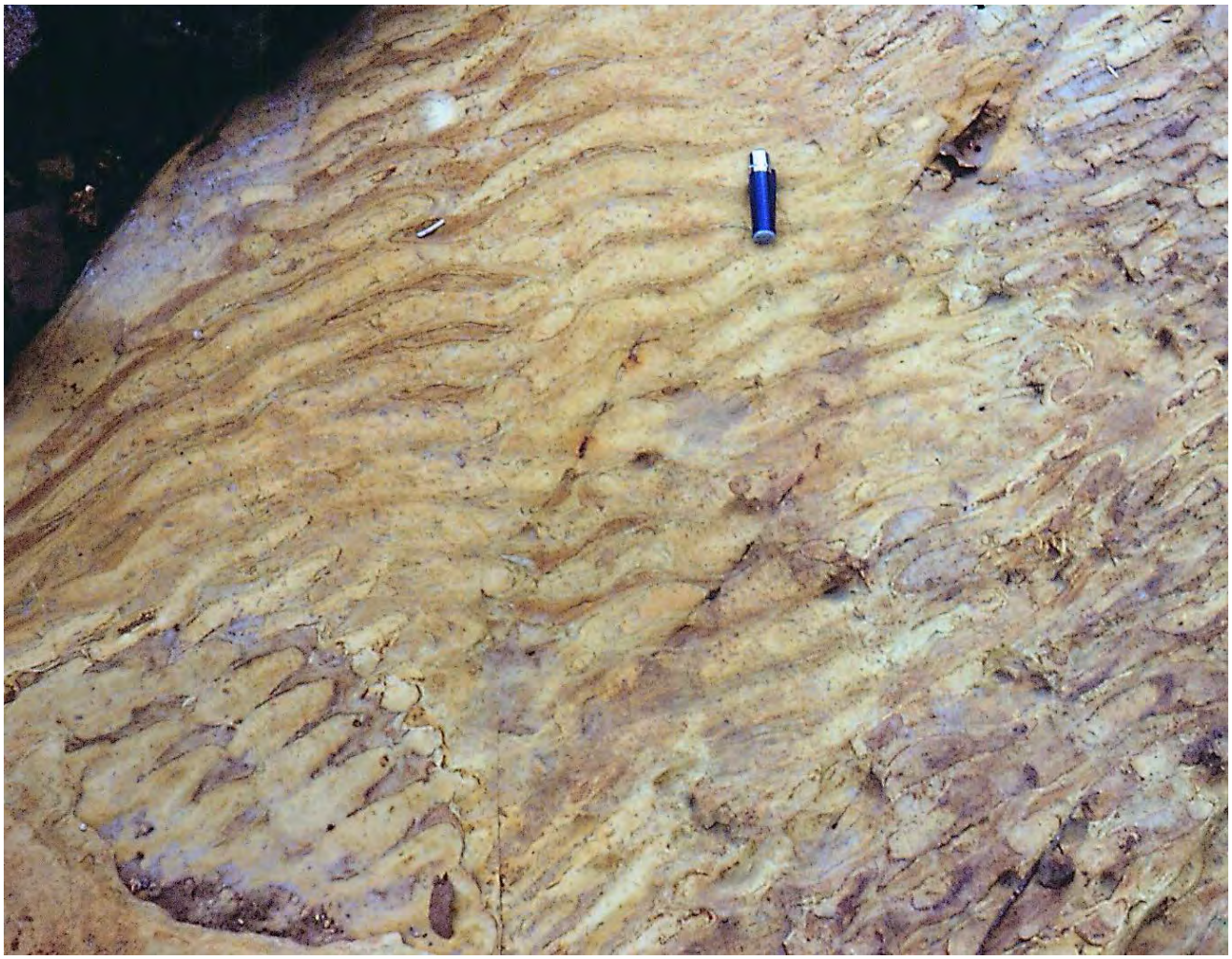
تعرف هذه الانقطاعات من تكرارها مرات عديدة على الخط الشاقولي نفسه، ومن كون انتشارها محدودا نسبيا، ومن كون الرسوبات التي تفصل بينها متشابهة، بصورة عامة. وقد يحمل سطح الانقطاع رسوما ذات خصائص متنوعة تشير إلى أثر الأحداث التي وقعت خلال فترة الانقطاع الموافقة. وتدعى هذه الرسوم " رسوم سطح الطبقة". وتكون الرسوم على السطح العلوي للطبقة مجوفة، في حين تكون على السطح السفلي ناتئة.

1– التجاعيد

التجاعيد الوحيدة التي لها امكانية الحفظ في التشكيلات الرسوبية هي التجاهيد المتشكلة في الماء. ومنها تجاعيد الأمواج، وتعود إلى الحركات المتناوبة للماء بجوار القاع عند مرور الأمواج. وهي تبدي أعرافا حادة،

وتقعرات مستدية. وهي متعامدة على اتجاه انتشار الأمواج. أما تجاعيد التيار فهي غير متناظرة، وأعرافها مستديرة، وهي مستعرضة للتيار، يقع جانبها الخفيف الميل في الجهة التي يأتي منها التيار.

تكون غالبية التجاعيد محفوظة في التشكيلات الرسوبية القديمة بمظهرها الأصلي أحيانا، وبقوالبها في أغلب الأحيان.



شكل – تجاعيد الأمواج على سطح صحور الكريتاسي في الجبال الساحلية

2–التجاويف المتطاولة

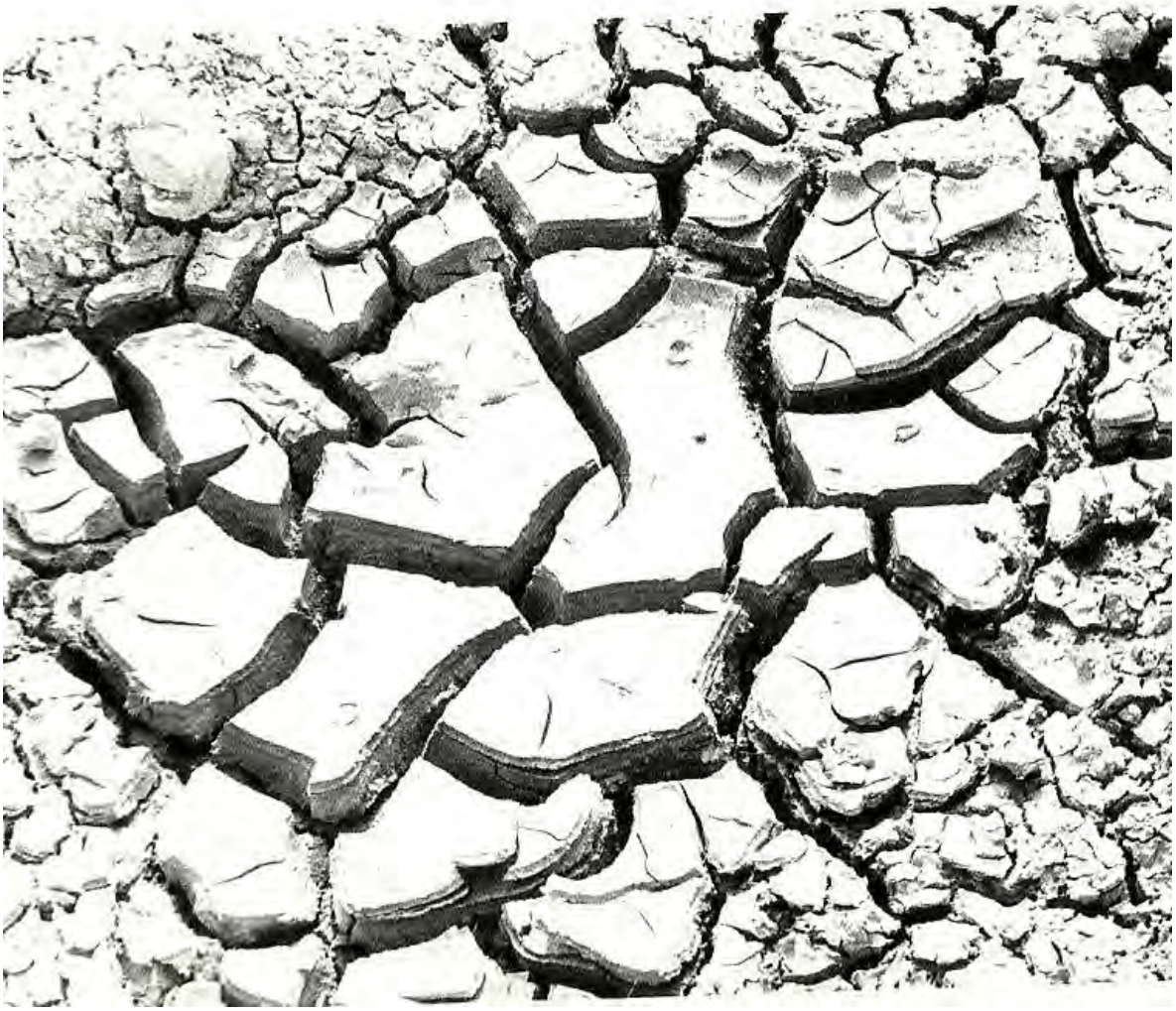
هي التجاويف التي تنجم عن فعل القوة الحتية للتيار، أو عن سحب أداة ما بهذا التيار، وهي تتشكل حاليا على سطح الرسوبات الرملية أو الغضارية الرملية التي ما تزال رخوة.

3–رسوم التخدد

هي أقنية متطاولة يحفرها تيار مائي أثناء نقله لكمية من مواد خشنة كافية لإعطائه قدرة حتية ملحوظة. لذلك، تبدو هذه الأقنية مملوءة بتلك المواد الخشنة في التشكيلات الرسوبية القديمة.

4– شقوق الجفاف وطبعات قطرات المطر

تتكوّن شقوق الجفاف عندما تجف البركة الوحلية. والصفائح المحددة على هذا النحو تحمل غالبا طبعات قطرات المطر المتسافطة على الرسوبات وهي رخوة. وهذه كلها معروفة في التشكيلات الرسوبية القديمة على شكل قولب في معظم الحالات.



شكل – شقوق الجفاف في تربة غضارية

في عداد الانقطاعات الصغرى نذكر الرسوم ذات المنشا البيولوجي **(آثار أقدام الديناصورات)، رسوم الحمولة.** وكحالات متوسطة بينها وبين الانقطاعات العظمى يصنف ما يسمى **بالقاع المتصلب** المتعلق بمدة توقف الترسب الموافقة. ويتميز السطح المتصلب بقرائن عدة، منها تجاويف الكائنات العضوية المعروفة بثقبها للصخور القاسية، وقشرات فوسفاتية أو غلوكونيتية أو حديدية أو منغنيزية ورسوم انحلال.

– <u>الانقطاعات العظمى</u>

تعرف هذه الانقطاعات من كون انتشارها ذا أهمية إقليمية بصورة عامة، ومن كون عددها ضعيفا نسبيا على خط الشاقولي نفسه، ومن كونها تشهد على حت قد يكون كبيرا جدا.

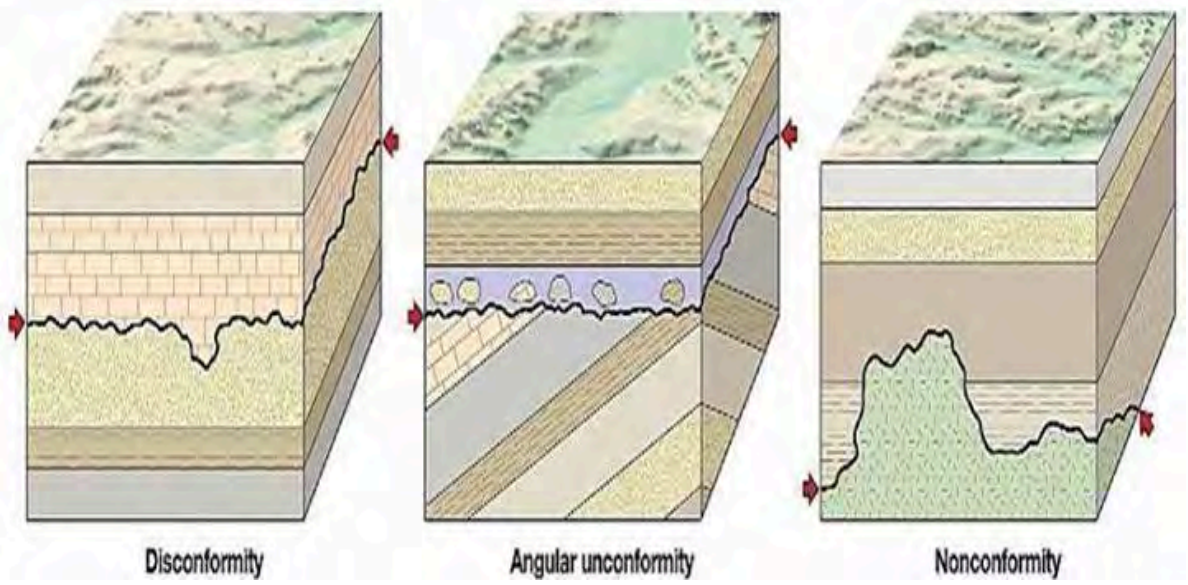
توجد أنماط عديدة من هذه الانقطاعات، يمكن تمييز بعضها عن بعض بحسب طبيعة ومطال الظاهرات التي تدل عليها. ومن أهم هذه الانقطاعات : اللاتوافقات الزاوية، اللاتوافقات على صخور بلورية، ولا توافقات التخدد.

1 – اللاتوافق الزاوي

يوجد لاتوافق زاوي عندما ترتكز تشكيلة رسوبية متطبقة على تشكيلة أخرى منتصبة ومقطوعة نوعا ما في فمتها (شكل). ويدعى سطح الانقطاع المتشكل على هذا انحو بسطح اللاتوافق. وتدعى الزاوية التي ترافقه بزاوية اللاتوافق. وتدل هذه الوضعية بوضوح على أن طبقات التشكيلة السفلى كانت قد تشوهت ثم قطعت بالحت قبل أن تتوضع الطبقات المكونة للتشكيلة العليا.

2 – اللاتوافق على ضخور بلّورية

هو انقطاع قد توجد التشكيلات الرسوبية بموجبه منضدة فوق صخور داخلية المنشأ، أو فوق صخور استحالية دون أن تكون هذه التشكيلات مع ذلك متأثرة بهذا التماس، أي دون أن تبدي أي أثر للاستحالة التماسية أو الاستحالة الإقليمية.



شكل – أنواع اللاتوافق

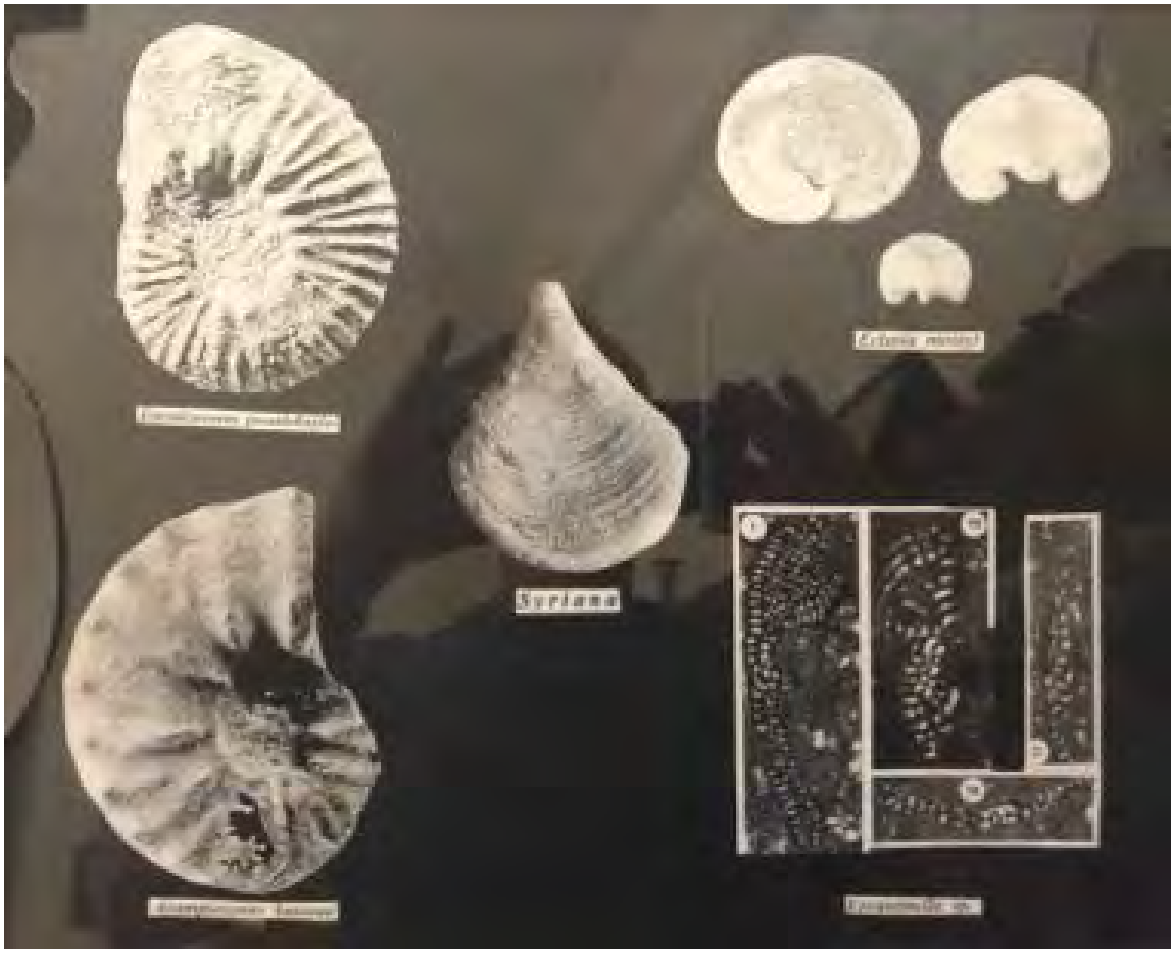
3 – اللاتوافق التخددي

يتعلق الأمر هنا بلاتوفق ناجم عن عودة الترسب على قاعدة غير مشوهة بالحوادث التكتونيكية، ولكنها محتوتة بشدة نوعا ما بحسب المواقع. فإذا وضعنا جانبا لانظامية التماس، تكون الطبقات اللامتوافقة موازية للطبقات التي تحتها, فاللاتوافق التخددي هذا يشهد، هو الآخر إذن، على مرحلة حتية قارية، غير أن غياب

ظاهرات أوروجينية سابقة لتوض الطبقات اللامتوافقة يجعله يختلف بشكل واضح عن اللاتوافق الزاوي وعن اللاتوافق على صخور بلورية.

المستحاثات

تمثل المستحاثات التي هي دلالات أو بقايا الحياة القديمة، أهم المعالم التي تتضمنها الصخور الرسوبية. فالمستحاثات وسائل هامة لاستنباط التاريخ الجيولوجي ومعرفة طبيعة أنماط الحياة التي كانت سائدة. كما تساعد في الإجابة على التساؤلات المتعلقة بالبيئة. والمستحاثات، علاوة على ذلك، هي دلائل مهمة على الزمن. وهي تقوم بدور أساسي مناطق مختلفة يجمعها زمن واحد.في ترابط النطاقات والتشكيلات الرسوبية من



شكل – مستحاثات في الصخور الرسبية في الجبال الساحلية

مصادر الطاقة من الصخور الرسوبية

يعتبر كل من الفحم والنفط والغاز الطبيعي الوقود الأسلسللافتصاد الصناعي المعقد. سوف نتعرض باختصار لهذه المصادر الهامة المتعلقة بالصخور الرسوبية.

1- **الفحم الحجري**؛ يصنف الفحم غالبا مع الصخور الرسوبية العضوية، لأنه يتشكل من المواد العضوية. فهو يحتوي على بقايا نباتية عديدة مثا الأوراق واللحاء والخشب. وهو المرحلة النهائية لتراكم كميات كبيرة من المواد النباتية ضمن شروط خاصة خلال فترات طويلة من الزمن. وتعتبر المستنقعات من البيئات العامة التي تسمح بتراكم المواد النباتية المكونة للفحم الحجري.

2- النفط والغاز الطبيعي؛ كلاهما مزيج لمواد هيدروكربونية، أي مركبات مؤلفة من الهيدروجين والكربون. وقد تحتوي أيضا على كميات ضئيلة منعناصر أخرى مثل الكبريت والنتروجين والأكسيجين. وهما نواتج عضوية من بقايا الحيوانات والنباتات ذات الأصل البحري.

والنفط والغاز الطبيعي مائعان متحركان تفرز عناصرهما تدريجيا من الطبقات الغضارية والمارنية، وتتجمع في الطبقات المجاورة النفوذة مثل الحجر الرملي.

3- الطين النفطي ؛ هو صخر رسوبي دقيق الحبيبات، يحتوي على كمية من المواد العضوية كافية لإنتاج 38 ليترا من النفط الخام للطن الواحد على الأقل. وهو لا يحتوي في الحقيقة على النفط المعروف، وإنما على مادة هيدروكربونية شمعية تسمى **كيروجين**.

شكل - جدار كلسي مشرب بالقطران في مقلع كفرية الأسفلتي (الجبال الساخلية)

الفصل الرابع

الزمن الجيولوجي

إن معرفة تاريخ الأرض هو الهدف الأساسي لعلم الجيولوجيا. فلا بد للجيولوجي أن يفسر الأدلة التي يجدها محفوظة في الصخور. ومن دراسة الصخور الرسوبية خاصة، استطاع الجيولوجيون أن يحللوا أسرار الماضي، واستنباط السلم الزمني لتاريخ الأرض، وهو التقويم الزمني الذي توضع الأحداث في مكانها الصحيح والتوصل إلى معرفة عمر الأرض، وقد تم تقديره بالطرق الحالية للتأريخ الإشعاعي بين 4.6 – 4.8. بليون سنة،

التأريخ بالنشاط الإشعاعي

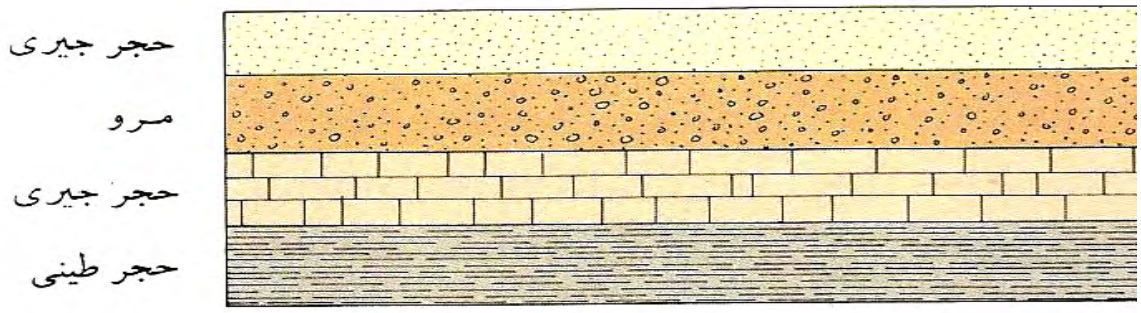
تعتبر أغلب الذرات مستقرة غير متغيرة، إلا أن بعضها متغير. وهي تطلق حرارة باستمرار عند تفتت أو تحلل النويات. وهذه هي الحرارة التي تساعد على حفظ حرارة باطن الأرض.

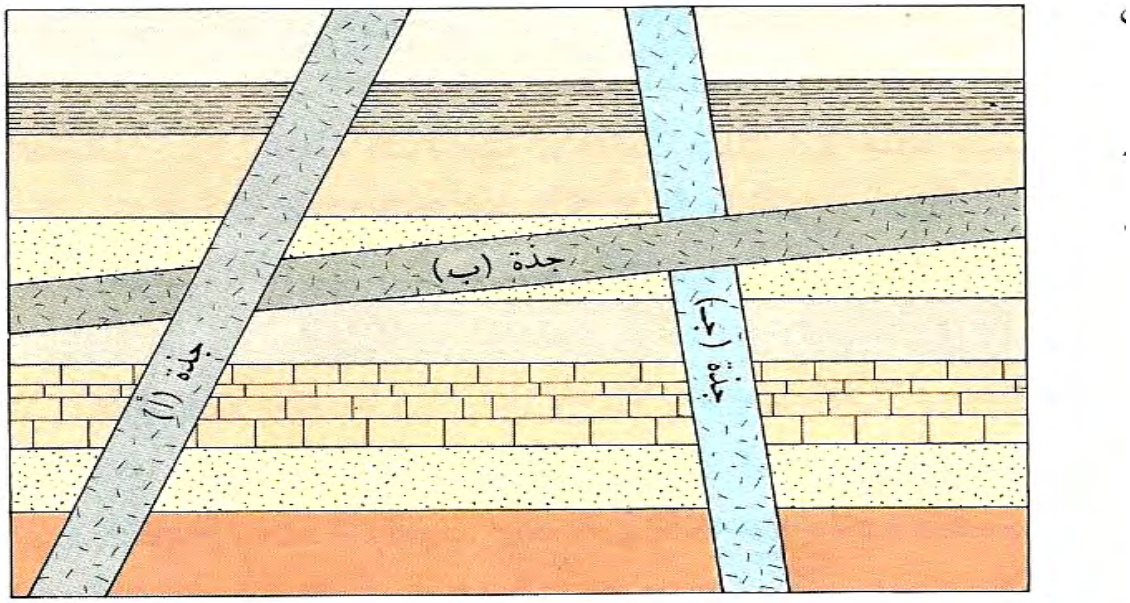
من بين أهم نتائج اكتشاف النشاط الإشعاعي هو أنها أعطت طريقة لقياس أعمار الصخور والفلزات التي تحتوي على عناصر مشعة. وهي طريقة موثوق بها لأن معدل تحلل النظائر المشعة ثابت وغير متأثر بأية عوامل مساعدة كيميائية أو فيزيائية. وتعرف هذه الطريقة **بالتأريخ الإشعاعي**. وتعود الثقة بالتأريخ الإشعاعي إلى أن معدل تحلل النظائر المشعة ثابت وغير متأثر بأية عوامل مسعدة كيميائية أو فيزيائية.

من النظائر المشعة الكثيرة التي توجد في الطبيعة، أثبتت 5 منها فعاليتها في معرفة الأعمار الإشعاعية للصخور القديمة، أهمها اليورانيوم. إلا أنه من أجل الأحداث القليلة العمر تستعمل النظائر المشعة للكربون – 14 ، ويسمى أيضا بالكربون المشع. وتعرف تقنية التأريخ الإشعاعي بالتأريخ المطلق.

التأريخ النسبي

قبل اكتشاف النشاط الإشعاعي، لم يكن لدى الجيولوجيين طريقة محددة للتأريخ المطلق، وكان عليهم الاعتماد الكلي على التأريخ النسبي. ويعني التاريخ النسبي أن الصخور موضوعة في تتابعها أو في مكانها الصحيح. فالتاريخ النسبي لا يخبرنا عن زمن الحادث، بل يعلمنا أن حدثا ما تلا حدثا معينا وسبق حدثا آخر. وطرق التأريخ النسبي ما زالت تستعمل بكثرة حتى الآن. فطرق التأريخ المطلق لم تحل محلها، بل إنها كانت مكملة لها.



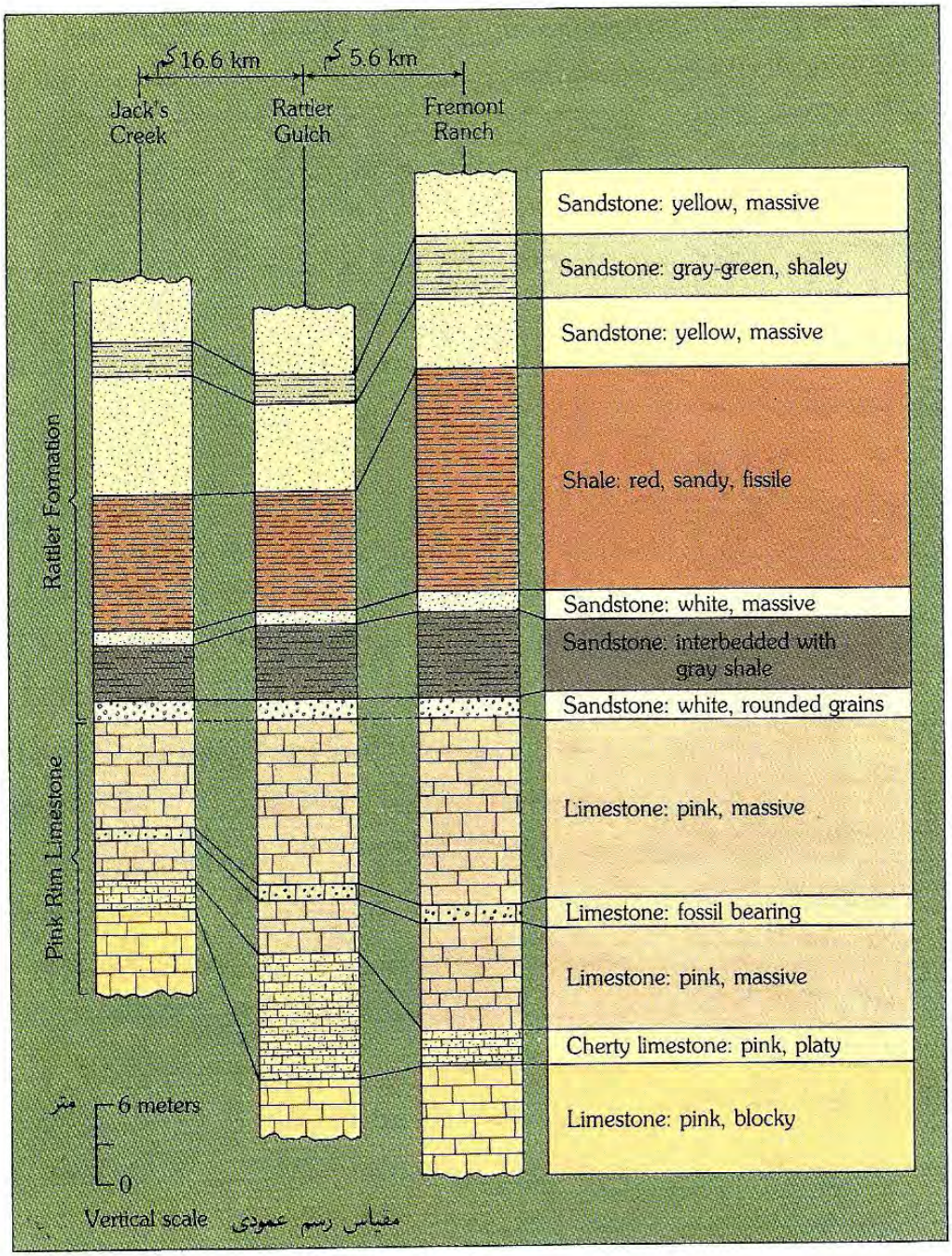


شكل – (أعلى) تعاقب نظامي لتتابع الطبقات، من الأقدم إلى الأحدث. (أسفل) علاقات قطع الطبقات بواسطة الجدر القاطعة: 1 – كافة الجدر أحدث من الطبقات المقطوعة.2 – الجدار ب قطع الدار جـ ، وحيث أن الجدار آ قطع الجدار ب ، فعليه يكون ترتيب هذه القواطع من الأقدم إلى الأحدث كالتالي: الفاطع جـ ، القاطع ب ، القاطع آ ..

لكي نرسي جدولا زمنيا نسبيا لا بد من تطبيق بعض الأسس والقوانين. من أهمها قانون التعاقب الذي ينص ببساطة على أن كل طبقة رسوبية أقدم من الطبقة التي فوقها وأحدث من الطبقة التي تحتها.

الترابط

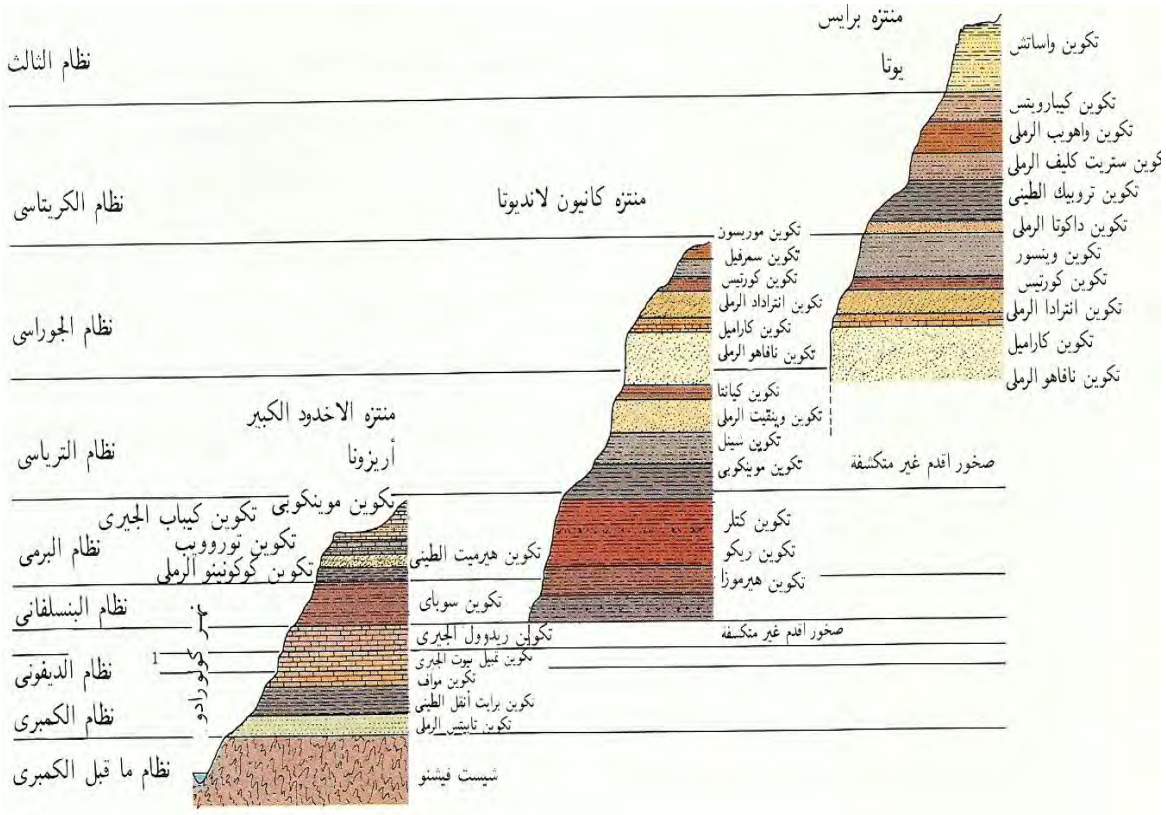
لكي نصل إلى تقويم جيولوجي عملي قابل للتطبيق في جميع أرجاء الأرض، لا بد من مقارنة الصخور في المناطق المختلفة ذات العمر الواحد. ويشار إلى هذا العمل **بالترابط.** ففي منطقة محددة هناك العديد من الطرائق لترابط الصخور من موقع للآخر. ويمكن ببساطة تتبع طبقة أو مجموعة من الطبقات، وذلك بالسير محاذيا لامتداد حافة الطبقات المتكشفة. إلا أن ذلك قد لا يكون مبسرا عند عدم استمرارية الطبقة. وغالبا ما



شكل – ترابط الطبقات في منطقة محدودة

يتم الترابط عبر مسافة قصيرة بملاحظة موقع الطبقة داخل التتابع الصخري. وبالإمكان التعرف على الطبقة في موقع آخر إذا كانت مؤلفة من فلزات مميزة.. وبمقارنة الصخور من موقع إلى آخر، يمكن الحصول على فكرة أشمل عن التاريخ الجيولوجي للمنطقة.

تتجلى أخمية الدراسات الجيولوجية لمنطقة ما عند ترابطها مع مناطق أخرى. ولا بد للجيولوجي الدارس في هذه الحالة من الاعتماد على المستحاثات. فالطبقات الرسوبية التي تفصلها عن بعضها مسافات كبيرة لا يمكن التهرف عليها إلا من خلال محتوياتها من المستحاثات المميزة.



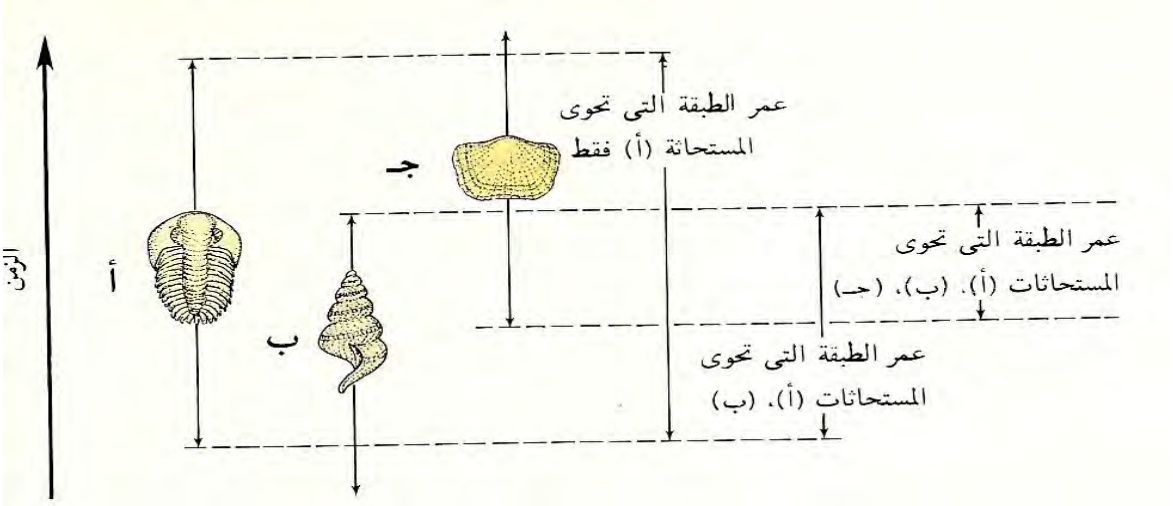
شكل – ترابط الطبقات في ثلاثة مواقع في منطقة محددة

التقويم الجيولوجي

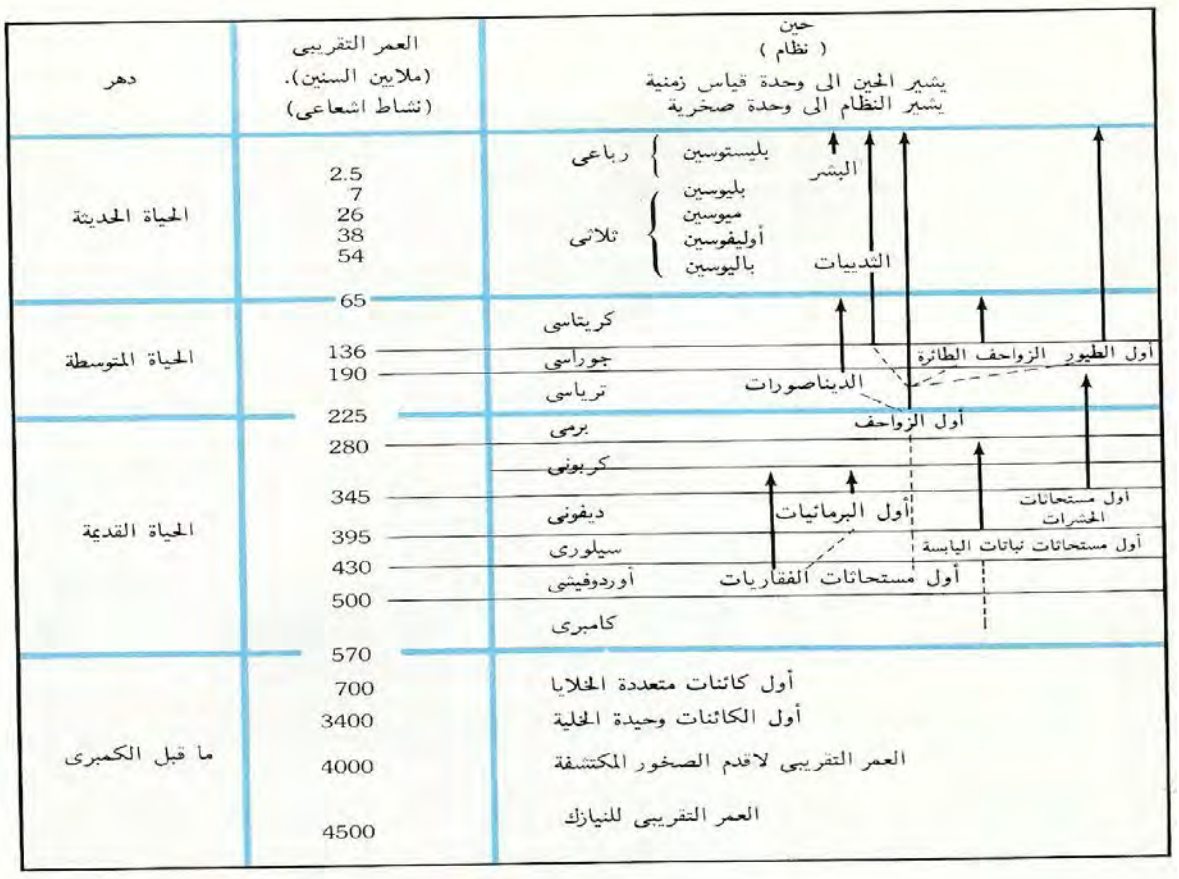
لكي نصل إلى تقويم جيولوجي عملي قابل للتطبيق في جميع أرجاء الأرض، لا بد من مقارنة الصخور في المناطق المختلفة ذات العمر الواحد. ويشار إلى هذا العمل **بالترابط.** ومن مقارنة الصخور من مكان إلى آخر، يمكن الحصول على فكرة أشمل عن التاريخ الجيولوجي للمنطقة.

وبالرغم من أن وجود المستحاثات كان معروفا منذ قرون، إلا أن أهميتها كوسيلة جيولوجية لم يتم التوصل إليها إلا بعد اكتشاف العديد من الجيولوجيين بأن الكائنات المستحاثة تتعاقب حسب ترتيب معلوم ومحدد يعقب بعضها بعضا. وأصبح ذلك معروفا بمبدأ تعاقب الأحياء، وهو أحد أهم المبادئ الأساسية للجيولوجيا التاريخية. وأصبحت المستحاثات وسيلة مفيدة جدا للتعرف على الزمن. وأصبحت أكثر الوسائل قائدة لترابط الصخور ذات الأعمار المتساوية في المناطق المختلفة. ويعطي الجيولوجيون أهمية خاصة للمستحاثات الدالة، حيث أنها ذات انتشار واسع جغرافيا وذات مدلول زمني قصير.

لقد تم تقسيم التاريخ الجيولوجي إلى وحدات مختلفة، أكبرها وحدة الدهور التي تضم دهر الحياة الخفية (البريكمبري) ودهر الحياة الجلية الذي يضم ثلاثة أحقاب هي : حقب الحياة القديمة، حقب الحياة المتوسطة وحقب الحياة الحديثة. وقد تم تقسيم الأحقاب إلى عصور، وتقسيم العصور إلى طوابق جيولوجية.



شكل – تداخل نطاقات المستحاثات في تأريخ الصخور



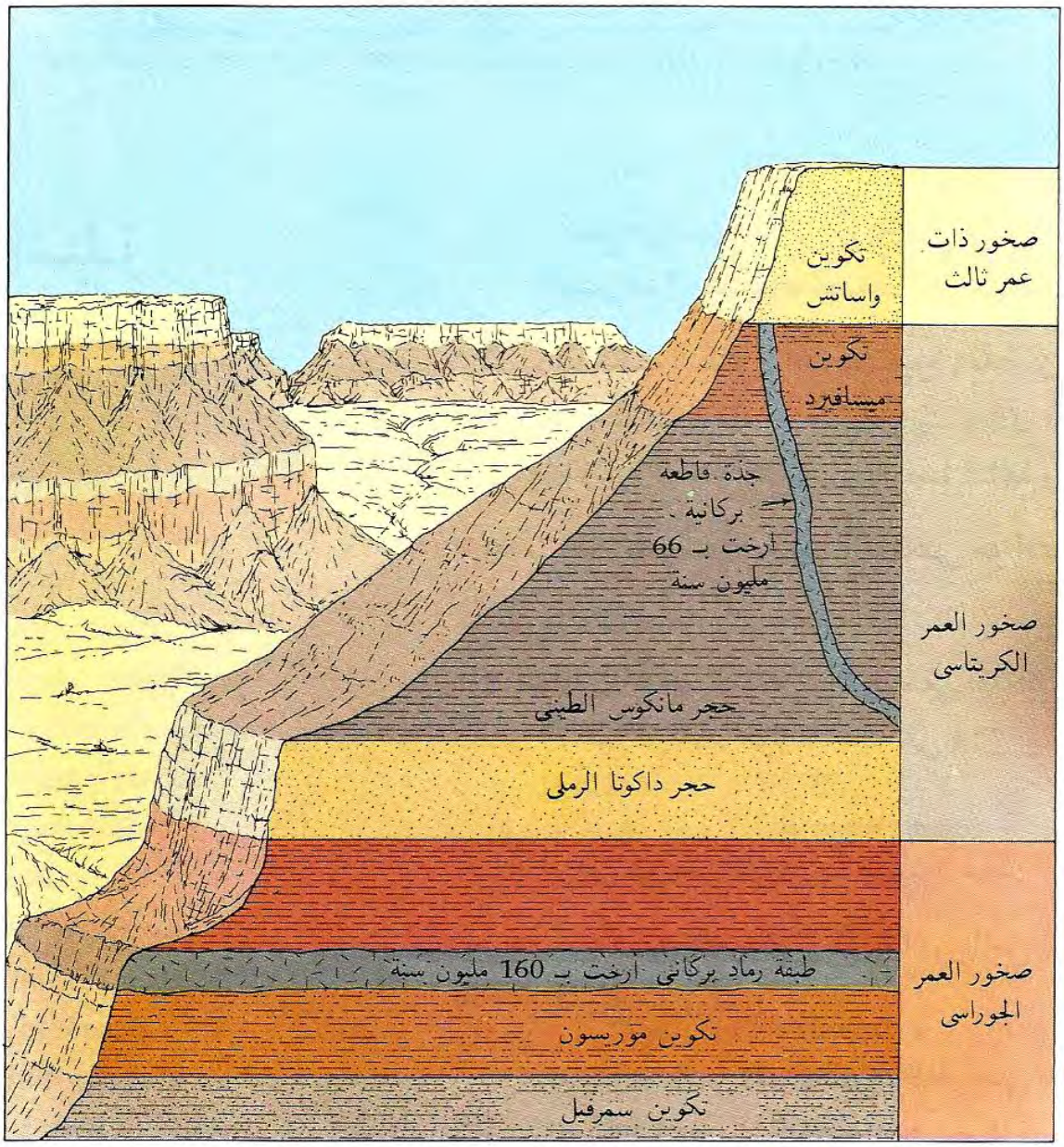
شكل – التقويم الجيولوجي وقد تمت إضافة الزمن المطلق

الصعوبات في تأريخ التقويم الجيولوجي

على الرغم من دقة التواريخ المطلقة المعمول بها لأدوار التقويم الجيولوجي، إلا أن هذا العمل لا يخلو من الصعوبات. فإن تعيين التاريخ المطلق للوحدات الزمنية تتلخص في أن العناصر المشعة محددة في الصخور النارية فقط، وحتى عند وجود فلز مشع في رسوبات الصخر الحطامي، فإنه لا يمكن تأريخ هذا الصخر، حيث أن الحبيبات في الصخر الرسوبي الحطامي لا تحمل نفس عمر الصخر الموجودة فيه. فالرسوبات المكوتة

لذلك الصخر فد تكون ناتجة عن تجوية صخور ذات أعمار مغايرة. وعليه، فإن عمر فلز في صخر رسوبي يمكن أن يخبرنا فقط أن ذلك الصخر لم يكن أقدم عمرا من الفلز.

من جهة أخرى، فإنه في الصخور النارية يتكون الصخر والفلزات في وقت واحد. وعمر الفلز الحامل للنظائر المشعة هو نفس عمر الصخر. وعليه، لكي يتم تأريخ الطبقات الرسوبية لا بد للجيولوجي أن يربطها بكتل الصخور النارية.



شكل – يتم تحديد العمر المطلق للطبقات الرسوبية من خلال تحديد علاقتها بالصخور النارية

الشكل (٣–٩): سلّم الزمن الجيولوجي (المعلومات الواردة في الشكل جميعها ليست للحفظ).

* قُسّم العصر الثلاثي حديثًا إلى عصرين، هما: الباليوجين (يمتد من ٦٥,٥–٢٣ مليون سنة) والنيوجين (يمتد من ٢٣–٢,٦ مليون سنة).

الفصل الخامس

طبيعة قاع الأقيانوس وتطوره

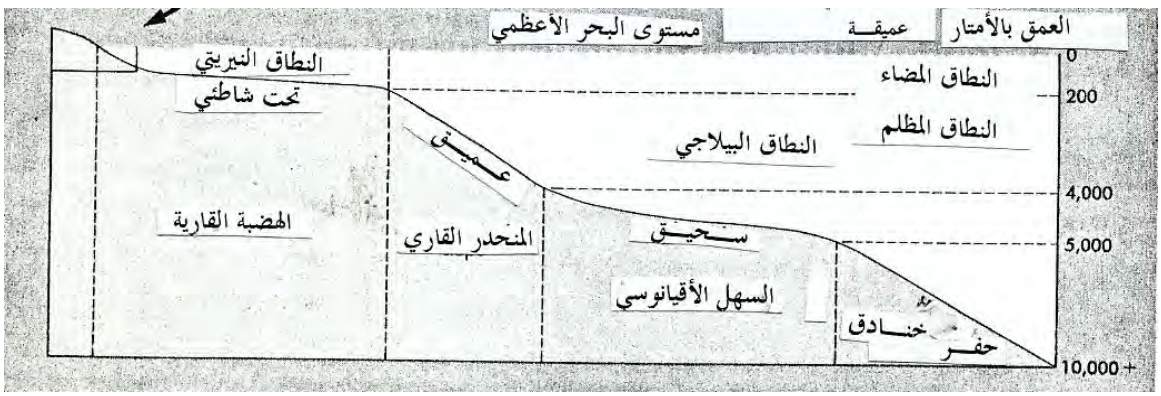
يبدي سطوح قيعان الأقيانوسات طبوغرافية متباينة تشمل سلاسل الجبال الشاعقة والوديان الضيقة العميقة إلى جانب السهول المنبسطة. وقد تم تقسيم طبوغرافية حوضالبحر إلى ثلاث وحدات رئيسة: حواف القارة، قيعان وسط البحر ومتون وسط البحر.

حواف القارات

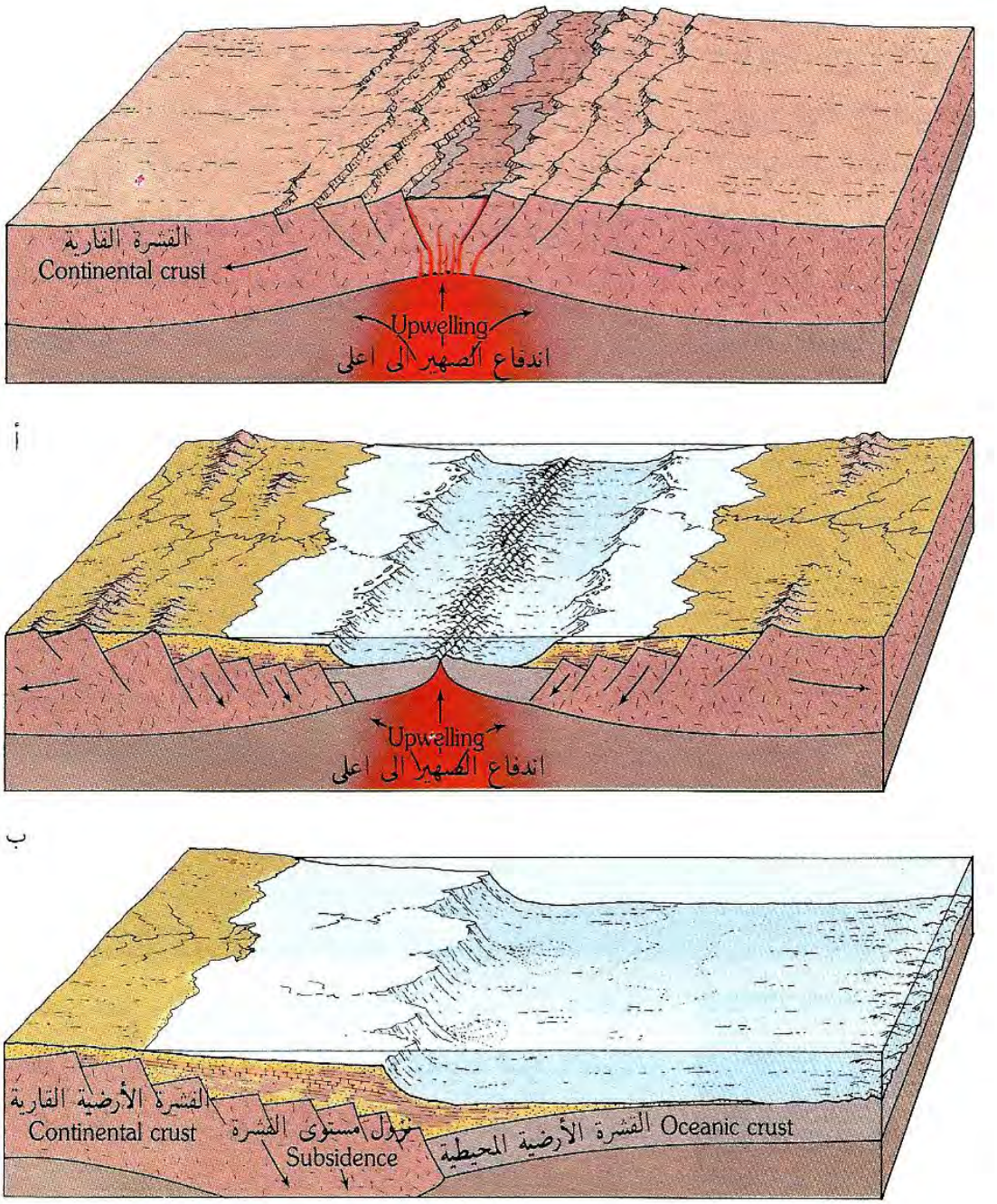
تمتد القارة باتجاه البحر على أطراف معظم الأراضي الطافية حاليا، عبر هضبة تحت بحرية تدعى السطيحة القارية. وتستمر بالانحدار عبر سطح مائل يدعى المنحدر القاري. واعتبارا .منه تمتد القيعان الأقيانوسية.

السطيحة القارية؛ هي سطح منبسط عمليا، متوسط انحداره ضعيف جدا. يغوص هذا السطح عند نهاية الانحدار الذي يبدأ منه المنحدر القاري. ويتغير ارتفاع هذه النهاية ، كما بتغير عرض الصفيحة القارية من بحر إلى آخر. وهي مقر هام للترسب في الغالب. ويكزن طرف الصفيحة حاد الانحدار في بعض القطاعات، مصدعا تقطعه أودية تحت بحرية، في حين يكون في قطاعات أخرى هادئ الانحدار.

المنحدر القاري؛ هو سطح مائل بمقدار 3 إلى 5 درجات. ويكون الميل أشد بكثير عندما تكون السطيحة القارية ضامرة أو غير موجودة، أي عندا يكون الساحل جبليا. وقد يكونالمنحدر القاري شاقوليا كما هو في إندونيسيا وتقطعه مجنات تحت بحرية. والحد الأدنى للمنحدر القاري يقع على عمق يتراوح بين – 2500 و – 3000م بصورة عامة.



شكل – التقسيمات الرئيسة المورفولوجية والرسوبية والبيئية للوسط البحر



شكل – مراحل انقسام الكتل القارية : أ) صعود المعطف وتحطم القشرة فوقه؛ ب) انتعاد الكتل القارية عن نطاق المعطف الصاعد؛ جـ) تراكم الرسوبات على الحواف الحديثة

الأخاديد البحرية وتيارات العكر

تتشكل الخاديد البحرية الضيقة على المنحدرات القارية، وتصل في بعض الأماكن إلى أعماق 3 كم. وقد تتواجد هذه الأودية كامتداد بحري لبعض الأنهار، غير أنها لا ترتبط بمجاري الأنهار في كثير من الأحيان. ونشير غالبية الشواهد المتوفرة على أن هذه الأودية قد تشكلت بواسطة تيارات العكر التي لها القدرة على العمل في أعماق سحيقة.

وتيارات العكر هي حركة المياه الحاملة لرسوبات كثيفة على المنحدرات. وتجدث هذه التيارات من خلال حركة الرمال والغضار على المنحدر القاري لتتحول إلى حمولة رسوبية خاضعة لتأثير الزلازل أو غيرها. وخيث أن المياه العكرة أكبر كثافة من المياه الصافية، فإنها تندفع على المنحدر القاري جارفة ومجمعة للرسوبات بصورة مستمرة مع تزايد سرعته. ولهذا يعتقد أن تيارات العكر هي القوة الرئيسة العاملة على حفر معظم الأودية البحرية.ا

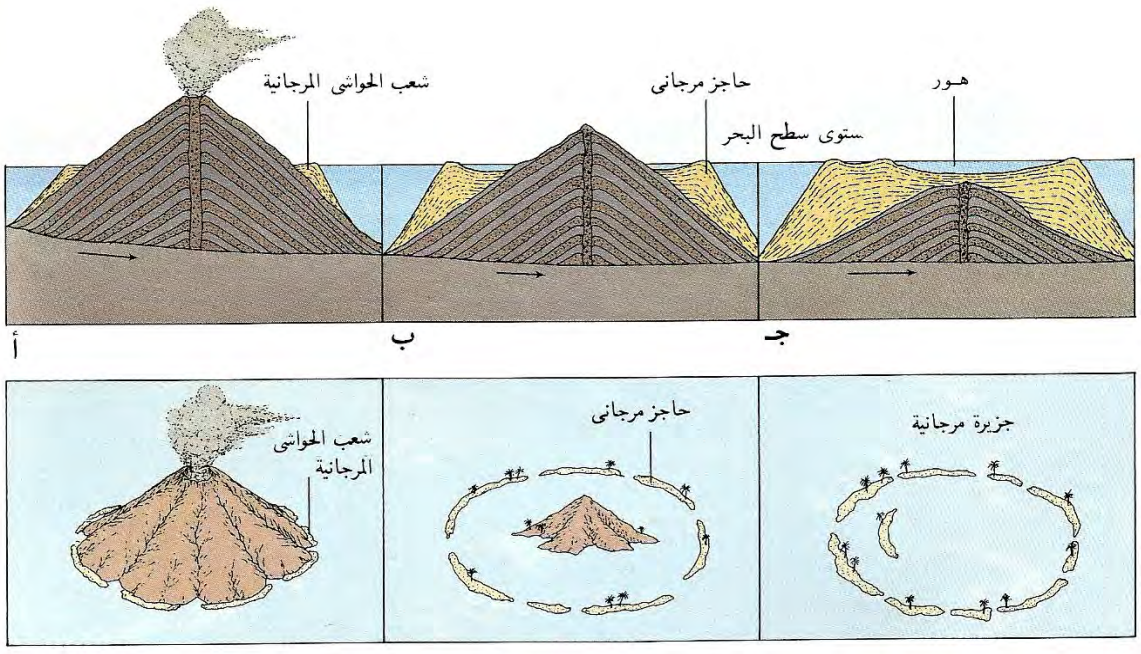
مظاهر الأحواض الأقيانوسية

يقع حوض الأقيانوس بين حافة القارة ومتن وسط الأقيانوس . ويتكون من مساحات منبسطة بالسهل الأقيلنوسي، ومن قمم بركانية، وخنادق هي أخاديد شديدة العمق

السهل الأقيانوسي هو سطح أفقي يختلف عمقه من أقيانوس إلى آخر، ومن قطاع إلى قطاع في الأقيانوس نفسه، ولكنه يزيد في الغالب عن 3000م. والحفر التي تقطع هذا السهل تبلغ أو تتجاوز 10000م، وتكثر في هذا السهل الجبال المغمورة والرعون. ويكون مجمل هذه القيعان مفروشا بالوحل

وتعتبر الشعب المرجانية من أروع الظواهر في الأقيانوس. فهي تتشكل من هيكل كلسي لبقايا إفرازات المرجان وبعض أنواع الطحالب. ويقتصر وجودها بصورة عامة على المياه الدافئة، الصافية والنقية، مما يجعل نموها محدودا على أعماق لا تتعدى 45 م تقريبا.

ويعتبر دارون أن الشعب لمرجانية تتشكل على حواف الجزر البركانية التي تهبط بصورة تدريجية تحت سطح البحر، في حين تستمر فوقها غملية البناء المرجاني نحو الأهلى.



شكل – تشكل الجزر المرجانية

النماذج الرئيسة للأوساط البحرية

تسمح الخصائص الطبوغرافية لقاع البحر بجوار القارات بتمييز ثلاث نطاقات رئيسة : نطاق نيريتي، نطلق عميق ونطاق العمق السحيق.

النطاق النيريتي؛ وهو النطاق الذي قاعه السطيحة القارية. فهو إذن متوسط بين القارة وعرض البحر. عمقه ضعيف. يتلقى المواد الرسوبية القادمة من اليابسة. كما يتلقى طاقة شمسية كبيرة يتم امتصاص نصفها على عمق 1م. الماء فيه مؤكسج، درجة حرارته متغيرة بحسب المناخ وبحسب الفصل، وملوحته متوسطة، التيارات المائية نشطة والحياة كثيفة جدا فيه. والتوضعات في هذا النطاق بالغة التنوع في طبيعتها وفي ثخانتها. ويقدر الجيولوجيون بأن نسبة 80% من الرسوبات المكونة للزمر الجيولوجية قد توضعت في هذا النطاق.

النطاق العميق؛ يقابل هذا النطاق المنجدر القاري. يزيد عمقه عن 200م، ويزداد هذا العمق بسرعة كلما تم الابتعاد عن الشاطئ. وهو يشكل المجال المفضل لتيارات العكر. والنطاق العميق مظلم دوما وبارد، وهو في أغلب الأحيان هادئ. لا تشمل الحياة فيه إلا بعض العضويات آكلات الوحل التي تقيم بتماس القاع.

نطاق العمق السحيق؛ يقابل هذا النطاق القيعان الأقيانوسية. وهو بالطبع مظلم والضغط الهيدروستاتيكي فيه قوي. أما درجة الحرارة فهي – 5 درجات مئوية. وهذه الشروط القاسية تحد من نمو الحياة. هادئ بكامله، والترسب فيه مرتبط بالتالي يالمواد المنحلة في الماء والجزيئات الناعمة التي توجد معلقة في هذا الماء.

رسوبات قاع الأقيانوس

تغطي قاع الأقيانوس طبقة من الرسوبات التي تراكمت تحت تأثير تيارات العكر، فيما ترسب الباقي ببطء من المياه التي تعلو أماكن وجودها. وتختلف ثخانة هذه الرسوبات من مكان إلى آخر وتتراوح بين 500م و 1000م.

يمكن تصنيف رسوبات قاع الأقيانوس إلى ثلاثة أنواع رئيسة، وذلك بناء على منشئها: رسوبات اليابسة (أصلها من اليابسة)، رسوبات حياتية (أصلها من الكائنات الحية) ورسوبات مائية (أصلها من الماء). وينبغ مع ذلك الإشارة إلى أن هذه الرسوبات هي مزيج، ولا يوجد جزء رسوبي فيها يرجع أصل تكوّنه منفردا إلى أي من هذه التقسيمات.

رسوبات اليابسة ؛هي حبيبات دقيقة نتاج عملية التجوية على اليابسة وقد تم نقلها إلى البحر، وحملتها التيارات البحرية مسافات بعيدة جدا قد تبلغ آلاف الكيلمترات، واستغرق ترسبها في قاع الأقيانوس سنوات عديدة.

الرسوبات الحياتية ؛ تتكون الرسوبات الحياتية من بقايا كائنات حية بحرية، حيوانية أو نباتية. وغالبا ما تتكون هذه الرسوبات من تراكم بقايا كائنات حية مجهرية تعيش في المياه المشمسة القريبة من سطح البحر.

الرسوبات المائية ؛ تتكون الرسوبات المائية من فلزاتتم تبلورها من ماء البحر بصورة مباشرة بواسطة عدة طرق كيميائية. ومن أشهر الأمثلة عت الرسوبات المائية ومن أهمها افتصادياعقد المنغنيز. وهي عقيدات سوداء تتشكل ببطء على قاع الأقيانوس من مزيج معقد مؤلف من عدة عناصر. ويعتبر معدل تشكلها أبطأ التفاعلات الكيميائية المعروفة.

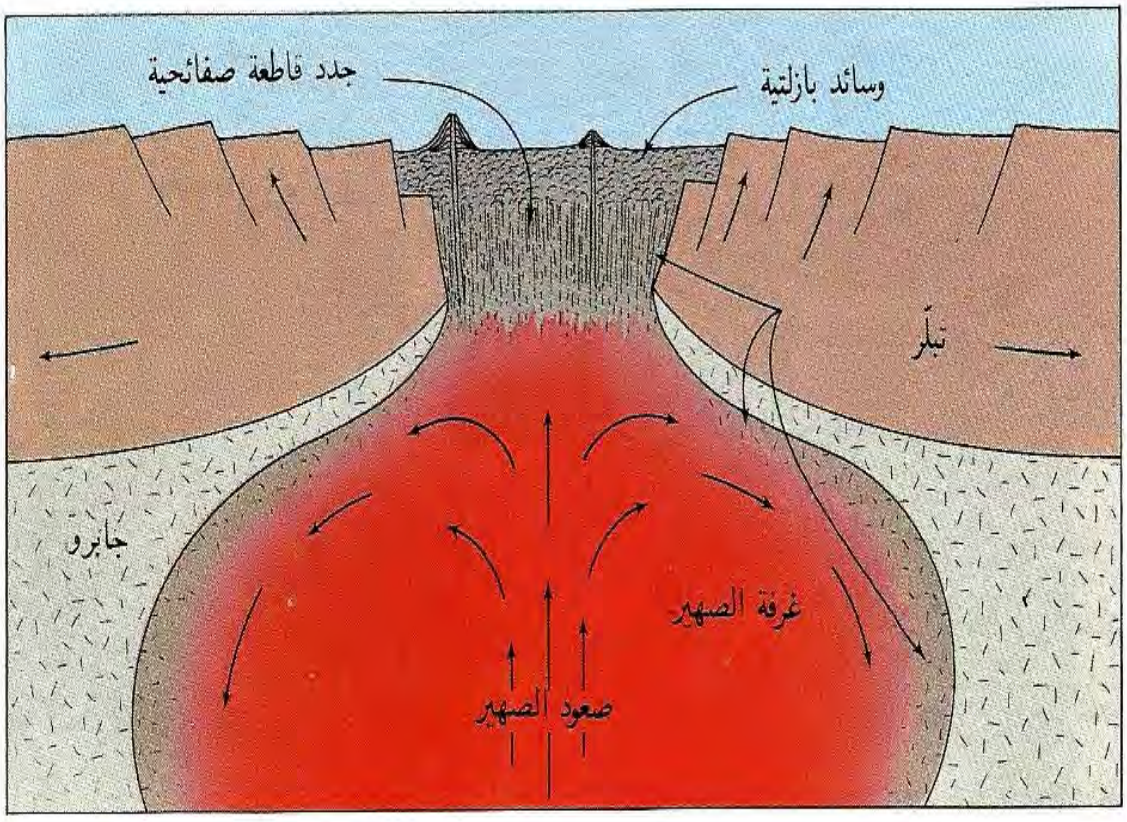
المتون الأقيانوسية

المتون الأقيانوسية هي مواقع انفتاح الأقيانوسات. وتبلغ مساحتها حوالي 20% من مساحة الكرة الأرضية. وهي أبرز المعالم الطيوغرافية في الأقيانوس حيث تكون ما يشبه سلسلة جبلية بطول يقارب 65000 كم. وعرض بين 500 و 5000 كم. وهي عبارة عن طبقات فوق طبقات من صخور البازلت، متصدعة ومدفوعة في كتل نحو الأعلى، وتقطعها فوالق تحويلية متعددة.

شكل – متن وسط أفيانوس الأطلنطي

طبيعة قاع الأقيانوس

يتكون قاع الأقيانوس من ثلاث طبقات: الطبقة العليا تتكون من وسائد بازلتية. وتتكون الطبقة الوسطى من مجموعة من الجدر القاطعة والتي تعرف بالجدر الصفيحية. أما الطيقة الثالثة فتتكون من الغابرو، وهو يعادل البازلت بمكونات حبيبية خشنة نتيجة لتبلورها على أعماق كبيرة. ويسمى هذا التسلسل الصخري بمركب الأفيوليت.

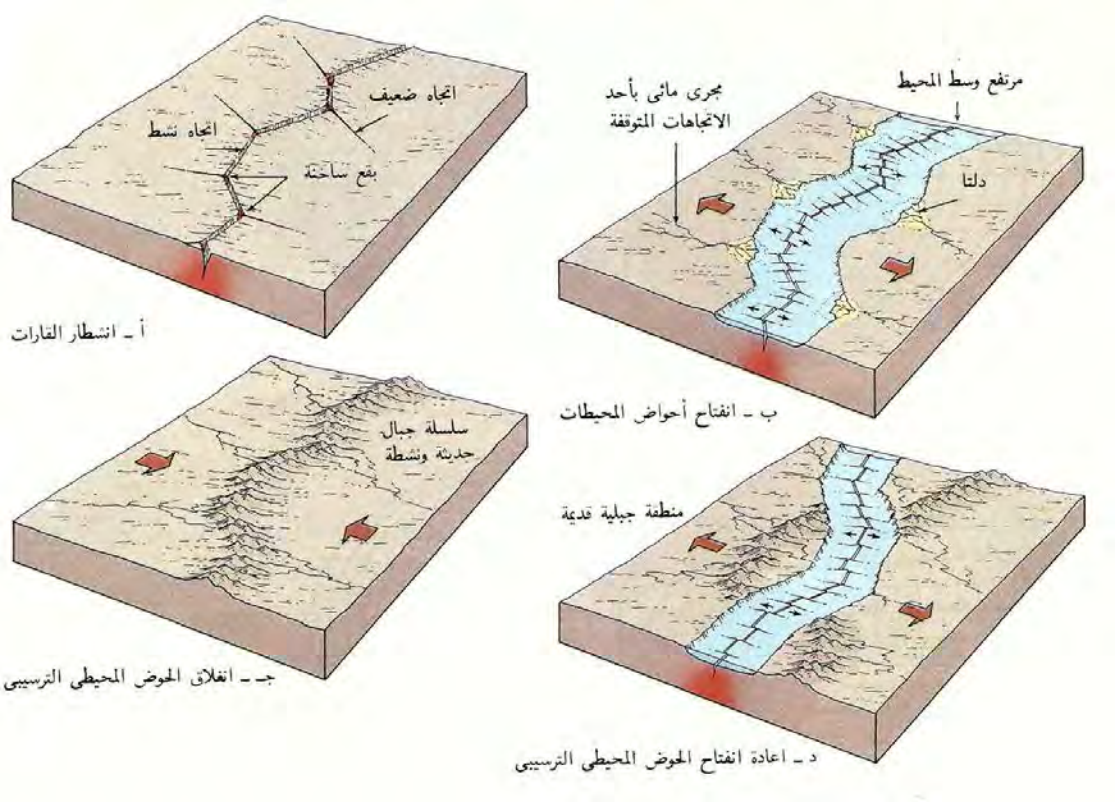


شكل – تشكل وحدات الأوفيوليت الثلاث

وبدراسة مركبات الأفيوليت ومتون وسط الأقيانوس تم التعرف بالتدريج على التاريخ المعقد لتشكل قاع الأقيانوس. وقد ساعدت هذه الدراسات على الكشف عن وجود بعض الفلزات ذات الأهمية الاقتصادية في صخور الأفيوليت، مثل كبريتيدات النحاس والزنك والحديد.

انفتاح وانغلاق الأحواض الأقيانوسية الرسوبية

تراكمت أدلة كثيرة لدعم حقيقة انقسام القارة العظمى الأساسية المسماة بالبانجيا، وذلك منذ 200 مليون سنة . ومن نتائج هذا الانقسام القاري الهام، تشكل أقيانوس جديد هو أقيانوس الأطلنطي. ويظهر أن انقسام قارة البانجيا قد حدث خلال 150 مليون سنة. وكانت آخر مراحله انفصال غرينلاند والكتلة الأسيوأوروبية، والتي بدأت منذ 50 مليون سنة.



شكل – رسم يوضح نشوء السلاسل الجبلية عقب انفتاح وانغلاق الأحواض الأقيانوسية الرسوبية

تختلف سرعة حركة انفتاح قاع الأقيانوس من منطقة إلى أحرى، فهي 6 سم في السنة في الباسيفيكي, في جين لا تتعدى 2 سم في السنة في الأطلطي. ويبدو أن معدل الانفتاح يؤثر في شكل متن.وسط الأقيانوس.

وبالرخم من أن انقسام القارات تم توثيقه، إلا أن السؤال الذي ما زال مطروحا هو : ما هو السبب في هذا الانقسام؟ ويظهر أنه من المقبول أن تيارات الحملان في المعطف قد سببت في تصدع الغلاف الصخري وتشكل القارات.

الفصل السادس

نشوء الجبال (الأوروجينية) وتطور القارات

إن كلمة أوروجينية مشتقة من الكلمة اليونانية أوروس التي تعني الجبل, ونشوء الجبال هو بصورة أساسية نشوء التضاريس ونشوء التشوهات التي كونت بنية هذه التضاريس.

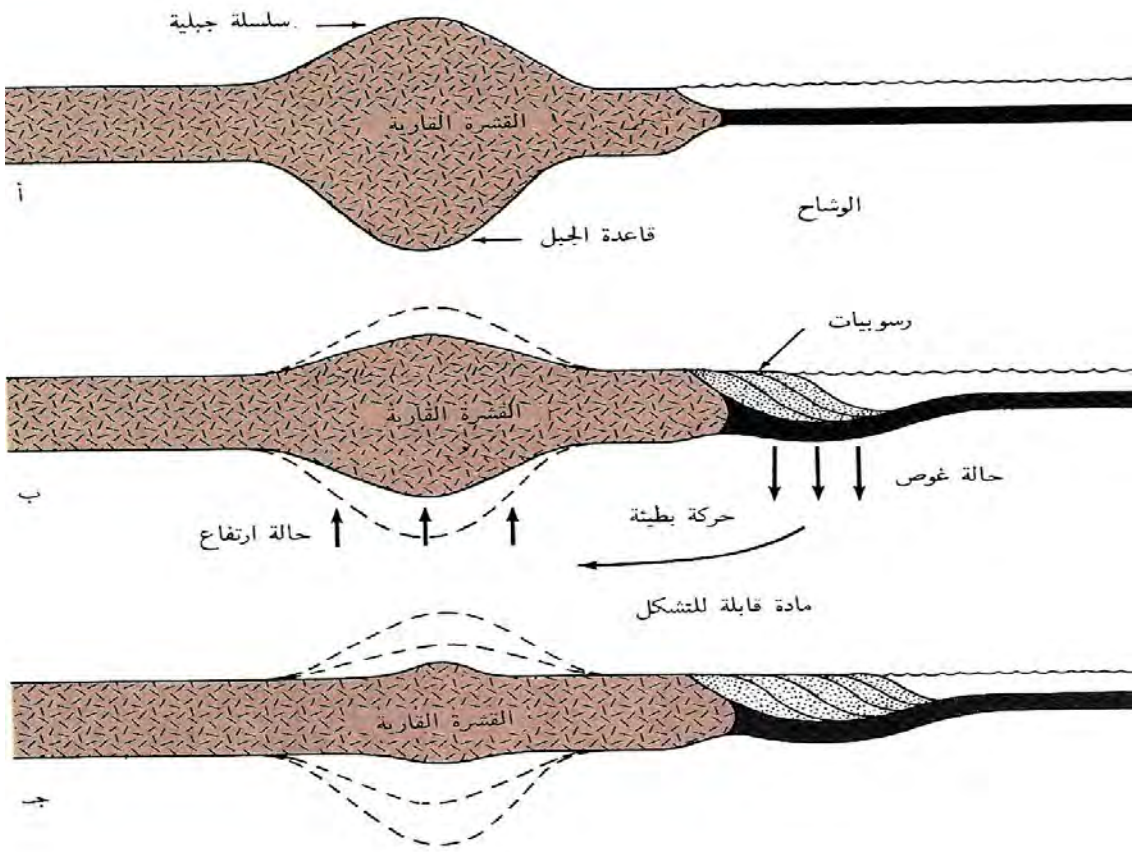
تلعب الجبال دورا هاما في تطور القشرة الأرضية، بالإضافة إلى منظرها الجذاب. ويعتقد الجيولوجيون بأن القارات قد زادت في حجمها عن طريق تجمع تضاريس طولية على حوافها، وأن كافة المناطق القارية تقريبا كانت جبلية في يوم من الأيام وانخفض مستواها إلى الوضع الحالي بفعل التعرية.

نهوض القشرة الأرضية

توجد مستحاثات الحيوانات اللافقرية البحرية عادة في المناطق الجبلية، وهذا دليل على أن الصخور الرسوبية المكونة للجبل كانت في يوم من الأيام تحت مستوى سدح البحر. وهو دليل مقنع على أن بعض التغيرات قد حدثت في الفترة ما بين موت هذه الحيوانات واكتشاف بقاياها المستحاثة. وعادة ما يفدم هذا المثل كدليل على نهوض القشرة الأرضية في السجل الحيولوحي إلى جانب السجل التاريخي.

نحن نعرف أن قوة الجاذبية لا بد وأن تلعب دورا هاما في ارتفاع سطح الأرض. ونعتقد بالتحديد، أن الغلاف الصخري يطفو فوق الغلاف الوهن، حيث أن الأخير أكبر كتلة وأسهل تشكلا من الغلاف الصخري. وربما كانت أسهل طريقة لتصور التوازن الأرضي بتشبيه القشرة الأرضية بجذوع الأشجار الطافية فوق الماء. فالجزع الأكثر ثخانة يرتفع فوق سطح الماء بصورة أعلى من الجزع الأقل ثخانة. وبنفس الطريقة، نعتقد أن المناطق الجبلية تشكل قطاعات ثخينة جدا من القشرة الأرضية، في حين أن المناطق المنخفضة تمثل أجزاء أقل ثخانة. فالجبال تشبه الجذوع التخينة هنا، ليس فقط في بروزها فوق سطح الماء، وإنما أيضا في كونها تمتد أكثر نحو الأسفل. وقد تم تأكيد هذه الحقائق بالبيانات السيسمية ودراسات الجاذبية.

إن الغلاف الصخري تحت قاع الأقيانوس لا بد وأنه أقل ثخانة منه في المناطق الأخرى، حيث أنه أقل ارتفاعا. ومع أن هذه حقيقة واقعة، إلا أن الصخور الأقيانوسية ذات كتلة أكبر من تلك التي للصخور القارية.



شكل

- **تأثير كل من التعرية وتوازن القشوة الأرضية حيث ينتج عنه نقص قي ثخانة القشرة في المناطق الجبلية**

البنيات الجيولوجية

عندما تتعرض الصخور لجهد يقوق احتمالها تأخذ عادة بالطي أو الانكسار. ومن السهل أن نتخيل كيف يتم تكسّر الصخور، ولكن كيف يتم طي هذه الصحور دون أن تتكسر

عند تعرض الصخور للجهد تدريجيا وتحت ضغط منخفض أكدت التجارب العملية أن معظم الصخورالضلبة تمر إلى حالة اللدونة عند تعرضها لضغط ودرجة حرارة عاليين، وذلك بعد اجتيازها مرحلة المروتة. وفي هذه الحالة، لا بد من إدخال عامل الزمن الجيولوجي. فنحن نعرف أنه إذا ما وقع الجهد بسرعة ،كحالة المطرقة مثلا، فإن الصخور تتكسر، غيحي تصبح لدنة إذا وقع الجهد على فترة زمنية طويلة.

الطيات

عند نشوء الجبالن تلتوي الطبقات الرسوبية والصخور النارية على شكل طيات عريضة. ويسبب هذا الطي زيادة في ثخانة القشرة الأرضية وتقصير في طولها. وتدل التجارب ‘لى أنه عند وجود الصخور الرسوبية تحت أعماق كبيرة في القشرة الأرضية حيث الضغط عالي، فإن هذه الطبقات تتعرض للالتواء لتشكل طيات محكمة واحدة فوق الأخرى.

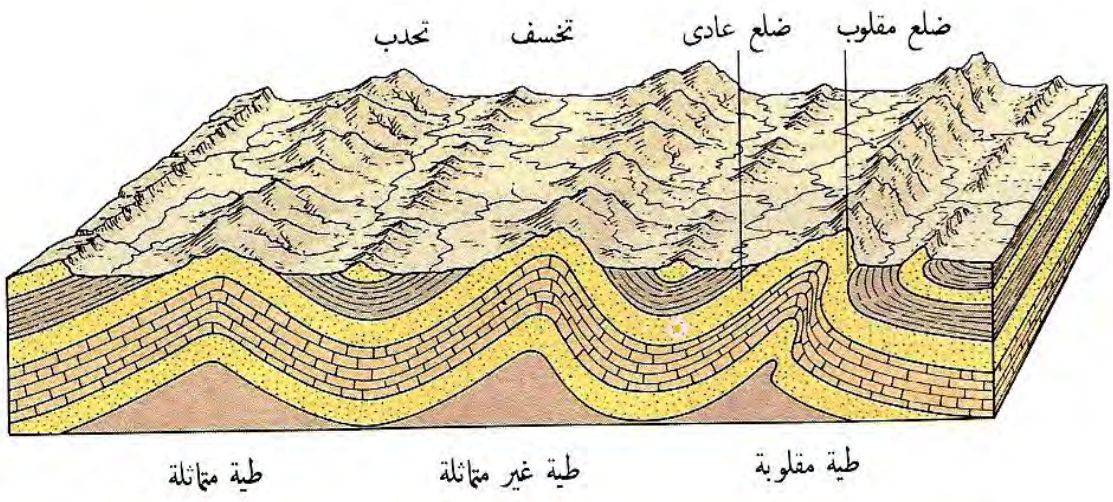
تسمى الطيات الطولية المطوية نحو الأعلى بالمحدبات، في حين يشار إلى الطيات المطوية نحو الأسف+

ل بالمقعرات. وبالامكان تعريف المحدبات بالبنيات التي توجد أقدم الطبقات في وسطها، في حين تعرّف المقعرات بالبنيات التي توجد أحدث الطبقات في وسطها.

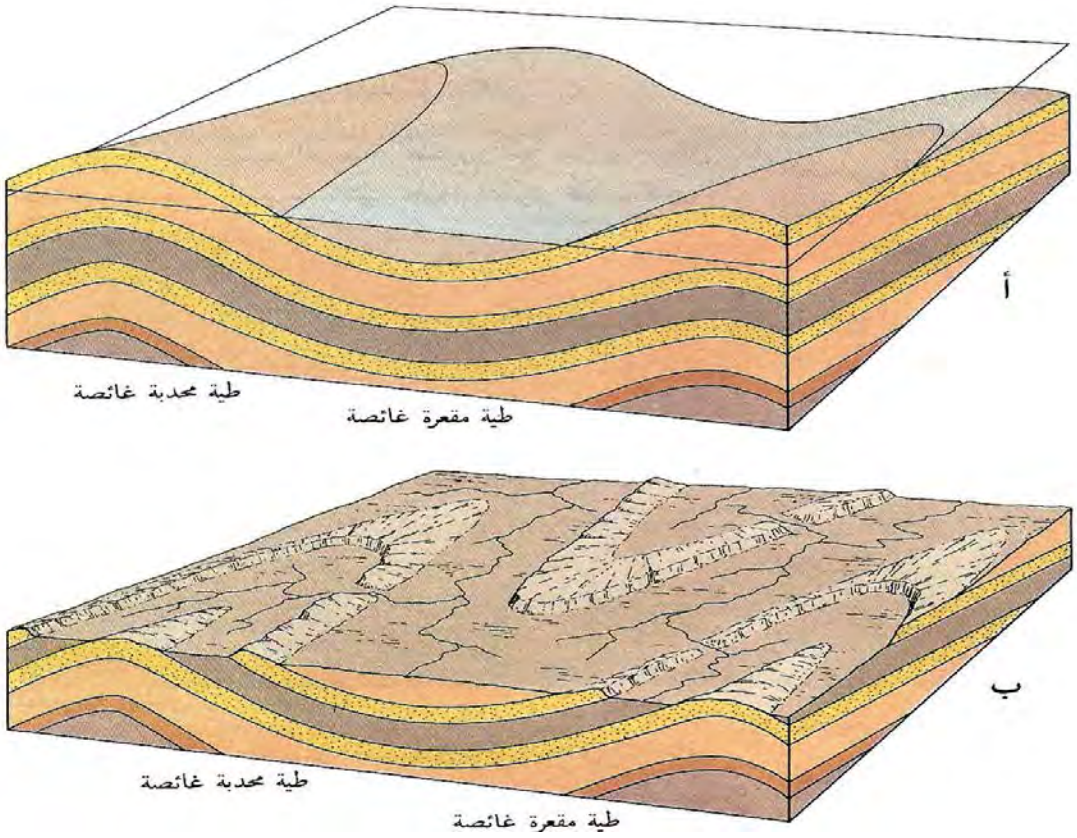
تصنف هذه البنيات بناء على اتجاهها. فقد تكون متناظرة أو غير متناظرة، أو مقلوبة إذا ما زاد ميلان أحد جانبي الطية عن العمودي. وقد تكون الطية المقلوبة مضطجعة على جانبها بحيث يكون المستوى المار بمحور هذه الطية أفقيا.

توصف أطراف هذه الطيات بأنها غاطسة، حيث أن محورها غاطس نجو الأرض.وبالرغم من أن معظم الطيات نتج عن الجهد الانضغاطي، فإن بعض الطيات تشكلت نتيجة الإزاحة العمودية للطبقات الرسوبية. وتسمى هذه البنيات ذات الثنيات العريضة بالطية أحادية الميل. ويعتقد بأن هذه الطيات نتجت عن فوالق مائلة عموديا تقريبا لصخور القاعدة العميقة. وفي حين تشققت الصخور القاعدية الصلبة تحت تأثير الجهد العمودي، فإن الصخور الرسوبيةالمرنة نسبيا والموجودة أعلى من صخور القاعدة، فإنها خضعت إلى أن تتشكل بالطي.

وقد تسبب القبب العريضة في صخور القاعدة طيات عريضة في الصخور الرسوبية التي تعلوها. وينتج عن هذا التقبب بنيات مستديرة أو طولية تسمى بالقبب. أما البنيات المطوية إلى أسفل والتي لها نفس شكل القبب فتسمى بالأحواض. ويتم الاتعرف على هذه الأحواض عادة بواسطة الصخور المكونة لها، فأحدث الصخور توجد في الوسط وأقدمها عند الحواف.



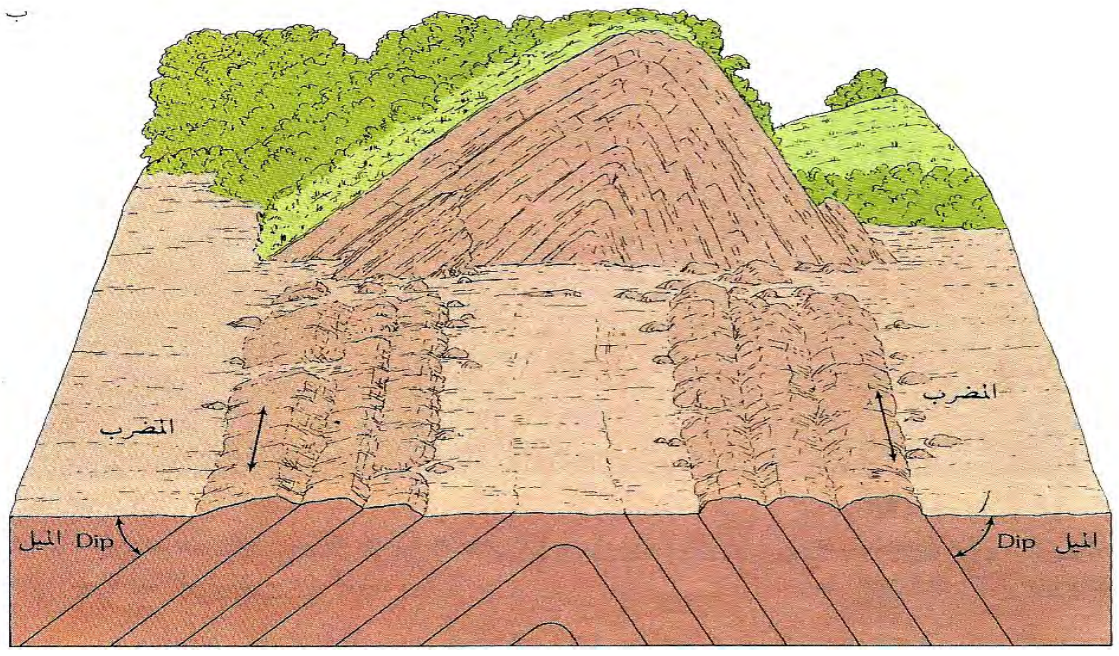
شكل – مجسّم يبين الأنوا الرئيسة للطيات



شكل – مجسّم يبين شكل اللطيّة الغاطسة

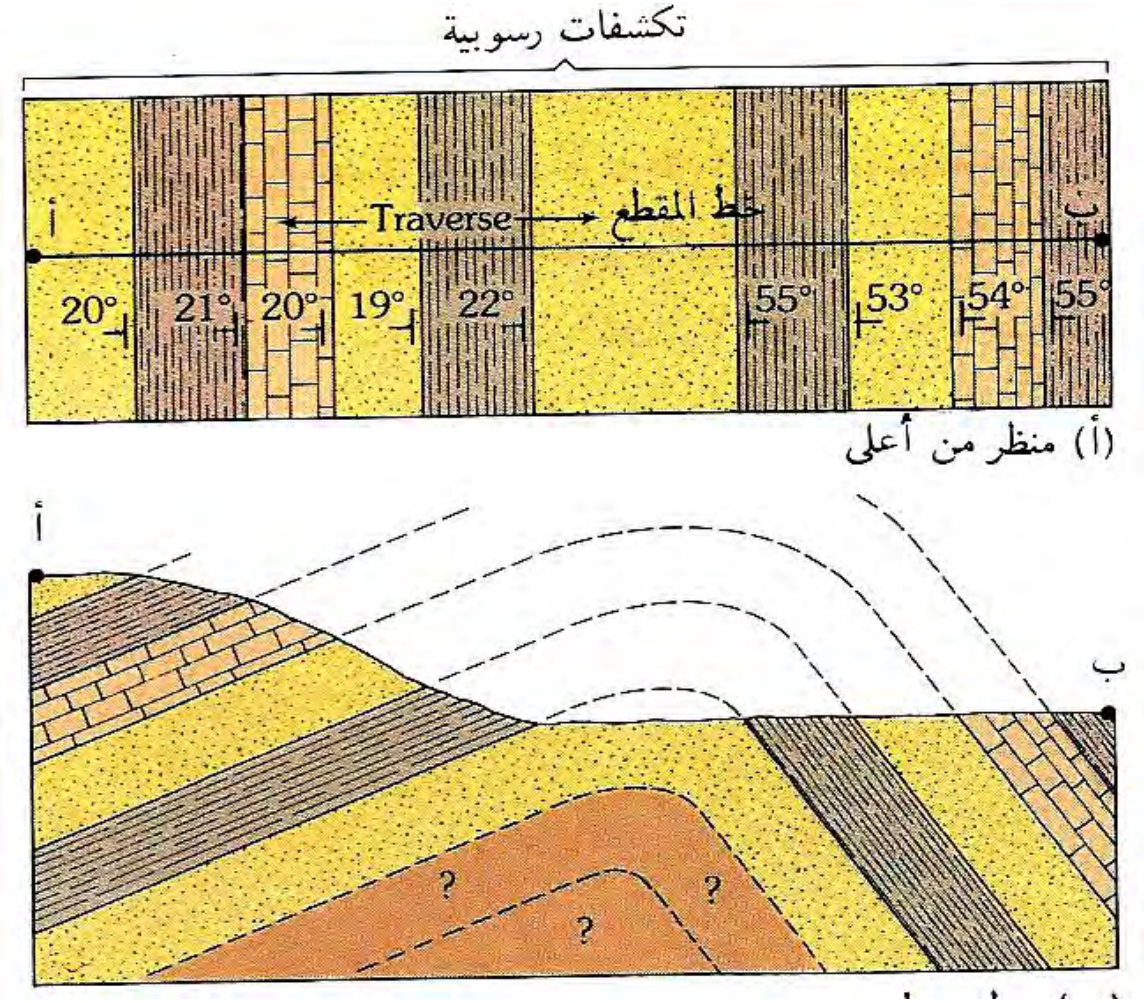
المتجه والميل

بما أن الرسوبات تستقرعادة في وضع أفقي، فإن ميلان طبقات هذه الرسوبات يدل على أن فترة التشكل قد حدثت بعد الترسب. ولمعرفة هذا التشكل تستعمل قراءتان هما المتجه والميل. والمتجه هو الاتجاه، والميل هو زاوية ميلان الطبقة.



شطل – رسم يوضح الاتجاه والميل لطية

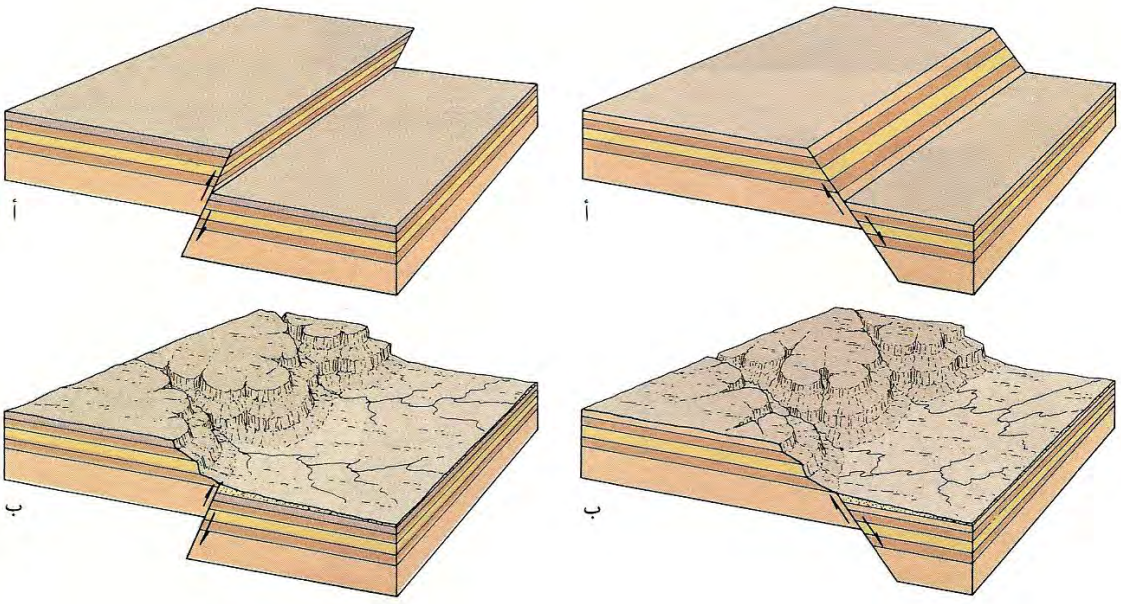
ويعرف المتجه بأنه اتجاه الخط الناتج عن تقاطع السطح الممثل للطبقات المائلة مع السطح الأفقي، والذي في هذا المثال، هو سطح الأرض. أما الميل، فيعرف بأنه زاوية الميل القصوى للطبقة مقاسة عموديا في اتجاه عمودي على المتجه.



شكل – معرفة الاتجاه والميل في الطبقت الصخرية المتكشفة (أ) تمكن من معرفة البنية الصخرية تحت السطح (ب)

الفوالق ؛ هي تشققات في القشرة الأرضية حدثت عليها تحركات بارزة. وتقاس الفوالق بمقدار التحرك النسبي الذي يحصل بين الأقسام الواقعة على جانبي سطح الفالق. وقد تكون الحركة أفقية، أو عمودية أو مائلة. وتسمى الفوالق ذات الحركة المائلة بفوالق الميل، باعتبار أن الانفصال واقع مع اتجاه ميل سطح الفالق. وتدعى المسافة العمودية التي تفصل بين القسمين الواقعين علىجانبي الفالق بالرمية. وبحسب ما يكون القسم المنخفض للفالق المائل في السقف أوفي الحائط بالنسبة لسطح الفالق، نكون أمام فالق عادي أو فالق خكسي.

ومن جهة ثانية، عندما يكون انحدار الفالق هو نفس انحدار الطبقات التي قطعها، يطلق عليه لفظة فالق مطابق. وإذا كان انحداره في الاتجاه المعاكس لانحدار الطبقات، يطلق عليه لفظة فالق مخالف.

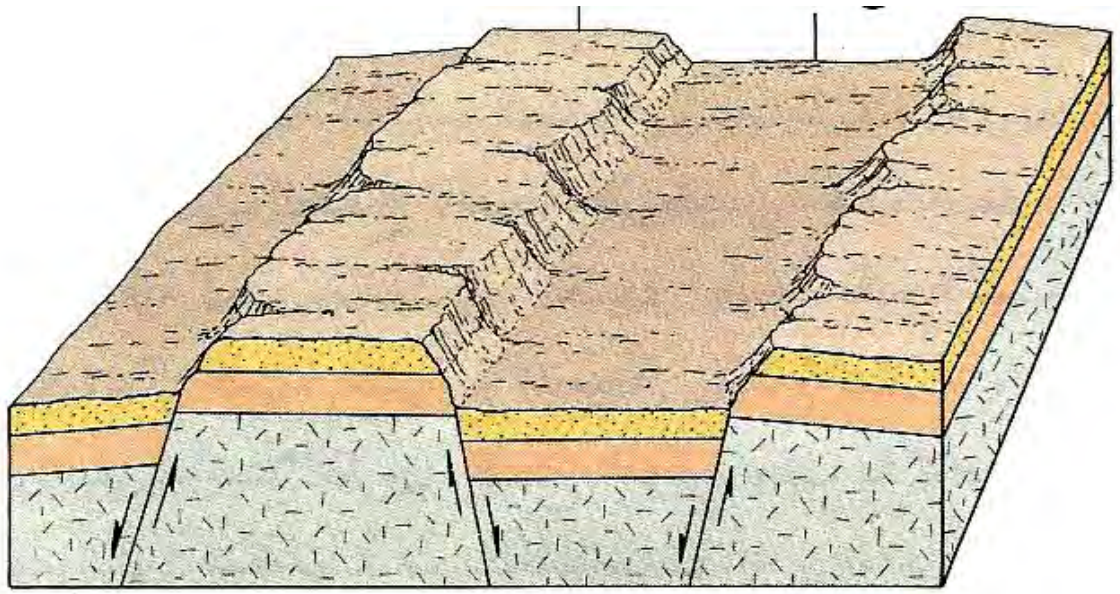


شكل – (أ) فالق عادي وفالق عكسي ؛ (ب) فعل التعرية على الكتل المزاحة إلى أعلى

عندما يكون سطح تقاطع الفالق مع المستوى الأفقي (أي انحدار الفالق) موازيا للطبقات الظاهرة، يطلق عليه لفظة فالق طولاني، أو منحرفا أو عموديا على مستوى هذه الطبقات، يطلق عليه لفظة فالق عرضاني.

قد يحدث أن ينخفض كل قسم من الطبقات عن كتلة وسطية تحتفظ بوضعيتها الأولية، فيطلق عليها لفظة النجد.

وقد يحدث أحيانا أن تينخفض قطعة ضيقة عن مستواها الأصلي ، فيطلق عليها لفظة الغور.



شكل – رسم يوضح بنية كل من النجد والغور

الفواصل ؛ ضمن أهم الظواهر الشائعة في الصخور المتكشفة شقوق تظهر عند سطح الأرض تسمى **الفواصل.** وخلافا للفوالق، فإن الفواصل هي تشققات لم ينتج عنها إزاحة ظاهرة لجوانبها. وبالرغم من أن بعض

هذه الفواصل تحدث عشوائيا إلا أن معظمها يكون في مجموعات متوازية. ويدبو أن معظم الفواصل تنتج من قوى شد أو انضغاط.

بناء الجبال

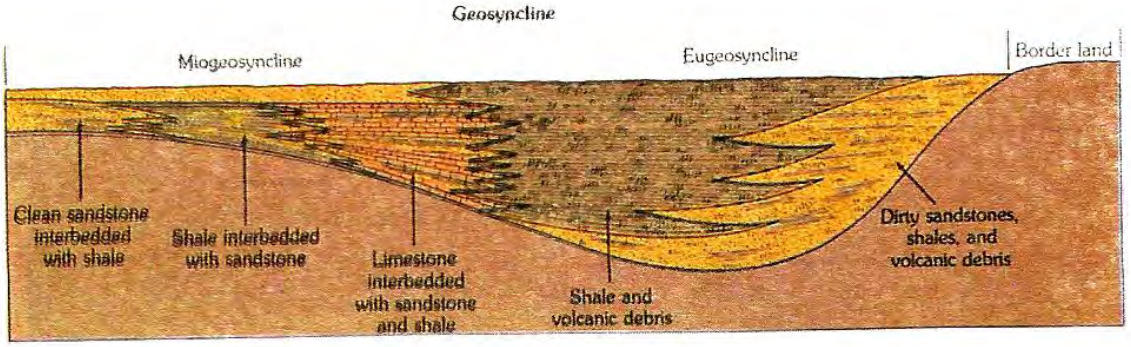
لفد حدثت عمليات نشوء الجبال في التاريخ الجيولوجي الحديث في عدة مواقع حول العالم. وتشمل هذه الأحزمة الجبلية الحديثة الكولديرا الأميريكية التي تمتد على طول الحافة الغربية للفارة الأميريكية. وسلسلة جبال الألب – الهيمالايا الممتدة من البحر المتوسط (الميديتراني) عبر إيران إلى شمال الهند، وكذلك المناطق الجبلية غربي أقيانوس الباسيفيكي. وقد تكونت أحزمة السلاسل الجبلية هذه خلال المائة مليون سنة الماضية. وبالإضافة إلى هذه السلاسل الجبلية الحديثة، توجد سلاسل جبلية عديدة يرجع عمرها إلى البريكمري وإلى حقب الباليوزوي (حقب الحياة القديمة). وبالرغم من أن هذه الجبال القديمة قد تعرضت بشدة إلى عوامل العرية وأصبحت ذات تضاريس ضعيفة، إلا أنها تمتلك نفس الملامح البنيوية التي توجد في الجبال الأحدث عمرا.

وقد اتضح من الدراسات الدقيقة للمناطق الجبلية أن فترة بناء الجبال عادة ما تكون طويلة، وقد تزيد في بعض الأحيان عن 100 مليون سنة. كما دل تظور أحداث الماضي على أن التشكل يتقدم غالبا من البحار نحو اليابسة، بحيث يتم تشكل رسوبات المياه العميقة أولا. وتعرضت هذه الرسوبات إلى درجات شديدة من الطي والتصدع والتحول. وكانت كما لو وضعت بين فكي كمّاشة قوية، بحيث انتقل فكها المتحرك من البحر باتجاه اليابسة.

نظرية المقعر الكبير

هناك عدة نظريات تناولت نشأة بناء السلاسل الجبلية. وتقترح فرضية قديمة أن الجبال هي عبارة عن تجعدات القشرة الأرضية نتجت عن التبرد التدريجي للأرض التي كانت في حالة منصهرة. فعندما بردت الأرض وتقلصت، أخذت القشرة الأرضية شكلا يتناسب مع صغر الحجم الذي طرأ على الأرض.

إن الدراسة التي قام بها جيمس هول سنة 1850 على الطبقات الرسوبية الخينة جدا في جبال الأبالاش كشفت عن نتائج هامة جدا. فقد أظهرت دراسة هذه الرسوبات وجود مستحاثات مياه ضحلة وشقوق جفاف فيها، الأمر الذي دعا إلى التساؤل عن كيفية تراكم هذه الثخانة الهائلة من الرسوبات (10.000 م) في حوض لا يزيد عمقه عن بضعة مئات من الأمتار ؟ وعليه تم الاستنتاج بأن هذه الرسوبات قد توضعت في حوض رسوبي هائل يهبط تدريجيا ببطء، أطلق عليه اسم **المقعر الجيولوجي االكبير**. وعرف فيما بعد **بالمقعر الجيولوجي القاري االكبير**، يقابله باتجاه البحر **المقعر الجيولوجي الأقيانوسي االكبير**.



شكل – مقطع عرضي نموذجيعبر مقعر جيولوجي، وتظهر فيه صخور المياه الضحلة للمقعر الجيولوجي القاري وصخور المياه العميقة للمقعر الجيولوجي الأقيانوسي

يعتقد بأنه بعد تراكم ثخانة كبيرة من الرسوبات تبدأ القوى الأفقية الموجهة من الجانب الأقيانوسي للمقعر الجيولوجي بممارسة الضغط على الرسوبات، إذ تعمل هذه القوى الضاغطة على تقليص القشرة وزيادة ثخانتها مما ينتج عنه منظومة جبلية شاهقة، بينما يتم ضغط معظم الرسوبات إلى أسفل في أعماق الأرض. وبذلك تنشأ سلسلة جبلية مركبة من الصخور الرسوبية والبركانية التي اعتراها الطي والتصدع.

تقترح نظرية حركية الصفائح، وهي النظرية الأحدث والأكثر قبولا من كافة النظريات السابقة، أن نشأة حركات بناء الجبال تعود إلى إزاحة كتل ضخمة من الغلاف الصخري. وأن بناء الجبال يتم عند الحواف المتقاربة للصفائح. ففي هذه المواقع تعمل الصفائح المتصادمة على إحداث قوى انضغاطية يتم بموجبها تفتت وتصدع وتحول تراكمات ثخينة من الرسوبات التي تتجمع على حواف اليابسة.

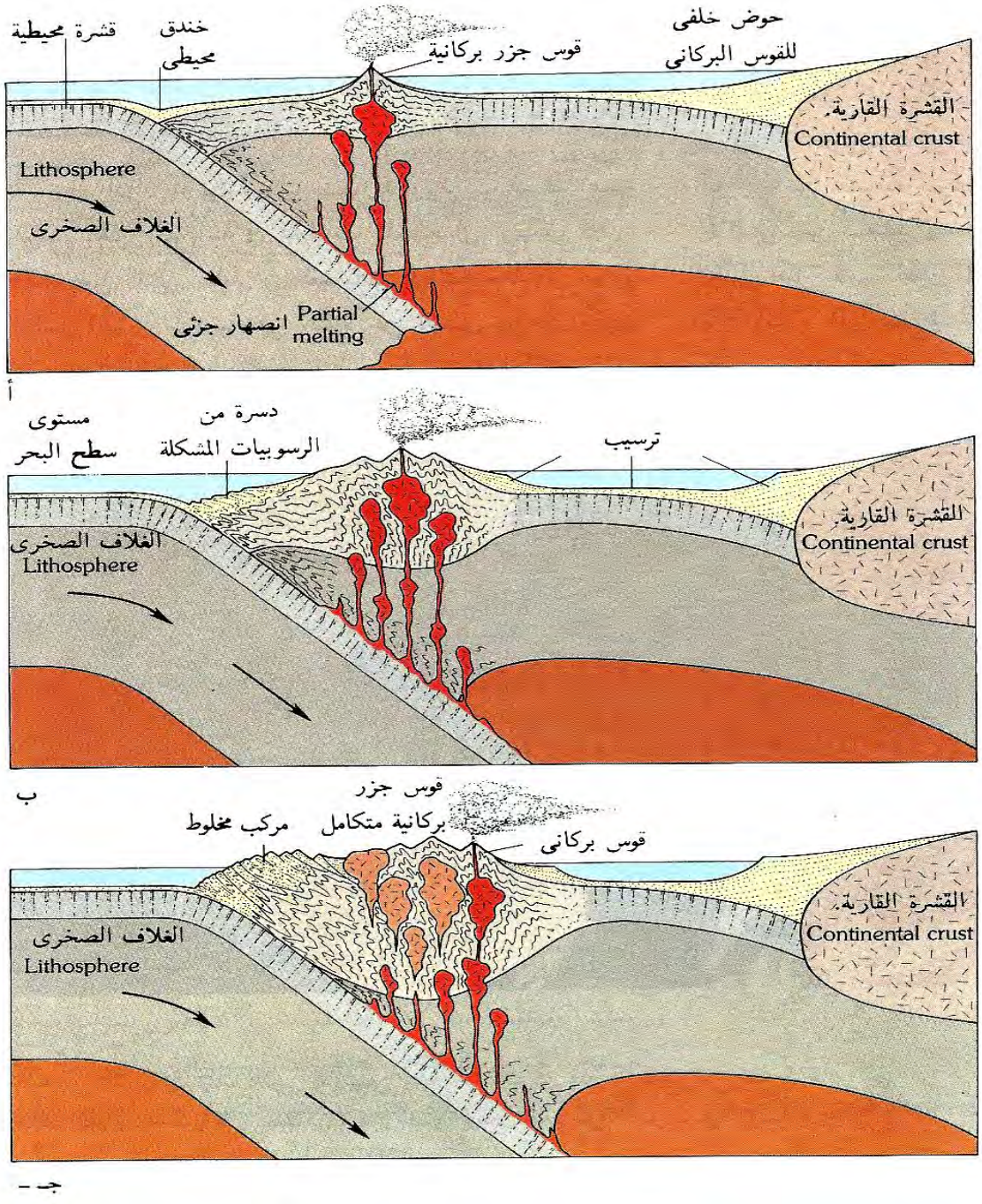
حركات بناء الجبال عند حواف الصفائح

المواقع الحالية لحركات بناء الجبال هي أقواس البراكين النشطة التي تمثلها جزر اليابان وجبال الأنديز في أميركا الجنوبية. وتنشأ أقواس الجزر البركانية في المواقع التي تاتقي فيها صفيحتان إقيانوسيتان، بحيث تغوص إحداهما تحت الأخرى. ويعمل الانصهار الجزئي للصفيحة الغائصة، وربما حرارة الاحتكاك لصخور المعطف، على توليد كمية من المهل التي تصعد إلى أعلى لتكوّن الجزء الناري من نظام الأقواس البركانية.

بالاضافة إلى الرسوبات المستمدة من اليابسة، هناك رسوبات المياه العميقة التي تنكشط من الصفيحة الأقيانوسية الغائصة، وتتراكمعلى جدار الخندق الأقيانوسي الممتد من اليابسة. ونسبب القوى الضاغطة الناشئة عن تلاقي الصفائح في طي وتصدع هذه الرسوبات مع القشور الأقيانوسية المكشوطة من الصفيحة الغاطسة. ويسمى المزيج الناشئ عن الصخور الرسوبية والصخور الستحالية وألسنة قاع الأقيانوس **بالخلوط**.

وقد أدرك الجيولوجيون حديثا أهمية أقواس الجزر البركانية في عمليات بناء الجبال. ومن المتفق عليه أن العمليات القائمةحاليا في مواقع أقواس الجزر البركانية هي عبارة عن إحدى مرلاحلتشكل الأحزمة الجبلية.

في منطقة الأقواس البركانية وفي اتجاه اليابسة من الخندق البحري تتشكل الرسوباتوتتحوا، بينما يتم تشكل الخلوط عن كريق الصفائح المتقاربة. ويتم، مرافقا لذلك في منطقة النشاط الناري، اقتحام أجسام ضخمة من المهل، مما يساعد على ارتفاع درجة الحرارة وتشكل بالتالي صخور شديدة الاستحالة. كما تنعكس الاستحالة هذه في الفلزات الدالة على الاستحالة الشديدة.،



شكل - تطور مكتمل لقوس الجزر البركانية عند حافتين متقاربتين لصفيحتين أقيانوسيتين

حركات بناء الجبال وتنامي القارات

يتضمن المقترح الأصلي لنظرية حركية الصفائح طريقتين لبناء الجبال : الأولى هي افتراض تصادم القارات لتفسير تشكل المناطق الجبلية، مثل جبال الألب والهيمالايا والأورال. والطريقة الثانية التي تعتبر جبال

الأنديز نوذجا لها، يكمن محركهاالتكتونيكيفي غوص القشرة الأقيانوسية. ويعتقد أن السلاسل الجبلية التي تطوّق الباسيفيكي قد تكونت بهذه الطريقة.

وقد برهنت الدراسات الحديثة عن وجود طريقة ثالثة لبناء الجبال، وذلك باقتراح أن الكتل القارية الصغيرة نسبيا تتصادم وتلتحم مع حواف القارات. وأن عملية التصادم والالتحام هي المسؤولة عن نشأة عدد من المناطق الجبلية.

نشاة القشرة القارية وتطورها

هناك فرضية تقول إن القشرة القارية قد نشأت خلال مرحلة كانت فيها الصخور منصهرة ومتزامنة مع انفصال المواد المختلفة التي كونت نواة الأرض ومعطفه. فخلال هذه المرحلة من الانفصال الكيميائي صعددت الفلزات الغنية يالسيليكا إلى السطح مكونة فشاء من صخور القشرة القارية. أما المواد الفقيرة بالسيليكا والغنية بالحديد والمغنيسيوم فغاصت لتكون صخور المعطف. والمبدأ الأساسي لهذا الافتراض هو أن القشرة القارية لم تتغير كثيرا منذ نشأتها، ولكن شكلها وتوزعها قد تغيرا كثيرا بفعل النشك الحركي.

وهناك رأي معارض يقول بأن القارات قدنما حجمها عبر التاريخ الجيولوجي عن طريق النمو المتزايد للمواد المستمدة من المعطف. وفحوى هذا الافتراض هو أن القشرة البدائية كانت من النوع الأقيانوسي. أما القارات فقد كانت صغيرة أو غير موجودة، ثم نمت ببطء هن طريق االتفاعل الكيميائي لمواد المعطف.

الفصل السابع

المياه الجوفية

إن وجود المياه الجوفية معروف منذ أقدم العصور. وما الآبار التي حفرها البابليون في بلاد ما بين النهرين سوى البرهان القاطع على ذلك.

أما في العصر الحاضر، فإن دراسة المياه الجوفية تشكل علما قائما بذاته، تزداد أهميته سنة عن سنة، هو علم الهيدروجيولوجيا.

وبالحقيقة، فإن مياه الأمطار التي تتساقط على سطح الأرض تتوزع إلى أربعة أقسام : قسم ضئيل يتبخر، ثقسم تمتصه النباتات، وقسم يسيل على السطح يغذي السواقي والأنهار، وقسم يتسرب داخل الصخور ليكوّن المياه الجوفية.

تكون نسبة المياه المتسربة داخل الصخور متغيرة. فهي تتعلق بكثافة الغطاء النباتي، وبشدة انحدار الأراضي التي تتساقط عليها مياه الأمطار، وبكمية هذه الأمطار في فصول السنة المختلفة، وبدرجة نفوذية الصخور بصورة خاصة.

وتكون نفوذية صخر ما تابعة لشكل حبات هذا الصخر وكبرها وطبيعتها. كما تكون تابعة للملاط الذي يكون باستطاعته تعديل هذه النفوذية أو حتى إزالتها.

تتغير سرعة تسرب المياه الجوفية بتغير الضغط التوازني وبتغير شدة الاحتكاك التي تكون معدومة في الغضار، ضعيفة في الرمال الناعمة، وكبيرة في الرمال الخشنة وفي الصحور الرملية غير المتراصة. وتسمح شقوق الصخور المبلورة وشقوق الصخور الكلسية بصورة خاصة بتسرب كميات كبيرة من المياه تؤدي إلى تشكيل سواقي جوفية في بعض الأحيان.

ويطلق اسم **المياه الحرة** على المياه الجوفية التي تستطيع التنقل بحرية، أي هي التي لا تكون مثبتة بفعل الخاصة الشعرية أو محبوسة بفعل الامتزاز.

ونشير هنا إلى أن قسما من المياه الجوفية ليس مصدره المياه السطحية، وإنما المهل المندفعة من الأعماق نحو السطح. وتدعى المياه المتشكلة على هذه الصورة **بالمياه البكر**. وكميتها في تكوين الطبقة المائية تفلت من كل تقدير.

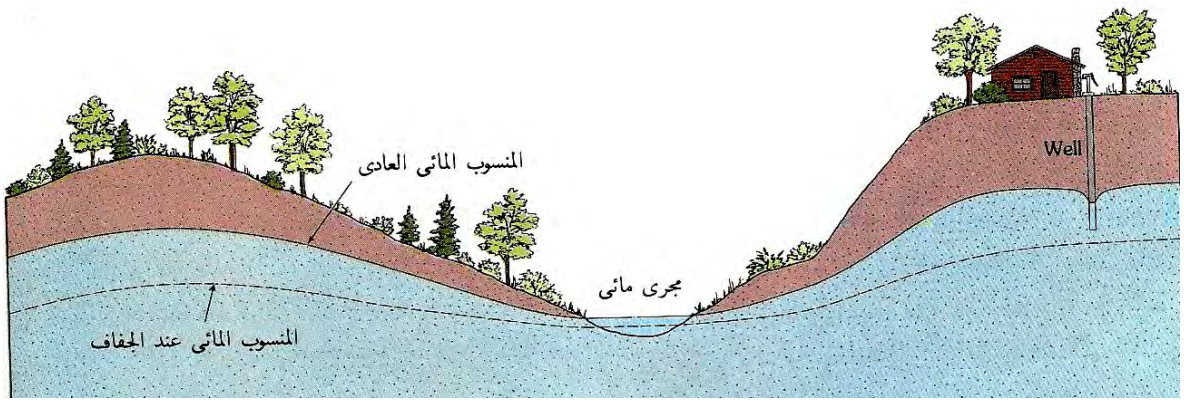
وأخيرا، تصادف في المكامن البترولية غالبا مياها مالحة هي بقايا الوسط اللاغوني والنيريتي الذي تشكلت فيه الرسوبات.

طبقات المياه الجوفية

آ – الطبقات المائية في الأراضي المتجانسة

تتوقف المياه المتسربة داخل الأراضي المتجانسة والنفوذة عن حركتها الهابطة عندما تتشبع الصخور بالماء. فتتشكل عندذاك طبقة مائي تدعى **طبقة فرياتية**. ولا تصل هذه الطبقة إلى السطح بسبب فقدان الماء بالتبخر. وسطحها هو المستوى المائي التوازني الذي يتغير بحسب طبيعةالصخور وبحسب نظام ارتواء المنطقة بمياه الأمطار.

في الطبقات الرملية ذات الحبات الخشنة أو في الصخور الرملية المتجانسة النفوذة، حيث يتنقل الماء بسهولة، يكون المستوى المائي التوازني تحت أفقي، وساير تعرجات الأودية، في حين يرتفع قليلا تحت المناطق المرتفعة، ويزداد ارتفاعا كلما زادت نعومة الرمال.

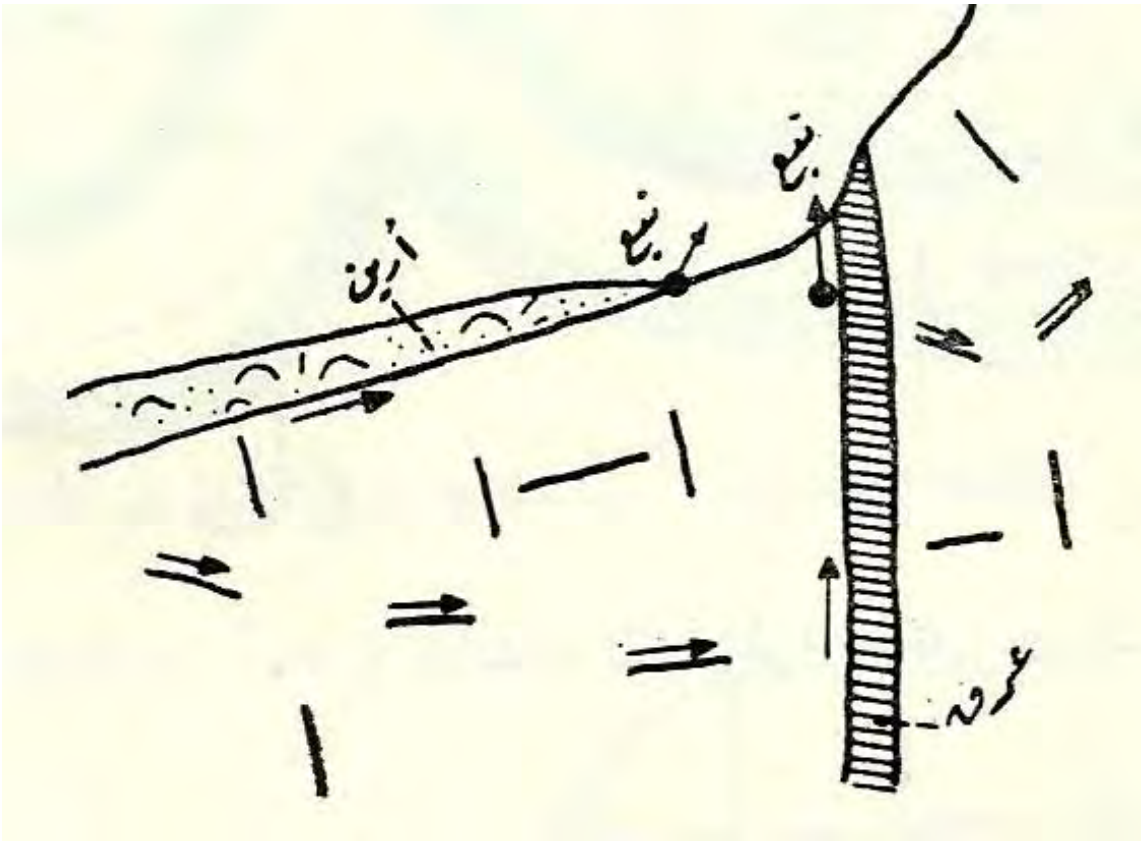


شكل – وضعية الطبقة المائية في أرض متجانسة

ب – الطبقات المائية في الصخور المبلورة

تتجمع المياه في الصخور المبلورة على طول الشقوق أو على امتداد بعض الصخور العرقية. وتخرج إلى السطح من تحت غطاء من اللحقيات، أوعلى طول الكسور. وفي هذه الحالة، تكون المياه معدنية على الغالب.

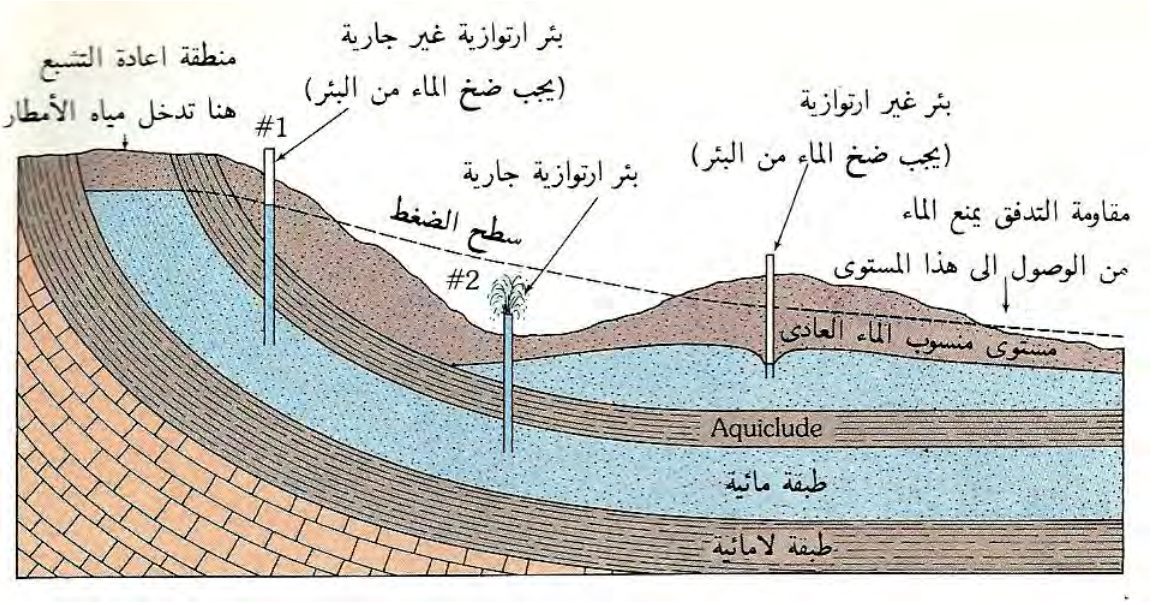
تتدفق الينابيع تحت الانهيالات وتحت الركام واللحقيات، وعلى طول العروق والفوالق والشقوق في الصخور المبلورة.



شكل – الينابيع في صخور الأراضي المبلورة

جـ – الطبقات المائية في الأراضي غير المتجانسة

في الأراضي المتطبقة تتجمع المياه على سطح الصخور الكتيمة. وعلى هذا الأساس تتشكل دوما مستويات مائية قليلة الأهمية تحت الطبقة النفوذة الضعيفة الثخانة، والتي تشكل غطاء التفسخ السطحي للصخور الكتيمة.

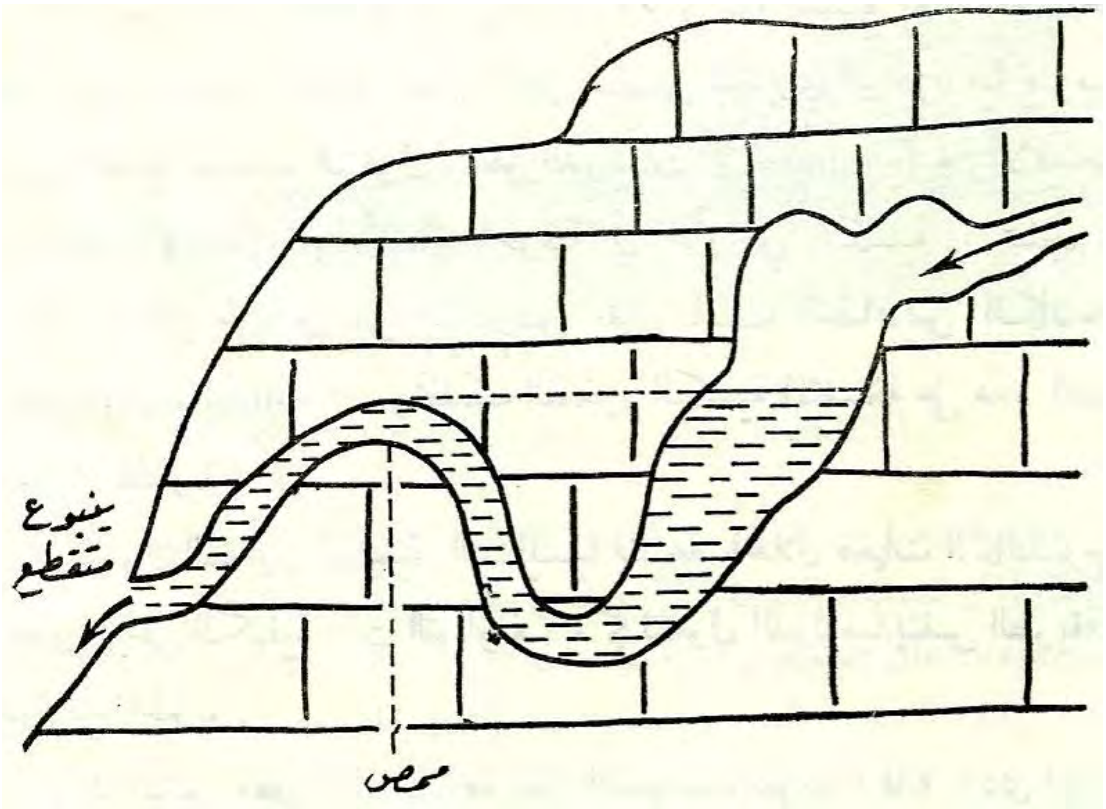


شكل – الظاهرة الأرتوازية عندما تحاط طبقة مائية بطبقتين غير مائيتين

وتخرج المياه إلى السطح عندما يقطع الوادي الطبقة الطتيمة الحاملة للمياه فتتشكل ينابيع يقال لها **ينابيع الانصباب**. فإذا كانت الطبقة الكتيمة مجعدة، وقطعها الوادي في أخفض نقطة من نقاط نهوضها، تدفقت مياه الطبقة المائية إلى السطح مشكلة ينابيع يقال لها **الينابيع الصاعدة**. ويمكن تفجير هذه الينابيع اصطناعيا بالآبار الآرتوازية. فعنما تلامس البئر الطبقة المائية في نقطة يكون ارتفاعها أخفض من ارتفاع تكشف الطبقة الخازنة على السطح، تتدفق المياه من فوهة البئر ونحصل على الماء الأرتوازية.

د – الينابيع الفوكلوزية

يتسب أحيانا قسم من مياه الأنهار عبر الصخور الكلسية تيتنقل داخلها مشكلا سواقي وبحيرات جوفية. وعند ظهور هذه المياه على السطح من جديد، تشكل ما يسمى **بالينابيع الفوكلوزية**. وق يتعقد سير المياه هذه جاخل الصخور الكلسية بوجود عدد من ظاهرات الحت الكارستيالغريبة، كالممصات التي تعطي **الينابيع المتقطعة**، مثل نبع الفوّار في منطقة وادي النضارة في الطرف الجنوبي من السلسلة الساحلية.



شكل – ينبوع متقطع

فعل المياه الجوفية

عندما تجتاز مياه الأمطار المحملة بأكسيد الكربون والأوكسيجين الطبقات السطحية من القشرة الأرضية ، تسبب في الصخور حادثة التفسخ الكيميائي. وتصيبها بللأكسدة والإماهة والانحلال.

وتترسب المواد المنحلة في الماء من جديد حالما ينطلق غازالكربون. وتترسب كذلك كربونات الكالسيوم بسبب نقصان توتره في الجو الخارجي المحيط بالماء. وتحدث هذه الحالة في الكهوف والمغاور فتؤدي إلى تشكيل عروق من الكالسيت، أو قشرة كلسية تغطي الجدران الصخرية، أو إلى تشكيل **الصواعد والنوازل**.

شكل – الصواعد والنوازل في مغارة مرمريتا الكريتاسية

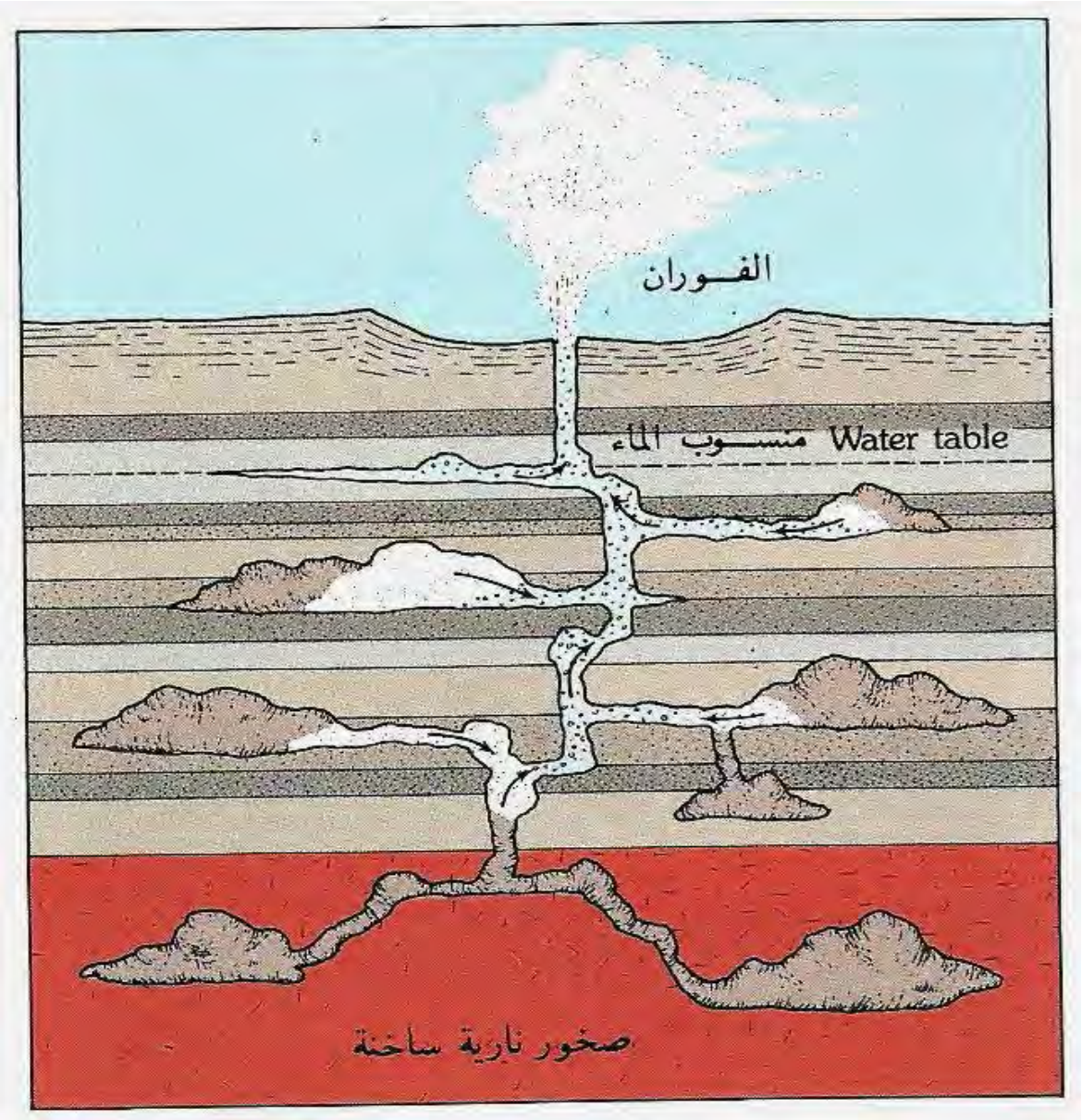
الينابيع الحارة

صفاتها

تتميز الينابيع الحارة عن الينابيع العادية بدرجة حرارتها التي تكون أعلى من حرارة الصخور التي تتفجر منها. وتتميز أيضا بنسبة الأملاح المرتفعة فيها. ويمكن أن تبلغ درجة الحرارة ونسبة الأملاح في هذه المياه درجة عالية. ويكون صبيب هذه الينابيع ثابتا لأنه مستقل عن مياه الأمطار.

منشؤها

يعود منشا معظم الينابيع الحارة إلى المياه الحرة التي تسربت إلى الأعماق السحيقة من القشرة الأرضية، حيث تسخّنت هناك بالحرارة المركزية، وتشبعت بكميات كبيرة من الأملاح المعدنية، ثم صعدت إلى السطح من جديد عن طريق أحد الكسور. والحقيقة فإن هذه الينابيع لا تظهر إلا على طول الكسور في الحفر أو الأغوار الجيولوجية.



شكل – رسم تخطيطي لنبع حار مثالي (حمّة)

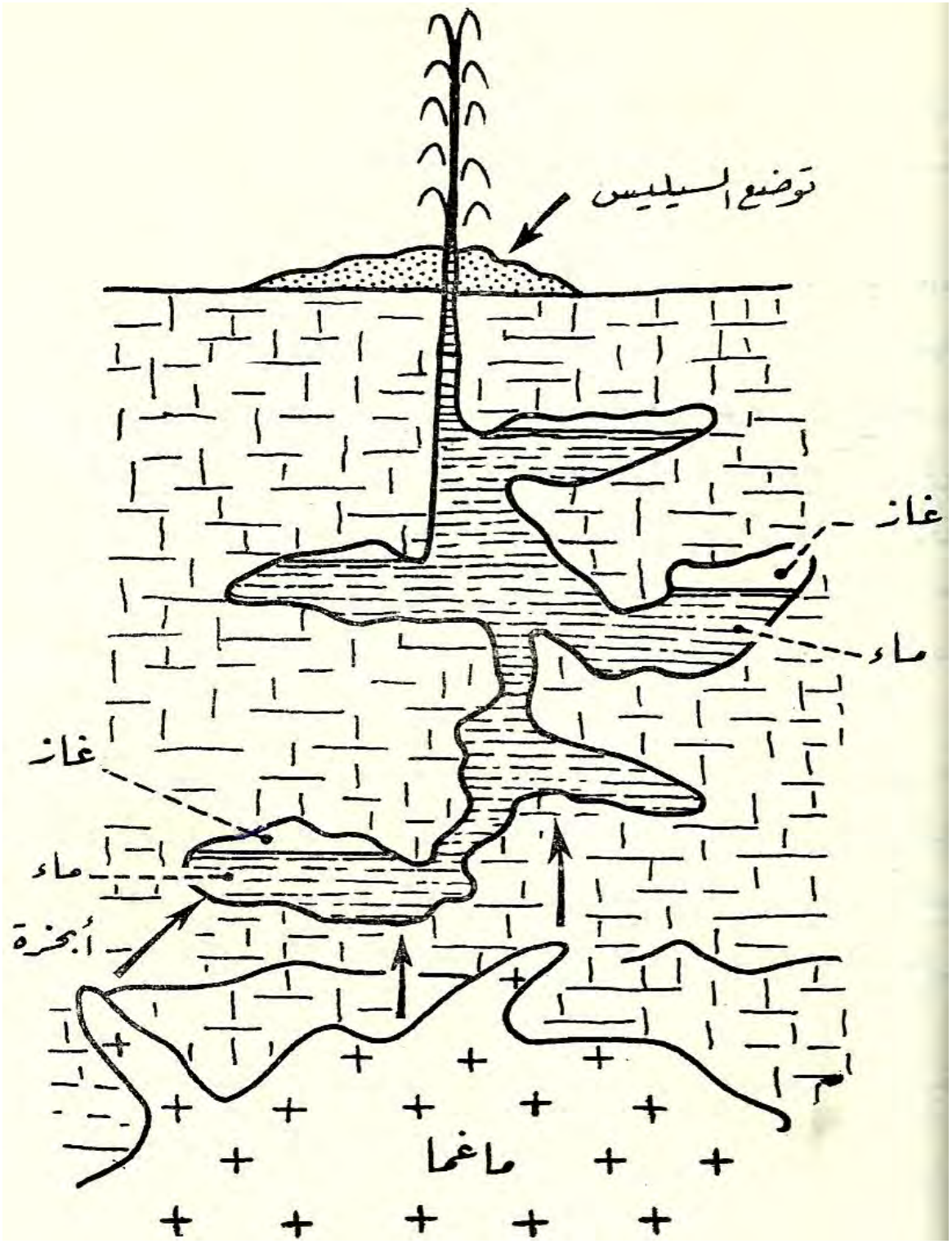
إلا أن وجود غاز الكربون بصورة ثابتة تقريبا في مياه الينابيع الحارة، ووجود هذه الينابيع بكثرة في المناطق البركانية، يجعلنا نغتبر بعض الينابيع تظاهرات ملحقة بالبراكين، أي أن بعض المياه الحارة هي عبارة عن **مياه بكر** صدرت عن الصخورالمهلية التي ارتفعت بالحادثات البركانية.

وقد تكون المياه الحارة ذات منشأ **مختلط** تمتزج فيه المياه الآتية من السطح مع المياه الحارة البكر الآتية من الأعماق.

الجيزرات

الجيزات هي ينابيع حارة جدا فوّارة ومتقطعة. وأكثرها شهرة هي جيزرات الحديقة الوطنية غي منطقة ييلوستون في اللايات المتحدة الأميركية، وجيزرات إسلندا ونيوزيلندا.

يشكل أكبر الجيزرات المعروفة في إسلندا حوضا قطره 15 مترا مملوءا بماء صاف درجة حرارته 76 – 89 درجة مئوية. يتصل هذا الحوض بمدخنة عرضها خمسة أمتار وعمقها 30 مترا، يمر منها الماء المندفع من الحوض إلى السطح. ويحدث اندفاع صغير لماء هذا الجيزر كل 90 دقيقة تقريبا، واندفاع كبير كل ثلاثة أو ثمانية أيام، ترتفع أثناءه كتلة الماء الموجودة في الحوض والمدخنة إلى ارتفاع 60 – 70 مترا في الهواء، وتنتشر كمية كبيرة من الغاز. وتحتاج المياه الآتية من الأعماق مدة خمس ساعات لتملأ الحوض من جديد. بعدها تعاود الاندفاعات نشاطها وبتواقتها المعروف.



شكل – رسم إعدادي لشرح عمل الجيزر

تعطينا دراسة المياه الجوفية فكرة عن صخور ما تحت التربة. وهي، بالإضافة إلى أهميتها العلمية، ذات فائدة عملية كبيرة، كالفائدة التي تقدمهالنا دراسة المياه المعدنية بالتعرف إلى الكامن المعدنية العميقة. كما أن تعيين مواقع السدود والمعامل الكهرمائية تتطلب معرفة دقيقة لتنقّل المياه الجوفية.

وأخيرا، فإن الطبقات المائية هي المخازن الأساسية لأحد أهم مصادر التغذية الأساسية الضرورية، ألا وهو ماء الشرب.

الفصل الثامن

المجاري المائية

تشكل المجاري المائية في المناطق المعتدلة شبكة مائية كثيفة ودائمة. وتقوم هذه المجاري بعمل جيولوجي هام، فهي تحفر أسرّتها وتنقل المواد المنتزعة من الصخور، ثم توضعها.

عمل المجاري المائية في الحت والنقل والتوضع

تحمل المياه الجارية في طريقها المواد المتفتتة. ويختلف كبر هذه المواد المحمولة بحسب سرعة المياه التي تتبع بدورها شدة انحدار المنطقة التي تمر بها.

والمياه الجارية على منحدر خفيف تختلف سرعتها في قاع النهر عنها على سطحه في المكان الواحد. فهي تتناقص تدريجيا باتجاه القاع، أي أنها تكون على سطح ماء النهر أكبر منها في قاعه. وعلى هذا الأساس، فإن كتلة الرمال التي تسحبها مياه النهر تتناقص تدريجيا مع الأعماق.

وتسبب تعرجات قاع المجرى المئي، عندما تكون سرعة الماء كبيرة، حركات طائشة تؤدي إلى خلق حركات دوّارة تحفر القاع بواسطة الحصى التي تحملها، مشكلة الأخاديد والتجاويف. كما هي الحال في تشكيل قدور الجبابرة.

وتتعرض الحصى التي تحملها المياه الجارية للحت، فتأخذ اشكالا إهليلجية أو قرصية مميزة. وقد تتفتت، إذا كانت ضعيفة المقاومة، إلى حبيبات ناعمة أو إلى أوحال.

وعندما تتناقص سرعة المياه تتوضع المواد العالقة بها، فتتوضع المواد الكبيرة بادئ ذي بدء، وتليها العناصر الصغيرة، وأخيرا تتوضع العناصر الناعمة. وبصورة عامة، تكون رسوبات النهر خشنة العناصر في عاليته وناعمة في سافلته.

حفر الأودية

يبدي المجرى المائي على مساره بفعل عمله الحتي مقطعا طولانيا يتغير بحسب الظروف المحلية.

الحت الشاقولي

الحت النهري الشاقولي تابع لسرعة جريان الماء، أي لشدة انحدار النهر وصبيبه. ولكنه يتعلق أيضا بحمولته. فإذا بلغ النهر حمولته القصوى يصبح غير قادر على حمل المواد، وبالتالي غير قادر على الحفر.

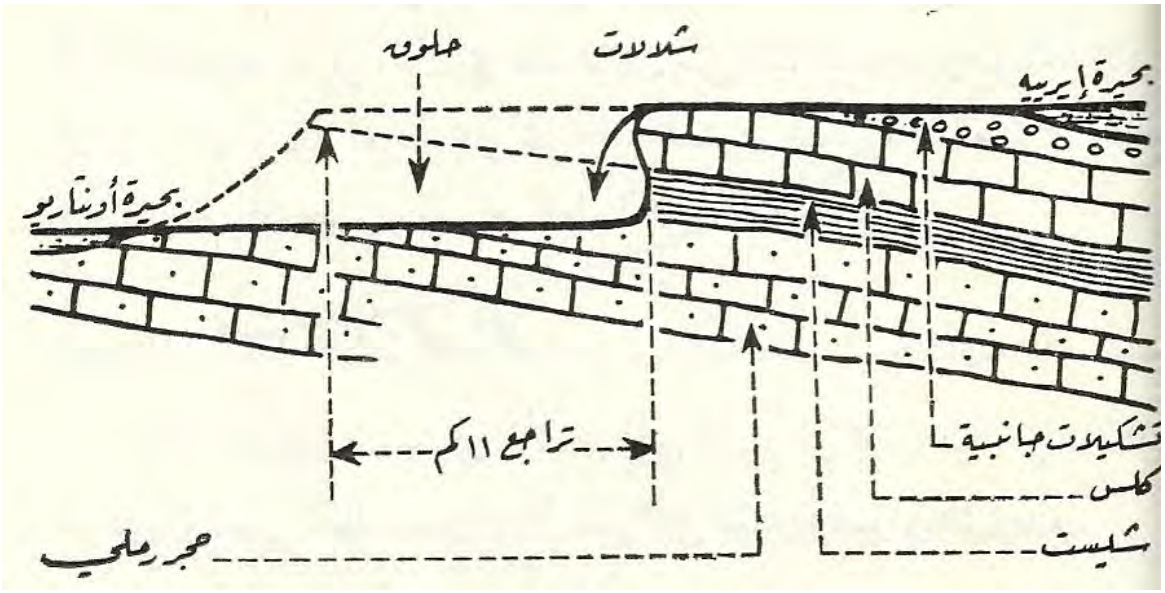
وبهذه الطريقة يفسر تشكل المخاريط النهرية–الجليدية في مصب المورينات الجبهية للجليديات، أي بهدم كفاية استطاعة السيول الجليدية جرف اللحقيات.

الحت التقهقري

يجري الحت النهري في سافلة النهر باتجاه عاليته، أي من أسفل المنحدر نحو الأعلى. وهذا واضح جدا، فسرعة المياه وكتلتها التي تكون أعظمية في أسفل المنحدر تجعل عملية الحفر النهري بالنتيجة أعظمية في هذا المكان.

إن الحت التقهقري أمر يوضحه تراجع مساقط المياه، فشلالات نياجارا تتراجع في ضفتها الشمالية بمقدار 1028 – 1065 مترا في العام. ويستمر الشلال طويلا عندما تكون الطبقات الصخرية التي يسقط الماء من فوقها أفقية. وسرعان ما يزول عندما تكون هذه الطبقات مائلة.

تؤدي عملية الحت النهري إذن إلى خلق موجة حتية تصعد من سافلة النهر باتجاه عاليته. والمنحدر الذي تتضاءل شدته في سافلة النهر، بنتيجة عملية الحفر هذه، يزداد انتظاما بصورة تدريجية، وبنفس الاتجاه.



شكل – تمثيل إعدادي شلالات نياغارا

يتمثل البروفيل الطولي للمجرى المائي بمنحنن يتجه تقعره إلى الأعلى، ويساير الخط الأفقي عند مصب المجرى المائي في البحر.. ويقترب من الخط الأفقي عند المنبع. ويطلق على هذا المنحني اسم بوفيل التوازن.

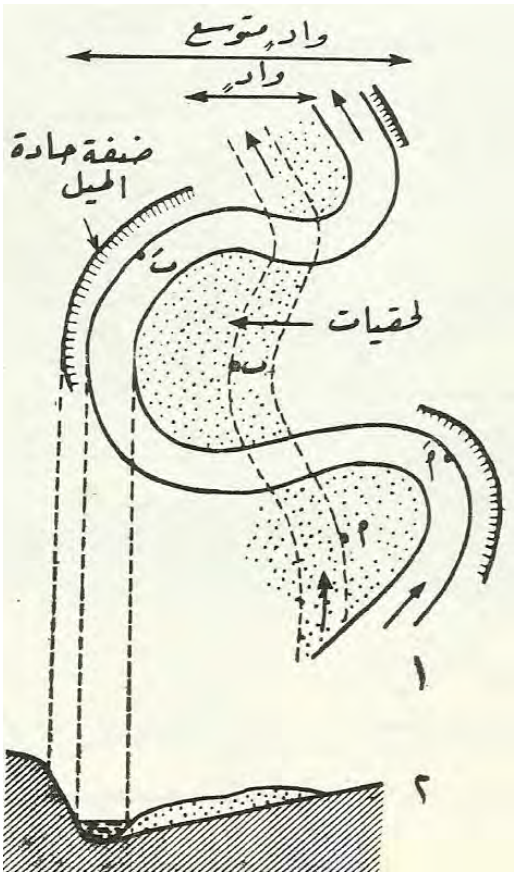
الحت الجانبي

1 – تشكل السهل اللحقي

يفتت الحت الجانبي ضفتي المجرى المائي. ويغلب هذا الحت في القسم الأعلى من النهرحيث تكون سرعة جريان الماء ضعيفة جدا لا تسمح للحفر الشاقولي بالعمل. ولما كامت المجاري المائية غير مستقيمة فإن المياه تتجه نحو خارج المنعطفات، فتحفر الضفة الخارجية (تكون مقعرة نحو الداخل) **للأكواع النهرية**، في حين تتوضع اللحقيات في الزاوية الميتة للضفة الداخلية (تكون محدبة نحو الداخل). ويكون من نتيجة هذا الفعل المضاعف زيادة تقوّس المنعطفات وتعرّض الوادي، وأيضا نقل الأكواع النهرية باتجاه المصب. وعندما ينقل النهر سريره على هذه الصورة، فإنه يترك على قاعه، عندما تبلغ حمولته استطاعتها، لحقيات تشكل ما يسمى **بالسهل اللحقي**.

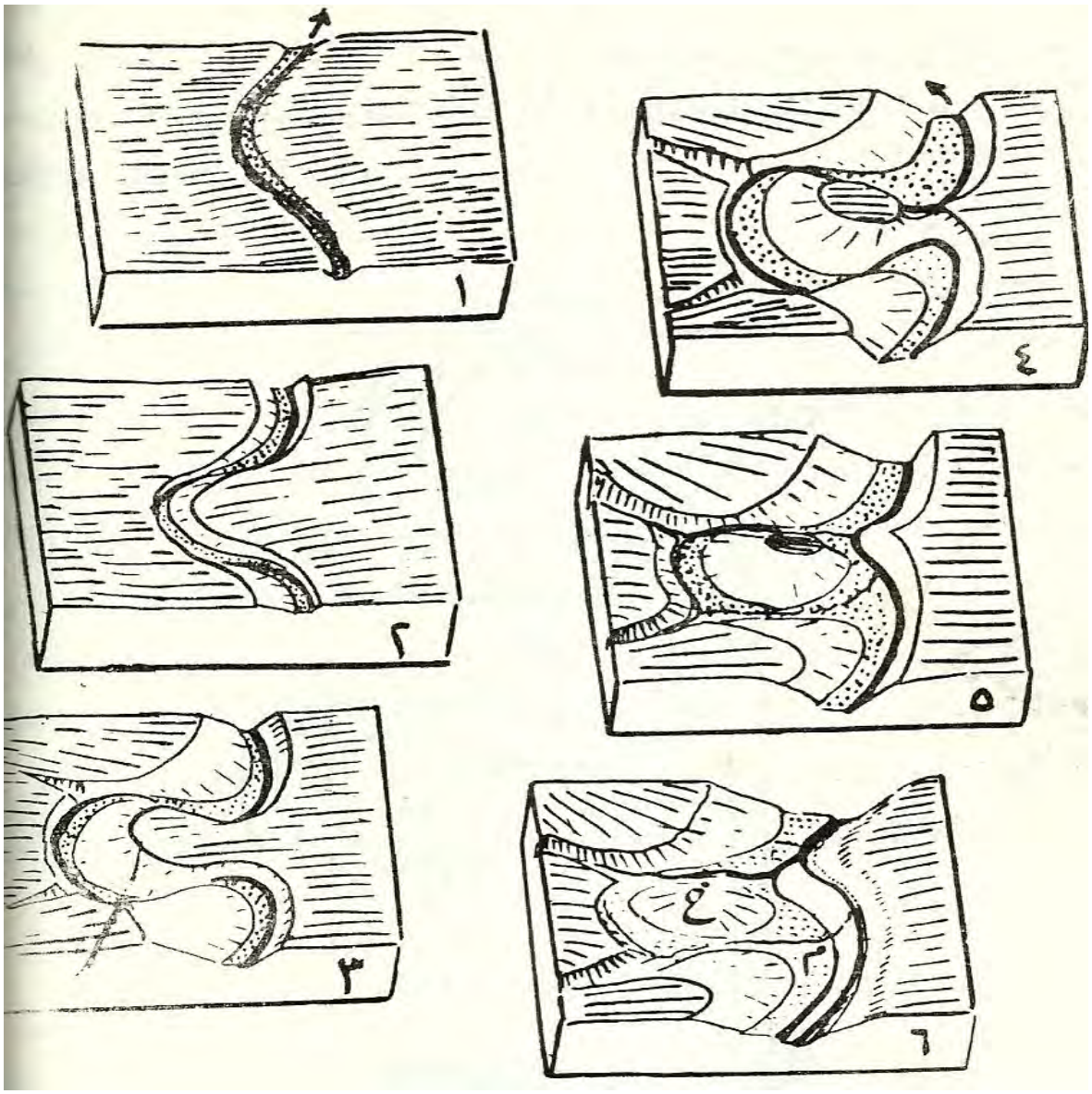
2 الأكواع المتنقلة والأكواع المتعمقة

عندما يصبح السهل اللحقي عريضا تنتقل الأكواع النهرية نحو الخارج ونحو السافلة وتميل إلى الانغلاق على نفسها. والبرزخ الذي يفصل بين نهاية حلقة كوع نهري ينتهي بالانقطاع. ويتخلى المجرى المائي، الذي يتبع دوما المنحدر الأشد. عن الكوع النهري الذي يشكل في هذه الحالة ذراعا ميتا.



شكل – رسم يبين تطور الأكواع النهرية

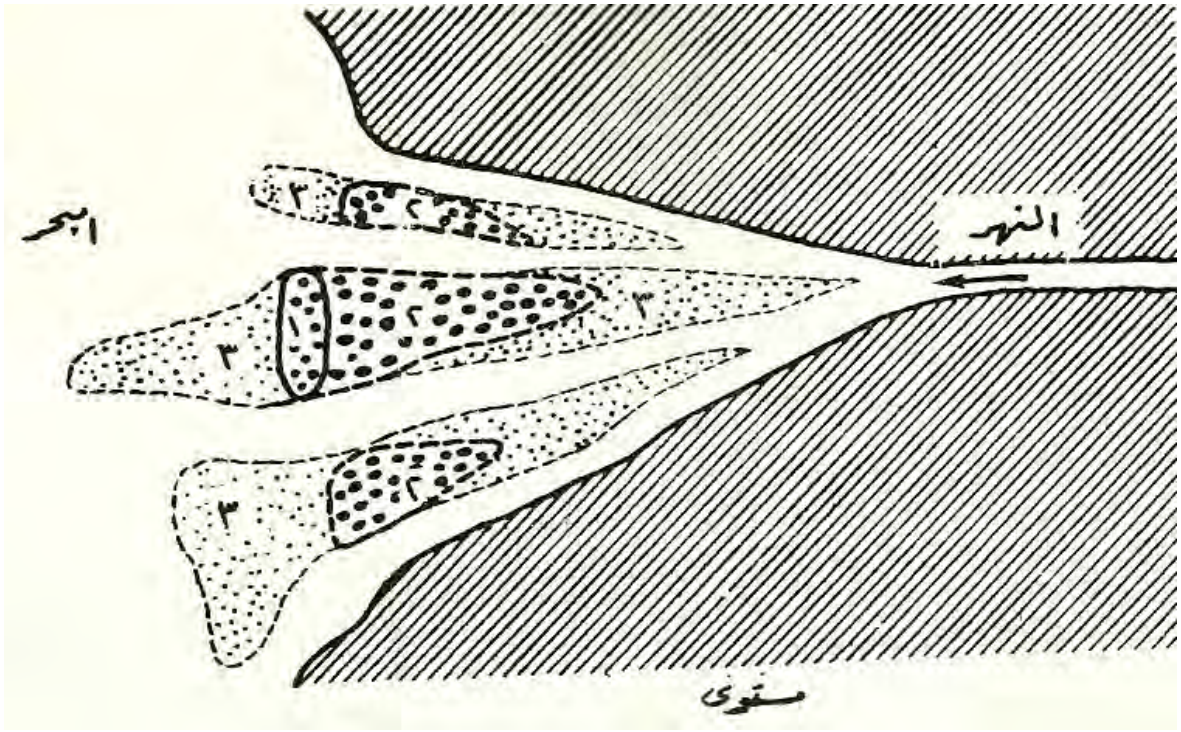
تكون الأكواع النهرية متعمقة، أي ذات ضفاف مرتفعة، في الأودية الضيقة حيث يكون للحت الشاقولي شأن كبير، وعندما يقطع المجرى المائي كتلة جبلية أثناء نهوضها التدريجي. وتبدي الأكواع المتعمقة أحيانا عدم تناظر واضح بالنسبة لسفحها، فسفح مقعر ذو احدار حاد، يقابله سفح محدب ذو انحدار ضعيف. وقد تتقاطع الأكواع المتعمقة فتشكل نتوءا مركزيا تحيط به المياه من كافة جهاته.



شكل – تطور الأكواع النهرية وتميق الوادي

3 – التوضعات النهرية

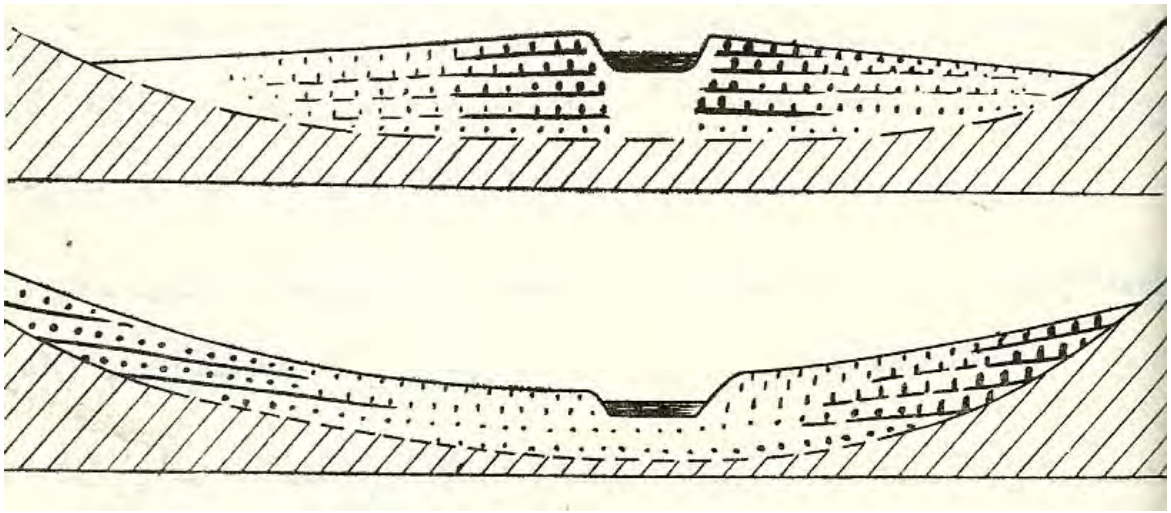
– **مخاريط الانصباب** : وتتشكل في مكان تلاقي المجاري المائية مع الوادي الرئيسي ويكون لها شكل مروحي. ويزداد انحدارها بحسب معيار المواد التي تتألف منها. وقد تتجمع مخاريط الانصباب لروافد متتابعة على طول منحدر ما ، فتشكل السهل اللحقي السفحي.



شكل – رسم تخطيطي يبين تشكل الدلتا

– **توضعات المصبات :** تتشكل الدلتات عند مصبات الأنهار في البحار والبحيرات. ويكون لدلتات المياه العذبة بنية مميزة يقال لها بنية دلتاوية.

– وعندما لا تتوضع في مصب النهر رسوبات كثيرة، يتشكل **الخليج النهري** الذي يغزوه ماء البحر أثناء المد. وبتماس ماء البحر مع ماء النهر العذب يحدث تدفق للغضار العالق في الماء بشكل كروي، فيتوضع مشكلا حاجزا. وإذا أصبحت هذه التوضعات كبيرة يتحول الخليج النهري إلى **دلتا**.



شكل – بروفيل عرضي لمصاطب النهر (أ) مصطبة تغلب فيها مجلوبات النهر (ب) مصطبة تغلب فيها مجلوبات جانبي النهر.

–

– **توضعات السهول اللحقية:** الترسّب في السهل اللحقي يمكن أن يغذّى بالمجرى المائي نفسه الذي يوضع اللحقيات أثناء الفيضانات بصورة رئيسية.

ولا تتجاوز ثخانة التوضعات في السهول اللحقية عشرات الأمتار في الشروط النظامية. إلا أن هبوط قاع السهل اللحقي في بعض الأحيان، بصورة تدريجية ومستمرة، يسمح بتكدّس ثخانات ضخمة من الرسوبات النهرية.

صفات التوضعات النهرية : تتميز التوضعات النهرية بترتيب عناصرها وبشدة حتها وتوضعها المتصالب. فالحصى ذات الشكل شبه الإهليلجي تكون متراكبة كآجر سطوح المنازل باتجاه التيار، أي أن المحور الكبير للحصاة موازي لاتجاه التيار. وتسمح الملاحظات الدقيقة على اللحقيات القديمة أحيانا بالتعرف على جهة جريان المياه التي وضّعتها.

وقد تتماسك الحصى بملاط ما فتتعطي صخور الكونلوميرا. كما تعطي الرمال بهذه الطريقة الحجر الرملي.

توضع الأنهار أثناء الفيضانات على الغالب رسوبات ناعمة تدعى "**الليمون**"، مؤلفة من غضار ورمل ناعم.

تطور المجاري المائية

المراحل المتعاقبة لتطور المجاري المائية

يميز في تطور مجرى مائي، منذ بداية تكونه في منطقة طفت حديثا فوق سطح البحر، ثلاث مراحل متعاقبة، إذا افترضنا، وهذا أمر نظري بحت، عدم تدخل أي تأثير خارجي، كحركات مستوى سطح البحر بالنسبة للقارات.

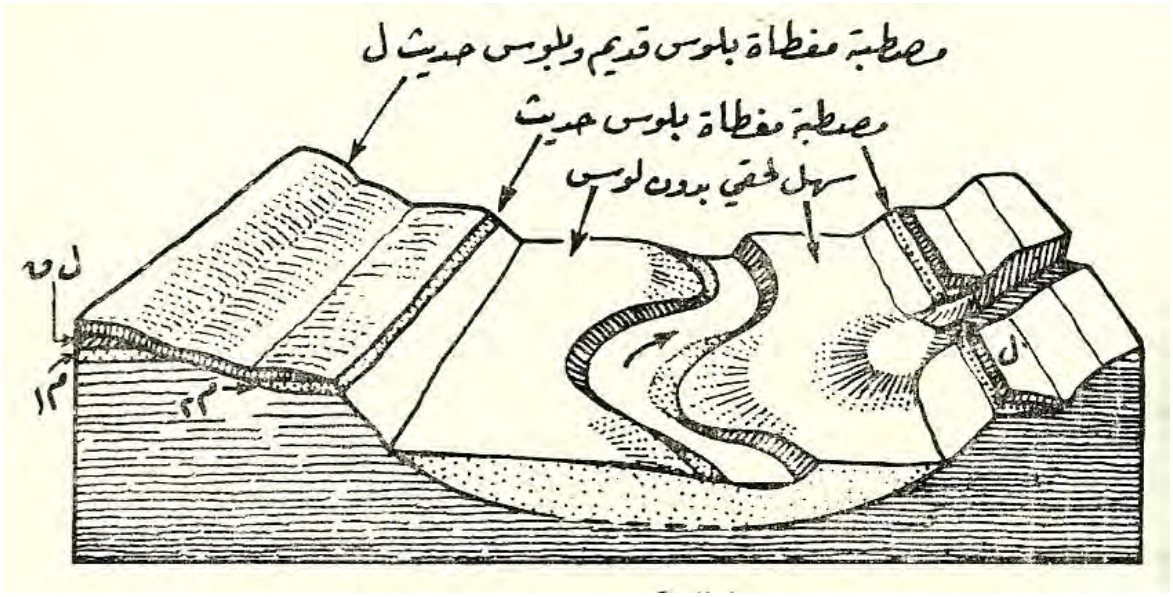
1 – مرحلة الشباب : يكون فيها بروفيل المجرى المائي جديدا وغير منتظم، تقكعه الجنادل ومساقط المياه والبحيرات ومناكق ذات انحدار ضعيف يحدث فيها الطمي.أما الحت الشاقولي، فيكون نشيطا يسعى لتشكيل بروفيل منتظم.

2 – مرحلة النضج : يميز في المجرى المائي بوضوح قسم أعلى، هو عالية النهر، ويغلب فيها الحت، وقسم أدنى هو سافلة النهر، ويغلب فيها الطمي. ويتشكل سهل لحفي مستمر ومتسع لأن سفوح الوادي تتطور بتأثير الحت الجانبي الذي يتفوق على الحت الشاقولي، ويتناهى هذا الأخير نحو الصفر.

3 – مرحلة الشيخوخة ؛ يرسم النهر في هذه المرحلة أكواعا عريضة في سهل لحقي فائض بالرسوبات. ويكون الاتحدار ضعيفا وحمولة النهر فوق استطاعتها، فيغلب الترسب في هذه الحالة وينعدم الحت.

المصاطب النهرية

قد ينفص صبيب النهر إثر تغيّر ما في المناخ، وقد يتوقف عندذاك الحت الشاقولي. فإذا لم تكن هناك زيادة غي الحمولة فالنهر لا يوضع، وإنما يسعى الحت الجانبي إلى توسيع الوادي. فإذا عاد الحت الشاقولي من جديد، عمّق النهر مجراه، وبرز الوادي القديم على شكل مستو حتي، يدعى غالبا **بالمصطبة الحتية.**



شكل – مجسم يبين وضعية مصطبتين متصندقتين

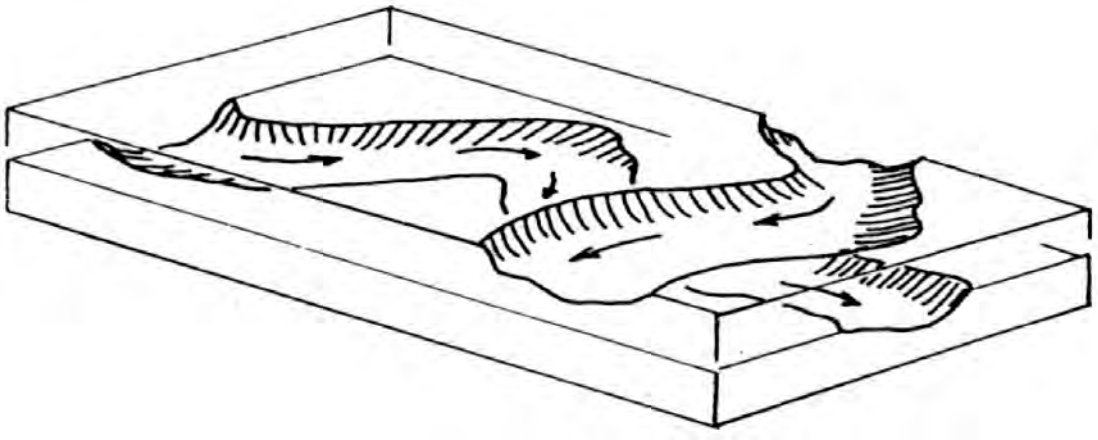
يمكن تمييز المصكبتين من الارتفاع النسبي لكل منهما ومن غطائيهما

وعلى العكس، فإن النهر يوضّع إذا تجاوزت حمولته استطاعته. فإذا استعاد الحت الشاقولي نشاطه فإنه يعمّق مجرى النهر ويكشف السهل اللحقي القديم ‘لى شكل **مصطبة طمي.**

توجد أحيانا على طول مجرى النهر مصاطب طمي ذات ارتفاعات ثابتة تقريبا بالنسبة للسعل اللحقي. وتمتاز هذه المصاطب بتركيبها الليتولوجي، بشكل حبيباتها، بفلزاتها، بحالة تفسخ مركباتها، بطبيعة غطائها وبمستحاثاتها إن وجدت. وتدعى **بالمصاطب المتصندقة.**

حادثات الاقتناص

عندما يكون الصبيب والانحدار ومستوى الأساس في مجريين مائيين متجاورين، مختلفة، فإن قوة الحت في كل منهما تكون كذلك مختلفة. فأحد المجريين يحفر بصورة أسرع من الآخر، فيوسع حوضه المائي. ويمكن أن يؤدي ذلك في النهاية إلى اقتناص مياه المجرى الآخر أو أحد روافده.



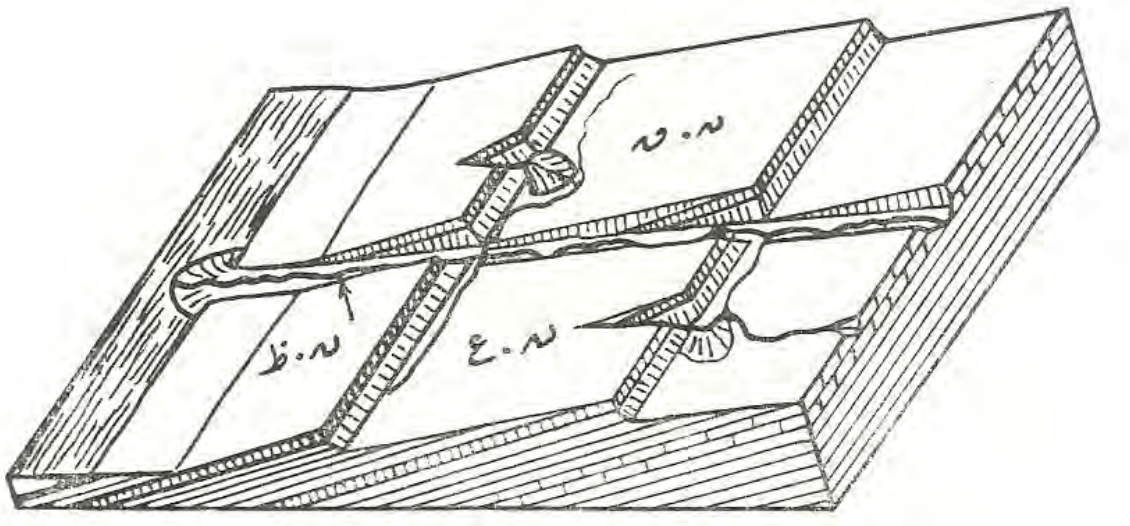
شكل – اقتناص رافد من قبل النهر الرئيسي

تكيف الشبكة المائية مع البنية الجيولوجية

الحت التباينـي

يعمل الحت في أرض رخوة بصورة أسرع مما يعمل في أرض صلبة. فالمجرى المائي يحفر بصورة سريعة الطبقات الطرية تاركا الصخور القاسية نافرة بارزة.

ويكون البروفيل العرضي للأودية النهرية في الأراضي الطرية على شكل حرف **V** . فالطبقة القاسية ترسم خطا صخريا يبدو بارزا في البروفيل. أما في الأراضي الكلسية، فالأودية تتعمق على شكل **خانق**.



شكل – مجسم يبين تكيف شبكة مائية مع منطقة مائية

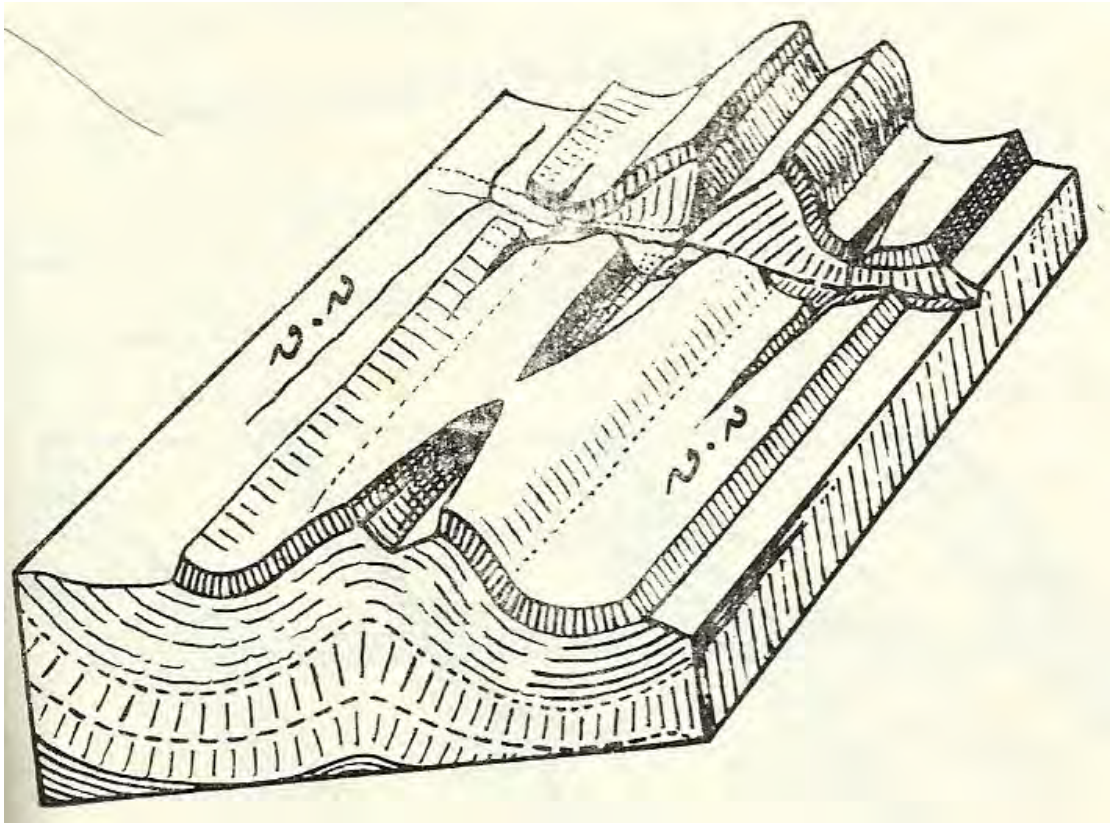
التكيّف

تتوجه الأنهار بحسب البنيات الإقليمية التي تمر فيها. وهي تتكيف في النهاية مع هذه البنيات.

يميز في هذا المجال الأنواع التالية من الأنهار:

- **الأنهار المنتظمة،** وهي التي تجري على طول الخطوط ذات الانحدار الأعظمي.
- **الأنهار الموافقة،** وهي التي تجري وفق اتجاه الطبقات.
- **الأنهار العاصية،** وهي التي تجري بعكس ميل الطبقات.

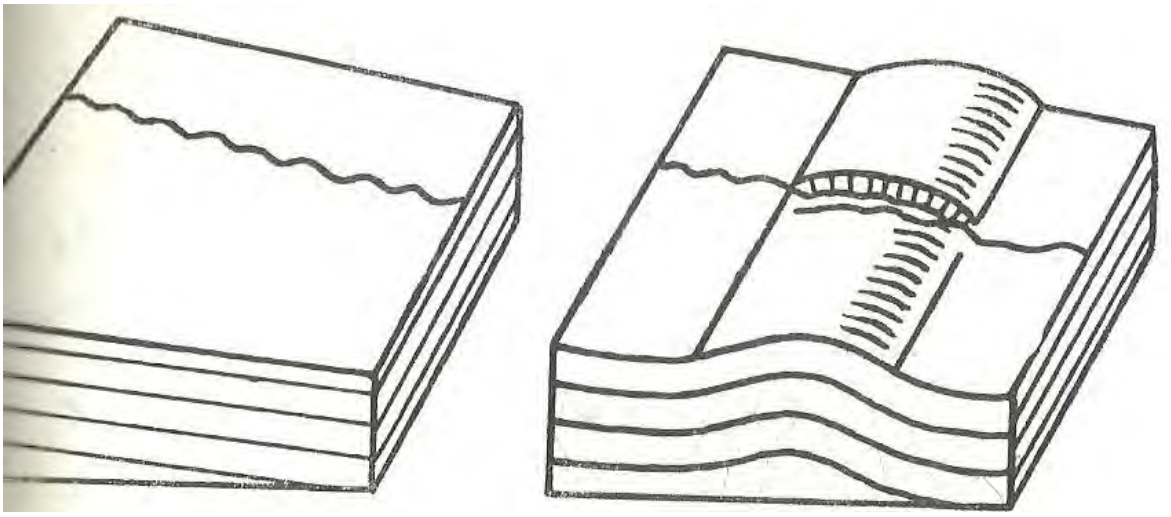
وقد تبدي الشبكة المائية أحيانا في منطقة شديدة التجعد مظاهر شديدة التنوع (خوانق ، وهاد)



شكل – مجسم يبين تكيف الشبكة المائية مع منطقة مجعدة مقطوعة عرضيا على شكل خوانق، وطوليا على شكل محدبات وعلى شكل V

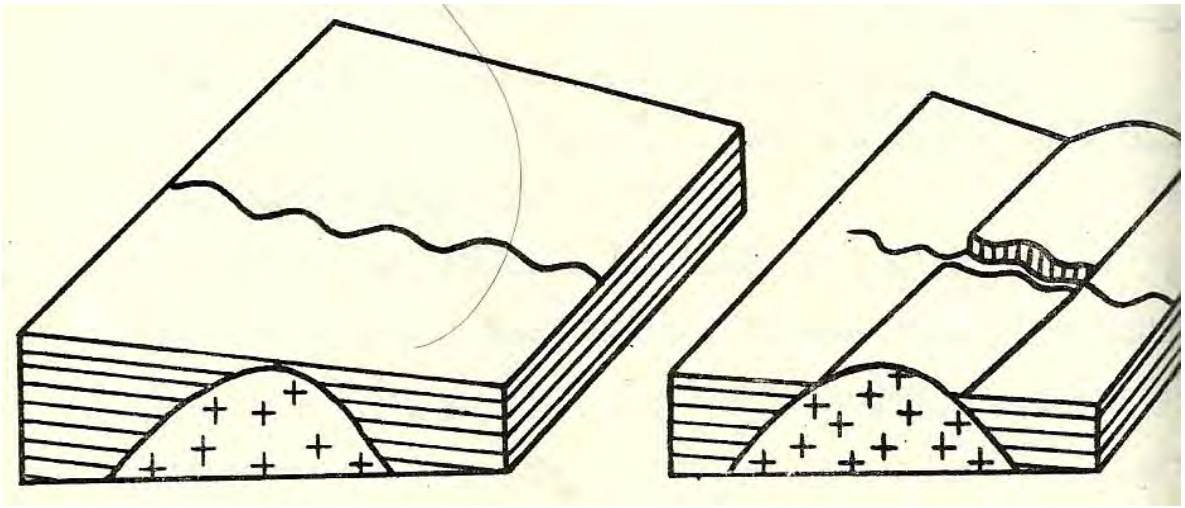
القسر والسبق

يصادف النهر، عندما يعمّق مجراه في مكان ما، أراض تحتلف طبقاتها اختلافا كبيرا عن الطبقات التي كان يحفرها من قبل، ككتلة من الصخور المبلورة مثلا. ولما كان المجرى المائي حبيس واديه، فلن يستطيع الإفلات منه، وسوف يجد نفسه مضطرا لقطع تلك الصخور القاسية. ويكون هذا القسم من الوادي ضيقا في الغالب، وله جوانب قائمة. فمسار النهر قد فرض على النهر قسرا. وتدعى هذه الحادثة **بالقسر**.



شطل – رسم يبين تطور مجرى مائي بطريقة القسر

وقد يحدث مشهد مشابه عند تدخل حركة تكتونيكية. فإذا افترضنا بأن منطقة ما بدأت ترتفع في جزء من مجرى النهر، وكان النهر قويا جدا، أو كانت حركة نهوض المنطقة بطيئة، فإن النهر يحفر مجراه بسرعة في هذا المكان ويعمقه ويكون الوادي في هذه الحالة ضيقا وعميقا. وبما أن مسار النهر قد سبق في تشكله حركة النهوض التكتونيكية، فإننا نطلق على هذه الحادثة اسم **السبق**.



شطل – رسم يبين تطور مجرى مائي بطريقة القسر

الفصل التاسع

الجليديات والتجلد

تغطي كتل الثلج والجليد مسحة تقرب 10 % من السطح القاري و 2.7 % من سطح الكرة الأرضية. وتتوزع هذه في المناطق القطبية وفي الجبال العالية. وقد كانت خلال الحقب الرابع الجيولوجي، قبل العصر الحالي، تغطي 35 % من سطح القارات. وهي تتبدى تحت شروط خاصة جدا وتمارس أفعالا جيولوجية حقيقية. ويعتبرها الجيولوجيون رسوبات حقيقية،

1 – الثلج والجليد

آ – الثلج وجليد الجليديات

يتألف الثلج من بلورات سداسية تبدو بمظاهر متنوعة جدا، وبأشكال أكثر تنوعا عندما تتجمد بدرجة حرارة غريبة من الصفر.

شروط تكدس الثلج

ولكي يتكدس الثلج في منطقة ما، ينبغي قبل كل شي~، أن يهطل بغزارة فوق هذه المنطقة، كما ينبغي، أن تكون درجة الحرارة منخفضة بشكل كاف لكي تبقى فترة طويلة. ويتعلق هذا الشرط الأخير بموقع المنطقة على خطوط العرض، وبارتفاعها عن سطح البحر، واتجاهها بالنسبة للقطبين. وأخيرا لا يكون تكدس الثلج إلا على سطوح طبوغرافية ذات انحدار ضعيف نسبيا (أقل من40 ° بصورة عامة).

الفعل الجيولوجي للثلج

يتجلى الفعل الجيولوجي للثلج بالصقل الخفيف للحصى في المناطق التي تطثر فيها الرياح العاصفة. وتعرّي الانهيارات الثلجية التربة وتعرضها بالتالي للتجمد. كما تسبب هذه الانهيارت الثلجية يتكدس حطام الصخور بصورة عشوائية على سفوح المنحدرات. وهذه هي المورينات الانهيارات الثلجية.

بنية الجليد وخصائصه

يتحول الثلج بارتصاصه إلى ثلج خبيبي، ثم يتحول بعد ذلك بذوبانه وإعادة تجمده المتكرر إلى جليد. وهو مادة مبلورة في أشكال مختلفة، إلا أنه، تحت الضغط الجوي العادي، يكون له كالثلج بنية سداسية. وعندما يبدأ الجليد بالذوبان تظهر حدود البلورات واضحة.

يكون جليد الجليديات متطبقا، تيغود هذا المظهر العصائبي نوعا ما إلى المجلوبات الريحية الدورية من الغبار.

ب – الجليد البحري :

نميز في الجليد البحري نوعين هما : الفشرة الجليدية والجبال الجليدية:

القشرة الجليدية:

هي قشرة من الجليد تتشكل في المناطق القطبية من تجلد ماء البحر. ويخضع تشكل عذع القشرة إلى القوانين الفيزيائية المعروفة. فنحن نعلم أن نسبة الملح تخفض نقطة ذوبان ماء البحر، وأن هذا الانخفاض يتناسب طردا مع عدد ذرات الجسم المنحل (الأملاح المنحلة في ماء البحر)، وعكسا مع عددذرات الجسم المحل. ولما كانت هذه الأخيرة تزداد عندمل تنخفض درجة ماء البحر ألى الدرجة –1° أو –2° , ف‘نه يتشكلأول الأمر على سطح الماء بلورات صغيرة مسطحة مؤلفة من الجليد النقي. ثم تتجمع في بقع حليدية

كائرية الشكل تضم جيوبا من ماء البحر.وعندما تتحد البقع الجليدية مع بعضها، وتتجلد الجيوب المائية المالحة بدورعا، يتشكل ما يعرف بالجليد الفتي ذي اللون الفاتح.

ويؤدي انخفاض مفاجئ في درجة الحرارة إلى تمدد طبقة الجليد الفتي، فتتكسر مشكلة صفائح يتراكب بعضها فوق بعض. ويؤدي ارتفاع في درجة الحرارة إلى تقلص القشرة الجليدية، فتتقطع إلى صفائح، وتأخذ هذه الصفائح بالانسياح فوق سكح الماء. وشيئا فشيئا، تزداد ثخانة الجليد خلال الشتاء، ويذوب جزئيا هلال الربيع، والطبقة التي تبقى بعد ذلك، تزداد ثخانتها من جديد خلال فصل الشتاء. وهذا هو الجليد العتيق، ويكون ذا لون قاتم نسبيا. وقد تجمّع التيارات البحرية على امتداد الشواطئ، الصفائح الجليدية المنساحة مشكلة هكذا ثخانات ضخمة.

الجبال الحليدية

إن منشأ الجبال الجليديةقاري، أي أنها قطع من جليديات الجبال الممتدة في البحر، أو من قبعات جليدية ضخمة. وأبعاد هذه الجبال متغيرة. فقد تصبح هائلة جدا، يتجاوز ارتفاعها مئات الأمتار، ومساحتها عشرات الكيلومترات المربعة. هذا ويتجاوز القسم المغمور منها في الماء سعة إلى عشرة أضعاف الجزء الطافي فوق سطح الماء.

2 – جليديات الجبال

تتشكل الجليديات في المناطق التي توجد فيها ثلوج دائمة، يكون حدها الأدنى مستقلا عن المناخ وعن أوضاع المنحدرات وعن قيمة الهطل الجوي. وبحسب تطور اللسان الحليدي، يتم تمييز الأشكال التالية من الجليديات: الجليديات المعلقة، التي تتمثل بالحلبات الجليدية وجليديات الوادي التي تنحصر في الأودية، وجليديات السفوح التي ينتهي لسانها في السهل وينتشر على شكل مخروط واسع.

وتعود حركة الجليديات إلى مرونة الجليد وإلى ذوبانه وعودة تجمده من جديد. وقد دلت التحارب على أن سيلان الجليد يتناقص في القسم السفلي من لسان الحليدية اعتبارا من المركز نحو الأطراف. وينجم عن حركة الجليديات ما يلي : 1 – تشكل الشقوق والانقطاعات في الجليد. 2 – ظاهرات حت ونقل.

3 – القبعات الجليدية

القبعات الجليدية هي كتل جليدية ضحمة تغطي مناطق القطبين الشمالي والجنوبي. وإن أفضل مكان تلاحظ فيه الأفعال الجيولوجية للقيعات الجليدية هو في المناطق التي اكتلتها قديما القيعات الجليدية: أميركا الشمالية وأوروبا الشمالية (شمال ألمانيا).

ففي هذه المناطق تشاهد تحززات خلفتها الجليديات أثناء سيلانها على الصخور. وتشير هذه التحززات إلى اتجاه سيلان الجليد. كما توجد الجلاميد التائهة المنقولة إلى مسافات بعيدة جدا (صخور نقلت من النروج إلى انكلترا). وتنتشر في هذه المناطق أيضا مورينات جبهية تشير إلى جبهات الجليديات القديمة.

كانت تسيل مياه الذوبان في أقنية موازية نوعا ما لجبهة الجليديات، أو كانت تتجمع على شكل بحيرات. أما مورينات القاع فتغطي المناطق التي كانت تشغلها سابقا القبعات الجليدية. وتتألف هذه المورينات من غضار ناعم هو التلّيت

تتوضع في البحيرات والبحار الواقعة على أطراف قبعات جليدية كبيرة رسوبات ذات مظهر عصائبي، يقال لها غضار ذو عصائب. وهي توضعات موسمية مشابهة للغضار المخطط الي يتشكل في البحيرات.

آ – أشكالها ونماذجها

الجليديات المعلقة

- جليديات الوادي -
- جليديات السفوح -

ب – حركة الجليديات -

جـ – الحت الجليدي وتضاريسه -

- الحلبات الجليدية -
- الوادي الحليدي -

د – النقل والتوضغلت الجليدية -

–

القبعات الجليدية ف غروئنلندا -

الأفعال االجييولوجية للقبعات الجليدية -

الفصل العاشر

الصحارى والرياح

تعني كلمة صحراء المنطقة المهجورة أو القاحلة. وبالطبع فإن الكثير من الصحارى ليست مهجورة ولكنها مأوى للكثير من البشر. وباستثناء المناطق القطبية فإن معرفتنا بالصحارى أقل من أي بقعة على سطح الأرض. فمثلا لا تغطي الكثبان الرملية كل أرجاء الصحارى كما هو معروف عنها. فالكثبان الرملية توجد في بعض المناطق الصحراوية، وهي من معالمها المميزة ولكنها تمثل نسبة ضئيلة من المجموع الكلي لمساحة الصحراء. فالصحراء الكبرى، وهي أوسع الصحارى في العالم رقعة، تغطي الكثبان الرملية 10 % فقط من مسحتها. أما الغطاء المثالي للصحارى فهو يتكون من طبقات صخرية متكشفة أو رقعة فسيحة من الأحجار.

شكل – الكثبان الرملية في الصحراء الأفريقية

التعرية والنقل

تمارس الرياح عملها في نفس الوقت الذي تمارس فيه العوامل الأخرى أعمالها، كأشعة الشمس، التجلد والذوبان، الما إلخ... فتكمّل هذه العوامل بعضها بعضا. ومع ذلك، فإن الرياح تترك أحيانا انطباعات مميزة وتعطي في الغالب رسوبات حقيقية.

تعمل الرياح تحت تأثير سرعة الهواء التي تتراوح بين 30 – 35 كم/ساعة (رياح عادية) وبين 100 – 150/ساعة (عواصف). وعندما يرافق انتقال الهواء جركات إعصارية فإن تأثير الرياح الحتّي يكون ظاهرا.

وتكون التعرية التي تسببها الرياح كبيرة في الوسط الجاف. ففي الصحارى ترفع الرياح حبات الرمل إلى علو 2–3 م، وتنقلها بعيدا. وهطذا تكون الصخور معراة من البقايا المتفتتة غير المتماسكة التي كان بإمكانها أن تشكل لها كساء واقيا. كما أنها تصبح معرضة من جديد لتأثير أشعة الشمس. فتصبح الصخور والحجارة ظاهرة، وهذا هو أصل ما يدعى "بصحارى الحجارة" أو الحمادة.

والأجزاء التي تحملها الرياح تلقي بها بقوة على الحواجز التي تعترض طريقها، فيزداد تقعّر التجاويف، وتغدو زوايا النتوءات ناعمة ملمساء. أما الحصى فتكون محززة أو مصقولة. وفي الصخور المختلفة المنشأ، تظل الأقسام القاسية بارزة بينما تتحفر الأقسام الرطبة وتغدو مجوفة. وهطذا تتشكل الصخور الفطرية الشكل أو المائدية.

أشكال التكدس

تتوضع الحاصلات المحمولة بالياح عندما تنقص سرعة هذه الأخيرة. وفي ظروف معيتة، تتراكم هذه الحاصلات في أكداس ضخمة.

الرمال الريحية

تتميز الرمال الريحية عن تلك التي تتوضع في الماء بشكلها، وبعدم وجود الحصى فيها، كما أن حباتها تكون أكثر تجانسا. ففي الوسط المائي، تحافظ حبات المرو على وجوهها البلورية وعلى مظهرها اللماع، بينما تكون هذه الحبات في الرمال الريحية مستديرة وذات مظهر كامد. هذا، ويمكن دراسة ترتيب حبات الرمل بحسب قدودها بواسطة مناخل معيّرة. وتمثل النتائج بمنحنيات، بشير محور السينات فيعا إلى أبعاد الحبات، بينما يشير محور العينات إلى النسبة المئوية لعدد الحبات. ولما كانت الرياح عاملا أشد حساسية من الوامل الأخرى بالنسبة لتغيرات السرعة، فإن الرمال الريحية، بصورة عامة، أحسن ترتيبا من الرمال المائية. هذا، وتكون الرمال الريحية ذات تطبق متصالب.

شكل – التطبق المتصالب في التضعات الريحية

الكثبان

1 – تشكلها

تتشكل الكثبان في أيامنا هذه على طول الشزاطئ **(الكثبان البحرية)** أو في المناطق القاحلة **(الكثبان القارية)**.

إن الشروط الملائمة لتشكل الكثبان البحرية هي المطال الواسع لحركات المد والجزر، التي تجلب كميات من المواد المتفتتة تاركة لها الوقت اللازم لتجف من جهة، وقدرة الرياح التي تهب من البحر وثباتها من جهة أخرى.

يكون لبعض الكثبان الجنينية على أطراف الصحراء شكل أهلة واضحة جدا، وهذه هي "**البرخانات**". أما الكثبان الكبيرة الصحراوية فتشك تلالا متصل متوازية ذات ارتفاعات كبيرة نسبيا (عدة مئات من الأمتار). وتكون هذه الكثبان الضخمة بمثابة مستودعات للمياه تخفف نوعا ما من تأثير الجفاف.

شكل – الكثبان الرملية في الصحراء الأفريقية

2 – وضعها

يكون للكثيب الرملي أحيانا شكل مميز. فعندما تكون الرياح ثابتة نوعا ما، بأخذ الكثيب شكل هلال يتجه تحدبه نحو الجهة التي تهب منها الرياح. ويظهر بروفيله انحدارا خفيفا، 10 – 12 درجة، في الجهة الماجهة للريح، وانحدارا أشد، 30 درجة، في اجهة المقابلة.

شكل – البخانات

3 – تنقلها وتثبيتها

عندما تنقل الرياح حبات الرمل في اتجاه واحد دوما، تسير الكثبان الرملية فتغزو القرى وتغطي الواحات. ويلاحظ في الصحراء الكبرى طغيان ريحي حقيقي من الغرب نحو الشرق. وقد يزداد ارتفاع الكثبان خلال مسيرتها، أو يظل ثابتا، أو قد يتناقص بحسب الحالات.

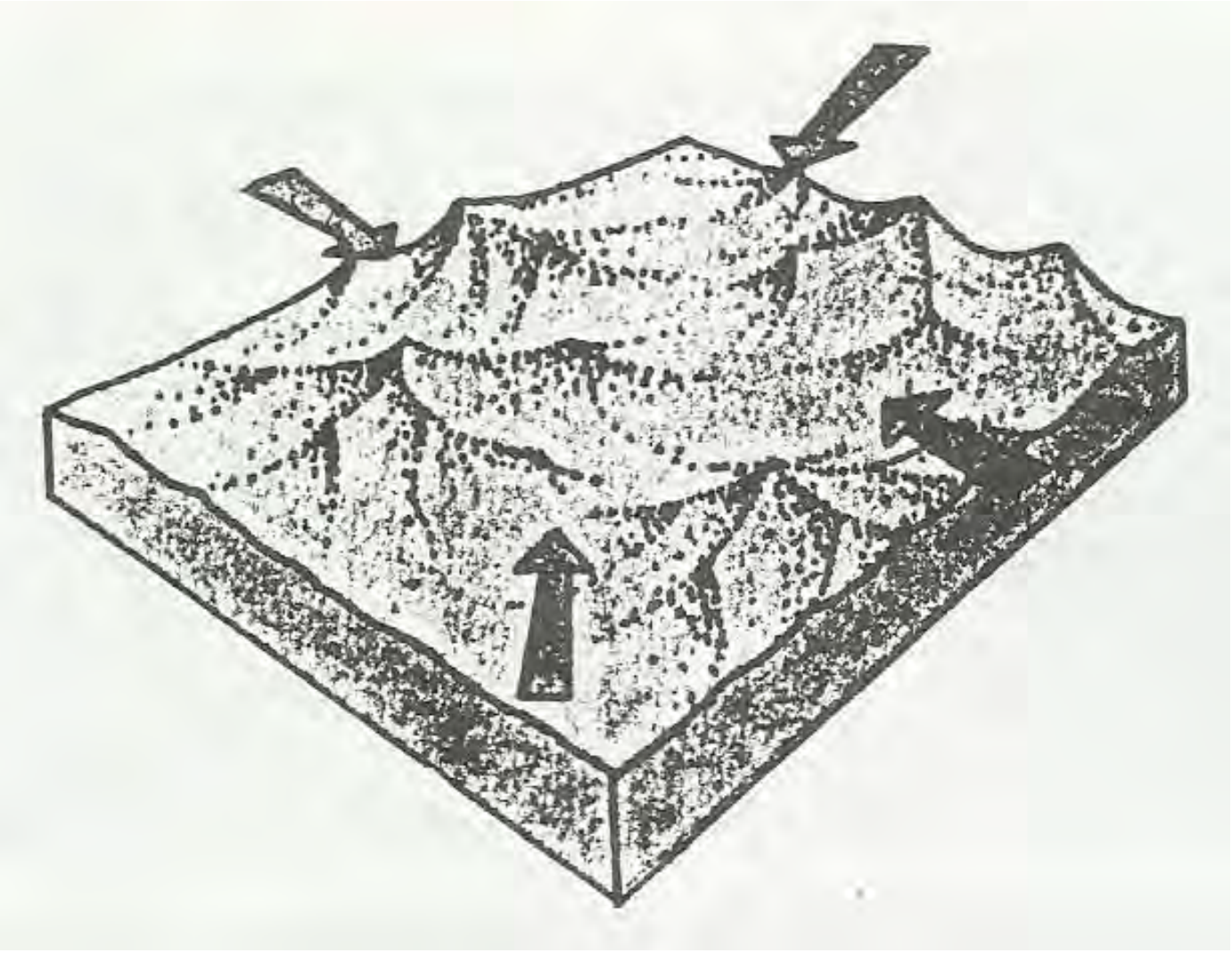
تنتقل بعض الكثبان البحرية بسرعات كبيرة قد تصل إلى عشرات الأمتار في العام الواحد. ولكي يتم إيقاف زحف الكثبان، تثبّت هذه بزراعة النباتات.

شكل – كثبان هلالية (برخانات) يدل الجانب الضعيف الانحدار على اجاه الرياح

4 – أنواع الكثبان الرملية

- **الكثبان الهلالية: عندما تأخذ الكثبان الملية أشطالا هلالية تعرف بالبرخانات. وتكون على شكل هلال يتجه جانبه المحدب إلى الجهة التي تأتي منها الرياح، كما يتجه طرفاه إلى الجهة التي تسير نحوها الرياح.**

- **الكثبان الطولية؛ وهي تلال كولية من الرمال موازية لاتجاه الرياح. توجد في المناطق شديدة الرياح، وتكون رمالها قليلة.**
- **الكثبان النحمية؛ وهي هضبة رملية منفردة، ذات حواف متفرعة من قمة مرتفعة باتجاه أسفل الهضبة. وقد يصل ارتفاعها إلى 100 م تقريبا. ويوجد هذا النمط من الكثبان في المناطق التي تهب فيها الرياح من جميع الجهات.**



شطل – كثبان نجمية تشير الأسهم إلى اتجاه الرياح

اللوس(Loess)

اللوس هو توضع ريحي ذو لون أصفر كامد،ملمسه طحيني، يحتوي في الأصل حتى 50% من الكلس، وهو غني بالغضار. ويكون اللوس شديد المسامية ونفوذا جدا للماء. ولا يزهر أي أثر للتطبق في كتلته التي تضم قواقع معديات أرجل قارية، وعظام حيوانات مجترة، وبقايا من الماموت. واللوس هو عبارة عن توضعات رباعية تشكلت في مناخ بارد. وقد ساعدت البوادي المعشبة على تثبيت جزيئاته الناعمة

التشكيلات الريحية القديمة

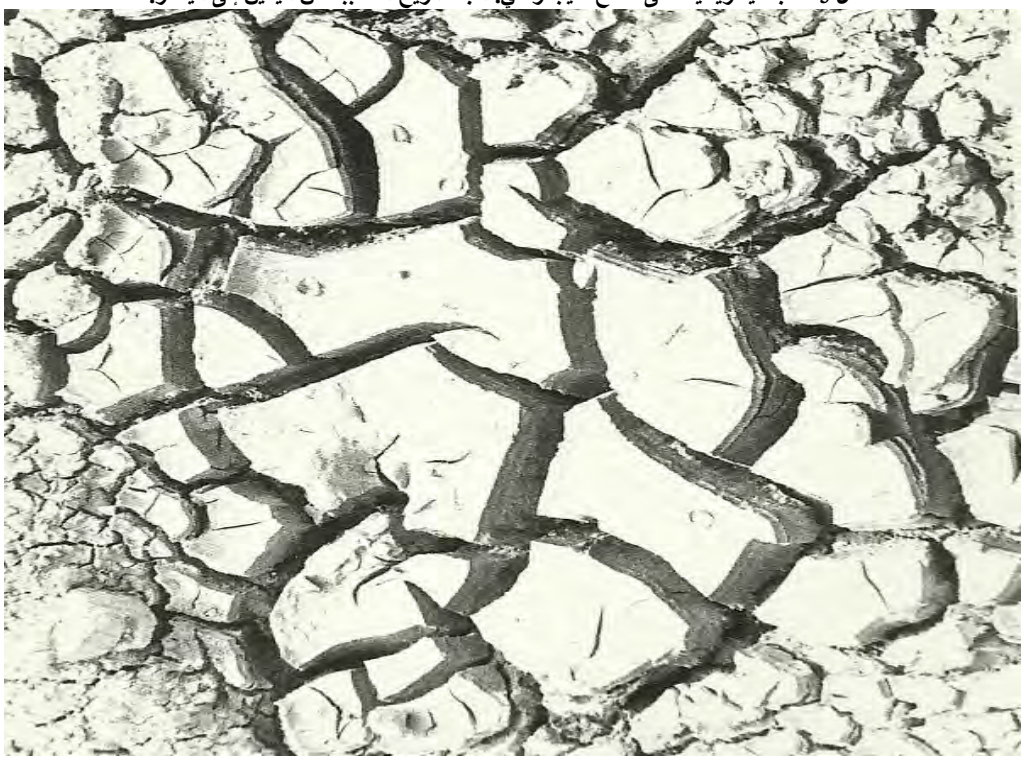
1 – السينيريت

يمكن للرياح أن تحمل الرماد البركاني إلى مسفات بعيدة. وعندما يتجمّع هذا الرماد في مسافة محصورة يمكنه أن يشكل توضعات هامة يطلق عليها اسم **السينيريت**.

2 – الرمال الحمراء الهرمة والرمال الحمراء الجديدة

وهي عبارة عن حجارة رملية تضم قسما كبيرجدا من العناصر الريحية غسلتها المياه الجارية. تعود التشكيلة الأولى ‘لى دور الديفةني، وتهود التشكيلة الثانية ‘لى دور البرمي..

شكل 3 – تجاعيد ريحية على سطح كثيب رملي. اتجاه الريح المسببة من اليمين إلى اليسار.



الفصل الحادي عشر

دور البحر الجيولوجي

البحار أماكن منخفضة من اليابسة تغمرها المياه المالحة تارة فتزهر على شكل مسطحات مائية، وتنحسر عنها تارة أخرى فتتحول إلى أرض يابسة من جديد.

تشغل البحار نحو 70.8 % من سطح الكرة الأرضية، أي 360.000.000 كيلومتر مربع. وبهذا تكون المساحة التي تشغلها البحار أكبر من مساحة اليابسة بـ2.5 مرة.

يقدرحجم كتلة مياه البحار بـ 1.320.000.000 كيلومتر مكعب. وهذه الكتلة بحركة دائمة وتحت تأثير فعل متبادل بينها وبين الأراضي المحيطة بها. ومياه البحار موطن لحيوانات ونباتات مختلفة، ومستقر لرسوبات حطامية وكيميائية منقولة إليها من اليابسة.

إن الفعل الجيولوجي لمياه البحار هو مجموعة مركبة من العمليات المتبادلة التي تضم تحطم وتفتت الصخور، ونقل المواد الصلبة والمنحلة إلى الأحواض المحيطة، ثم تراكم الرسوبات. والعملية الأخيرة ذات أهمية كبيرة.

يتناول دور البحر الجيولوجي العمل الحتي من جهة، والعمل الرسوبي من جهة أخرى. ويتأثر هذا العمل المزدوج بعدد من العوامل الفيزياكيميائية والبيولوجية والتكتونيكية.

العوامل الفيزياكيميائية والبيولوجية

- نسبة الأملاح

بينت دراسة حيوانات دور الكمري البحرية ا، النسبة الوسطية للأملاح لم يطرأ عليها تغيرات هامة من ذلك الحين. ورغم المجلوبات الكثيرة التي تأتي من حت القارات ومن الاندفاعات تحت البحرية، فإن هذه الزيادة تستهلك نوعا ما بالترسّب. وفي البحار الداخلية، تزداد نسبة الأملاح (البحر الأحمر)، أو تنقص (بحر البلكيق)، بحسب ما يكون التبخر أعلى أو أخفض من كمية المياه العذبة الوافدة إلى هذه البحار.

- درجة الحرارة

تمتص المياه الحرارة في المناخ الحار، كما تمتص البرودة في المناطق الباردة القطبية، نظرا لاستطاعتها الحرورية الكبيرة. وفي حين تبدي المياه العذبة كثافة عظمى في الدرجة +4 فإن كثافة ماء البحر، نكرا

لاحتوائه على الأملاح، تبلغ حدا أعظميا يصل بنقطة تجمد الماء إلى −2 درجة مئوية. فمياه البحر الباردة تغوص إذن إلى الأعماق. كذلك تنزلق الكتل الباردة في البحار القطبية تحت الكتل الحارة للبحار المعتدلة والاستوائية. فمياه أعماق الأقيانوسات السحيقة تكون في كل مكان ذات درجات حرارة قريبة من الصفر أو أدنى منه بقليل. كما أن انزلاق المياه الباردة يدفع مياه القاع نحو السطح. وبما أن المياه الباردة تحل من الغازات كمية أكبر مما تحل المياه الحارة، فإنه ينجم عن ذلك أن جريان المياه يسبب تهوية مستمر للوسط البحري تسمح بالحياة في الأعماق السحيقة.

وبالإضافة إلى ذلك، فإن المياه الصاعدة تحمل معها إلى السطح موادا عضوية تنشط هكذا نمو العوالق. هذا، وتكون الأحواض المغلقة بمنأى عن انزلاقات المياه الباردة هذه.

– الضوء

لا يخترق الضوء ماء البحر بكمية كافية تسمح للنباتات بالقيام بعملية التمثيل اليخضوري إلا إلى أعماق تتراوح بين 50 و 100 م. وحتى في المياه الصافية، لا يخترق الضوء من أي لون، أكثر من 580 م.

– الضغط

يزداد ضغك توازن الماء ضغطا جوّيا واحدا كل عشرة أمتار. ففي الحفرة الكبيرة، يقترب من مئة ضغط جوّي، وفي هذع الشروط يكتسب الماء بعض اللزوجة ويحل كمية كبيرة من الغاز.

–حركات ماء البحر

بسبب العمل المشترك للقمر والشمس تشكلت عملية المد والجزر التي تتجلى بتجاوز ماء البحر على اليابسة وانحساره عنها بشكل دوري (مرتين كل 24.50 ساعة).

يطلق على المنطقة التي يغمرها المد ثم يكشفها الجزراسم منطقة تأرجح المد والجزر أو منطقة بين شاطئية.

تسبب الرياح تشك الأمواج التي تنتش على الشواطئ فتضرب بعنف الأقسام المرتفعة منها. وقد ترتفع أحيانا إلى 40 أو 50 مترا عند اصطدامها بحاجز ما، وتخمد تدريجيا على الشواطئ المنخفضة وتتلاشى.

العوامل التكتونيكية: الحركات النسبية للقارات والبحار

– الحركات التكتونيكية -

– تكون القارة التي تأخذ بالنهوض مركزا لحركة موجبة. وتشكل أحزمة الأرصفة المرجانية والشواطئ البحرية الناهضة الدليل على الحركات الموجبة القديمة. وتتعرض القارات أيضا لحركات سالبة. وقد تبين الملاحظة وجودها عندما يهاجم البحر أراضي القارة ويغمرها بمياهه، ويكون هكذا بحالة تجاوز.

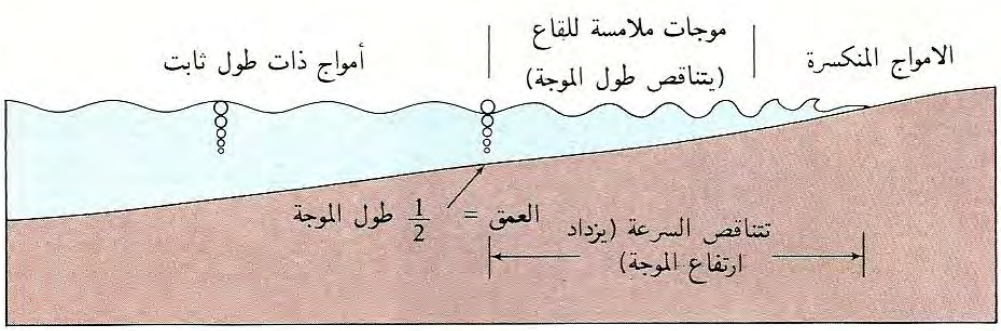
الحركات التوازنية -

- تؤدي الحركات التكتونيكية والتوازنية إلى انتقال نسبي لخطوط الشواطئ. ويعبّر عن تقدم البحر **بالتجاوز** وعن تراجعه **بالانسحاب**. وبصرف النظر عن هذا الانتقال الذي هو من مرتبة عشرات أو حتى مئات الكيلومترات، فإن حطوط الشواطئ هي موضوع تجدد محلي عائد للعمل الحتي للبحر.

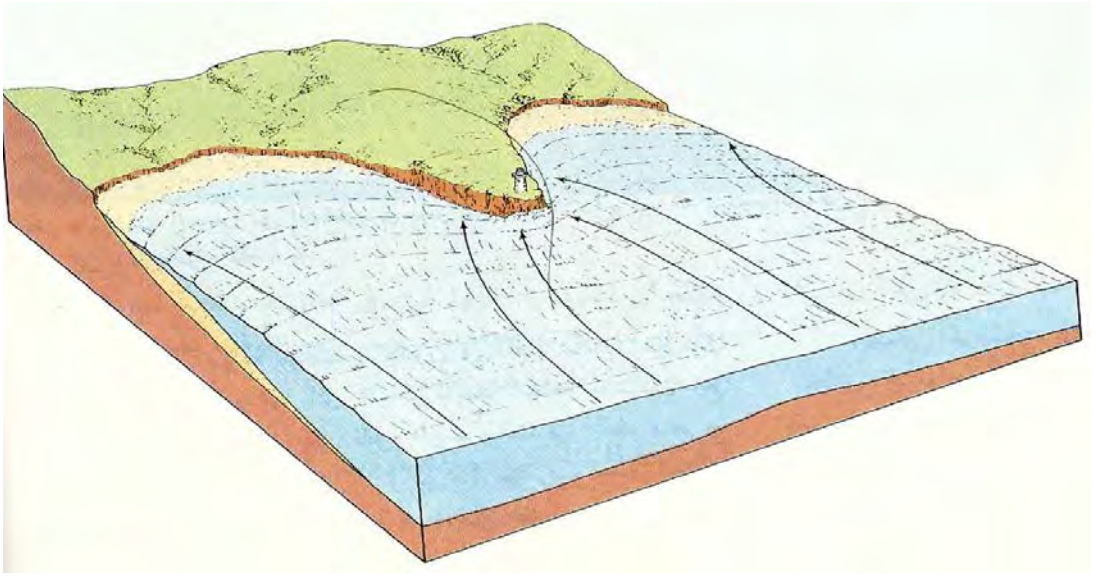
عمل البحر الحتي -

- القطع -

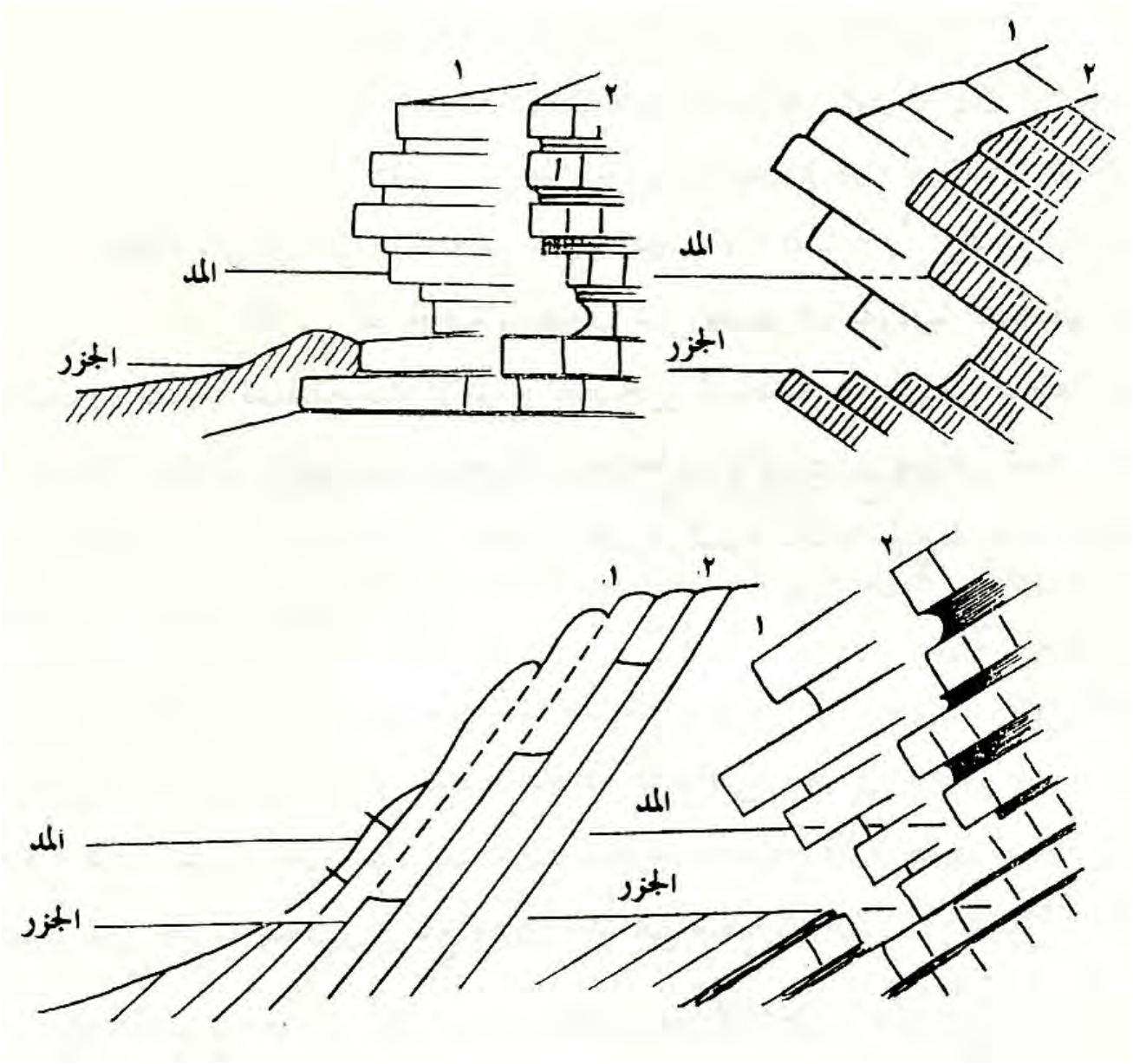
- تعود عملية القطع بصورة خاصة إلى عمل الأمواج وحركات المد والجزر. فالأمواج هي العامل الرئيس في الحت، ويسبب اصطدامها بالشاطئ قوة هائلة. فعندما تهاجم الأمواج جدارا منتصبا فيه شقوق وكسور. تتضاعف قوة دفع كتلة الماءفي هذه الشقوق، وتبلغ قوة خيالية لا يقاومها شيء، نظرا لاتساع البحر الهائل بالنسبة لمقطع الشق، وتنفجر الصخور كما لو كانت تحت تأثير القنابل.



- **شكل - التغيرات التي تطرأ على الموجة عند تحركها نحو الشاطئ**



شكل - انكسار الأمواج على شاطئ غير منتظم



- يجهز عمل الأمواج الحتي بعوامل بيولوجية (رخويات حفّارة، قنافذ بحر، ديدان)، وبالتفكك الميكانيكي وبالتفسخ الكيميائي للصخور. وتحفر الأمواج كعب الجدار، وتتكون التكهفات والمغاور، ويتراجع الجدار تدريجيا. وإذا استمر الحت طويلا فإن المواد الحتية تتكدس في كعب الجدار مشكلة شطّا رمليا.
- يتدخل المد والجزر أيضا في الحت، خاصة في فترة الجزر. وبالفعل يسبب الجزر تزايدا كبيرا في سرعة مياه الأنهار التي تتوقف نوعا ما أثناء المد. وتتكشف مزاريب المصبات المحفورة في السطيحة القارية. وهذا هو، بشكل جزئي، أصل الخلجان النهرية.
- إن هذا النوع من الحت الذي يعود للجزر هو أحد أشكال الحت تحت البحري. ويكون نشيطا، بصورة خاصة، في قيعان قليلة العمق ومكنوسة. وهكذا يتشكل القاع الصلب.

- توضعات الشاطئ ونقلها -

- يتحول حطام المواد الناتجة عن حت الشواطئ إلى جلاميد وحصى وحصوات ورمال. وعندما تكون الأمواج عمودية على الشاطئ يتكدس حطام الواطئ في مكانه مشكلا **حبلا شاطئيا**. وتحت تأثير الجزر تسحب المواد الخفيفة، وتتوضع حسب ترتيب كبرها أمام الحبل الشاطئي. ويتشكل هكدا شط من الرمل.
- وعندما تكون الأمواج مائلة فإن قوتها تتفكك إلى مركبة عموديةتسبب القطع، وإلى مركبة مماسية تسبب انتقال العناصر على طول الشاطئ. فعلى الشواكئ المقعرة يتشكل الشط. أما أمام الخلجان فتقوم أسهم تنتهي بعزل **لاغونات**.

الترسّب البحري -

آ-شروط الترسب البحري -

يبدي البحر تنوعا كبيرا جدا في شروط الترسب، نظرا لامتداده المبير وأعماقه المتغيرة واتصالاته المتنوعة الدخلية والخارجية على حد سواء. وتجمع هذه الشروط فيما يلي :

1 – جلب المواد -

- جلب المواد هو الشرط اللازم والضروري للترسب, وإن أكثر المجلوبات هي المجلوبات الحطامية التي تأتي من القارة. وتقدم البراكين تحت البحرية قسما هاما من المواد الآتية مباشرة من باطن الألاض. أما المجلوبات البيوكيميائية فذات أهمية كبيرة فوق السطيحة القارية، وبخاصة تلك التي تقدمها العوالق، وكذلكالمواد ذات المنشأ الكيميائي المنحلة في الماء التي تعطي المتبخرات.

2 – عمق المياه يؤثر على صفة الترسب -

- من الصعب تقدير الأعماق التي توضعت فيها الرسوبات. فأبعاد العناصر المنقولة على قاع مسطح، تعطينا فكرة عن الحدود القصوى للأعماق، إلا أنها لا تعني شيئا بالنسبة للقيعان غير المنتظمة. ولا تعطينا دراسة البات كذلك أدلة مطلقة.
- إن المعطيات البيولوجية هي، على العكس، أكثر دقة. فالأرصفة المرجانية تقوم على قيعان لا تتعدى 37 م
- وتمثل الحيوانات القاعية دليلا للأعماق البحرية ذا أهمية كبيرة أحيانا. وهي عديدة ومتنوعة، بصورة خاصة، على قاع السطيحة القارية.

3 – اضطراب المياه يؤثر على سرعةة الترسب -

- إن الحمولة الأعظمية أو الطاقة في في ميه البحر تزداد بازدياد اضطراب الماء. فعندما تكون الحمولة أكبر من الطاقة يحصل الترسب، كما هي الحال في المياه الهادئة. وعلى العكس، ففي المياه الضطربة (الحمولة أصغر من الطاقة) يحصل النقل.

- في الأعماق السحيقة، تكون التيارات تحت البحرية كبيرة الأهمية، وتنقل كميات هائلة من المواد الناعمة العالقة بالماء. أما على السطيحة القارية، فيصل تأثير التيارات حتى أعماق 200 م، حيث تعيد هذه التيارات الرسوبات من جديد مشكلة بنيات معقدة غير منتظكة ناجمة عن الحت والتوضع معا.
- يؤدي اضطراب المياه إذن إلى انعدام أو توقف الترسب أو حتى الحت. وهكذا تتكوّن شروط القيعان الصلبة، وهي الأماكن التي تكون فيها القيعان البحرية قاسية.

4 – التهابط -

- توجد مجموعات رسوبية عديدة تبلغ ثخانتها 'نف الأمتار، وتكون مع ذلك ذات سحنات رسوبية قليلة العمق لا تتجاوز 200 م. ولا يمكننا تفسيؤ تكدسات كهذه إلا بقبول فكرة التهابط القاع الحوض الرسوبي بصورة متناسبة مع تزايد ثخانة الرسوبات المتوضعة في هذا الحوض.

أما عندما يرتفع القاع بدلا من أن ينخفض، تكون هناك حالة ميل إلى الطفو. وفي هذه الحالة لا تتوضع رسوبات، ونكون أمام **ثغرة** في الترسب.

صفات الرسوبات البحرية -

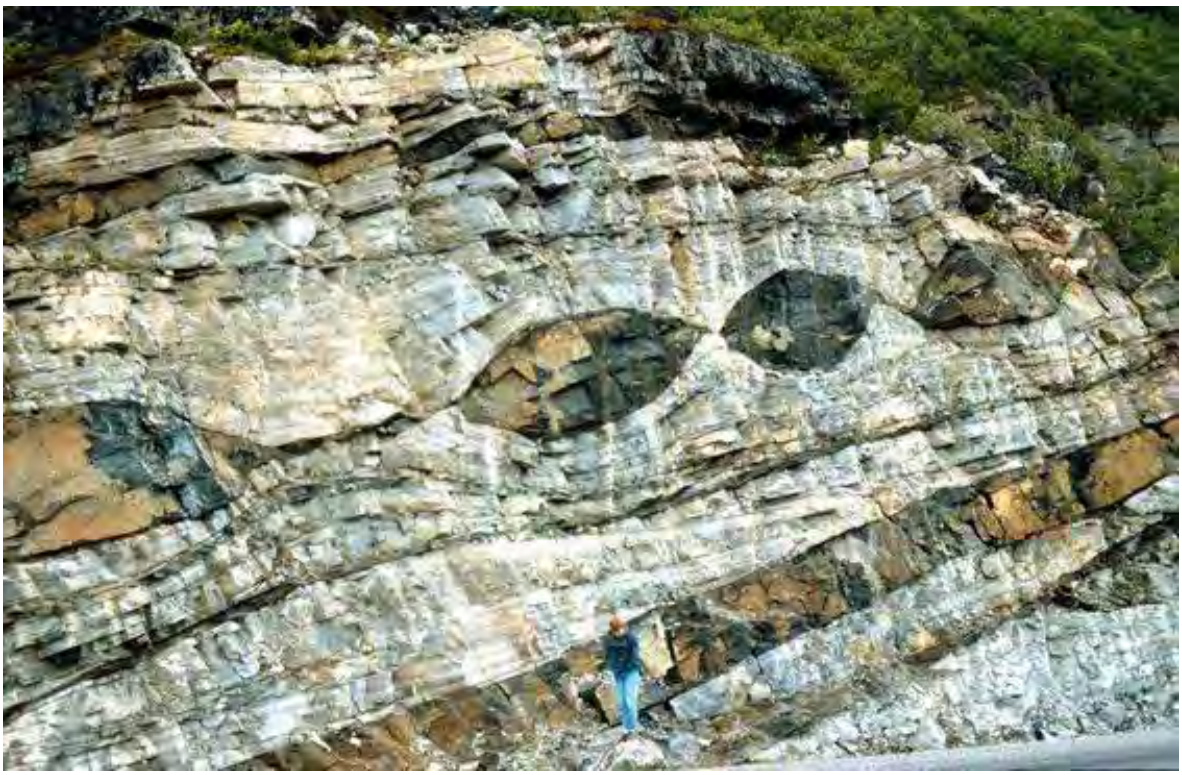
– التطبق -

- تترتب التوضعات بحسب طبقات منضدة بعضها فوق بعض. ويترك النسق الموسمي انطباعه على الرسوبات المتوضعة في وسط هادئ، أي بتعاقب نطاقات فاتحة اللون مع نطاقات قاتمة. وعلى العكس، فإن تعلقب الطبقات الكلسية وكذلك الطبقات الكلسية التي تفصل بينها مستويات مارنية رقيقة
-

هذا، وينبغي إدخال تهابط القاع الذي يبدو جديرا بتفسير التعاقب المتكرر آلاف المرات، غضار، مارن، كلس، كما هو ملاحظ في بعض التوضعات.

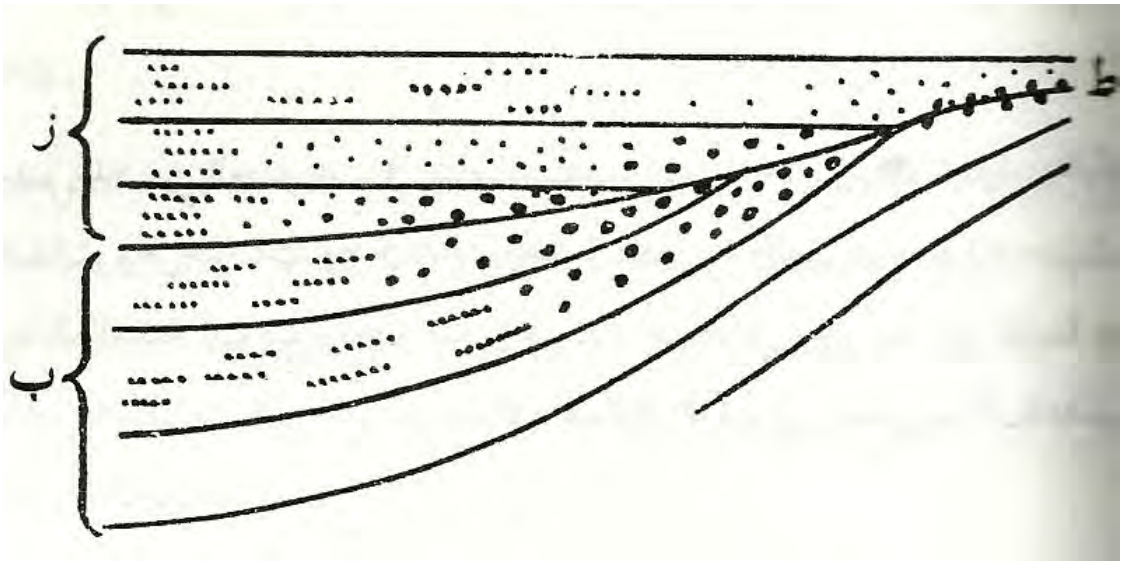
- البنية العدسية

يكون لبعض الطبقات الرسوبية البحرية أحيانا امتداد أفقي واسع. وعلى العكس، قد لا يكون لها سوى امتداد أفقي محدود، حيث ينتهي طرفاها في شكل إزميلي. وقد تتضاءل الطبقات أحيانا حت تصبح عدسات.



- التوافق واللاتوافق

- عندما يستمر الترسب على نفس النسق في مساحات معينة، تكون الطبقات الرسوبية متوازية بصورة منتظمة، وتشكل ما يدعى بالمجموعات المتوافقة.
- فإذا كان تهابط القاع يزداد في الأخاديد عنه في منطقة القيعان العالية، كانت الطبقات غير منتظمة. وإن مرحلة توقف الترسب تحدد فقدان الرسوبات التي توافق هذه المرحلة، ويحصل عندئذ عدم استقرار أو انقطاعز وهكذا يمكن أن تنقص في مجموعة رسوبية بعض الطبقات دون أن يكون هنلك طفو أو حت بحري. والسكوح التي تحملها توصف بالسطوح المهملة؛ وتكث هذه السطوح فوق العتبات.
- وعندما يعود الترسب من جديد على السطوح المهملة، فإنما يتم ذلك بتأثير الحركات التكتونيكية التي تغيّر الوضع للطبقات. ويصل عندئذ لا توافق زاوي بين الطبقات المتشكلة حديثا وبين المجموعات الرسوبية السابقة المتأثرة بالحركات التكتونيكية.



- **شكل** – رسم يبين زمرة منسحبة (ب)، وزمرة متجاوزة (ز9، يفصل بينهما لاتوافق ستراتغرافي في (ط)، سطح طففو

- القرائن الشاطئية

- تحمل التوضعات الشاطئية غالبا آثار الرخويات الحفارة، ومدارج بعض الحيواناتن أو سطوحا متعرجة (تجاعيد الأمواج) وقطرات المطر. وليست هذه الآثار بالقرائن الأكيدة، فقد شوهدت السطوح المتموجة على أعماق تقرب من 1000 م. وما نسميها آثار قطرات المطر، ما هي إلا آثار طرد الماء من الرسوبات عند تجلّد المواد الغروية.

الأرصفة

الأرصفة هي كتلة معقدة البنية من العضويات الكلسية التي تبدو متنوعة. وتوجد الأرصفة في أيامنا هذه في البحار الحارة، وهي مكوّنة ، بصورة خاصة، من المدريبورات، ويقال لها الأرصفة المرجانية. والمدريبورات هي من معائيات الجوف الزهرية ذات شكل خارجي كلسي. وهناك معائيات جوف أخرى تشترك بشكل ثانوي في تكوين الأرصفة.

وتشترك الطحالب الكلسية أيضا في بناء الأرصفة. ونجد في الأرصفة أحيانا منخربات وحيوانات طحلبية ورخويات ذات جدار ثخين.

وينبغي أن نشير أيضا إلى وجود مجموعات ذات تكوين مشابه للأرصفة المرجانية، إلا أنها مكونة من الإسفنجيات بصورة أساسية، والإسفجيات الكلسية بصورة خاصة.

الأرصفة المرجانية

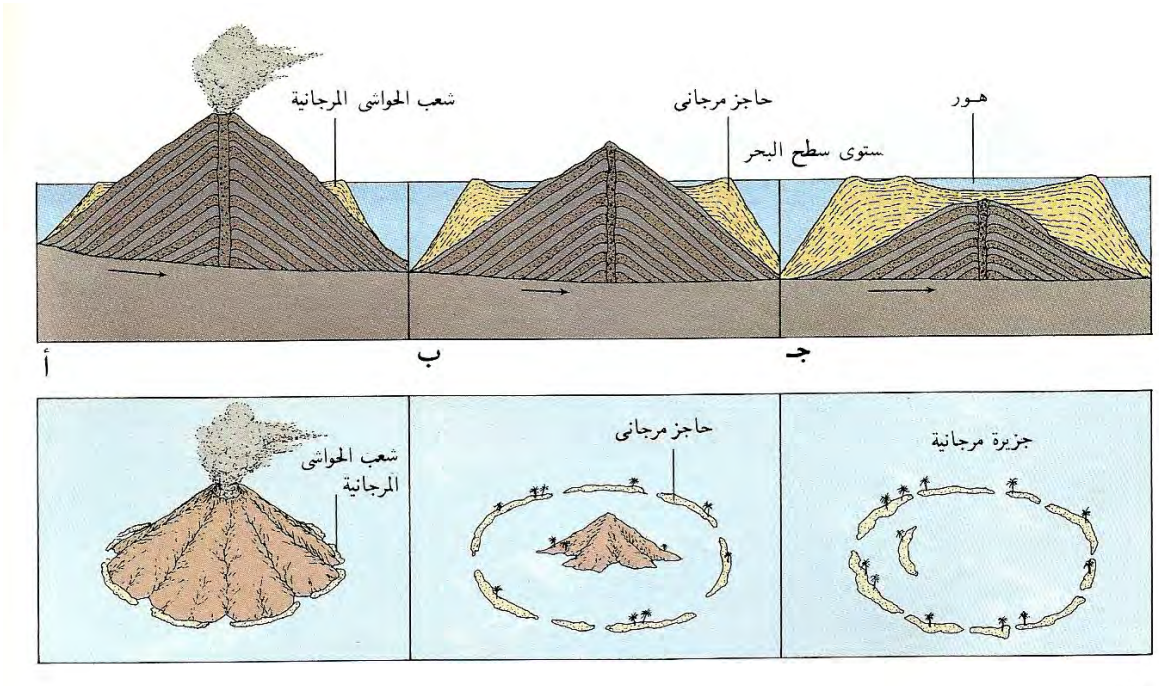
- **أنواعها :** نميز بالنسبة لوضع الأرصفة المرجانية الأنواع التالية :

-**الأرصفة الهامشية :** تتشكل على طول الشواطئ الصخرية، وتمتد أحيانا إلى مسافات كبيرة. بغوص القسم الخارجي في البحر بانحدار شديد، وينتهي على السطح ببروز مسطح نوعا ما، حيث تعيش الطحالب الكلسية القوية. وفي الخلف، توجد منطقة أكثر انخفاضا مؤلفة من مرجانيات حية محتلطة مع طحالب حفّارة. ثم تأتي كتلة الرصيف، أو الرصيف الرئيس، المؤلفة من مرجانيات ومن طحالب حية أو ميتة مختلطة مع جلاميد صخرية ذات منشأ قاري، ويكون السطح غير منتظم.

- **الأرصفة الحاجزة :** تتشكل على مسافة من الشاطئ، وتفصلها عنه منطقة لاغونية عميقة نسبيا. وتبدي بنيتها العناصر التالية:

- منحدر خارجي حاد.
- منطقة مرجانيات حية.
- عرف ذو ليتوتامنيوم من الطحالب الكلسية.
- الرصيف الأساسي، ويكون ذا سطح غير منتظم.

- **الجزر المرجانية :** شكلها الحلقي المنتظم تقريبا، يرسم في عرض البحر حزاما متقطعا حول لاغونة مركزية، ويتصل مع البحر بواسطة ممرات ضيقة. ولا تحتوي كتلة الرصيف إلا على جزء بسيك من المرجانيات الحية. ولكنها تحتوي بصورة أساسية علىحطام متماسك، بواسطة طحالب كلسية، على شكل بريش مرجاني أو بقايا ناعمة جدا من الرمال، حمع بينها ملاط فأصبحت حجرا رمليا.



يمكننا أن نميز في بنية الجزيرة المرجانية أو الأتول، من الخارج إلى الداخل ما يلي :

- ا – اللمنحدر الخاجي الشديد الانحدار، وتكون أقسامه السفلى مغطاة باللحقيات.
- – المنطقة الهامشية أو العرف ذو الليتوتامنيوم.
- – منطقة المرجانيات الحية.
- – المنحدر الداخلي الذي يشكل على الغالب شطا ذا انحدار لطيف. وهو يحمي المرجانيات التي تنمو بكثرة تحت تأثير الرياح.
- – **اللاغون :** لا يكون قاعه مسطحا في كافة الأمكنة، فقد يطفو منه عدد كبير من المرجانيات الحية التي تصل رؤوسها المحدودبة إلى ارتفاع قريب من السطح.