



مذكرة الترقى للوظائف الإشرافية  
رئيس قسم - الثانوي ( جيولوجيا )

الموجه الفني العام للعلوم بالتكليف  
أ. دلال المسعود



## الفهرس

الصفحة	الموضوع	ر.م.
3	الفلك	1
11	البلورات والمعادن	2
17	الصخور	3
26	العمليات الداخلية	4
36	العمليات الخارجية	5
46	التحرك الكتلي	6
53	الجيولوجيا التاريخية	7
64	الجيولوجيا الاقتصادية	8

# الفلك



## نشأة الكون

في علم الكون الفيزيائي، الانفجار العظيم (Big Bang) : هو النظرية السائدة حول نشأة الكون. حيث تعتمد فكرة النظرية على أن الكون كان في الماضي في حالة حارة شديدة الكثافة وتمدد، وأن الكون كان يوماً جزء واحد عند نشأة الكون.

بعض التقديرات الحديثة تُقدّر حدوث تلك اللحظة قبل 13.8 مليار سنة، والذي يُعتبر عمر الكون. وبعد التمدد الأول، برّد الكون بما يكفي لتكوين جسيمات دون ذرية كالبروتونات والنيوترونات والإلكترونات. ورغم تكون نويات ذرية بسيطة خلال الثلاث دقائق التالية للانفجار العظيم، إلا أن الأمر احتاج آلاف السنين قبل تكوّن ذرات متعادلة كهربياً. معظم الذرات التي نتجت عن الانفجار العظيم كانت من الهيدروجين والهيليوم مع القليل من الليثيوم. ثم التّمت سحب عملاقة من تلك العناصر الأولية بالجاذبية لتكوّن النجوم والمجرات، وتشكّلت عناصر أثقل من خلال تفاعلات الانصهار النجمي أو أثناء تخليق العناصر في المستعرات العظمى.

تُقدّم نظرية الانفجار العظيم شرحاً وافياً لمجموعة واسعة من الظواهر المرئية، بما في ذلك وفرة من العناصر الخفيفة والخلفية الإشعاعية للكون والبنية الضخمة للكون وقانون هابل، ونظراً لكون المسافة بين المجرات تزداد يوماً، فبالتالي كانت المجرات في الماضي أقرب إلى بعضها البعض.

إنه من الممكن استخدام القوانين الفيزيائية لحساب خصائص الكون كالكثافة ودرجة الحرارة في الماضي بالتفصيل، وبالرغم من أنه يمكن لمسرات الجسيمات الكبرى استنساخ تلك الظروف، لتأكيد وصقل تفاصيل نموذج الانفجار العظيم، إلا أن تلك المسرعات لم تتمكن حتى الآن إلا البحث في الأنظمة عالية الطاقة. وبالتالي، فإن حالة الكون في اللحظات الأولى للانفجار العظيم مبهمة وغير مفهومة، ولا تزال مجالاً للبحث، كما لا تقدم نظرية الانفجار العظيم أي شرح للحالة الأولية للكون، بل تصف وتفسر التطور العام للكون منذ تلك اللحظة.

قدّم العالم البلجيكي جورج لومتر الفرضية التي أصبحت لاحقاً نظرية الانفجار العظيم عام 1927. ومع مرور الوقت، انطلق العلماء من فكرته الأولى حول تمدد الكون لتتبع أصل الكون وما الذي أدى إلى تكوّن الكون الحالي.

اعتمد الإطار العام لنموذج الانفجار العظيم على النظرية النسبية العامة لأينشتاين، وعلى تبسيط فرضيات كتجانس نظم وتوحد خواص الفضاء. وقد صاغ ألكسندر فريدمان المعادلات الرئيسية للنظرية، وأضاف فيليب دي سيتر صيغ بديلة لها. وفي عام 1929، اكتشف إدوين هابل أن المسافات إلى المجرات البعيدة مرتبطة بقوة بانزياحها الأحمر. استنتج من ملاحظة هابل أن جميع المجرات والعناقيد البعيدة لها سرعة ظاهرية تختلف عن فكرتنا بأنها كلما بُعدت، زادت سرعتها الظاهرية، بغض النظر عن الاتجاه. ورغم انقسام المجتمع العلمي يوماً بين نظريتي تمدد الكون بين مؤيد لنظرية الانفجار العظيم، ومؤيد لنظرية الحالة الثابتة، إلا أن التأكيد بالملاحظة والرصد على صحة سيناريو الانفجار العظيم جاء مع اكتشاف الخلفية الإشعاعية للكون عام 1964، واكتشاف أن طيف تلك الخلفية الإشعاعية يتطابق مع الإشعاع الحراري للأجسام السوداء منذ ذلك الحين، وأضاف علماء الفيزياء الفلكية إضافات رصدية ونظرية إلى نموذج الانفجار العظيم، وتمثيلها الوسيط كنموذج (لامبدا- سي دي إم) الذي هو بمثابة إطار للأبحاث الحالية في علم الكونيات النظري.

## أصل الكون Universe

التفاعلات النووية - الحرارية في باطن النجوم يمكن ان تكون وبالتدريج جميع عناصر الجدول الدوري ابتداءً من ذرة الهيدروجين وهي أبسط وأخف عنصر متوفر في الكون .  
 فحياة النجوم هي مراحل متلاحقة من التقلص الجذبي والتفاعل النووي الحراري حيث يبدأ التغير عند اتحاد ذرات هيدروجين لتكوين ذرة الهليوم وتحرير كمية هائلة من الطاقة، وتستمر هذه التفاعلات مع استمرار ارتفاع الحرارة مكونة الكربون والأكسجين والنيون ثم الصوديوم والمغنسيوم ثم مجموعة الحديد، ويؤدي ذلك إلى تمدد النجمة لتشغل حيزا يبلغ مائة مرة أكبر من حجمها الأصلي فيزداد بريقها ألف مرة ثم تتقلص بعدها الى 20/1 من حجمها الأصلي.

إن القوى الأساسية في الكون هي:

- الجاذبية: Gravity - انجذاب المواد بعضها إلى بعض الآخر .
- القوى الكهرومغناطيسية: تربط الذرات وتنقل أو تثبت إشعاعات ( جاما و راديوية ) بدون وجود الكتلة وتدعى الفوتونات (Photons).
- القوى النووية الشديدة: تربط البروتونات والنيوترونات.
- القوى النووية الضعيفة: المسؤول عن انشطار نويات ذرات مؤدية لتكوين التفسخ الإشعاعي الراديوي.

## النجوم

تولد النجوم من تجمعات غبارية وغازية في الفضاء تسمى السدم، وتوصف التجمعات الغازية الهائلة التي لم تتشكل بعد بأنها مولدة للنجوم، ويطلق عليها أيضاً "الحاضنات"، لأنها حاضنات للنجوم الوليدة، تتكاثف أجزاء من تلك الغمامة الهائلة تحت تأثير جاذبيتها ويؤدي ذلك إلى نشأة وتكوين نجم أو عدة نجوم.

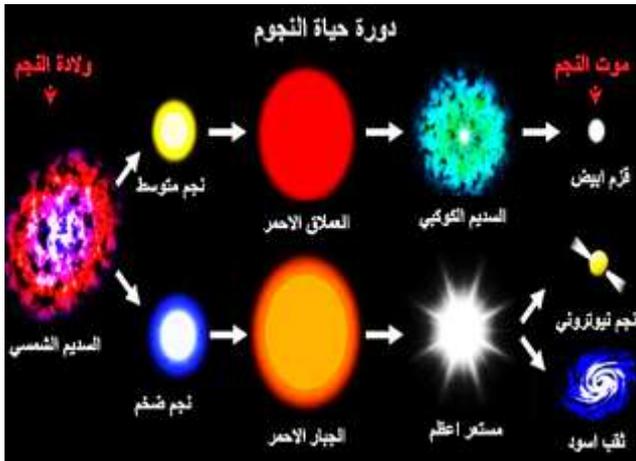
وتمر عملية ولادة نجم بعدة مراحل: فهي عملية يتكاثف خلالها جزء من الغيوم الجزيئية تحت فعل الجاذبية الذاتية وتتخذ شكلاً كروياً، وتظل تلك الكرة الهائلة من الغاز والغبار في الانكماش، ويصاحب هذا الانكماش ارتفاع في درجة حرارة الغاز، ويتكون الغاز في العادة من عنصري الهيدروجين والهيليوم وهما أخف العناصر. ويظل ارتفاع درجة حرارة الغاز بالانكماش، فتتحول الذرات إلى أيونات وإلكترونات حرة، وتسمى تلك الحالة البلازما. وتظل كرة البلازما تنكمش تحت فعل جاذبيتها (الجاذبية هي قوة جاذبية يختص بها كل جسم أو جسيم) ويزداد ارتفاع درجة حرارتها حتى تكون كافية لبدء تفاعل عنصر الهيدروجين المتأين لتكوين عنصر الهيليوم. هذا التفاعل يسمى اندماج نووي، وتنتج منه طاقة كبيرة جدا ويبدأ النجم يضيء. وحينئذ يصبح النجم نجماً وتكون هذه هي ولادته.

ويعتبر تطور النجوم أحد فروع الفيزياء الفلكية ويتضمن دراسة تشكل وولادة النجوم ودراسة الوسط بين النجمي والغيوم الجزيئية العملاقة كأسلاف لعملية ولادة النجوم ودراسة نجوم النمط المبكر، وتكون الكواكب كنواتج مباشرة لولادة النجوم أيضاً. وقد تولد النجوم في أزواج تدور حول بعضها البعض، مثال على ذلك نجده في نجم الشعرى اليمانية فقد اتضح أنه نظام مكون من نجم ثنائي، كما توجد أنظمة تدور فيها ثلاثة نجوم حول بعضها. وهذه التجمعات الغازية تسمى بالسحابات الجزيئية نظراً لوجود عنصر الهيدروجين فيها في حالة جزيئية، ومن هذه السحب الجزيئية، سحابة الجبار الجزيئية التي تحتوي على حلقة بارنارد وسديم الجبار المشهور وأجزاء أخرى. وتتكون هذه التجمعات الهائلة من غازات الهيدروجين الجزيئي وبعض الغبار. والسحب بها أيضاً نسبة من غاز أول أكسيد الكربون الذي يمكن الكشف عنه بسهولة والعلاقة بين لمعان غاز أول أكسيد الكربون وكتلة الهيدروجين الجزيئي في هذه السحب يعتقد أنها ثابتة، أي أنه يمكننا حساب كتلة السحب من خلال معرفة مقدار لمعان غاز أول أكسيد الكربون بها، لكن ذلك قد لا يكون صحيحاً بعد إجراء الدراسات على مجرات أخرى.

## دورة حياة النجم

كيف تولد النجوم؟ لكل شيء خلقه الله في هذه الحياة الدنيا دورة حياة يبدأ بها صغيراً يافعاً، ثم شاباً قوياً، ثم لآبد وأن تأتي مرحلة الشيخوخة، ودورة الحياة هذه للإنسان وغيره من الكائنات الحية وحتى للنجوم أيضاً، ولكن يبقى الفيصل والاختلاف هو الوقت الكبير الذي تقضيه النجوم حتى الوصول إلى مرحلة الشيخوخة والموت والتي تصل إلى ملايين أو بلايين السنين، لذلك كيف يولد النجم؟ وكيف ومتى يموت؟ (راجع كتاب الطالب).

يشير علماء الفلك إلى أن النجم يمر بأربع مراحل في دورة الحياة الخاصة به، وتنقسم إلى مرحلة النجم الأولي وهي بداية ولادته وظهوره، ثم يبلغ مرحلة البلوغ تليها مرحلة العلق الأحمر، وبعدها يصل إلى آخر مراحلها وهي مرحلة الموت. شكل (1).



شكل (1)

وهذه المراحل هي :

**1. مرحلة النجم الأولي:** تتجمع الغازات والغبار المتواجد في الفضاء مكوناً سديماً منخفض الحرارة جداً ثم بفعل الجذب الذاتي لها يبدأ ذلك السديم بالانكماش والاقتراب من بعضه البعض، ويشكل غاز الهيدروجين أغلبية ذلك السديم ويرجع السبب لكونه أخف العناصر الموجودة. ثم تبدأ الحركة الدورانية حول مركز الكتلة بسرعة شديدة جداً مما ينتج عن ذلك تصادم الجزيئات والدقائق المتواجدة في السديم ببعضها البعض مما يولد حرارة عائلة جداً تعمل على تسخين السديم إلى أن تبلغ درجة حرارته 15 مليون درجة مئوية حينها يبدأ الاندماج النووي لذرات الهيدروجين، وتجده يتوهج بفعل الحرارة الشديدة ويسمى في هذه المرحلة بـ "النجم الأولي".

**2. مرحلة البلوغ:** تبدأ الكتلة في هذه المرحلة بالزيادة عن مرحلة النجم الأولي بناء على ما يحتويه السديم من مادة، وعند إستقرار تلك الكتلة يكون النجم قد أتم مرحلة الوصول إلى مرحلة البلوغ. ويمكن النجم من الوصول إلى هذه المرحلة تساوي عاملين إثنين هما: قوة الجذب الذاتي إلى الداخل، وقوة الضغط الحراري إلى الخارج.

**3. مرحلة الشيوخوخة (العماق الأحمر):** عند وصول النجم إلى مرحلة البلوغ يبدأ بالتوهج وإمداد الفضاء بالضوء لملايين السنين أو حتى بلايين السنين، وخلال هذه المرحلة يتحول الهيدروجين إلى هيليوم مسبباً عدم إستقرار للنجم، وتتغلب قوة الجذب الذاتي الداخلي على قوة الضغط الحراري مسببة إنكماش النجم إلى الداخل. ويسمى بالعماق الأحمر لأن الطبقات الخارجية للنجم والتي تتكون من ذرات عنصر الهيدروجين تتمدد وتبرد فتظهر بلون أحمر. يبدو لون العماق أحمرأ لأنه برده أكثر من النجم الأولي، وحجمه ضخم جداً لأن الطبقات الخارجية تمددت.

**4. مرحلة الموت:** وهي آخر مراحل حياة ووجود النجم، وتعني أنه قد إستنفذ كل وقوده النووي وإنتاج الطاقة، وتعتبر هذه المرحلة هي المرحلة التي تختلف من نجم إلى آخر وتتخذ مسارات مختلفة اعتماداً على حجم النجم، وهي كما يأتي:

**أ. النجوم الصغيرة أو متوسطة الحجم:** هي نجوم كتلتها أثناء بلوغها أقل من 1.4 مرة من كتلة الشمس. في هذه النجوم تندمج ذرات الهيدروجين مكونة ذرات هيليوم ترفع درجة حرارة النجم إلى 200 مليون درجة مئوية، ويندمج الهيليوم أيضاً مكوناً ذرات كربون، وعند تحول كل الذرات إلى كربون يكون النجم قد بلغ مرحلة الموت وتتولى حينها الجاذبية عملية تحول النجم إلى قزم أبيض، كثافته عالية جداً ويشع بلون أبيض. أما عن كثافته فتصل إلى 64 طن/سم<sup>3</sup> في حين تبلغ كثافة الأرض 5.5 جم/سم<sup>3</sup>.

**ب. النجوم الكبيرة:** إذا كانت كتلة النجم أثناء البلوغ ما بين 1.4-3 أضعاف كتلة الشمس، وفي هذه النجوم تكون قوة الانكماش كبيرة جداً تؤدي إلى تقليص حجمه إلى حجم صغير جداً أصغر من حجم القزم الأبيض وبكثافة شديدة جداً، وعندها يضيع تركيب الذرة وتلتحم الالكترونات بالبروتونات مكونة نيوترونات ويسمى النجم أيضاً باسم ( النجم النيوتروني ).

## المجرات

**المجرة (galaxy)** هي مجموعة من الكواكب والنجوم وبقايا النجوم والغاز والمادة المظلمة المجتمعة معاً جِراء الجاذبية التي يُمارسها مركز ثقالي ما. وللمجرات أشكالٌ مختلفة، فهناك الحلزوني (spiral)، والبيضاوي (elliptic)، وغير المنتظم (irregular) لكن هل تساءلت عن عدد المجرات الموجودة في هذا الكون الفسيح؟؟ ولتوضيح عدد المجرات سنستعرض الأمثلة الثلاثة التالية:

قامت دراسة استمرت لمدة سنتين (df2) "مسح الحقل المجري بالاعتماد على الانزياح نحو الأحمر بمقدار درجتين" والتي انتهت عام 2003، بمسح 250 ألف مجرة لوضع خريطة ثلاثية الأبعاد للكون، ولا يُمثل هذا طبعاً كل المجرات المعروفة. وكمثالٍ ثانٍ، احتوى الإصدار السابع لبيانات المسح الرقمي للسماء سلوان (SDSS) حوالي 375 مليون جسم. وعلى الرغم من كون معظمها نجوم، فقد حدد SDSS أطيفاً تعود لحوالي مليون مجرة. أما "قاعدة بيانات ناسا للمجرات الخارجية" (NED) -يُقصد بالخارجية نقطة انتهاء مجرة درب التبانة- فتقول بوجود حوالي 215 مليون مجرة معروفة وبارزة، إضافة إلى حوالي 515 مليون مرجع بحاجة لتحليل ودراسة لتحديد فيما إذا كانت مجرات جديدة، أم أنها مجرد قياسات جديدة لمجرات معروفة سابقاً -تُساعد هذه القياسات الجديدة في حساب يُعرف بالتوسع الكوني. هذا ليس كل شيء، فعندما سيظهر للعلن تلسكوب جديد وذو مستوى عالٍ في قوة الرصد مقارنةً بما كان متوفراً سابقاً سيجري علماء الفلك مسحاً ضخماً لاكتشاف مجرات جديدة. وستحتاج الفهارس الجديدة الخاصة بهذه المجرات بعض الوقت لتُدمج مع قاعدة بيانات عملاقة كـ NED. ولذلك فالعدد الفعلي للمجرات المعروفة يتغير بشكلٍ دائم!

يقدّر وجود حوالي 200 مليار مجرة في الكون المرئي (observable Universe)؛ لكننا غير قادرين على رؤيتها لأن تلسكوباتنا ليست حساسة بالدرجة الكافية لرصدها. بالإضافة إلى ذلك فإن وجود أنواع مختلفة من التلسكوبات سيكون أفضل لناحية اكتشاف أنواع مختلفة من المجرات؛ فعلى سبيل المثال: العديد من المجرات البعيدة -المجرات الموجودة في المراحل المبكرة من التاريخ الكوني- غبارية جداً، ويحجب هذا الغبار الضوء المرئي للنجوم ولذلك فتلسكوبات كهابل التي ترصد الضوء المرئي لا ترى هذه المجرات الغبارية. على أي حال، ترتفع حرارة ذلك الغبار نتيجة امتصاصه الضوء النجمي، ومن ثم يُصدر أشعة تحت حمراء تُكتشف من قبل تلسكوبات عاملة في مجال الأشعة تحت الحمراء كهيرتشل. في النهاية إن جمع ما تم رصده ومسحه من المجرات معاً يُمثل تحدياً حقيقياً، ويؤثر على التوقعات والتقدير المتعلّقة بعدد المجرات الموجودة في الكون.

إن المجرات لها عمر معين، فقد تلقى في النهاية، نهاية لوجودها في الكون، فوجودها في الفضاء لا يجزم باستمرارها إلى ما لانهاية، ونهايتها تبدأ بانفجارها وانتشارها في الفضاء الكوني الكبير. ولعل من الأمثلة المعروفة على المجرات المتفجرة Exploding Galaxies مجرة فرساوس A أو NGC 1275 أو ما يعرفها علماء الفلك الراديوي 3C84 وتقع في كوكبة فرساوس Persus الشمالية، وتعد ألمع مجرة في عنقود فرساوس المجري، وهي مصدر شديد للموجات الراديوية والسينية، ويبدو في الصور الملتقطة لها خيوط ضخمة من الغازات المندفعة إلى مسافة 100 ألف سنة ضوئية بعيداً عن مركز المجرة، وبعض من الغاز قد قذفته المجرة وهو يندفع بسرعة تعادل 3000 كم/ثانية. وتدل تلك الظواهر الانفجارية eruption بشكل واضح على حدوث انفجار في الماضي، وفي الواقع فإن هينتها مشوهة بشدة وهي أقرب شبها بسديم السرطان Cancer من الشكل المجري.

وقد عمل الأمريكي كارل سيفرت في عام 1943 على دراسة 12 مجرة غير اعتيادية تماماً، ورصد وجود خطوط انبعاث لامعة في طيف تلك المجرات، وبينت جميع الصور الملتقطة وجود نواة ساطعة بشكل غير اعتيادي لها شبة كبير بالنجوم، ومن المعلوم أن لجميع المجرات الاعتيادية خطوط امتصاص في طيفها فقط، وتكون مراكزها معتمة ومتداخلة بالنجوم المحيطة بها، وهي في معظمها مجرات لولبية وتنتقل سحب الغاز بها بسرعة عالية.

ولقد كانت المجرة NGC 1275 تمثل إحدى المجرات السيفرتية المتفجرة، وكذلك المجرة M 77 أو NGC 1068، ومجرة NGC 4151 وهي أقرب سيفرت لنا ويظهر طيفها فوق البنفسجي أنها تميل للسطوح

بضعة أسابيع بعد إضاءة المصدر المركزي ، وذلك يدل على أن الغاز المسؤول عن البث يقع في السحب على بعد يعادل بضعة أسابيع ضوئية من المركز المجري ، ويتحرك الغاز بسرعة عالية جدا . ولقد أصبح معروفا لنا حاليا أن نحو 10% من المجرات في السماء هي في الواقع مجرات سيفرت . وفي أواخر السبعينات دلت أرصاد الأشعة تحت الحمراء للمجرة M77 التي أجراها ريكي G.Reicke ولو F.Low من جامعة أريزونا أن تلك المجرات السيفرنية تعد مصادر شديدة الإشعاع لتحت الحمراء ، ونجد أن الإشعاع المنبعث من مركز M77 يعادل 100 مليون شمس ، ومما يزيد الإثارة هومو رصده العالمان من تذبذب شديد عند الأطوال الموجية لتحت الحمراء ، وتبدو نواة M77 كأنها تخبو وتنقد بقدرة خارجة تعادل لمعان مجرتنا الكلي في فترة دورية تبلغ بضعة أشهر . وبجانب وجود نواة عالية اللمعان للمجرة M77 فإنها قد بدأت أيضا ظاهرة انفجارية ، ولقد وجد ميريل ووكر M.Walker دلالة تشير لوجود العديد من سحب الغاز الضخمة مندفعة بعيدا عن مركز المجرة ، ومن المفترض أن لكل سحابة قطرا يعادل نحو 10000 سنة ضوئية ، وتتكون من مادة لا تقل مليون مرة مثل كتلة الشمس ، ولقد أمكن من خلال حيودات دوبلر نحو الأحمر للخطوط الطيفية من تبين أن سرعتها تبلغ نحو 500 كم / ثانية . ورغم كل ذلك تعد الظاهرة الانفجارية متواضعة عند مقارنتها بالظاهرة الانفجارية للمجرة NGC 4151 ، ولقد عثر روبرت كرافت R.Kraft وكورت اندرسون K.Anderson من رصد ليك على مؤشرات تدل على وجود ثلاث فشرات هائلة من الغاز مندفعة بعيدا عن مركز المجرة ، ولقد افترض العلماء أن كتلة المادة المقدوفة سنويا من مركز المجرة NGC4151 تعادل نحو 1000 مرة مثل كتلة الشمس . كما افترضوا أيضا أن اندفاع المادة يكون على هيئة سلسلة من التدفقات المتقطعة Sporadio ، وتبين حدوث تغير قصير الفترة الدورية في مركز المجرة NGC 4151 مماثلا لما تم رصده في المجرة M77 . ومع تحليل الصور الملتقطة للمجرة NGC 4151 وجد أنها من النوع سيفرت النموذجي ولها مركز لامع جدا ، ولها طبيعة انفجارية وتغير قصير المدة في لمعانها ، وكما ذكرنا فهي قريبة جدا لنا ، وتبعد نحو 40 مليون سنة ضوئية ، ويعادل قطرها نحو 12 سنة ضوئية .

ولكن لنفترض جدلا أن المجرة NGC 4151 تقع على بعد أكبر كثيرا مما هي عليه فعلا ، وعند تلك المسافة البعيدة لن نرى إلا نواة لامعة شبه نجمية ، وسيلاحظ تغير قصير المدة الدورية للنواة شبه النجمية ، فهي تخبو في لمعانها كل سنة أو أسرع من ذلك ، وتظهر أرصاد الطيف أنه يشتمل على خطوط انبعاث شديدة ، ويمثل ذلك تماما طيف المجرة 3C273 ، ومن المؤكد أننا لو افترضنا أن NGC4151 شبه نجم فسنكون بلا شك على خطأ بين . ولعلنا بدأنا ندرك أننا لو تفحصنا المعطيات لوجدنا سلسلة متصلة من الأجرام السماوية تتفاوت ما بين المجرات الاعتيادية مثل التبانة وتباعاً حتى أشباه النجوم عالية اللمعان . وتقع في أحد طرفي السلسلة المجرات الاعتيادية، وتظهر العديد من الدلائل على أن لهذه الأجرام تدفقات هائلة ومستوى نشاط منخفض ، ومن الأمثلة على الأوضاع تلك ما قد رصدها في مركز مجرتنا بافتراض كونه يمثل حالة انفجارية ضعيفة لعلها تكون قد وقعت منذ نحو عشرة بلايين سنة . ومن المعلوم أن هناك مصادر بث عديدة للأشعة تحت الحمراء المحيطة بمركز مجرتنا ، ورغم ذلك فإن مجرتنا تعد مجرة نموذجية تماما .

وكما أشرنا يتمثل أحد طرفي السلسلة بالمجرات الاعتيادية ، ولو تقدمنا في تتبع السلسلة سنرى المجرات النشطة الفعالة مثل NGC 5128 وM82 ، وعادة ما يكون هذا النوع من المجرات على شكل أو هيئة مشوشة جدا ، ويدلنا ذلك على أن انفجارا ما قد وقع في مراكزها أدى الى اندفاع الغاز بعيدا، وتمثل تلك المجرات مصدرا أشد بثا للموجات الراديوية والأشعة تحت الحمراء والأشعة السينية من المجرات الاعتيادية ، ورغم ذلك يتمثل كلاهما في كثير من الخصائص ، وتعد فعاليتها نمطا مبالغا فيه للفعالية المنخفضة المستمرة في مجرتنا . وفيما لو حدث وكانت فعالية ونشاط الرامي Sagittarius A أشد بنحو 10 مرات مما هي عليه حاليا فإن مجرتنا ستصبح مثل M82 . وعندما نواصل تقدمنا في السلسلة ستجد المجرات السيفرنية مثل NGC 4151 وM77 ، ولهذه المجرات مستوى فعالية أعلى من الأجرام المتماثلة لنمط M82 ، ولعل للمجرات السيفرنية خصائص تماثل خصائص أشباه النجوم في الجوانب ، وبالطبع ستكون أشباه النجوم في أعلى مرحلة وفي قمة التسلسل وهي أجرام فانقة السطوع .

## المجموعة الشمسية

حاول العديد من فلاسفة العلم والفلكيين وضع نظرية تفسر كيفية نشوء المجموعة الشمسية بطريقة قريبه من المنطق العلمي وتتوافق مع الواقع المرصود للمجموعة الشمسية، بحيث تأخذ هذه النظريات بعين الاعتبار الخصائص العامة للمجموعة الشمسية السابق ذكرها، وهذه أهم النظريات التي وضعها العلماء منذ القرن السابع عشر الميلادي وحتى الآن:

**1. نظرية ديكارت** واضع هذه النظرية هو "ديكارت" Decartes سنة 1644م، بين فيها أن الكواكب السيارة كانت في الأصل عبارة عن كتل سديمية صغيرة تدور حول سديم ضخم في المركز، وتتكون هذه السدم من الهيدروجين والهليوم وهي الغازات الأكثر شيوعاً في الكون. وبسبب دوران الكتلة السديمية الضخمة حول نفسها تكاثفت الغازات في المركز بشكل مذهل ونتج عنها الشمس، ثم تشكلت الكواكب السيارة من خلال الكتل المتبقية حول الشمس، أما الأقمار فتشكلت من خلال كتل الغاز الصغيرة المتبقية حول الكواكب السيارة بعد أن تجمدت الكواكب.

**2. نظرية بوفون:** في عام 1749م، جاء عالم الطبيعيات الفرنسي "جورج لويس بوفون" G.L. Buffon بنظرية جديدة لتفسير نشوء المجموعة الشمسية تختلف كلياً عن سابقتها، افترض فيها بأن مذنباً ضخماً اصطدم بالشمس، ونتيجة لهذا الاصطدام تناثرت من الشمس كمية ضخمة من الغاز نحو الفضاء، وفي مسافات وأمكنة مختلفة، ثم بردت هذه الغازات بسبب ابتعادها عن الشمس وتشكلت الكواكب السيارة، أما الأقمار فتشكلت من خلال كتل صغيرة من هذه المادة كانت تدور حول الكتل السديمية الكبيرة أي الكواكب السيارة.

**3. نظرية جيمس جينز** في عام 1929م صاغ الفلكي (جيمس جينز) James Jeans نظرية أحدث من سابقتها حول نشوء المجموعة الشمسية، تصور فيها أن نجماً اقتراب من الشمس وسحب بجاذبيته كتلة من الشمس على شكل لسان نحو النجم الآخر وتصور أن اللسان كان سميكاً في الوسط ورقيقاً في الأطراف، وهذا ما يفسر وجود الكواكب السيارة العملاقة في المنتصف وصغر حجمها في الأطراف. ثم أخذت كتل من اللسان تتجمع على نفسها وبردت لتشكل الكواكب السيارة التسعة، بالإضافة لحزام الكويكبات ما بين المريخ والمشتري.

**4. نظرية التكاثف:** تنص نظرية التكاثف على أن المجموعة الشمسية كانت عبارة عن سحابة ضخمة من الغبار الكوني، وذراته مغلقة بالغازات المتجمدة، وكانت هذه السحابة تدور حول نفسها ببطيء شديد، ثم أخذت سرعتها حول نفسها تزداد وتزداد معها كثافة الذرات في مركز السحابة، ونتيجة لتجمع ذرات السحابة في المركز تكونت نواة ضخمة من الغاز ذات كثافة عالية مكونة كتلة حارة سميت (الشمس الأولية)، وبعد ملايين السنين زادت درجة الحرارة في باطن السديم بشكل هائل وصلت إلى 15 مليون درجة مئوية، وهذا جعل عملية الالتحام النووي تعمل بشكل طبيعي أي التحام 4 ذرات هيدروجين لتشكل نواة هليوم، وينتج عن هذا الالتحام فارق هائل في الطاقة، هي الطاقة الشمسية الحالية أي أن الشمس قد ولدت بالفعل. أما الكواكب السيارة فتشكلت من خلال الكتل الغازية والأترية المتبقية في أطراف الكرة التي تشكلت منها الشمس، وظلت تدور حول الكرة (الشمس) بنفس المستوى تقريباً، وهذا يفسر أن الكواكب تدور حول الشمس في نفس المستوى تقريباً كما سبق القول، كما أنها تدور حول الشمس بسرعات مختلفة وذلك للاختلاف في بعدها عن الشمس. ونتيجة لاقتراب الكتل التي تشكلت منها فيما بعد الكواكب القريبة من الشمس وهي عطارد والزهرة والأرض والمريخ، فقد تبخرت منها الغازات وبقيت مادتها الثقيلة وهي الأترية والصخور، لذلك أصبحت هذه الكواكب صخرية نادرة الغازات، أما الكواكب السيارة البعيدة عن الشمس وهي المشتري وزحل وأورانوس ونبتون وبلوتو، فقد تجمدت الغازات فيها لذلك حافظت على مادتها الغازية المتصلبة. أما الكويكبات التي تقع ما بين المريخ والمشتري، فهي عبارة عن كتلة غازية ضخمة مثل الكواكب تماماً، لكن جاذبية المشتري الضخمة حالت دون تجمع ذرات هذه السحابة لتشكل كوكباً سياراً، لكننا تحولت فيما بعد إلى كتل كثيرة جداً من الصخور مختلفة الأحجام، وظلت محتفظة بنفس مدارها حول الشمس. إن

هذه النظرية هي من أحدث النظريات التي تفسر نشوء المجموعة الشمسية، وتتوافق كثيراً مع الرصد الفلكي الحديث، حيث رصد الفلكيون سدماً كونية تتكاثف لكي يولد فيها نجم بنفس الطريقة التي ولدت فيها الشمس، وأشهر هذه النجوم هي السحابة الموجودة في سديم الجبار . Orion مما يعزز صحة هذه النظرية، كما أنها تفسر كيفية حدوث الكثير من خصائص المجموعة الشمسية مثل دوران الكواكب السيارة بنفس المستوى تقريباً، وتركيب الكواكب السيارة، والاختلاف في حجمها. الاصطدام تنانرت من الشمس كمية ضخمة من الغاز نحو الفضاء، وفي مسافات وأمكنة مختلفة، ثم بردت هذه الغازات بسبب ابتعادها عن الشمس وتشكلت الكواكب السيارة، أما الأعمار فتشكلت من خلال كتل صغيرة من هذه المادة كانت تدور حول الكتل السديمية الكبيرة أي الكواكب السيارة.

# البلورات والمعادن



## علم المعادن Mineralogy

**المعدن:** مادة طبيعية صلبة تكونت بطريقة غير عضوية ولها تركيب كيميائي ثابت وأحياناً متغير في نطاق محدود. معظم المعادن تتكون من عدة عناصر. مثال: الكالسيت (كربونات الكالسيوم)، وتوجد بعض المعادن التي تتكون من عنصر واحد فقط مثل الذهب والكبريت.

تمكن العلماء حتى الآن من وصف أكثر من أربعة آلاف معدن مختلف إلا أن جميع المعادن الشائعة التي تدخل في تركيب الصخور وكذلك المعادن الاقتصادية لا تتجاوز مائتي معدن فقط. ونظراً لهذا العدد الكبير من المعادن، أصبح من الضروري استنباط وسائل حديثة للتعرف على المعادن بالإضافة إلى استخدام الطرق التقليدية وتشمل هذه الوسائل استخدام أجهزة وتقنيات معملية مثل حيود أشعة إكس x-ray والميكروسكوب الإلكتروني.

### البنية البلورية للمعادن (الأنظمة البلورية)

يحتوي المعدن على صفوف منتظمة من الذرات المترابطة كيميائياً لتشكل بنية بلورية معينة (نظام بلوري مميز). ويمكن لبعض العناصر أن تتحد مع بعضها بأكثر من طريقة ولذلك فإنه يمكن وجود معدنين مختلفين في الخواص ولكنهما متفقين تماماً في التركيب الكيميائي (أي أن لهما نفس التركيب الكيميائي). وتسمى المعادن من هذا النوع بالمعادن متعددة الشكل، ومن أمثلة هذه المعادن الجرافيت والماس اللذان يتكونان من الكربون رغم اختلافهما الشديد في الصفات.

### التعدد الشكلي : Polymorphism

توجد المادة الكيميائية الواحدة أحياناً في أنظمة وأشكال بلورية مختلفة، ويعزى ذلك إلى ظروف النشأة من اختلاف في الضغط ودرجات الحرارة ويطلق على هذه الظاهرة بـ **"التعدد الشكلي"** ويحدث التعدد الشكلي تحت الظروف الطبيعية ويسمى ثنائي الشكل Dimorph إذا تواجد من المعدن شكلان، وثلاثي الشكل Trimorph إذا تواجد من المعدن ثلاثة أشكال. انظر جدول (1).

التعدد الشكلي "ثلاثي الشكل" Trimorph		التعدد الشكلي "ثنائي الشكل" Dimorph	
مركب أكسيد التيتانيوم TiO <sub>2</sub>	التركيب الكيميائي	عنصر الكربون C	التركيب الكيميائي
روتيل - رباعي	المعادن	1- الماس - مكعب	المعادن
بروكيت - معيني قائم		2- الجرافيت - سداسي	
أناتيز Anatase - رباعي			

جدول (1) أمثلة على التعدد الشكلي الثنائي والثلاثي لمعادن تحتوي على نفس التركيب الكيميائي.

**التشابه الشكلي: Isomorphism:**

تسمى المعادن بأنها ذات تشابه شكلي عندما تكون مختلفة في التركيب الكيميائي ولكنها تتبلور في بنيات متشابهة ويكون لها نفس الأشكال البلورية. مثال: كالسيت  $\text{CaCO}_3$  أراجونيت  $\text{BaCO}_3$  وبيذيريت  $\text{SrCO}_3$  وسترونشيانيت. تتبلور كل من هذه المعادن في فصيلة المعيني القائم وبنياتها البلورية متشابهة إلى حد كبير.

**الخداع الشكلي: Pseudomorphism:**

تتغير أحياناً البلورات بأن يحل معدن مكان معدن آخر مع الاحتفاظ بالشكل البلوري الخارجي للمعدن الأول مما قد يسبب خداعاً شكلياً في التعرف على المعادن. مثال ذلك معدن الجوتيت  $\text{HFeO}_2$  (أكسيد حديد مائي) قد يحل محل معدن البيريت  $\text{FeS}_2$  بواسطة الأكسدة والتميؤ وذلك بدون تغيير في الشكل البلوري لمعدن البيريت. وتسمى البلورة الجديدة شكل خادع Pseudomorph.



## ثانياً : الخواص الخواص التماسكية للمعادن

وهي المقاومة التي يبديها المعدن نحو الطرق والكسر والطحن والإثناء، أو بالإختصار "تماسك المعدن". وتستخدم الألفاظ التالية في وصف الأنواع المختلفة من تماسك المعدن :

أ. قابل للكسر: يتكسر المعدن إلى مسحوق بسهولة مثل البيريت.

ب. قابل للطرق: عندما يمكن طرق المعدن إلى صفائح رقيقة، مثل الذهب، والنحاس، والفضة.

ج. قابل للسحب: عندما يمكن سحب المعدن إلى أسلاك، مثل الذهب، والنحاس، والفضة.

د. قابل للقطع: عندما يمكن قطع المعدن إلى قشور يمكن طحنها مثل الجبس.

هـ. قابل للإثناء: عندما يمكن ثني قشور المعدن بالضغط، وفي هذه الحالة لا يعود المعدن إلى شكله الأصلي إذا زال الضغط عنه، مثل الكلوريت والموالدينييت، والجرافيت.

و. مرن: عندما يمكن ثني قشور المعدن بالضغط، ولكن بمجرد زوال الضغط يستعيد المعدن شكله الأصلي مثل البيوتيت والمسكوفيت.

ومن الخواص التماسكية الشائعة : الصلادة ، المكسر ، الانقسام . ( راجع كتاب الطالب )

## ثالثاً: الخواص الكهربائية والمغناطيسية

أ. الكهرباء الحرارية Pyroelectricity: هي الخاصية التي بموجبها تتكون على الأطراف المختلفة لبلورة المعدن شحنات كهربائية نتيجة لتسخينه، وتوجد هذه الخاصية في البلورات ذات التماثل الأدنى، خصوصاً البلورات نصف الشكالية، (أي التي لها طرفان مختلفان نتيجة لعدم وجود مستوى تماثل بينهما). يعتبر معدن التورمالين من أحسن الأمثلة التي تظهر هذه الخاصية، ولبلورة التورمالين طرفان أحدهما حاد الزاوية وآخر منفرج الزاوية، فإذا تم تسخين البلورة فإنه يتولد عند الطرف الحاد شحنات كهربائية موجبة، بينما يتولد عند الطرف المنفرج شحنات كهربائية سالبة. ويتعرف على السالب من الموجب بواسطة رش البلورة المسخنة بمسحوق مخلوط من الكبريت الأصفر وأكسيد الرصاص الأحمر، فنلاحظ أن أكسيد الرصاص الأحمر يجذب نحو الطرف السالب التكهرب، أما الكبريت الأصفر فإنه يجذب نحو الطرف موجب التكهرب. وتستعمل بلورات التورمالين، نتيجة لخاصية الكهرباء الحرارية - في الأجهزة المستخدمة في قياس درجة حرارة انفجار القنابل.

## ب. الكهرباء الضغطية Piezoelectricity

وهي الخاصية التي بموجبها تتكون على أطراف المعدن شحنات كهربائية نتيجة لضغطه. وتلاحظ الشحنات الكهربائية على الأطراف المختلفة للمحاور البلورية. ومن الأمثلة الهامة لهذه الخاصية معدن الكوارتز الذي يستعمل في أجهزة الراديو والإرسال اللاسلكي للتحكم في التردد.

## ج. الخواص المغناطيسية Magnetism

تجذب بعض المعادن إلى المغناطيس الكهربائي القوي إذا قربت منه في حين تنفر معادن أخرى من المغناطيس. والمعادن الأولى تعرف بإسم بارامغناطيسية، في حين تعرف الثانية بإسم ديامغناطيسية. وتختلف المعادن البارامغناطيسية من حيث قوة مغناطيسيتها، فبعضها قوي مثل ماجنتيت (أحد أنواعه المعروفة بإسم حجر المغناطيس، ويمكنه جذب برادة الحديد)، والبعض الآخر ضعيف المغناطيسية مثل إلمينيت Ilmenite (FeTiO<sub>8</sub>). ومن أمثل المعادن الديامغناطيسية الكوارتز والكالسيت والزركون. ولهذه الخاصية قيمتها وأهميتها عند فصل خامات المعادن وتركيزها، كما هو مستعمل في إستغلال الرمال السوداء التي تحتوي على الماجنتيت والألمينيت والجارنت والزركون والمونازيت.

### رابعاً: الخواص الحرارية

قابلية المعدن للإنصهار Fusibility إذا عرضنا قطعة صغيرة من المعدن لها حروف حادة اللهب بواسطة ملقط، تلاحظ أن بعض المعادن تنصهر في لهب الشمعة، في حين لا تنصهر معادن أخرى في مثل هذا اللهب، ولكنها تنصهر في لهب مصباح بزن، ومعادن ثالثة تنصهر فقط في لهب البوري - لهب البنزن الممزوج بكمية من الهواء - ومعادن رابعة تستدير حوافها فقط في لهب البوري، ومعادن أخيرة لا تنصهر بالمرّة ولا تتأثر بلهب البوري، وتعرف هذه الخاصية بإسم قابلية المعدن للإنصهار. وتعيين درجة الإنصهار للمعادن من الأمور الصعبة، وليس له أهمية كبيرة في التعرف على المعادن، ولكنه ذو فائدة وأهمية في الدراسات النظرية والامتروجرافية (دراسة الصخور)

### خامساً: خواص فيزيائية أخرى

هناك خواص أخرى لم يرد ذكرها في أي من الأقسام السالفة مثل اللمس والرائحة ، والمذاق ، وهذه الخواص ولو أنها ليس شائعة أو مميزة في كثير من المحالات إلا أنها تكون في بعض الحالات مميزة وتساعد على التعرف على المعدن. ومن الأمثلة المعروفة المذاق المالح لمعدن الهاليت. ومن أمثلة الرائحة تلك الرائحة الكبريتية (رائحة ثاني أكسيد الكبريت) الناتجة من حك معدن بيريت Pyrite أو تسخين كثير من المعادن الكبريتية. ورائحة الثوم الناتجة من حك أو تسخين معدن أرسينوبيريت Arsenopyrite . ومن أمثلة اللمس ذلك اللمس الصابوني أو الدهني لمعدن التلك، أو قد يكون اللمس بارداً مثل سطح الفلزات والأحجار الكريمة، أو قد يكون خشبياً (مثل الياف الخشب) مثل معدن سبوديومين Spodumene (سليكات الألومنيوم والليثيوم).

أما خاصية النشاط الإشعاعي فتنتج عن إحتواء المعدن لبعض العناصر المشعة مثل اليورانيوم أو الثوريوم، وفي هذه الحالة يصدر عن المعدن إشعاعات لا نراها أو نشعر بها، ولكن إذا عرض المعدن للوح فوتوغرافي حساس فإن هذه الإشعاعات تؤثر على اللوح، وتترك أثراً يمكن الكشف عن هذه المعادن المشعة بواسطة الألواح الفوتوغرافية الحساسة أو بواسطة أجهزة خاصة تتأثر بهذه الإشعاعات وتحولها إلى صوت يمكن سماعه بسماعة الجهاز، أو تحوله إلى وميض ضوئي يمكن رؤيته. ومن أمثلة هذه الأجهزة عداد جيجر، وهو جهاز صغير سهل الحمل في اليد، ويساعد كثيراً في الكشف عن خامات المعادن المشعة على سطح الأرض.

# الصخور



## مقدمة

كوكب الأرض عبارة عن كتلة صخرية ممتدة إلى عمق إلى 2900 كم، حيث تتصل القشرة الأرضية مع الجزء الكثيف من وشاح الأرض (بفعل الضغط) إلى الجزء السائل من اللب الخارجي لها. وقد قسّم الجيولوجيون الصخور إلى ثلاث مجموعات: 1. صخور نارية 2. صخور رسوبية 3. صخور متحولة (راجع كتاب الطالب). تتعرض الصخور بأنواعها الثلاثة إلى العوامل الخارجية على سطح الأرض لتأثير الغلافين المائي والغازي فتتحلل وتتفتت هذه الصخور إلى حصي، رمال وطين، وقد تقوم المياه الجارية أو مياه الأمطار بإذابة معادن الصخر، كما تؤثر الكتل الجليدية (الثلجات) والجاذبية الأرضية بنحت ونقل الفتات الصخري إلى الأماكن المنخفضة من سطح الأرض وترسب ما نقل خلال تحركها. ما يتم تفتيته ونقله وترسيبه في البيئات المختلفة يسمى رسوبيات تترام وتتماسك لتكون الصخر الرسوبي وقد تتجمع هذه الرسوبيات لتكون الشواطئ الرملية والمسطحات الطينية. لا توجد صخور على سطح الأرض تظل بدون أن تتعرض لأي تغيير لما يحيط بها من مؤثرات بفعل الغلافين الغازي والمائي وللنشاط التكتوني للصفائح الصخرية المكونة للقشرة الأرضية نتيجة للمؤثرات السابقة فإن الصخر يتغير من نوع لآخر من صخور القشرة فيما يسمى بدورة الصخر. تحول الصخر من نوع لآخر يتبع العديد من المسارات، فعلى سبيل المثال تعرض الصخر المتحول للعوامل الطبيعية المختلفة التي تسحق الصخر لتكون الرواسب والتي عند تماسكها بالضغط أو التلاحم تكون صخورا رسوبيا، كما أن الصخر الناري يمكن أن يتعرض للضغط أو الحرارة ليتكون الصخر المتحول. فدورة الصخر تبين كل ما يتعرض له الصخر من تأثيرات بفعل العمليات الخارجية أو العمليات الخارجية.

## أولاً: الصخور النارية - أصل المادة المصهورة (الصهير)

إن قمت بحفر بئر في القشرة الأرضية، ستجد أن (الحرارة-الكثافة-الضغط-المرونة) تزداد بزيادة العمق، فدرجة الحرارة تزداد بمقدار 30 س° / كيلومتر عمقا في أعماق القشرة الأرضية ومع ارتفاع درجة الحرارة، يلاحظ أن التغيير في درجة الحرارة يستمر في الزيادة تدريجياً وبتبطيء، وعند الوصول إلى بداية الأستينوسفير (عند العمق 100-350 كيلومتر) يلاحظ ارتفاعاً في الحرارة بصورة كبيرة إلى الحد الذي تنصهر عنده الصخور ليتكون الصهير.

### العمليات التي تكون الصهير:

هناك ثلاث عمليات مختلفة تعمل على صهر مادة الأستينوسفير وهي:

1. ارتفاع درجة الحرارة
2. انخفاض الضغط
3. وجود الماء الجوفي

هذه العمليات التي تعمل على انصهار الأستينوسفير يمكن أن ينظر لها من جانب النشاط التكتوني للبيئات التي منها تتكون مادة الصهير، ويمكن تفسير هذه العمليات الثلاث كالتالي:

### أولاً : ارتفاع درجة الحرارة:

إن ارتفاع درجة حرارة ما تحت سطح الأرض هو السبب الأقل أهمية في صهر الصخور في الأستينوسفير.

### ثانياً: انخفاض الضغط :

تتكون معادن الصخور من ترتيب الذرات المرتبطة مع بعضها بروابط كهروكيميائية، وعند انصهار المعدن فإن هذه الروابط تتفكك وتصبح الذرات حرة الحركة، وما إن تأخذ هذا الوضع حتى تكون المسافة بين هذه الذرات أكبر منها في الحالة الصلبة، ولذلك يمثل حجم الصهير نحو 10% أكبر من حجم الصخرة التي سيكوّنوها. وعند تعرض صخرة لحرارة تصل إلى درجة انصهارها وهي على السطح فإنها تنصهر بسهولة عن التي تكون عليها لو كانت تحت السطح لانخفاض الضغط الواقع عليها، ولذلك فإن حجم الصهير يكون أكبر من 10% بكثير. إن حرارة الأستينوسفير أكثر من كافية لانصهار الصخور، ومع الضغط فإن حجمها لا يزيد، ولذلك فإنه (الأستينوسفير) لا ينصهر، ولكن في حال انخفاض الضغط فإن مقدار كبير من الأستينوسفير سيبدأ بالانصهار، وفي هذه الحالة فإن الانصهار الناتج عن انخفاض الضغط يسمى (Pressure-Release melting). في جزء الأستينوسفير والذي يسمى (Environments of Magma Formation) يمكن أن نحدد كيف للعديد من العمليات التكتونية أن تؤدي لانخفاض الضغط الواقع على هذا الجزء من تركيب الغلاف اليابس للأرض وتسبب بمقدار هائل من تكوين الصهير.

**ثالثاً: إضافة الماء:** إن الصخر الرطب ينصهر بدرجة حرارة أقل من الصخر الجاف في حال تشابه الظروف المحيطة به، وعليه فإن وجود الماء مع الصخر في حرارة تقارب درجة انصهاره يؤدي لانصهار الصخر، وتؤدي بعض العمليات التكتونية إلى تواجد الماء مع الصخر في وجود الحرارة الكافية لانصهاره ومنها ينصهر الأستينوسفير ليكون الصهير.

## مصدر تسخين الأرض:

إن مصدر الحرارة الداخلية للأرض هو الذي يجعل لكوكب الأرض الديناميكية التي تعمل على النشاط التكتوني في تحريك صفائح الغلاف اليابس وفي استمرار الظواهر الجيولوجية كالزلازل والبراكين، وهذه الطاقة الحرارية كانت أكبر بكثير في المراحل الأولى من عمر الأرض عنها اليوم، ونتج عنها تحويل وتجميع سريع للحرارة في عمليات ثلاث كانت في مراحلها الأولى أكثر شدةً خلال مئات الآلاف من السنين من تاريخ الأرض وتمثلت هذه العمليات في:

**(1) التأثيرات الناتجة عن النشاط الكوني خارج كوكب الأرض:** يعتقد أكثر العلماء بأن النظام الشمسي نشأ من تجمُّع لجسيمات صلبة من سحابة كونية ضخمة أطلق عليها النظرية السديمية وبناءً عليها فإن أصل كوكب الأرض نشأ خلال ملايين السنين بتأثير كبير من النشاط الكوني، والذي ساهم في زيادة كتلة الأرض مع كل انفجار كوني، ومع كل زيادة في حجم نواة الأرض زاد معها مجال الجاذبية الذي يجذب المزيد الأجسام إلى سطحها. أما مكونات هذه الأجسام التي اصطدمت بالسطح فهي غنية بالفلزات (النيازك الغنية بالحديد) والصخور (النيازك الصخرية) والتلوج (المذنبات) ومع أن تراكم مثل هذه الأجسام في بدايات نشأة الأرض كانت أكبر بكثير منها الآن إلا أنها لا تزال تحدث حتى اليوم، ويتضح ذلك من وجود الشهب والكرات النارية في السماء ومن الاصطدامات التي تحدث من الأجسام الكونية بسطح الأرض. بعض هذه الأجسام تتحرك بسرعات كبيرة جداً تصل إلى 30000-50000 كم / ساعة والتي تشابه سرعة دوران الأرض حول الشمس، وهذا المقدار الهائل من الطاقة التي تتحرك بها هذه الأجسام فإنها تتحول إلى طاقة حرارية هائلة عند اصطدامها بالأرض وتؤدي إلى زيادة مصدر الحرارة الداخلية للأرض.

**(2) التقلص الناتج عن جاذبية التركيب الداخلي للأرض:** في المراحل الأولى لتكوُّن كواكب المجموعة الشمسية كانت مكونات الأرض أقل ترابصاً مما عليه الآن، وقد أدت عمليات التراكم إلى زيادة في جاذبية الأرض وقد دفعت هذه الزيادة في الجاذبية إلى أن تكون الأرض أقل حجماً، ومنها تحوَّلت طاقة الجذب إلى طاقة حرارية.

**(3) النشاط الإشعاعي للنظائر الغير المستقرة من مكونات الأرض:** العناصر المشعة بطبيعتها غير مستقرة فهي تتحلل مع الوقت لتصبح أكثر استقراراً. فعمليات التحلل الإشعاعي تطلق الحرارة كنتاج عن التحلل الذي يكون في النهاية عنصر مستقر. فالأرض في مراحل نشأتها الأولى احتوت على كميات كبيرة من العناصر المشعة التي أنتجت كميات كبيرة من الحرارة أثناء تحللها، لكن الكثير من هذه العناصر المشعة مثل الألومنيوم<sup>26</sup> تتحلل خلال فترة قصيرة إلى درجة الفناء، وهناك عناصر مشعة أخرى لا تزال تتحلل وتطلق الطاقة الحرارية.

## نوبان وتمايز مكونات الأرض الأولى:

إن تراكم الحرارة في باطن الأرض وصل إلى ذروته في تاريخ الأرض الأولى ثم بدأت الحرارة بالانخفاض الكبير. وقد سبق الحديث عن مصدر هذه الحرارة، وقد نتج عن التراكم الأولي لجزيئات العناصر في غلاف متجانس من شظايا الحديد و نيازك الصخور ومذنبات الجليد بأن تزيد من المحتوى الحراري للأرض إلى درجة انصهار الأرض من الداخل وهذا ما دفع إلى انفصال مكونات الأرض حسب كثافتها، وتحركت المكونات الثقيلة (الفلزية) إلى مركز الأرض والمكونات الصخرية المنخفضة الكثافة إلى الأعلى بالقرب من السطح، بينما انطلقت المكونات الخفيفة المتطايرة المتخلفة عن المذنبات والتي انصهرت و تبخرت بسهولة وارتفعت من تحت السطح لتتشكّل الغلافين المائي والغازي، ومن هنا انفصلت مكونات الأرض من خلال الانصهار والانتقال والتحوُّل من شكل لآخر لتكون المنتج لطاقة الأرض الحرارية الداخلية، ومنها كان تركيب الأرض، حيث انفصلت مكونات الأرض الداخلية لاختلاف الكثافة لتكوُّن عدة نطاقات. (راجع كتاب الطالب)

## ثانياً: الصخور الرسوبية

تنشأ الصخور الرسوبية كنتاج من عمليات التجوية والتعرية والنقل والترسيب. وهذا يعني أنها صخور ثانوية أتت من صخور أخرى سواء كانت قريبة أو بعيدة عن الحوض الترسيبي. (راجع لكتاب الطالب) وعادة تتكون هذه الرواسب على هيئة طبقات متعاقبة وتختلف فيما بينها من ناحية السمك والتركيب المعدني والتراكيب وحجم الحبيبات واللون والأحافير بالإضافة إلى صفات أخرى. وتشكل الصخور الرسوبية 5% فقط من كتلة الصخور الكلية الموجودة في الستة عشر كيلومتر الأولى من القشرة الأرضية، لكن 75% من الصخور الظاهرة الرسوبية مهمة جداً من الناحية الاقتصادية لأنها تحتوي على العديد من الخامات المعدنية والثروات الطبيعية مثل النفط، والغاز الطبيعي، والفحم، والحديد، والمنجنيز، والفوسفات، كما تستغل الصخور الرسوبية أيضاً في عمليات البناء المختلفة. وتتميز الطبقات الصخرية للصخور الرسوبية عن باقي الصخور بأنها متوازنة ومتتابعة، الأقدم منها يكون مغطى بالأحدث (التتابع الصخري الطبيعي). وكل طبقة صخرية تحتوي على دلائل تشير إلى الأحداث الجيولوجية والجغرافية السابقة التي حدثت على سطح الأرض أثناء تكون تلك الصخور. كما أنها تحتوي أيضاً على معلومات عن البيئة الترسيبية التي تكونت بها الصخور، وفي بعض الأحيان دلائل على عملية النقل. والصخور الرسوبية تحتوي على أحافير، وهي أدوات مهمة جداً لمعرفة التاريخ الجيولوجي، لذلك فإن الصخور الرسوبية صخور مهمة جداً ومنها يعرف الجيولوجيين التاريخ الجيولوجي الذي مرت به الأرض عبر العصور والأزمنة المختلفة.

### ويعتمد نوع الصخور الرسوبية على ما يلي:

**1. نوع الصخور التي يحتويها المصدر:** وذلك من حيث النوع (ناري، رسوبي، متحول) والمكونات المعدنية (معادن مقاومة أم غير مقاومة للتجوية بأنواعها).

**2. المناخ السائد:** بشكل عام تؤدي ظروف المناخ الممطر إلى ذوبان المكونات القابلة للذوبان في الصخر (المكونات غير المستقرة)، وتركيز وترسيب الفتات الصخري الصلب الغير قابل للذوبان على هيئة رواسب فتاتية. أما المكونات الذائبة فتنتقل بواسطة الأنهار السيول والثلجات (الأنهار الجليدية) إلى مناطق الترسيب المختلفة وترسب بطرق كيميائية. أما ظروف المناخ الجاف في الصحاري الحارة فتؤدي إلى تكون فتات صخري فقط لأن التجوية الفيزيائية هي السائدة في هذه المناطق. وان الفتات الصخري الدقيق من الحجم الغريني والطيني بالإضافة إلى الحجم الرملي الدقيق ينقل بواسطة الرياح أيضاً.

**3. المسافة التي تقطعها الرواسب المتكونة بين المصدر ومناطق الترسيب:** هل هي مسافات قريبة أم مسافات بعيدة؟ وذلك لأن المسافة تتحكم بمدى تأثير التجوية والتعرية، وبالتالي عملية استدارة وتكور الحبيبات وحتى الحجم النهائي الذي تصل به الحبيبات إلى مناطق الترسيب المختلفة.

**4. نوع النواتج المحمولة:** وهي نواتج عوامل التجوية والتعرية. وتقسم إلى ثلاثة أقسام رئيسية: حبيبات واضحة المعالم وتتكون من معادن مقاومة للتآكل والتحلل الكيميائي مثل الكوارتز والفلسبارات البوتاسية مثل الأورثوكليز والميكرو كلين، وفتات صخري متعدد الحجم والمكونات، وحبيبات مجهرية دقيقة جداً تنتقل على هيئة عوالق بواسطة الماء أو على هيئة غبار عالق بواسطة الرياح تشمل الطفل وبلورات دقيقة من أكاسيد الحديد (الهيماتيت والليمونيت). النوع الأخير من الحمولة النهرية يشتمل على معادن مذابة بالماء وهي التي تتكون بواسطة التجوية الكيميائية، مثل كربونات الكالسيوم (الكالسيوم) وكلوريد الصوديوم (الهاليت) وكبريتات الكالسيوم (الجبس) والسليكا.

**5. البيئات الترسيبية:** تتكون الصخور الرسوبية في العديد من بيئات الترسيب، ويطلق مصطلح بيئة الترسيب على المكان التي تتراكم فيه الرواسب. ولكل بيئة ترسيبية ظروفها الفيزيائية والكيميائية والحيوية السائدة الخاصة بها تؤدي إلى تكون نوع خاص من الصخور الرسوبية. وتقسّم بيئات الترسيب إلى بيئتين رئيسيتين وهما البيئات الترسيبية القارية والبيئات الترسيبية البحرية. (راجع كتاب الطالب )

### **عملية تحويل الرواسب إلى صخور رسوبية:**

#### **1. التصلب بواسطة التضغط Compaction :**

يؤدي تجمع وتراكم الرواسب مع مرور الوقت إلى تكون سمك هائل من الرواسب المتجمعة. فالوزن الهائل لهذه الرواسب يؤدي إلى نشوء ضغط عالي على الرواسب العميقة التي ترسبت بالبداية ، وهذا الضغط من شأنه أن يؤدي إلى تقليص المسافات التي تكون بين الحبيبات أي تقليل مسامات الصخر ، ثم لصق الحبيبات مع بعضها البعض وتعتمد هذه العملية على نوع الرواسب واحجام الحبيبات فهي تؤثر بشكل أكبر على الرواسب الدقيقة والرواسب المتكونة من معادن ذات مقاومة قليلة للضغط. الرواسب الرملية تتكون من معادن غير قابلة للتآكل وذات صلادة عالية مثل الكوارتز ، لذلك تكون مقاومتها أكبر لعملية التضغط ، بعكس الرواسب الطينية. فالرواسب الطينية تعتبر دقيقة التحبب وتحتوي على معادن ذات صلادة قليلة وقوة احتمال اقل . ومن المعروف أن الضغط الهائل على الرواسب الطينية من شأنه تقليص الحجم لما مقداره 40% من الحجم الأصلي لهذه الصخور الطينية. والضغط الهائل ينشئ اشكال خاصة للحواف الخارجية للحبيبات وهي تعتبر أدلة قوية على مدى قوة الضغط الواقع على الطبقة الصخرية. حيث تقترب المسافات بين الحبيبات عند بدأ عملية الضغط الخفيف وذلك يؤدي إلى تلامس الحواف الخارجية لها وهو ما يعرف بحواف التلامس ، لكن مع ارتفاع الضغط الواقع على الصخور تبدأ هذه الحبيبات بالالتحام القوي وتكون حواف تعرف بالحواف المقعرة – المحدبة ، أما عند الاعماق الكبيرة فالضغط الواقع على الصخور يكون هائل جدا مما يؤدي على الانصهار الجزئي للحواف ويتشكل معها الحواف المتعرجة الشكل .

#### **2. عملية اللحام أو اللصق Cementation :**

هي من أهم العمليات التي يتحول الرواسب المختلفة إلى صخور صلبة. فمواد اللحام أو اللصق عبارة عن معادن محمولة على هيئة مذابة بواسطة المياه المتغلغلة بين الحبيبات المكونة للرواسب – مع مرور الوقت وعندما تصل نسبة هذه المعادن المذابة إلى درجة التشبع الكيميائي، ومع وجود عوامل أخرى مثل قلة حمضية الماء، حينئذ تبدأ هذه المعادن بالتبلور بين الحبيبات وملئ كل الفراغات التي بينها (أي تقليل مسامية الصخر) الذي من شأنه أن يلصق الحبيبات مع بعضها البعض. وتعتبر معادن الكالسيوم والسليكا والمنجنيز وأكاسيد الحديد من ضمن المعادن الشائعة التي تقوم بهذه العملية.

#### **3. التبلور: Crystallization :**

تتكون في الصخور الرسوبية المتركمة كيميائياً. تنمو البلورات في هذه الصخور بطريقة متشابكة وتتداخل مع بعضها.

### ثالثاً: الصخور المتحولة

هي الصخور التي تتكون من الصخور الموجودة اصلاً، سابقة التكوين (نارية، رسوبية أو متحولة) نتيجة لتغير الظروف المحيطة مثل الضغط ودرجة الحرارة والمحاليل الكيميائية والتي تؤدي الي تغيير معالم ومكونات الصخر تغييراً جزئياً أو كلياً متمثلاً في عمليات إعادة التبلور وتكوين المعادن التحولية والصخر في حالة الصلابة.

#### تتميز مجموعة الصخور المتحولة بالخصائص الآتية:

- أ) تتكون بواسطة العمليات التحولية، وتحدث هذه عمليات في درجات حرارة مرتفعة جداً وضغط مرتفع جداً
- ب) تتكون من معادن تم إعادة تبلورها و/ أو معادن تحولية جديدة نتجت من المعادن الموجودة في الصخر الأصلي.
- ج) تتواجد دائماً علي شكل سهول وجبال منخفضة نسبياً ممتدة لمسافات شاسعة.
- د) تحتوي على أنسجة وتراكيب تحولية واضحة دالة على العمليات التحولية.
- هـ) قد تحتوي على أجزاء من الصخور الأصلية Xenoliths.

#### التحول Metamorphism:

هو مجموع عمليات التغير والتكيف التي تطرأ على الصخور الصلدة في الأعماق خارج نطاق التجوية (تحت منطقة التجوية وفوق منطقة الانصهار) استجابة لتغير الظروف الطبيعية عن تلك التي كانت سائدة أثناء عمليات التكوين، وتتمثل هذه الظروف في درجة الحرارة، الضغط والمحاليل النشطة الكيميائية والتي تعمل مجتمعة على إعادة التبلور الجزئي أو الكامل للمعادن الأصلية أو تكوين معادن أخرى أكثر ثباتاً في الظروف الجديدة مع استحداث بنيات وأنسجة جديدة.

## أنواع عملية التحول الصخري

### أولاً : نسبة لأصل التحول (طبيعة عوامل التحول):

**أ. التحول السائد بالحرارة: Heat predominant Meta.** (راجع كتاب الطالب)  
تعد الحرارة العامل الرئيس في هذا النوع من التحول ويكون للضغط تأثير ثانوي، وهو على عدة أشكال أهمها الحراري (Thermal Meta.) ويطلق هذا الاصطلاح على جميع التغييرات التي تكون فيها الحرارة العامل الرئيس، أما اصطلاح (PyroMeta.) يشير إلى التحولات التي تحدث في درجات الحرارة العالية والذي يحصل على حدود التماس المباشر ما بين الصخور المجاورة أو المحيطة بالصهارة، وكذلك يحدث في الصخور المطمورة في الصهارة. التحول الكاوي (Caustic Meta.) يطلق على التحولات التي تحدث في الصخور بصورة سريعة عند تماسها بالصهارة أو الأجسام النارية الجوفية الحارة وتؤدي إلى احتراق الصخور أحيانا أو تحولها إلى زجاج بركاني. واصطلاح التحول التماسي (Contact Meta.) يصف تحولا يحدث حول الكتل النارية الكبيرة وفي درجات حرارة منخفضة نسبيا بالمقارنة مع سابقه بحيث يحدث تغير ملحوظ بالصخر، إذ أن الانبثاقات الصخرية تزيد من الانتقالية الجزئية للمحاليل البيئية وبذلك تزيد من عملية تحول المعادن الصخرية أما اصطلاح (Pneumatolitic Meta) أو (Additive Meta) فهو تحول يسبب تحول كلي في تركيب الصخر.

### **ب. التحول السائد بالضغط الموجه (التحول التحطيمي) Directed Pressure Pred(Cataclastic). Meta**

وهو تحول ينتج عنه تشويه تحطيمي للصخر بفعل الضغط الهيدروستاتيكي الساكن أو الإجهاد، فمن المعروف أن الإجهاد يعمل عادة باتجاه معين وبوجود قليل من الحرارة أو بدونها فان تأثيرها في مثل هذه الحالة هو سحق الحبيبات الصخرية وتهشيمها وذلك من خلال التحرك القوي لكتل الصخور وتتكون قليل من المعادن التي قد تترتب بأشكال متوازية أو بهيئة بنيات شريطية متوازية على امتداد مستويات الحركة الداخلية.

### **ج. التحول السائد بالضغط الموجه والحرارة: Directed Press. & Heat Pred. Meta**

غالبا ما يتحد العاملان في عمليات تحول الصخور، فهما العاملان الأهم في عمليات تحول الصخور وإنتاج بنيات بلورية جديدة لتلك الصخور بنفس الوقت، ومن أشكاله:

- 1. التحول الديناميكي الضغطي :** عندما يكون الضغط الموجه هو العامل الرئيس المؤثر وهذا الضغط يعمل على خفض درجة انصهار المعادن موقعا، والذي ينتج بسبب حركات الرفع الأرضية المسؤولة عن تكوين الجبال ويحصل في مناطق الطيات الأرضية ويمتد لمسافات كبيرة ومن أهم الأنواع الصخرية التي تنتج عن هذا النوع من التحول صخور الشيس (Schist) والنيس (Gneiss).
- 2. تحول الحمل أو الانطمار :** يحدث بسبب الضغط الناتج عن عمود الصخور مع وجود درجات الحرارة العالية المتزايدة مع الأعماق فضلا عن تأثير المحاليل الكيميائية.
- 3. التحول الاستاتيكي :** وهو تحول واطئ يحدث عند درجات الحرارة الواطئة وبوجود الماء في الأعماق القليلة ويتداخل أحيانا مع عمليات التسخن والتحجر وحتى عمليات التلاحم.

### **د. التحول السائد بالضغط المنتظم والحرارة: Undirected Press. & Heat Pred. Meta.**

يحصل بفعل كل من درجة الحرارة والضغط ويحدث في ظروف الأعماق حيث يقل دور الضغط الموجه، وفي هذا النوع من التحول تكتمل تحولات المعادن حيث لا تظهر بنيات جديدة بصورة كبيرة. والمعادن الجديدة المتكونة بسبب هذا النوع من التحول تكون ذراتها مترابطة في حجوم أصغر وذات وزن نوعي أكبر مثل صخور

(Eclogite) و(Scharnogite) وهما ذاتا نسيج حبيبي متساوي مكونة ما يعرف بـ(Granulite)، كما يسمى هذا التحول أحيانا بالتحول الجوفي.

### ثانيا: نسبة للتركيب الكيميائي: According to Chemical Composition

تقسم عمليات التحول حسب التغييرات التي تحدث في التركيب الكيميائي للصخور نتيجة وأثناء عملية التحول إلى نوعين رئيسيين وهما:

#### **أ.التحول الاعتيادي أو المتماثل كيميائيا: Normal or Chemical Meta.**

هذا النوع من التحول يمتاز بعدم حدوث أي تغيير في التركيب الكيميائي للمعادن المكونة للصخرة قبل وبعد التحول، وكل ما يحدث هو إعادة تبلور للمعادن المكونة للصخرة الأصلية أو تغيير بسيط لهذه المعادن كما هو الحال في صخور الحجر الجيري المتبلورة إلى صخور الرخام (المرمر).

#### **ب. التحول المتغير كيميائيا أو الاحلائي أو الميتاسوماتي: Allochemical or Metasomatic. Meta.**

يرافق هذا التحول حدوث تغيير في التركيب الكيميائي الكلي للصخر، وذلك من خلال حصول إضافة أو فقدان في بعض العناصر المكونة للمعادن التي تكون الصخرة الأصلية قبل عملية التحول. وعملية الإضافة والفقدان هذه تتم بإحدى الحالات التالية:

1. الإحلال بالحالة الغازية - Metasomatism in gas phase: يتم في هذه العملية انتقال العناصر والايونات سواء كإضافة أو فقدان من خلال الغازات والأبخرة المنبعثة المرافقة للانفجارات النارية واهم هذه الغازات والأبخرة:  $H_2O, CO_2, H_2S, NO_2, SO_2$ .

2. الإحلال في الحالة السائلة - Metasomatism in liquid phase: وتتمثل هذه الحالة من خلال انتقال العناصر والايونات الذائبة في المياه الحارة ولهذا فإن هذا النوع من التحول يسمى أيضا بالتحول الحرماي (Hydrothermal Meta.)، كما وتنتقل هذه الايونات من خلال سوائل أخرى والتي تكون غالبا على شكل حوامض مثل ( $H_2CO_3$ )،  $HCl$ ،  $H_2S$  ذات الأصل البركاني.

3. الإحلال بعملية الانتشار - Diffusion: وهي عملية تتم ما بين الايونات المذابة في السوائل وما بين الصخور التي تمثل الحالة الصلبة والتي لا تحوي على أية شقوق أو تكسرات نتيجة لاختلاف تركيز الايونات بين الوسطين. إن أهمية هذا النوع من التحول (الحر مائي) هو نشوء حالة من انتقال بعض الفلزات ذات الأهمية الاقتصادية مثل النحاس أو الرصاص أو الخارصين أو الذهب أو القصدير... الخ من الفلزات او الترسيبات الاقتصادية والتي تشكل بتجمعها وتراكمه خامات معدنية اقتصادية.

### ثالثا: نسبة إلى الظروف الجيولوجية المرافقة للتحول: According to Geological Conditions

#### **أ. التحول الحراري أو التماسي: Metamorphism Thermal or Contact**

تلعب الاقحامات النارية دورا مهما في حدوث التحول التماسي للصخور وذلك من خلال تزويد الصخور المجاورة للمقحم الناري بالحرارة والمحاليل الساخنة. وتقل التأثيرات التحولية حول المقحمات النارية بصورة سريعة بعيدا عن الجسم الناري وذلك لقلة انتشار الحرارة، ولقد وجد أن الإقحام الجرانيتي يكون هالات تماسيه واضحة ومميزة في الحقل وأكثر عرضا من تلك المكونة حول الاقحامات القاعدية وصخور الجابرو مع العلم أن الصخور القاعدية والجابروية تمتلك حرارة أعظم من الصخور الجرانيتية، وأحد أهم العوامل المؤدية إلى هذا التباين في عرض الهالات التماسيه هو أن الصهير الجرانيتي المقحم خلال الصخور المجاورة يكون حاملا للسوائل والمحاليل أكثر مقارنة بالصهير القاعدي حيث يقوم الماء والمحاليل النشطة الحارة بنقل الحرارة والأيونات وبذلك تساعد في عملية التبلور. الترتيب المتسلسل في الصخور المجاورة غير المتحولة إلى صخور الهورنفلس الأكثر تحولا يسمى بالتحول التبادلي (Progressive metamorphic sequence). ويمكن

ملاحظة تسلسلات معدنية ونسيجية مهمة في هذا التسلسل ويحصل هذا النوع بصورة واضحة عادة في الصخور الطينية (Pelitic Rx.) ويكون التغير المعدني من الخارج إلى الداخل حيث يبين سلسلة التحول التقادمي للصخور المجاورة لجسم ناري و تظهر الهالات في الصخور الكلسية تغيرا على نطاق واسع لكن اقل انتظاما لان المحتوى المائي في هذه الصخور ينقل إليها بعض المواد من الصهارة والتي تؤثر على درجة انتظام الهالة والتمنطق يكون غير واضح وعلى نطاق محدود، درجات التحول للصخور المحيطة بالجسم الناري والذي هو في طور التبريد تعتمد على شكل الجسم الناري وحجم ذلك الجسم وكذلك على خواص الصخور المحيطة أو المخترقة من قبل هذا الجسم ومحتواها من السائل وكذلك نفاذيتها، فإذا كان المحتوى لهذه الصخور قليلا ونفاذيتها ليست جيدة ومستويات التطبيق فيها ليست ذات أهمية فسريران الحرارة فيها سيكون من النوع الايصالي ، أما إذا كان محتوى الماء في هذه الصخور عال عند ذلك تسمح بنقل الحرارة ونقل الحرارة في مثل هذه الحالة يصبح من نوع بطريقة الحمل أي أن الانتقال ليس للحرارة فقط وإنما للمواد المذابة في السوائل المتحركة ، ولوحظ من بعض المخططات الخاصة انه في النماذج للحرارة الموصلة المنتشرة حول جسم ناري مستقر أو ساكن أن درجة الحرارة القصوى في الصخور المحيطة بجسم ناري تكون تقريبا نصف درجة حرارة الصهير ( حرارة الجسم الناري المخترقة) ولكنها تعتمد أيضا على درجة حرارة الصخور قبل الإقحام.

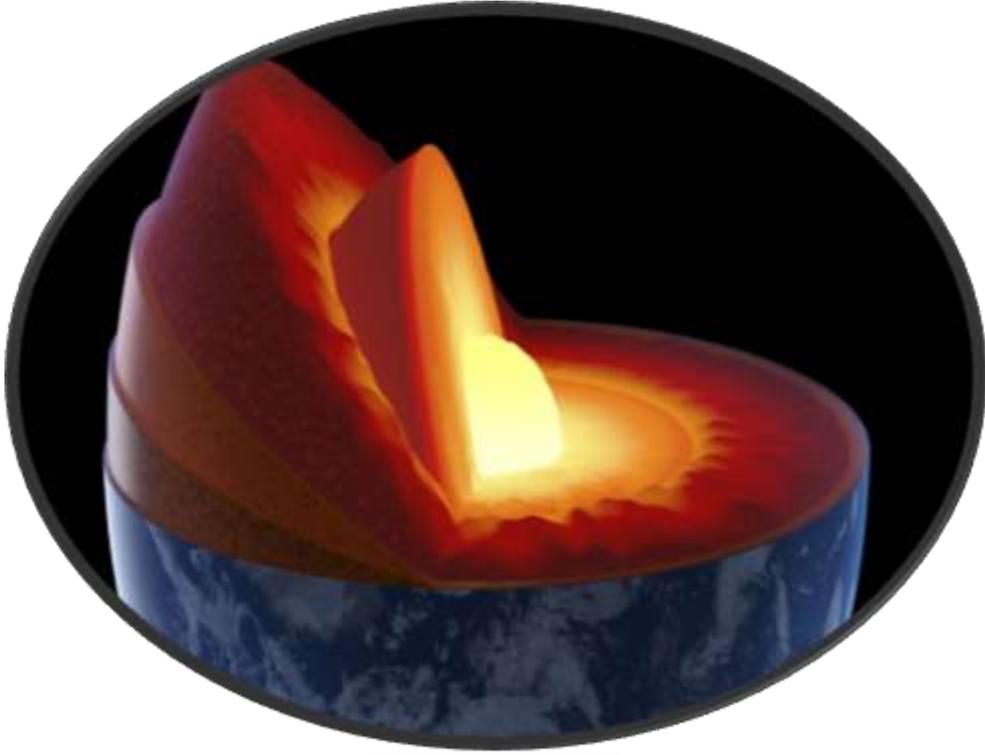
إذا كان الجسم الناري المقحم كبيرا نوعا ما فإن ارتفاع درجات الحرارة في الصخور المجاورة سوف يستمر لفترة طويلة كافية لحدوث التفاعلات الكيميائية. أما الصخور المجاورة لجسم صغير ال قواطع أو السود فقد لا تتعرض لهذه الظروف ولكنها قد تسخن وتطبخ وتصبح صلبة مع احتمالية تبلور المواد البينية الرابطة إذا كانت الصخور الصلبة. إن كثيرا من الاقحامات النارية تقوم بتزويد الصخور المجاورة بمحاليل ساخنة عند تبلورها وانخفاض درجات حرارتها حيث تستطيع هذه السوائل أن تلعب دورا مهما في تكون معادن جديدة أو مناطق تمعدن mineralization zones قد تحتوي على معادن اقتصادية.

### **ب. التحول الديناميكي أو الحركي: Dynamic Metamorphism**

هذا النوع من التحول يحدث في مناطق محدودة المساحة والحجم إذ تكون هذه الصخور محصورة ضمن منطقة ضيقة قريبة من منطقة الفوالق ومستويات الانزلاق Major faults & thrust zones، وأظهرت الدراسات أن هذا النوع من التحول يحدث في نفس الوقت الذي تحدث فيه حركة على سطوح الفوالق والانزلاقات ويؤدي الجهد الشقي العالي في نطاقات الفوالق إلى سحق الصخور على طول مستوياته. يمكن ملاحظة أن هنالك اختلافات بين العمليات المؤدية إلى التحول الحركي من جهة والعمليات المؤدية إلى التحول التماسي، وفي بعض المناطق الضحلة وفي صخور هشة نسبيا نلاحظ انه يحدث تكسر وسحق كبير لهذه الصخور بمقياس يمكن ملاحظته بالعين المجردة بينما في مناطق أكثر عمقا من القشرة الأرضية تحدث الحركة في نطاقات ضيقة على سطوح الفوالق والانزلاق فيحدث تبلور أحيانا أو يحدث انصهار جزئي في حالات أخرى وهذه العمليات بمجموعها تعطي ناتج من الصخور يسمى المتحولة حركيا أو ديناميكية. من الأدلة المهمة على حصول حركة ضمن فالتق معين أو كسر أو انزلاق معين هو وجود ما يسمى بـ (fault breccia) وهي عبارة عن نواتج تكسر الصخور بسبب عمليات الانزلاق والتصدع وفيما بعد عملية السحب، وأحيانا لا يلاحظ وجود هذه المواد بل يتواجد بدلا عنها ما يشبه المسحوق الصخري الناعم (Micro breccia) ويختلط هذا المسحوق مع أرضية الصخور. عندما تكون الحركة كبيرة وعلى مساحة واسعة وعمق لا بأس به بحيث أن جدران الفالق سوف تضغط على بعضها البعض الآخر فالتحول سيكون كبير جدا في هذه الحالة وسيشتمل كذلك على تحول الأجزاء المتكسرة والأرضية الموجودة على السطح حيث يحدث تغير موضعي في الصخور المجاورة، فمثلا الصخور الكتلية (الكوارتزيت) والحجر الجيري تحت ظروف معينة تعطي ناتجا معيناً دقيق الحبيبات تسمى بالماليونائيت (Mylonite) الذي يتكون من حبيبات تشبه العدسات مع الصخور المحيطة بها وهو دليل على التحول المضطرب

أو التشويهي. أما إذا تكونت الأجزاء المتكسرة من الصخور المجاورة من نوع واحد من البلورات فإن ذلك يعطي الصخور نسيجاً يسمى (porphyritic or porphyroblast texture)، أما إذا كانت الصخور المجاورة عبارة عن shale أو صخور متحولة أصلاً مثل slate or schist تحتوي على المعادن الوردية Mica minerals فإن هذه المعادن ستترتب بشكل مواز لسطح الكسر فتكون ما يسمى Phylonite أو tectonic slate. ومعناها أن هذه الصخرة تأثرت بالحركة النسبية للفاالق والمعادن تكون موجهة باتجاه مواز لمستوى الفالق، وفي هذه الحالة فإن هذه الصخرة لا تمتلك البنية السابقة. porphyritic tex لأنها تكون متورقة باتجاه وليست حبيبية. صخور المائلونايت والفائلونايت تمتلك نسيجاً تخطيطياً Lineation واتجاه هذا التخطيط بالمجهر يعطينا فكرة عن اتجاه الحركة خلال فترة تكون كلا النوعين من الصخور. وتتحكم بالتحول الحركي عدة عوامل أهمها شدة واتجاه الحركة على سطح الفوالق والتي تؤدي إلى ما يسمى بالتشويه Distortion وكذلك عوامل الضغط والحرارة ومكونات الصخر الأصلي.

# العمليات الداخلية



## أولاً: العمليات الداخلية والصفائح التكتونية

تصاب القشرة الأرضية بتقلبات باطنية، التي تحدث ظاهرة الالتواء والانكسار وياضطرابات فجائية تتمثل في الزلازل والبراكين وغيرها من أنواع الاضطرابات الأرضية السريعة التي يشهدها كوكب الأرض حتى وقتنا الحالي، وقد قسمت الحركات التكتونية التي تصيب قشرة الأرض إلى نوعين رئيسيين:

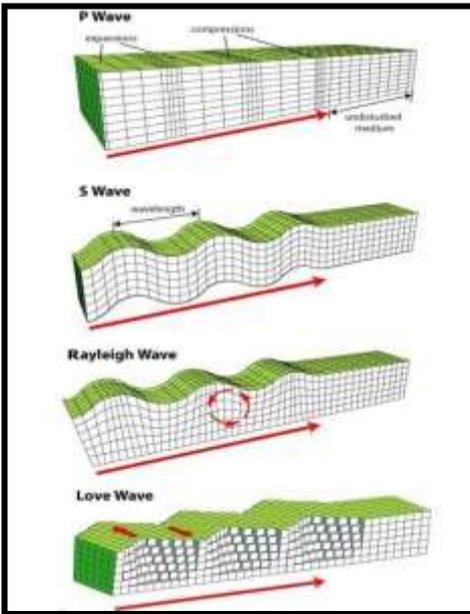
1. حركات فجائية سريعة تتمثل في الزلازل والبراكين.
2. تقلبات باطنية لا تظهر آثارها إلا على مدى أزمنة طويلة. (نظريات الانجراف القاري وتكتونية الألواح)

### (أ) الزلازل

الزلازل هزات أرضية فجائية تحدث في مناطق معينة من القشرة الأرضية بسبب انتقال موجات زلزالية في الصخور. وتحدث بسبب انكسار الصخور انكساراً مفاجئاً بسبب تعرضها للضغط أو الشد أو الازدواج الشديد الذي يوصلها إلى حد الإجهاد الذي تتحرر منه بالكسر وتنطلق طاقة هائلة. وللزلازل مركزان: المركز العميق الموجود في داخل القشرة الأرضية وحدث عنده تكسر الصخور ويعرف بـ (بؤرة الزلزال focus) ويمتد على محوره إلى سطح الأرض ليشكل المركز السطحي الذي يقع فوق سطح الأرض ويعرف بـ (فوق البؤرة أو المركز السطحي للزلزال epicenter) الذي تنطلق منه حركة سطح الأرض نحو الأطراف من ذلك المركز السطحي. وتكون الزلازل شديدة كلما اقتربنا من مركز الزلزال السطحي وتقل قوة الزلزال كلما ابتعدنا عن مركز الزلزال.

### الموجات الزلزالية التي تسبب الزلازل وأنواعها (شكل 2):

(1) **الموجات الأولية (Primary Waves)** أو الطولية أو الموجات التضاغطية وبالرجوع لكتاب المعلم (صفحة 27) فإن هذه الموجات تتميز بأنها ذات ذبذبات قصيرة، وتصل إلى أجهزة رصد الزلازل قبل غيرها من الموجات الأخرى، كما أنها عند وصولها إلى سطح الأرض قادمة من العمق يتحول جزء منها إلى موجات صوتية في الهواء يمكن للإنسان سماعها، ويرمز لها بالرمز (P).



شكل (2)

(2) **الموجات الثانوية (Secondary Waves)** وتسمى بموجات القص أو القصيرة أو الإزاحة، وتعمل مثل الموجات الكهرومغناطيسية وتنتقل في الأجسام الصلبة فقط عن طريق الاهتزاز من جانب إلى جانب آخر كأنها تقوم بقص الصخر أو إزاحته في اتجاه عمودي على اتجاه حركتها وهي ذات سرعات منخفضة، وهي بذلك أقل سرعة من الموجات التضاغطية، وتسمى الموجات المستعرضة أحياناً بالموجات الثانوية، ويرمز لها بالحرف (S).

(3) **الموجات السطحية (Surface Waves)** وتنشأ هذه الموجات الزلزالية داخل القشرة التي تكون في العادة غير متجانسة وهذه الموجات بطيئة نسبياً وهي أبطأ أنواع الموجات الزلزالية وتصل إلى أجهزة التسجيل بعد الموجات الأولية والثانوية، ولا تستعمل في الدراسات الاعتيادية للزلازل. وتعد الموجات السطحية الأكثر تدميراً، وهي تنتقل بالقرب من سطح الأرض دون أن تمر إلى جوفها.

وتقسم الموجات السطحية إلى نوعين هما:

أ. **موجة لف (Love wave):** وتم تسميتها نسبة إلى العالم لف الذي اكتشفها وينتج عنها ذبذبات تشبه ذبذبات الموجة الثانوية ولكن في الاتجاه الأفقي فقط وهي تؤثر بصفة خاصة على أساسات المنشآت.

ب. **موجة رايلي (Rayleigh wave):** وتمت تسميتها نسبة إلى العالم السويدي رايلي الذي اكتشفها وهي تشبه أمواج البحر الدائرية وفي تحركها للماء، وتعمل هذه الموجة على تحريك الأشياء في المستويين الأفقي والرأسي في اتجاه عمودي على اتجاه الموجة، أي تجعل سطح الأرض يموج كأموج المحيط.

## أنواع الزلازل

هنالك أربعة أنواع من الزلازل حسب أسباب حدوثها:

(أ) زلازل تكتونية

(ب) زلازل بركانية

(ج) زلازل مستحثة

(د) زلازل انهيارية

وقد لاحظ العلماء من خلال حساباتهم العديدة للأعماق التي تقع عليها المراكز البورية للزلازل أن هناك ثلاثة أنواع من الزلازل حسب العمق:

(1) الزلازل الضحلة (2) الزلازل المتوسطة العمق (3) الزلازل العميقة



شكل (3)

وتحدث الزلازل في البحار كما تحدث على اليابسة، وهي تحدث غالباً نتيجة انخساف قسم كبير من قاع المحيط وهذا ما يؤدي أحياناً إلى اختفاء بعض الجزر. وتتلاءم الزلازل مع شدة انحدار الشواطئ ووجود الحفر المائية العميقة، وتسبب الزلازل الكوارث للمناطق القارية وللمدن الساحلية، حين تكون بحرية لأنها تؤثر في مياه البحار وتجعلها تهتز وتشكل أمواجاً عالية تبلغ 30 متراً في ارتفاعها وتعرف هذه الأمواج بـ (تسونامي). (شكل 3)

**التأثير الناتج عن الزلازل:** تتعرض أجزاء قشرة الأرض كثيراً لفعل

الزلازل بحيث يمكن القول بأن المناطق الأكثر تعرضاً لها قد تحدث فيها الزلازل بمعدل واحد لكل بضعة دقائق، لكن أغلب الزلازل لا يشعر بها الإنسان لأنها خفيفة غير محسوسة ولا تسجلها سوى أجهزة الرصد السيزموجرافية ولا يُشعرُ بها إلا في المناطق المزدحمة بالسكان والمنشآت العمرانية المختلفة. ويحدث عن الزلازل العميقة تأثيرات عديدة:

1. اشتعال الحرائق
2. تدمير المنشآت العمرانية
3. الموجات الزلزالية التسونامي tsunami
4. الانزلاقات الأرضية الزلزالية
5. تشقق سطح الأرض

## (ب) البراكين

يعرف البركان بأنه المكان الذي تخرج أو تنبعث منه المواد المصهورة الحارة مع الأبخرة والغازات المصاحبة لها على عمق من القشرة الأرضية ويحدث ذلك خلال فوهات أو شقوق. وتتراكم المواد المنصهرة أو تنساب حسب نوعها لتشكل أشكالاً أرضية مختلفة منها التلال المخروطية أو الجبال البركانية العالية.

### **التنبؤ بوقت حدوث النشاطات البركانية :**

- هناك بعض الأحداث والشواهد التي يمكننا الاستدلال منها على احتمال ثوران البراكين وهي :
- 1- حدوث الزلازل التي قد تسبق ثوران البراكين بساعات أو بسنين أحياناً.
  - 2- التغير في صفات وسلوك الينابيع الحارة والفوارات الأرضية والفوهات والبحيرات البركانية.
  - 3- التغير في قوة واتجاهات المجالات المغناطيسية للأرض.
  - 4- زيادة الحرارة المنبعثة في المنطقة ويمكن الاستدلال عليها من التصوير بالأشعة تحت الحمراء.
  - 5- التحول في القوى الكهربائية المحلية.
  - 6- السلوك المتوتر لدى بعض أنواع الحيوانات.

### **التوزيع الجغرافي للبراكين:**

الأول: دائرة الحزام الناري (حلقة النار) وتقع في المحيط الهادي. وجد أن حوالي ثلاث أرباع براكين العالم تتوزع على حافة المحيط الهادي.

الثاني: يبدأ من منطقة بلوشستان إلى إيران فآسيا الصغرى، فالبحر الأبيض المتوسط ليصل على جزر أزور وكناري ويلتف إلى جبال الأنديز الغربية في الولايات المتحدة.

### **دور الانفجار البركاني في التأثير على مناخ الأرض:**

لوحظ أن سلوك طبقة الأوزون تحت تأثير الغازات البركانية حساس للغاية لتركيز مركبات الكلور بالإضافة لمستويات عالية من صنع الإنسان، حيث أن مركبات الكلور تؤدي إلى انخفاض في تركيز الأوزون وبالتالي زيادة في حجم ثقب الأوزون. من جانب آخر فقد أوضحت المشاهدات الحقلية أن الرماد الدقيق المنبثق من البراكين والغازات المتصاعدة قد تحجب أشعة الشمس بدرجة قد تؤدي إلى وجود طقس بارد في المناطق الدافئة.

### (ج) فرضية الانجراف القاري

كانت العقبة الأساسية لقبول فرضية الانجراف القاري هي تفسير الميكانيكية التي تحركت بها قارات مكونة أساساً من الصخور الجرانيتية فوق قشرة محيطية بازلتية ذات كثافة أعلى. (راجع كتاب الطالب)

#### دلالات الانجراف القاري:

أ. التشابه بين التتابعات الصخرية وسلاسل الجبال: إذا كانت القارات قد اتصلت ببعضها يوماً ما، فإنه من المتوقع أن تتماثل الصخور وسلاسل الجبال التي تتبع نفس العمر في المناطق المتقابلة على القارات المتباعدة إلى بعيد. وهذا هو الحال في قارة الجوندوانا، حيث تتماثل تقريباً تتابعات الصخور البحرية وغير البحرية الجليدية التي تتبع العصر البنسلفاني إلى العصر الجوراسي، في كل قارات الجوندوانا الخمس، مما يشير إلى أن تلك القارات كانت ملتحمة ببعضها يوماً ما.

#### ب. دليل من المثالج:

لقد غطت مثالج glaciers ضخمة مساحات قارية كبيرة في نصف الكرة الأرضية الجنوبي في حقبة الحياة القديمة (الباليوزوي) المتأخر. وتدل الحفريات والصخور الرسوبية التي تتبع العمر نفسه في نصف الكرة الأرضية الشمالي على عدم وجود أي أدلة على التلج، وإنما تدل الحفريات النباتية في الفحم على أن مناخ نصف الكرة الشمالي كان مناخاً مدارياً خلال الزمن نفسه الذي سادت فيه المثالج في نصف الكرة الأرضية الجنوبي. فإذا لم تكن القارات قد تحركت في الماضي فكيف تكونت مثالج قارية على مساحات شاسعة بالقرب من خط الاستواء. ولكن إذا أعيد تجميع القارات في كتلة واحدة بحيث يكون جنوب أفريقيا عند القطب الجنوبي، فإن اتجاه حركة المثالج القارية في حقبة الحياة القديمة المتأخر يمكن تفسيرها.

#### ج. أدلة من الحفريات:

تقدم الحفريات الحيوانية دليلاً قوياً على الانجراف القاري. ويمثل جنس ميزوسورس Mesosaurus وهو من زواحف الماء العذب التي تتواجد حفرياتها في صخور العصر البرمي في مناطق محددة في البرازيل وجنوب أفريقيا فقط ولا يوجد في مناطق أخرى من العالم. ونظراً للاختلاف البين في فسيولوجية حيوانات المياه العذبة عن فسيولوجية حيوانات المياه المالحة، فإنه من الصعب تخيل كيف يعوم زاحف ماء عذب عبر المحيط الأطلنطي ليجد بيئة ماء عذب أخرى مشابهة تقريباً لبيئته الأصلية. وبافتراض أن الميزوسورس قد عبر المحيط الأطلنطي فإن بقاياها يجب أن تكون منتشرة في صخور قاع هذا المحيط، إلا أن قاع المحيط الأطلنطي لا يحتوي على أي بقايا للميزوسورس مما يؤكد أن هاتين القارتين كانتا متحدتين في قارة واحدة.

#### د. المغناطيسية القديمة والتجوال القطبي:

إن موقع القطبين المغناطيسيين للأرض يقابلان تقريباً موقع القطبين الجغرافيين للأرض. وعندما تبرد الصحارة فإن المعادن الحاوية للحديد ترتب نفسها في اتجاه المجال المغناطيسي للأرض عندما تصل تلك المعادن إلى نقطة كوري \* Curie point.

**\*نقطة كوري هي الحرارة التي لا يستطيع المعدن الاحتفاظ بأية مغناطيسية دائمة فوقها.**

## (د) نظرية تكتونية الألواح

تقوم نظرية تكتونية الألواح على نموذج بسيط للأرض يفترض أن الغلاف الصخري الصلب للأرض والذي يشمل كلا من القشرتين المحيطية والقارية بالإضافة إلى الجزء العلوي للوشاح والموجود أسفل القشرة الأرضية، يتكون من عدد من القطع الصخرية المختلفة الحجم، والتي تسمى ألواحاً plates. وتتكون ألواح الغلاف الصخري من سبعة ألواح كبيرة، كما أمكن تمييز تسعة من الألواح الأصغر حجماً واللويحات والتي تتراوح في الحجم من متوسطة إلى صغيرة نسبياً. وعلى الرغم من أن البحر الأحمر وخليج عدن لا يحدث عليهما زلازل الشكل كبيرة، إلا أن وجودهما (كنواة لمحيطات في المستقبل) هو المسئول عن دفع اللوح العربي إلى اللوح الآسيو أوروبي، مما تسبب في نشأة عديد من الزلازل المدمرة هناك. وقد أدى هذا التصادم إلى نشأة جبال زاغروس وطوروس، وتكون عديد من الصدوع وحدث زلازل مدمرة مميزة لهذا الجزء من العالم. ويوجد الغلاف اللدن (الأسثينوسفير) أسفل الغلاف الصخري، والذي يكون أكثر سخونة وضعفاً. ويعتقد أن حركة الألواح التي تعلقو الغلاف اللدن تنشأ بسبب وجود نظام انتقال حراري يشمل تياراً صاعداً للمواد الساخنة والتيار المستعرض وتياراً هابطاً للمواد الباردة. وعندما تتحرك الألواح فوق الغلاف اللدن، فإنها تنفصل غالباً عند الحيويد المحيطية، بينما تصطدم وتندس في مناطق أخرى مثل الخنادق المحيطية، حيث تعود مرة أخرى إلى الوشاح. وتلقى نظرية تكتونية الألواح حالياً قبولاً واسعاً من معظم الجيولوجيين، بسبب الأدلة المتعددة التي تعتمد عليها، كما أنها نظرية شاملة تفسر عديداً من الملامح والأحداث الجيولوجية والتي يبدو أنها غير مرتبطة ظاهرياً.

### حدود الألواح:

تتحرك الألواح بالنسبة لبعضها البعض، بحيث يمكن التمييز بين ثلاثة أنواع من حدود الألواح وهي الحدود المتباعدة والمتقاربة والتحويلية ويسبب تفاعل الألواح مع بعضها عند حدودها معظم النشاط الزلزالي والنشاط البركاني على الأرض وكذلك عمليات بناء الجبال.

### (1) الحدود المتباعدة: divergent plate boundaries

توجد حدود الألواح المتباعدة، والتي تعرف أيضاً بمراكز الانتشار spreading centers، عندما تنفصل الألواح عن بعضها ويتكون غلاف صخري محيطي جديد، على امتداد محور حيويد وسط المحيط mid-oceanic ridges. وتتميز الحيويد المحيطية بطوبوغرافية وعرة متجعدة وتضاريس مرتفعة على امتداد كسور كبيرة (صدوع عادية) مع هبوط قاع الوادي الممتد على قمة الحيويد ونشاط زلزالي وسريان حراري heat flow عالي وانسيابات بازلتية أو لابة وسائدية. وتتواجد أيضاً الحدود المتباعدة تحت القارات خلال المراحل الأولى لتكسر القارات وعندما تصعد الصحارة تحت قارة، فإن القشرة الأرضية ترتفع أولاً وتتمدد ويقل سمكها نتيجة التحدب، حيث تتكون كسور ووديان خسف rift valleys وخلال هذه المرحلة، تتداخل الصحارة في الصدوع والكسور لتكون سدود موازية وقواطع وانسيابات من اللابة.

**(2) الحدود المتقاربة: convergent plate boundaries**

عند حدود الألواح المتقاربة وعندما يتصادم لوحان، فإن الحافة المتقدمة لأحد اللوحين تهبط عند الحد المتقارب تحت حافة اللوح الآخر نتيجة عملية الاندساس subduction. وبينما يتحرك اللوح المندس إلى أسفل في الغلاف اللدن (الأسثينوسفير)، ترتفع درجة حرارته وينصهر في الوشاح في النهاية. وتعرف المنطقة المقوسة للنشاط الصهاري باسم قوس صهاري magmatic arc، حيث يمتد هذا القوس موازيا للخدق المحيطي وتصعد الصهارة إلى السطح لتكون سلسلة من البراكين. ولا يحدث الاندساس عندما يكون كل من اللوحين المتقاربين قاريين، بسبب أن كثافة القشرة الأرضية ليست عالية بدرجة كافية لتندس في الوشاح. وتتميز حواف الألواح المتقاربة بالتشوه والنشاط البركاني وبناء الجبال والتحول والنشاط الزلزالي وتكون رواسب معدنية مهمة. ويمكن تمييز ثلاثة أنواع من حدود الألواح المتقاربة وهي:

\***الحدود المحيطية-المحيطية:** عندما يتقارب لوحان محيطيان، يندس أحدهما تحت الآخر على امتداد حد لوح محيطي-محيطي، ويهبط اللوح المندس لأسفل ليكون الجدار الخارجي للخدق المحيطي.

\***الحدود المحيطية-القارية:** عندما يتقارب لوحان أحدهما محيطي والآخر قاري، فإن اللوح المحيطي الأكثر كثافة يندس تحت اللوح القاري على امتداد "حد لوح محيطي-قاري"، ويكون اللوح المحيطي الهابط الجدار الخارجي للخدق المحيطي.

\***الحدود القارية-القارية:** عندما يتقارب لوحان قاريان على امتداد حد لوح قاري-قاري فإن أحد اللوحين قد ينزلق جزئياً تحت الآخر، ولكن لا يندس أي من اللوحين بسبب كثافتهما المنخفضة وتساويهما في السمك الكبير وبيقيا طافيان. ويتكون نطاق عريض يتميز بالتشوه الشديد عند حد التصادم، حيث تطحن القارتان كلا منهما الأخرى.

**(3) الحدود التحويلية: transform boundaries**

تعتبر الحدود التحويلية أحد أنواع حدود الألواح. وتوجد تلك الحدود على امتداد الصدوع الناقلة، حيث تنزلق الألواح أفقياً بالنسبة لبعضها البعض موازية تقريباً لاتجاه حركة اللوح. وبالرغم من أنه لا يتكون أو يستهلك غلاف صخري على امتداد الحد الناقل، إلا أن الحركة بين اللوحين تتسبب في وجود نطاق من الصخور المحطمة بشدة، وعديد من الزلازل ضحلة البؤرة. والصدوع الناقلة هي صدوع رأسية تقريباً وعلى الرغم من أن معظم الصدوع الناقلة تقع في قشرة محيطية وتكون مميزة بنطاقات تكسير، إلا أنها قد تمتد أيضاً في القارات. وتشمل صدع سان اندرياس في كاليفورنيا أحد الأمثلة المعروفة للصدوع الناقلة، حيث يفصل هذا الصدع بين لوح المحيط الهادي ولوح أمريكا الشمالية. ويمثل نطاق صدع البحر الميت المقابل لصدع سان اندرياس في النصف الشرقي للكرة الأرضية. ويمتد نطاق صدع البحر الميت عبر فلسطين، مما أدى إلى طوبوغرافية مميزة للمنطقة التي تضم أحواض خليج العقبة والبحر الميت وبحر الجليل.

## ثانياً: التراكيب الجيولوجية الثانوية (Secondary Geologic Structure)

تعتبر عمليات الطي والتصدع من أكثر أشكال التشوه شيوعاً في الصخور الرسوبية والناارية والمتحولة، ولكنها تكون أوضح ما يمكن في الصخور الطباقية (سواء كانت رسوبية أو بركانية).

### الطيّات الصخرية (الالتواءات – الطيات) Folds

تمثل الطيات والكسور أدلة على تشوه الصخور، حيث يقوم الجيولوجيون بإعداد خرائط لها في الحقل، وتؤدي دراسة مثل هذه التراكيب إلى الوصول إلى نظرة شاملة عن القوى التي نشأت من تكتونية الألواح. ويعني مصطلح طية Fold أن صخوراً كانت في الأصل أفقية قد تعرضت للطي لاحقاً.

أجزاء الطية: (راجع كتاب الطالب ودليل المعلم)

- (1) قمة الطية (Crest)
- (2) قاع الطية (Trough)
- (3) المستوى المحوري: (Axial Plane)
- (4) جناح الطية (Fold Limb)
- (5) محور الطية: (Axis Fold)
- (6) زاوية ميل الجناح واتجاهه .
- (7) طول الطية: المسافة التي تمتد فيها الطية مع مضرب الطبقات.
- (8) عرض الطية: المسافة التي تشكلها الطية في اتجاه ميل الطبقات.

### تصنيف الطيات

(أ) على أساس مقدار ميل الجناحين:

#### طية متماثلة Symmetrical Fold:

تنشأ عندما يميل جناحا الطية (المحدبة والمقعرة) بزواوية ميل متساوية في الاتجاهين ويكون المستوى المحوري لكل منهما رأسياً وتتكون عادة مثل هذه الطيات عندما تتعرض الطبقات لضغط متساو من الجانبين.

#### طية غير متماثلة Asymmetrical fold:

تنشأ عندما يميل كل جناح من جناحي الطية (المحدبة والمقعرة) بزواوية ميل تختلف عن الأخرى، وبذلك يصبح المستوى المحوري للطية مائلاً عن المستوى الرأسي. وتتكون هذه الطية عندما يكون الضغط من أحد الجانبين أكثر من الآخر فيكون ميل أحد الجناحين أكبر من ميل الآخر.

#### طية مضطجة (نائمة) Recumbent Fold:

تنشأ عندما يصبح جناحا الطية في وضع أفقي تقريباً نتيجة الضغط المتزايد ويكون المستوى المحوري لهذه الطية أفقياً حيث تصبح الطبقات القديمة فوق الطبقات الأحدث منها. ويكثر وجود الطية المضطجة في مناطق التصادمات القارية ن مثل جبال الألب والهمالايا.

• **طية مقلوبة Overtured Fold:** هي تلك التي يزيد فيها مقدار عدم التماثل حتى يزيد الميل في أحد جناحيها على 90°، وتكون الطبقات المكونة لأحد الجناحين مقلوبة.

• **القبة Dome:** هذا التركيب تميل فيه الطبقات من جميع الاتجاهات بعيدا عن نقطة متوسطة تسمى مركز القبة.

• **الحوض Basin:** هي الطية التي تميل فيها الطبقات إلى الداخل في جميع الاتجاهات نحو نقطة متوسطة تسمى مركز الحوض، وهي عكس القبة.

### **(ب) على أساس اتجاه الجناحين:**

أ- **طية محدبة Anticline**

ب- **وطية مقعرة Syncline** (راجع كتاب الطالب)

### **القباب الملحية salt domes**

هي عبارة عن مظاهر تركيبية اختراقية في الطبقات الجيولوجية العميقة تأخذ شكلاً قبابي، تشبه فطر عيش الغراب و. تتكون نتيجة اختراق صخور المتبخرات، وبصورة خاصة ترسبات أملاح الهاليت للصخور الرسوبية التي تعلوها والتي يمكن أن تستمر في حركتها لتخترق سطح الأرض أو تبقى تحتها.

### **الصدوع (الانكسارات) Faults:**

تميل صخور القشرة الأرضية، خاصة تلك القريبة من السطح، لأن تكون قصفة، ونتيجة لذلك فإن الصخور عند سطح الأرض أو بالقرب منها تقطع بعدد لا نهائي من الكسور تسمى فواصل أو صدوع. ويقصد بتعبير الصدوع هو حدوث كسر في الطبقات الصخرية بحيث تصحبه زحزحة بعض أجزاء الطبقات رأسياً أو أفقياً وتتأثر هذه الحركات الصدعية التكتونية بفعل قوى الشد والضغط المختلفة التي تتعرض لها صخور قشرة الأرض.

### **أجزاء الصدع وعناصره:** (راجع كتاب الطالب)

إذا تعرضت طبقة ما من الصخور لحركات التصدع، وتزحزحت بعض أجزائها رأسياً على طول سطح الصدع لأمكن أن نميز العناصر الآتية:

أ. مستوى سطح الفالق.

ب. الحائط العلوي.

ج. الحائط السفلي.

د. رمية الفالق.

هـ. الزحف الجانبي.

و. ميل الصدع.

**أنواع الصدوع:**

إن أهم ما يميز الحركات الصدعية هو كيفية زحزحة أجزاء الطبقات أفقياً أو رأسياً على طول الصدوع، ووفقاً لذلك يمكن أن نميز الصدوع الآتية:

**(أ) الصدوع العادية:**

ينتج أساساً عن عمليات شد الطبقات الصخرية أكثر من تكوين الصدع بفعل الضغط ومن ثم قد يعرف باسم صدع الشد، ونتيجة لرمي الطبقات إلى أسفل فإن الحائط المعلق ينخفض منسوبه عن الحائط الأساسي أو الأسفل.

**(ب) الصدوع المعكوسة:**

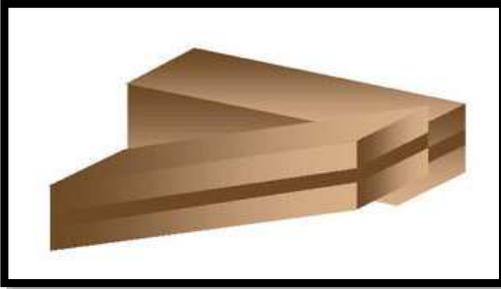
تنتج الصدوع المعكوسة من الإجهادات التضاغطية، حيث يتحرك الحائط العلوي نسبياً إلى أعلى بالنسبة للحائط السفلي، وتؤدي حركة الصدع المعكوس إلى تقصير القشرة الأرضية وزيادة سمكها.

**(ج) الصدوع مخرية الانزلاق:**

وهو صدع تكون الحركة الأساسية فيه أفقية، ولذلك فإنها تكون موازية لمضرب الصدع، وتتكون الصدوع مخرية الانزلاق نتيجة إجهادات القص أو الانزلاق. ومن أمثلتها المشهورة صدع سان اندرياس في كاليفورنيا، وصدع البحر الميت في المنطقة العربية.

**(د) الصدوع الدورانية:**

يحدث هذا النوع من الصدوع عن تأثر بعض الطبقات بالصدوع بحيث تتعرض أجزاء من الطبقة للرمي إلى أعلى وتهبط أجزاء أخرى منها إلى أسفل. وعلى أساس اختلاف أشكال مجموعات معينة متجاورة من الصدوع وتجاور عدة أسطح صدوع مع بعضها البعض أو أنها تكون جميعاً ظاهرة بارزة على سطح الأرض. (شكل 4)

**يتميز الجيولوجيون مجموعات الصدوع المركبة الآتية:**

**أ-الصدوع السلمية:** إذا كانت أسطح الصدوع العادية المتجاورة متوازية ورمياتها في اتجاه واحد، فيؤدي ذلك إلى رمي الطبقات إلى أسفل على شكل مصاطب أو مدرجات سلمية، ويطلق على مثل هذا النوع من الصدوع اسم الصدوع السلمية.

**ب-الصدوع المكونة للظهور الصدعية:**

وهي عبارة عن صدوع مركبة تحدث في كتلة ضخمة من الطبقات الصخرية، وتؤدي إلى رفع القسم الأوسط منها وبروزه بمنسوب مرتفع فوق أجزاء سطح الأرض المجاورة.

**ج-الصدوع المكونة للأغوار الصدعية:**

وهي أيضاً من مجموعة الصدوع المركبة التي تنشأ في طبقات صخرية عالية السمك ونتيجة لحركات شد وضغط عنيفين وهي تشبه الصدوع المكونة للظهور الصدعية لكن بدلاً من أن يرتفع القسم الأوسط إلى أعلى نجده في هذه الحالة يهبط إلى أسفل مكوناً منطقة حوضية صدعية وترتفع الطبقات الصخرية الأخرى إلى أعلى على جانبي الحوض الصدعي.

## الفواصل Joints

تنتشر الفواصل في كل المنكشفات تقريبا، والتي تتكون نتيجة تأثير القوى التكتونية، وتنكسر الصخور بسهولة أكثر عندما تتعرض للشد أو الضغط، مثل أية مادة قصفة أخرى، عند نقاط الضعف، وقد تكون نقاط الضعف عبارة عن شروخ دقيقة أو كسرات من مواد أخرى أو حتى أحافير، وتؤثر القوى الإقليمية التي تضم قوى التضاعف والشد والقص على الصخور، وعندما تتلاشى تلك القوى بعد ذلك فإنها تترك أثرها في الصخور في صورة مجموعة من الفواصل، وقد تتكون الفواصل أيضا بأسباب غير تكتونية، نتيجة تمدد وانكماش الصخور عندما تزيل التعرية طبقات من فوق السطح، وتسبب إزالة هذه الطبقات تقليل الضغط الحابس على الصخور تحتها، مما يسمح للصخور لأن تتمدد وأن تتجزأ عند نقاط الضعف، وقد تتكون الفواصل في اللابة نتيجة انكماشها أثناء تبردها وانخفاض درجة حرارتها، ومن أمثلة ذلك الفواصل العمدانية والتي توجد في البازلت، وتؤدي إلى تقسيم الصخر إلى أعمدة أو منشورات طولية، وليس من الضروري تكوين فواصل عمدانية في البازلت، فهناك طفوح بازلتية تقطعها فواصل عادية. (راجع كتاب الطالب)

# العمليات الخارجية



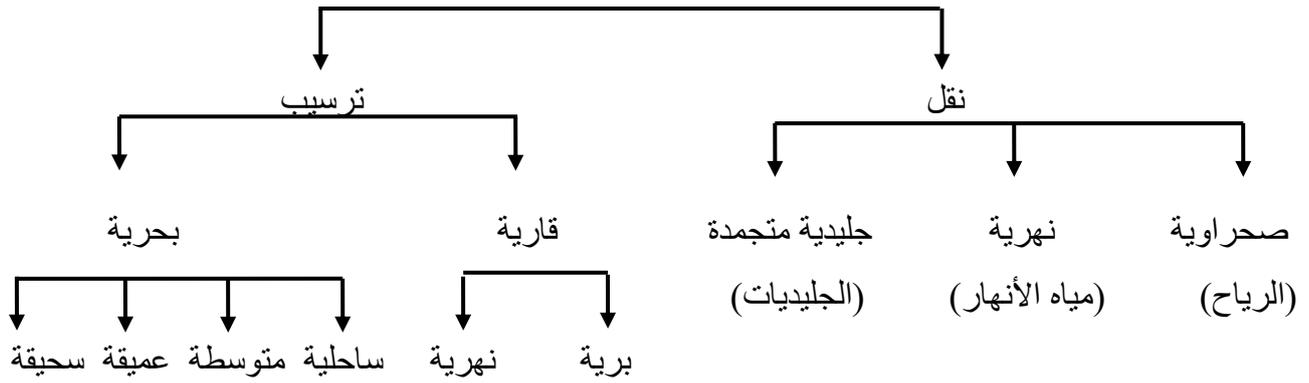
## العمليات الخارجية المؤثرة على الصخور السطحية للقشرة الأرضية

العمليات الخارجية هي تلك العمليات التي تؤدي إلى تحطيم وتفتيت الصخور المكونة لتضاريس القشرة الأرضية، وإلى نقل مخلفات هذا الحطام من المناطق المرتفعة وترسيبه في المناطق المنخفضة من سطح الأرض. والعمليات التي تؤدي إلى تحطيم وتفتيت الصخور تعرف بإسم التجوية **Weathering** وهي تنتج من تأثير الغلافين الجوي والمائي على الصخور، وتلي التجوية في محو التضاريس، عمليات إزالة نواتج التجوية من فوق سطح منطقة معينة، وتعرف عمليات الإزالة باسم التحات **Erosion** وينتج التحات من تأثير الجاذبية الأرضية وعوامل النقل على الفتات الصخري أو التربة.

### التمييز بين بينات النقل والترسيب في دراسة العمليات الخارجية:

عند دراسة الأسطح التحاتية يجب التركيز على مفهوم التحات وعلى عوامل النقل من حيث تأثيرها على هذه الأسطح. أما عند دراسة الصخور الرسوبية والرواسب، فيجب التركيز على مفهوم عوامل النقل من حيث تأثيرها على الرواسب أثناء عملية النقل. ولكل نوع من أنواع عوامل النقل بيئة خاصة يسود فيها هذا العامل بصفة خاصة دون العوامل الأخرى، ويمكن تسمية هذه البيئات ببيئات النقل.

وقد قام العلماء بتقسيم البيئات إلى:



### بيئات الترسيب القارية البرية:

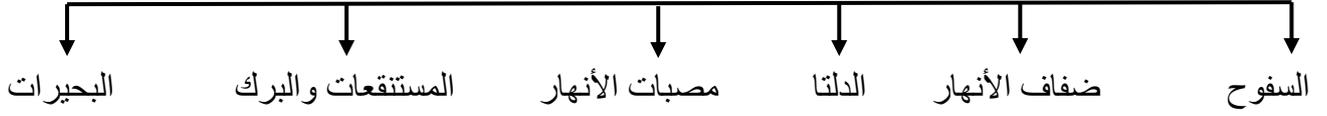
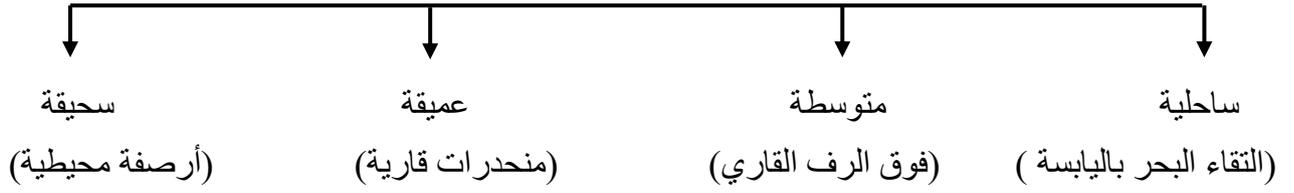
تتراكم الرواسب في هذه البيئات بكميات كبيرة في المناطق المنخفضة داخل المناطق القارية وتسمى الأحواض القارية **Inland Basins**

### بيئات الترسيب القارية البرية:



**بيئات الترسيب القارية النهرية:**

هي بيئات قارية لكن مائية وتنتشر هذه البيئات على طول مجاري الأنهار.

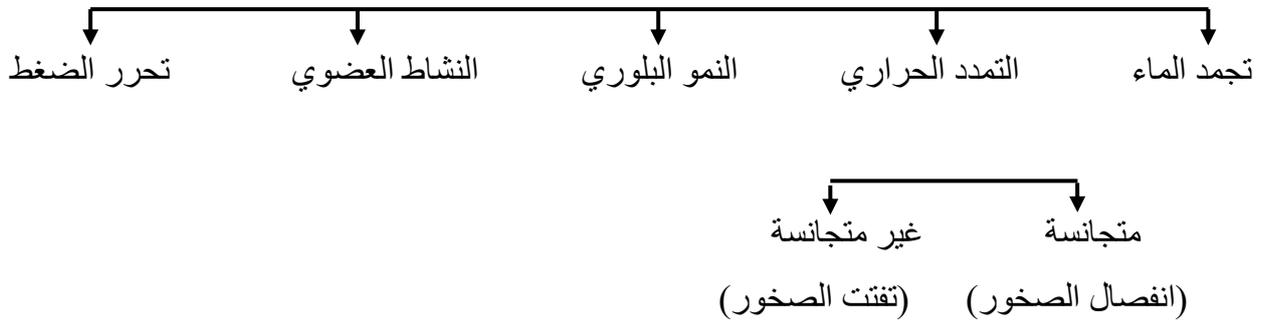
**بيئات الترسيب البحرية:**

## أولاً: التجوية Weathering

هي عمليات تفتت وتحلل الصخور السطحية بواسطة العوامل الجوية (السائدة في الغلافين المائي والغازي) والمؤثرة في منطقة معينة

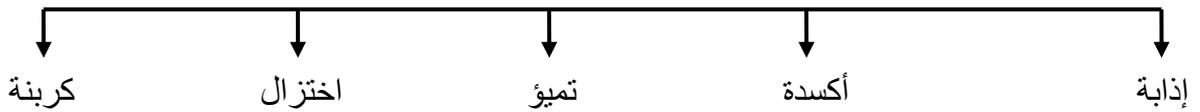


**التجوية الميكانيكية: Mechanical Weathering:** هي عملية تحطيم وتفتت الصخور السطحية دون حدوث أي تغير كيميائي بها. وتسود التجوية الميكانيكية في المناطق المناخية شديدة الجفاف والمناطق الشديدة البرودة. وهذا لا يعني أن المناطق التي تسود فيها التجوية الكيميائية لا يحدث فيها تجوية ميكانيكية.



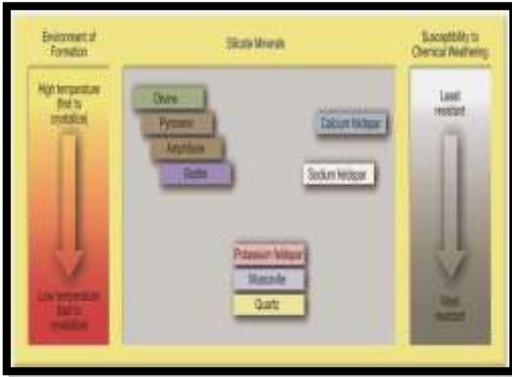
## التجوية الكيميائية: Chemical Weathering :

هي عمليات تحلل الصخور السطحية بفعل التأثير الكيميائي لمكونات الهواء الجوي على الصخور السطحية. وأهم الغازات النشطة كيميائياً في الهواء الجوي هي الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء، ويعتبر بخار الماء أهم هذه المكونات لما له من تأثير مباشر في التحلل المائي والتميؤ وتأثير غير مباشر لإتمام العمليات الكيميائية مثل الأكسدة والتكرين.



**التجوية البيولوجية:** يحدث هذا النوع من التجوية بفعل التأثير الميكانيكي أو الكيميائي للكائنات الحية على الصخور في التربة من مثل:

- 1- نمو جذور النباتات داخل الشقوق.
- 2- بعض الكائنات الحيوانية الحفارة مثل الديدان والسنجاب الأرضي تساعد بحفر جورها على تفتيت التربة كما تساعد عوامل التجوية الأخرى على تعميق تأثيرها على الصخور تحت السطحية.
- 3- بعض جذور النباتات وبعض أنواع البكتيريا تقوم بإفراز أحماض أو المواد الكيميائية الناتجة عن تحللها بعد موتها تعمل على إذابة الصخور مما يسهل عملية تفتيتها.

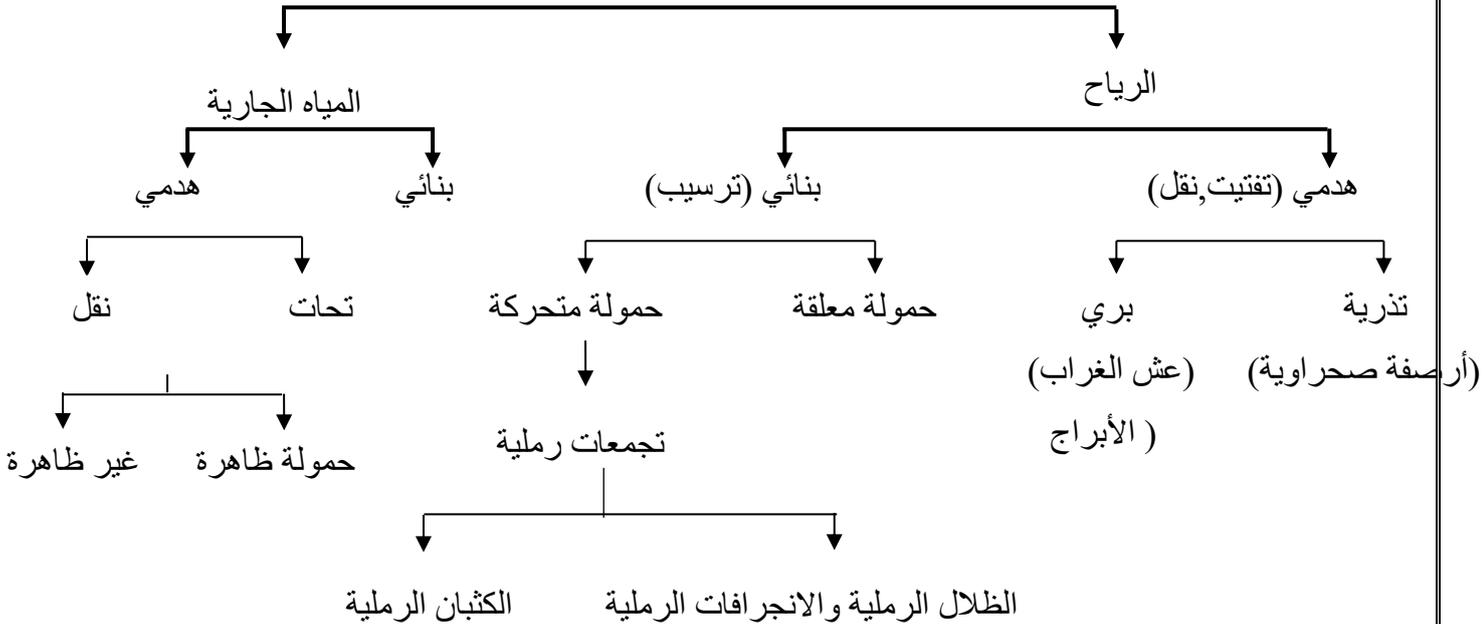
**\* درجة ثبات المعادن بالنسبة للتجوية:**

شكل (5)

عندما تتعرض المعادن المختلفة لعمليات التجوية تتحلل بدرجات متفاوتة إذ أن بعض هذه المعادن أكثر ثباتاً من الآخر. وقد تمكن جولديتش **Goldich** من ترتيب معادن السليكات الموجودة في الصخور النارية على حسب درجات ثباتها على الوجه الآتي: تشير الأسهم إلى اتجاه المعادن الأكثر ثباتاً تجاه عمليات التجوية الكيميائية. وهذا يعني أن الكوارتز والبلاجيوكلاز البوتاسي والمسكوفيت هي أكثر المعادن ثباتاً تجاه التجوية الكيميائية. (شكل 5) ويلاحظ أن هذا الترتيب يشبه ترتيب بوين للتتابعات التفاعلية لمعادن السليكا إذ إن السليكا التي تتبلور من الصهير في درجات الحرارة الأعلى تكون أقل ثباتاً تجاه عمليات التجوية الكيميائية من السليكا التي تتبلور من الصهير في درجات الحرارة الأقل.

**ثانياً: التعرية Erosion**

التعرية هي عمليات تفتيت ونحت الصخور السطحية ثم نقل الفتات الصخري بفعل التيارات الهوائية والمائية وترسيبه في أماكن أخرى تعرف بأحواض الترسيب.

**أولاً: العمل الهدمي للرياح (تفتيت , نقل):**

**1. التذرية Deflation:** عملية إزالة الرواسب التي تفككت نتيجة عمليات التجوية ونقلها إلى أماكن أخرى.

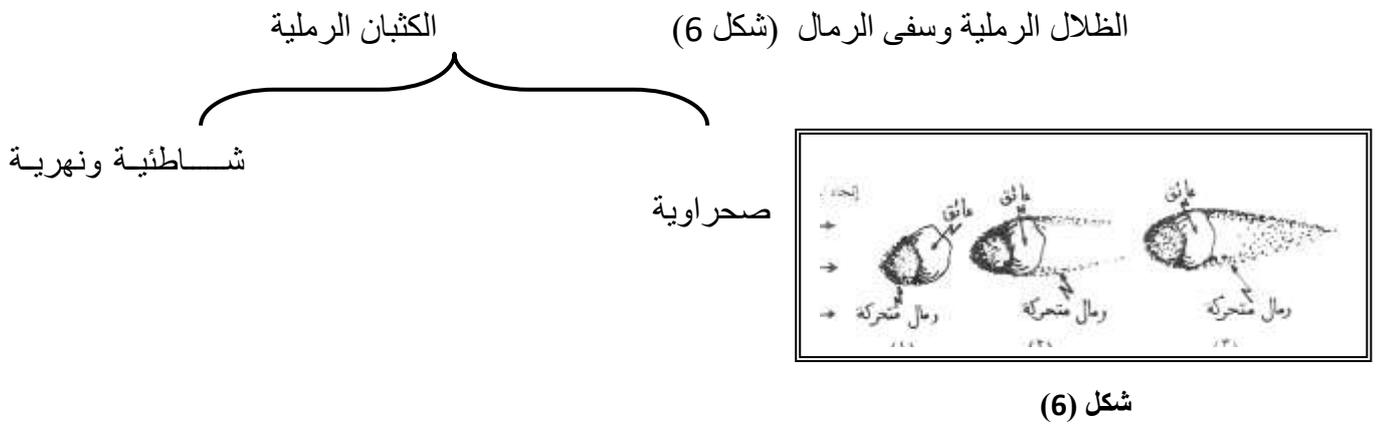
**2. بري الرياح Wind Abrasion:** عملية تؤدي إلى بري الصخور بأشكال غريبة نتيجة احتكاكها بحبات الرمال التي تحملها الرياح، وهذه العملية تكون أقوى ما يمكن فوق سطح الأرض بقليل حيث درجة تركيز الرمل في الرياح أعلى ما يمكن، وتكون ما يسمى بالنحت السفلي .

**ثانياً العمل البنائي للرياح (الترسيب):** يمكن تقسيم حمولة الرياح إلى نوعين:

**1. حمولة معلقة *Suspended Load*** وهي تتكون من حبيبات لا يتجاوز قطر الواحدة منها  $\frac{1}{4}$  مم حتى  $\frac{1}{3}$  مم. وهذا النوع من الحمولة ينقل حملاً بواسطة الرياح.

**2. حمولة متحركة *Transformed Load*** وهي تتكون من رمال تتحرك بالقرب من سطح الأرض نتيجة لقوة التيارات الهوائية وهذا النوع من الحمولة ينقل إما عن طريق الدحرجة أو القفز وهذا يعتمد على أحجامها وتركيبها الصخري.

**3. التجمعات الرملية *Sand Accumulations*** وهذه التجمعات تتكون مباشرة نتيجة وجود عائق ثابت في مسار الرياح المحملة بالرمال. وقد يكون هذا العائق حصاة أو كتلة من الصخر أو جرفاً أو شجرة.



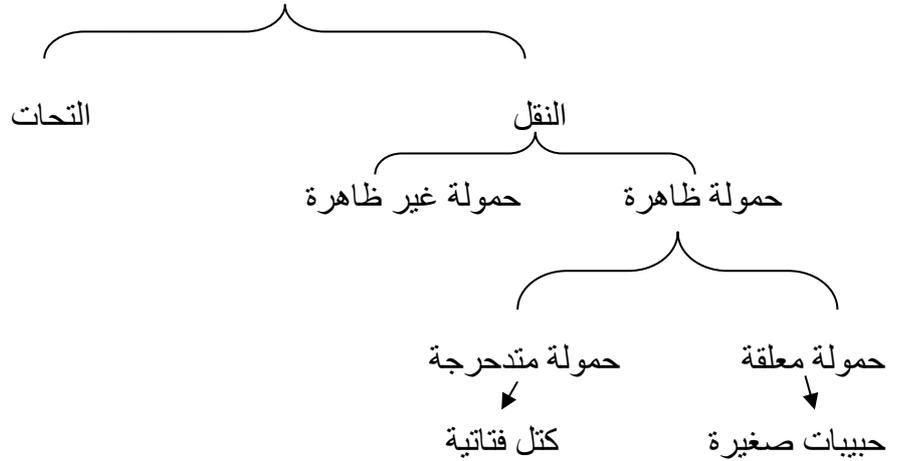
أشكال الكثبان الرملية شكل (7)



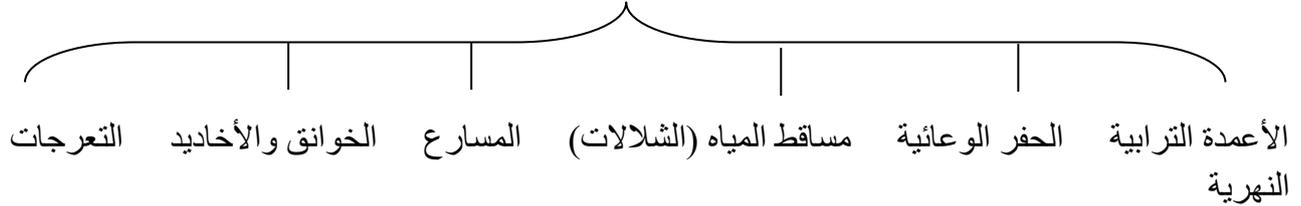
## ثانياً: عمل المياه الجارية

المياه الجارية أو السطحية هي المياه التي تسقط على الأرض وتجري فوقها على هيئة جداول وأنهار متخذة طريقها مع انحدار سطح الأرض حتى تصل إلى المحيط أو إلى أي منطقة منخفضة، والمطر هو المصدر الرئيسي للمياه الجارية و يسمى جزء مياه الأمطار الذي ينطلق على سطح الأرض في هيئة جداول وأنهار بالماء المنطلق وهو الذي يكون العامل الأكبر في تعرية سطح الأرض وتشكيلها وتحويل مرتفعاتها إلى سهول منبسطة في النهاية، ويتأثر توزيع الأمطار في العالم باتجاهات الرياح التي تنقل بخار الماء من أماكن تصاعده وتجمعه إلى أماكن تكثفه ليسقط على هيئة أمطار وتلوجا.

### العمل الجيولوجي للأنهار



### المظاهر الناتجة عن النشاط التحتاني للأنهار



**تصنيف وتطور الوديان والمجاري النهرية (دورة التحات النهرية)**

يبدأ فعل المياه الجارية عند تساقط ماء المطر على منطقة منحدره فإذا كان سطح هذه المنطقة مستويا فإن مياه الأمطار تجري إلى أسفل على هيئة طبقات عريضة وضحلة من الماء الجاري, أما إذا كان سطح الأرض المنحدر متعرجا فيمكن أن يسيل الماء الجاري عليها على هيئة مجار طويلة تكون مع الوقت أخاديد طبيعية Gullies خاصة في الرمال والطين. ويتحكم التركيب الجيولوجي للأرض في التضاريس و أيضا في مجار الأنهار والجداول. وتتبع لكثير من الأنهار صدوعا و شقوقا في الصخور ويمكن أيضا أن تتبع الأنهار مكاشف الطبقات اللينة حينما تتداخل هذه الطبقات مع طبقات أخرى أصلد منها و تتجمع جداول الأنهار مع بعضها مكونة مايعرف بأحواض الصرف. ويعرف مظهر توزيع الوديان في منطقة معينة باسم نمط الصرف Drainage Pattern

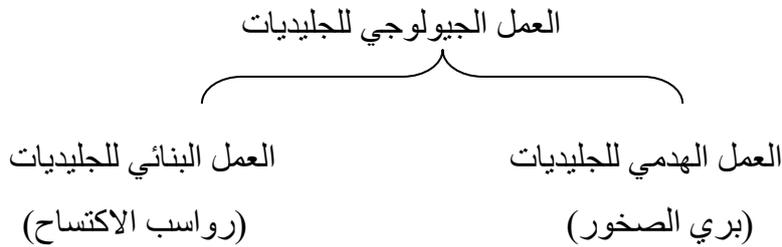
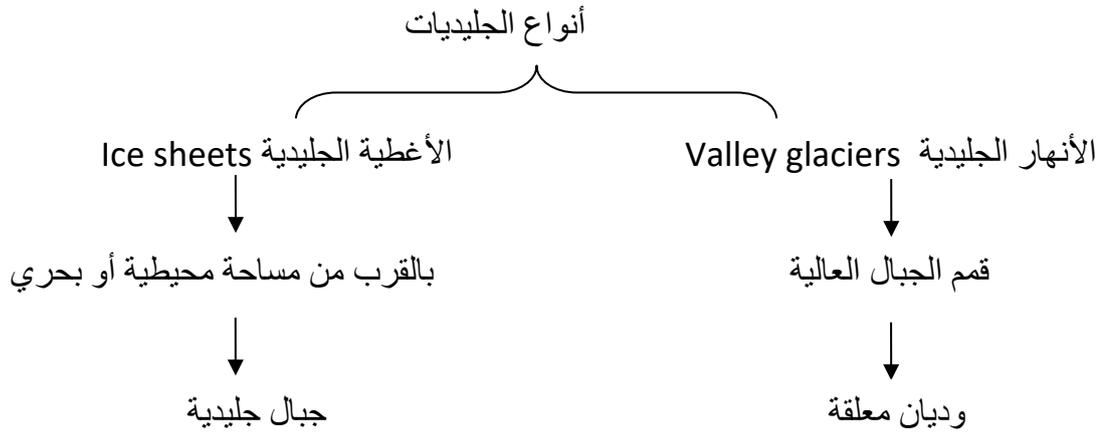
**\* نمط الصرف المتفرع:**

يتكون في الصخور المتجانسة مثل الصخور النارية غير المتشقة والطبقات الرسوبية الأفقية و الحطام الصخري المتجانسة.

**\* الشرفات النهرية:** امتدادات طويلة من الأرض على جانبي النهر تكون على هيئة مصاطب الواحدة فوق الأخرى.

## ثالثاً: عمل الجليديات **Glaciers**

تتراكم طبقات من الثلج على مدار السنوات. وقد تتحول الطبقات السفلية من الثلج إلى جليد متجمد نتيجة الجليد المتراكم. وعندما تتحرك الكتل الجليدية إلى أسفل المنحدرات تحت تأثير الجاذبية الأرضية تقوم بنقل كميات هائلة من الحطام الصخري المتفاوت في الحجم. وفي الوقت نفسه يقوم الجليد والحطام الصخري المحملة بداخله ببري أسطح الصخور الصلبة المكونة للقشرة الأرضية الملامسة للغطاء الجليدي المتحرك. وذلك يؤدي إلى ظهور ملامح تضاريسية مميزة على أسطح الأراضي التي كانت مغطاة بغطاء جليدي عند ذوبان الجليد فوق هذه الأراضي.



**العمل الهدمي للجليديات:** يظهر هذا التأثير في بري الصخور المحيطة بمجرى الجليد أثناء حركته وذلك نتيجة حتكاك الجليد وما ينقله من حطام صخري بهذه الصخور مما يؤدي إلى صقلها في مستويات واضحة، يكون هذا التأثير على شكل خطوط متوازية أو حزوز على جانبي مجرى الوادي وفي قاعدته.

**العمل البنائي للجليديات:** إن رواسب الجليديات المختلفة الناتجة عن الركام الجليدي هي رواسب تتميز بأنها رديئة الفرز وتختلف في حجم الحبيبات ويمكن ملاحظة تراكماتها في نهاية مجرى الوادي بعد ذوبان الجليد.

## رابعاً: عمل مياه البحار والمحيطات

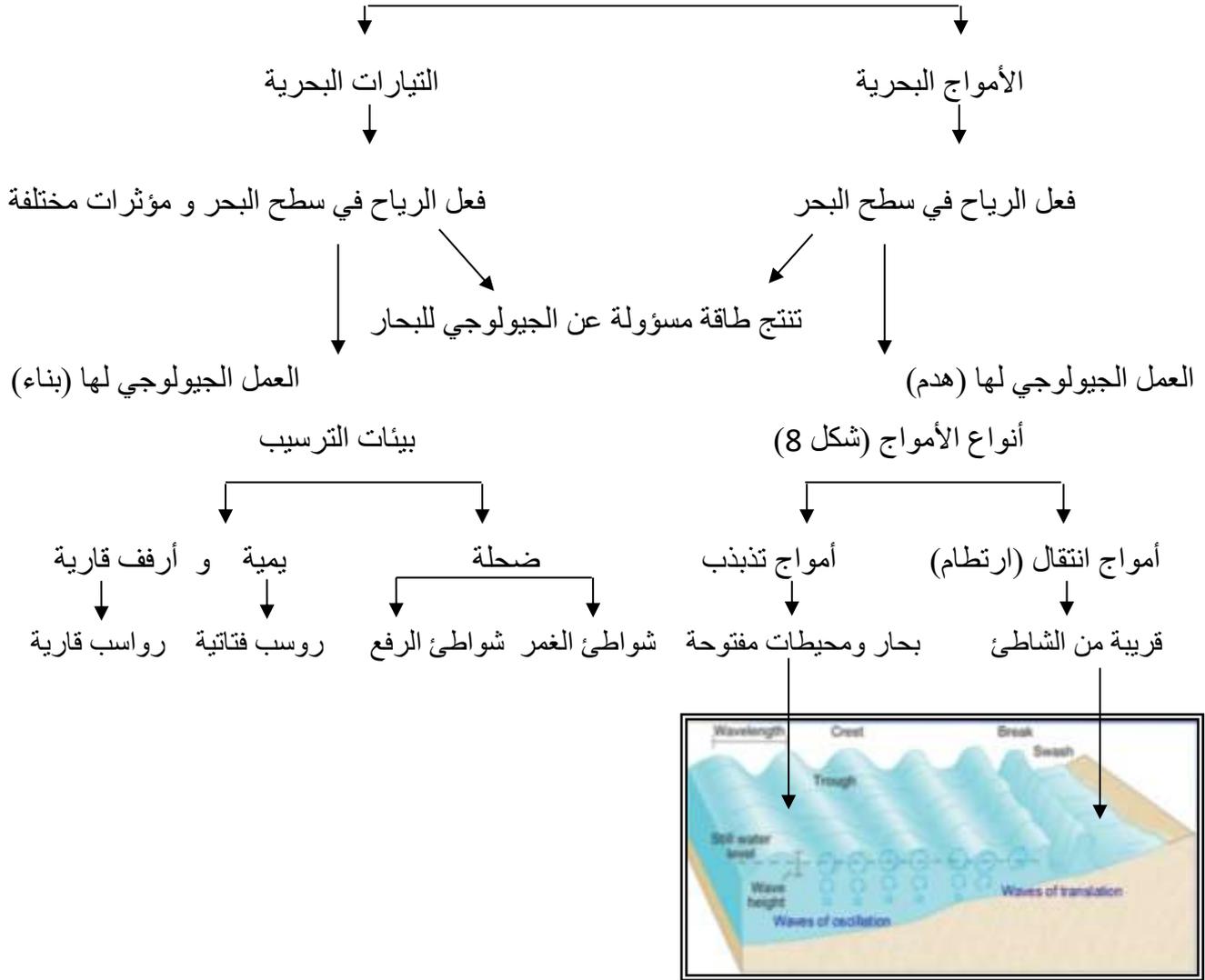
### تصنيف البيئات البحرية حسب العامل الجيولوجي المؤثر عليها:

البيئات الشاطئية (التيارات البحرية والأمواج)

البيئات اليمية (أرفف قارية)

البيئات المحيطية (عميقة سحيقة)

### تكوين الأمواج والتيارات البحرية:



شكل (8)

### تقسيم البيئات الشاطئية إلى:

- ❖ فوق المد (تراكمات رملية)
- ❖ وسط المد (مسطح المد والجزر)
- ❖ تحت الجزر (تحت سطح الماء)

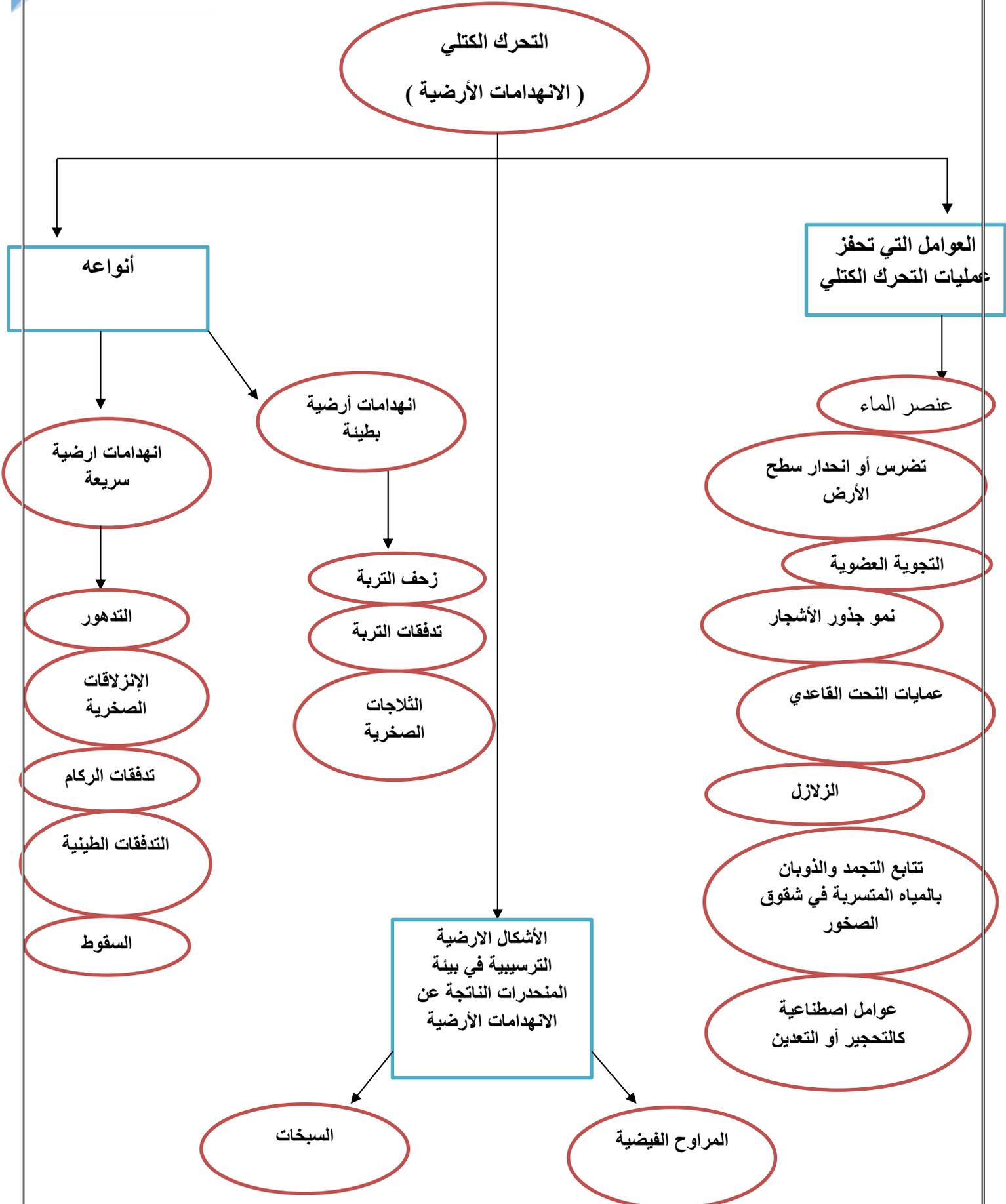
**\* العمل البنائي للكائنات البحرية ( الشعاب المرجانية )**

رواسب بحرية جيرية تتراكم نتيجة لنمو مستعمرات حيوان المرجان وبعض الكائنات الأخرى التي تعيش في مستعمرات مثل الطحالب الجيرية والتي تتراكم هياكلها الصلبة بعد موتها على هيئة أرضة ممتدة. وتقسم على حسب أماكن نموها:

- (1) الشعاب السجافية Fringing Reefs
- (2) الشعاب الحاجزية Barrier Reefs
- (3) الشعاب الحلقية Atolls

# التحرك الكتلي





## التحرك الكتلّي ( Mass Wasting )

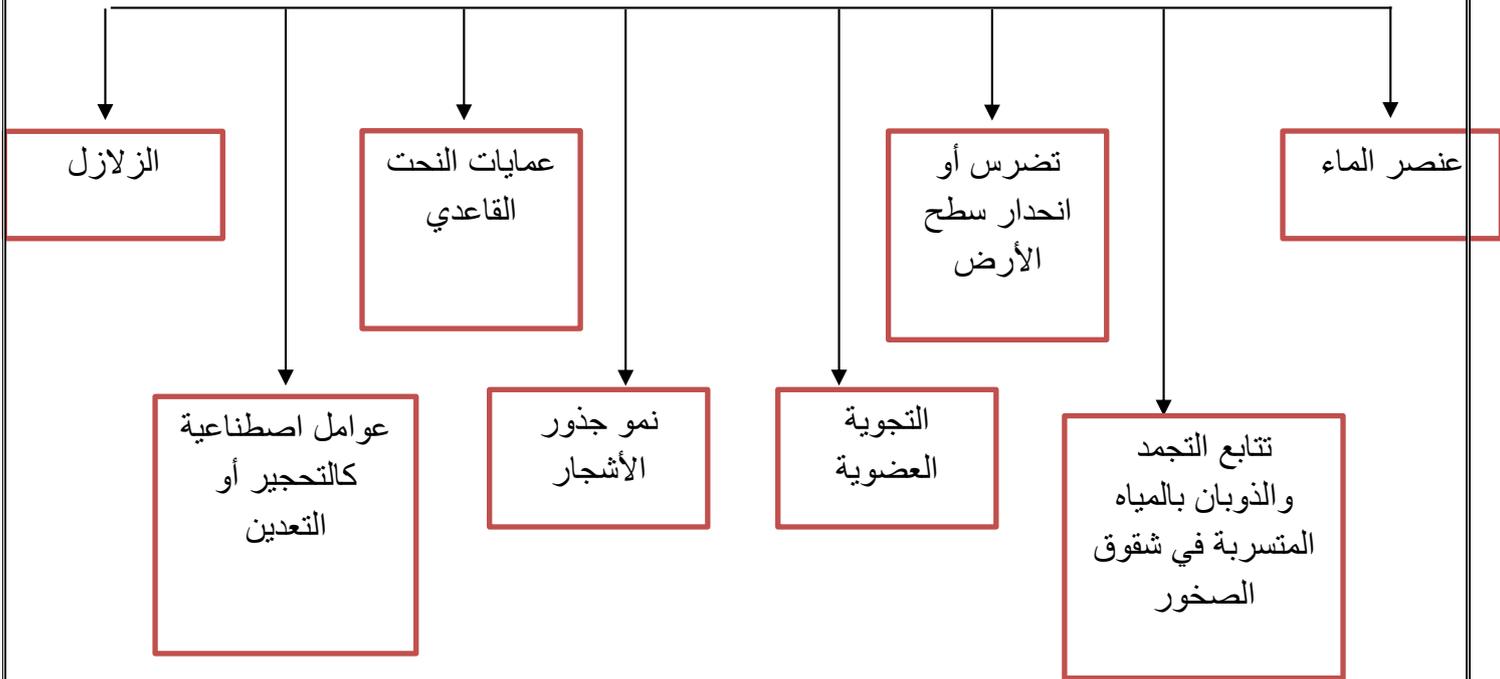
التحرك الكتلّي هو تحرك الصخور والركام والتربة نحو أسفل المنحدرتحت تأثير الجاذبية الأرضية . والتي يمكن مشاهدتها وتسجيل آثارها بسبب عنصر المفاجأة وسرعة الحركة ، ولكن إلى جوار ذلك هناك العديد من عمليات التدهور والإنهيار ، التي تتراوح في سرعتها ما بين السقوط العمودي المباشر الملموس الأثر ، وبين الزحف البطيء للمواد السطحية غير المحسوس .

### كيف يحدث التحرك الكتلّي ؟

تحدث هذه العمليات نتيجة لتضرس سطح الأرض ، وعدم استوائه تماما ، فغالبا ما ينحدر السطح في اتجاهات مختلفة ، لهذا فإن المواد السائبة المفككة التي أنتجتها عمليات التجوية ، فضلا عن الجوانب الصخرية الصلدة من أسطح المنحدرات ، تقع عرضة لقوى جاذبية الأرض ، فتتحرك هذه المواد ببطء أو بسرعة خاطفة من الجوانب المرتفعة إلى المنخفضات ، وهذا يفسر لنا توافر غطاء التربة بالمنخفضات ، التي تتخلل الجهات البارزة من السطح ، بمعنى أن ما تخسره المنحدرات الوعرة من فتات وتربة ، تكسب بعضه الأودية والمنخفضات .

### العوامل التي تحفز عمليات التحرك الكتلّي

إذا كانت قوى الجاذبية الأرضية هي مصدر الطاقة المحركة لهذه المواد أثناء هبوطها ، فهناك عوامل هامة تساعد هذه القوى على تحريك المواد وكتل الصخور من أبرزها :



تقسم حركات الإنهدام الأرضي جملة إلى نوعين رئيسيين هما :



### أولاً: الانهدامات السريعة

وتشمل جميع الحركات الانهدامية المدمرة ، التي بواسطتها تنهال التربة والصخور بسرعة فائقة من أعالي المرتفعات ، مسببة الكوارث والخراب في كثير من الأحيان وتعرف هذه الحركات لدى العامة بتعبير عام شامل هو الانزلاقات الأرضية ، هذا التعبير العام يتضمن عدد كبيراً من العمليات تتراوح فيها حجم الحركة بين تداعي جسر ترابي على جانب نهر ، وبين الإنهيار المفاجيء لجانب كامل من جبل شاهق ، كذلك يتراوح عمق الحركة ما بين الغطاء الرسوبي الرفيع غير المتماسك ، وبين اشتغال بعضها على قصرات هائلة من الصخر المتماسك الذي تركز عليه هذه الرواسب ، هذه الحركات يصنفها معظم الثقافات من الباحثين إلى الأنواع التالية :

#### 1. التدهور Slump :

ويطلق على هذه الظاهرة أحيانا اسم تداعي المنحدرات وهي عبارة عن انهيار المواد غير المتصلبه أو أجسام الصخور تحتها أما في وحدة واحدة ، أو سلسلة من الوحدات ، في حركة في اتجاهين الأول إلى أسفل المنحدر والثاني نحو الخارج أي بعيد عن كتلة المنحدر.

#### أسباب حدوث التدهور:

- يحدث التدهور عادة عندما يزداد انحدار الأسطح بحدة بسبب عوامل طبيعية أو اصطناعية ، تستجيب لها المواد السطحية كجسم مرن ينهار على طول محور أو محاور مقوسة إلى أسفل بحيث يبدو السطح العلوي للكتلة المتدهورة وقد اضطجع إلى الخلف بسبب حركة دوران خفيفة عكس اتجاه الهبوط .
- يساعد وجود الماء المتجمع في حفر بالسطح على حركة الكتلة المتدهورة حيث ينصرف على طول محور الانفصال إلى أسفل كما أن قد يشجع على انهيار كتل أخرى بنفس الطريقة.
- لنظام الطبقات أيضا دخل كبير في حدوث هذه الظاهرة فحيثما وجدت طبقات سطحية من صخور شديدة التصلب فوق طبقات من الطين أو الطفل أو الطمي كان هذا ادعى إلى حدوث التدهور ، فهذه تكوينات بسبب ضعفها على تحمل الضغوط لا تستطيع أن تساند ما يعلوها لفترة طويلة خاصة قرب الحافات الوعرة المتآكلة من أسفل ، كما أن تسرب المياه إلى الطبقات السفلى يخلق منها أسطحا زلقة تساعد على عدم استقرار الطبقات العليا و تيسر انزلاقها .

## 2. الانزلاقات الصخرية **Rock slide**:

عبارة عن حركة كتل أرضية تتكون من الصخر الصلد في الغالب بعكس النوع السابق الذي قد يتألف كلية من مواد متفككة أو من خليط منها ومن الصخر الصلد أسفلها.

( ثمة وجه اختلاف أساسي بين التدهور والانزلاق هو أن محور الحركة في عمليات الانزلاق مستقيم ، ولذا لا يصاحب هبوط الكتل الصخرية حركة دوران إلى الخلف على نحو ما يحدث في عمليات التدهور كذلك تلعب المفاصل وسطوح الانفصال دوراً هاماً في عمليات الانزلاق ، في حين تتأثر عمليات التدهور أكثر بالنحت والتآكل السفلي ، والانزلاقات الصخرية بصفة عامة من أشد أنواع الانهدامات الأرضية تدميراً وأبعدها أثراً ربما بسبب السرعة وعنصر المفاجئة).

## 3. انزلاقات وتدفقات الركام **Debris slides & flows** :

تتواجد عند قواعد المرتفعات بأنواعها أكوام من مجتمعات الحطام الصخري، الذي يتألف من كتل مختلفة الأحجام والأشكال، وصلت إلى مواضعها إما بالسقوط المباشر أو التدريج على أسطح المنحدرات **rock falls** ، بالإضافة إلى ذلك تشتمل هذه الأكوام على جزيئات دقيقة، حملتها إليها المياه التي تغسل جوانب المنحدرات، أو جزيئات نتجت على استمرار الحصى والاحجار تتخذ هذه المجتمعات عادة أشكالاً مراوح أو أصناف مخاريط تعرف بأسم مخاريط الركام **talus cones** ، التي قد تتصل على طول قواعد بعض المرتفعات مكونة منحدرات ركامية **talus slope** ، فإذا كان معدل تجمع المواد فوق هذه المنحدرات الركامية أسرع من معدلات الإزالة بواسطة وسائل النقل المختلفة ، نما هذا الركام بسرعة إلى أعلى حتى تدفن بعض المرتفعات كلية في ركامها، فلا يبين من صخورها الصلدة فوق السطح شيء. في ظل ظروف المناخ الرطب تنشأ من هذه المجتمعات أغطية من التربة، التي تمتد فوق قواعدها وعلى أسطح المنحدرات التي قد تكون وعرة ، وفيها ينزوي الغطاء النباتي فيعمل على تماسك الحبيبات واستقرارها ، ولكن بالقرب من الحد الأعلى لنمو الأشجار **timberline** بالجبال الشاهقة ، وأيضاً بالجهات الجافة ، فإن هذه الركامات تستقر على المنحدرات بزوايا حرجة ، تعرف بأسم زاوية الاستقرار **angle of repose** ، تتراوح بين  $40^\circ$  و  $50^\circ$  ، أي اضطراب على السطح كسقوط حجر كبير أو هزة أرضية بسيطة ، يؤدي إلى تجاوز هذه المواد زاوية الاستقرار فتأخذ جزيئاتها في الحركة هبوطاً على سطح المنحدر ، فيما يعرف باسم انزلاق الركام ، الذي يزداد كلما قلت كثافة الغطاء النباتي وزاد انحدار السطح.

## 4. التدفقات الطينية **Mudflows** :

تتكون هذه التدفقات من كتل صخرية ، ومواد طينية ، تختلط مع بعضها البعض اختلاطاً تاماً ، فيكون لها قوام الخرسانة ، وتنشأ هذه التدفقات عادة بمجري الجداول المائية الصغرى بأعالي المرتفعات حينما ينهمر المطر فجأة ، أو حينما يذوب الجليد للارتفاع الطارئ في درجات الحرارة بالربيع ، فتتكون كمية الماء من الوفرة بحيث تغسل سطح الأرض بهذه البقاع مما عليه من مواد مفتتة ، تحملها المياه إلى القنوات فتمتلئ بها وتسدّها ، فتغص القنوات بالمياه ، التي تظل تتراكم خلف السدود ، وتضغط عليها باستمرار ، إلى أن تنهار وتتساقط المياه المحتجزة مع الرواسب ، وتختلط وتمزج من جديد أثناء رحلتها بالمجري العليا ، وهي أثناء ذلك تلتقط كل ما تصادفه من رواسب في طريقها ، وتعود المياه للتراكم مرة أخرى خلف سد الرواسب. ونظراً لقدرة هذه التدفقات على اكتساح ما تصادفه من أجسام ، فإنها تحدث دماراً شديداً للقرى الواقعة في بطون الأودية ، التي تمر بها ، إذ تنتزع المباني من قواعدها ، وتحملها معها لتلقي بها عند قواعد المرتفعات ، ويختلف هذا النوع من التدفقات عن التدفقات الأرضية في كونها تسلك مجاري مائية معينة ، خلال رحلتها الجبلية فلا تحيد عنها ، في حين أن التدفقات الأرضية تتحرك فوق أسطح المنحدرات ، في مسارات عشوائية لا تحدها مجاري مائية معينة.

**5. السقوط Falls :**

حركة الصخور التي انفصلت عن طبقات الصخور الأم بفعل التشققات أو الصدوع، ويحدث على المنحدرات الحادة جدا أو الجروف. وتتجمع تلك المواد التي تسقط عند قاعدة المنحدرات ويطلق عليها اسم الركام.

**ثانياً : الانهدامات البطيئة**

يختلف هذا النوع من الحركات عن النوع السابق في مظهر رئيسي , وهو أن الحركات البطيئة تقتصر على الغطاءات الرسوبية غير المتصلة , التي تكسو سطح الأرض بعكس الحركات السريعة , التي تشمل الرواسب السائبة والصخر الصلب تحتها على حد سواء , ونظراً لضآلة الحركة بالانهدامات البطيئة فإنه من العسير ادركها , أو الأحساس بها , ومع ذلك فإن الكميات الهائلة من الرواسب والمواد التي تتحرك وتنقل من المرتفعات بهذه الوسيلة على طول فترات زمنية سحيقة , وفوق مساحات واسعة من سطح اليابس , تؤكد أهمية هذه العوامل في تشكيل مظاهر سطح الأرض.

**1. زحف التربة Soil creep :**

يقصد بزحف التربة عملية نقل حبيبات التربة إلى الأجزاء السفلى من المنحدرات في الأقاليم المعتدلة والأقاليم المدارية , يزحف غطاء التربة في حركة بطيئة غير ملموسة تتراوح سرعته ما بين 10 / 19 ملم في السنة فوق جميع الأسطح مهما كان انحدارها لطيفاً , ومهما غطاها العشب والزرع الذي يعمل على تماسك الحبيبات , ويقيها التفكك والانجراف , ومع أن الحركة وثيدة غير واضحة , فإن الكثير من آثارها تدل عليها , وذلك من واقع ميلان الأسوار القديمة وأعمدة الهاتف وشواهد القبور وتخرج سطح التربة , التي تميل قواعدها بشكل واضح في اتجاه الحركة الهابطة , كذلك نرى جذوع الأشجار بمناطق الزحف وقد تحدبت في هذا الاتجاه , أيضاً تبدي المقاطع التي تحفر في التربة أطراف الطبقات الصخرية تحتها وقد إلتوت في اتجاه الحركة , كما أن بعض الجلاميد التي انتزعت من طبقات عليا توجد مدفونة مع التربة المتحركة في مواضع أدنى من الطبقات التي تنتمي إليها .

**2. تدفقات التربة Solifluction :**

حركة المواد الغير متماسكة مثل المواد الطينية والغرينية المشبعة بالمياه باتجاه أسفل المنحدرات بصورة غير منتظمة . ففي الاقاليم القطبية من المعروف أن الماء بالطبقات العليا من التربة في فصل الصيف , يتجمد أثناء الليل , ولكن بسطوع الشمس نهاراً يذوب الثلج من بين المسام , أما الطبقات السفلى فإنها نظراً لعدم وصول الحرارة إليها تظل المياه متجمدة بين مسامها بصفة مستديمة , فيما يعرف بأسم التربة الدائمة التجمد permafrost , ويلاحظ أن هذه التدفقات تكون من القوة بدرجة تمكنها من اكتساح ما تصادفه من حطام الصخر الناتج عن عمليات التجوية الميكانيكية , وتجرفه معها , ومن ثم يصبح انسياب التربة وتدفقها على هذا النحو أنشط عوامل تشكيل مظاهر السطح بالجهات القطبية.

**3. الثلجات الصخرية Rock glaciers :**

ظاهرة خاصة بأودية المناطق الجبلية , حيث تمتد في بطون بعضها ألسنة هائلة من مجمعات الركام الصخري , التي تشبه في مظهرها العام ألسنة الجليد الزاحفة بأودية الأنهار الجليدية , وأصل هذه الأشرطة الركامية ونشأتها ما زال موضع جدل , إذ يعتقد بعض الباحثين أنها نشأت نتيجة لانزلاقات صخرية بالجملة انحدرت على جوانب الأودية إلى بطونها , بينما يعتقد البعض الآخر إنها رواسب ثلجات حقيقية وثمة رأي آخر بأن هذه الثلجات الصخرية ليست سوى الركامات التي حملتها في الماضي ثلجات أثقلت أثناء الرحلة بحمولتها من الرواسب فخلقتها حيث هي الآن.

## الأشكال الأرضية الترسيبية في بيئة المنحدرات الناتجة عن الإنهدامات الأرضية

### تنشأ نتيجة العلاقة بين التجوية والتعرية والإنهدامات الأرضية

#### 1.المراوح الفيضية :

تعد المراوح الفيضية من الظواهر الترسيبية الشائعة في بيئة المنحدرات في المناطق شبه الجافة ، حيث تجري أنهار وقتية في موسم تساقط المطر وتحمل تلك الأنهار عند جريانها كميات كبيرة من الرواسب وعندما تنتقل تلك الانهار نحو المناطق المنخفضة المجاورة تتناقص سرعة جريانها فتلقي معظم حمولتها من الرواسب فوق المنطقة السهلية مكونة مراوح فيضية كما في فتترسب معظم الرواسب الخشنة أولاً وخاصة في منتصف المجرى النهري حيث يتكون حاجز يؤدي على انقسام النهر إلى فرعين ينقسمان بدورهما أيضاً ، لذلك نجد أن المراوح الفيضية ذات سمك كبير ورواسب خشنة من الحصى والجلاميد في جزئها الأعلى القريب من المنطقة المرتفعة ويقل حجم الرواسب وتصبح ناعمة كلما ابتعدنا عن تلك المنطقة المرتفعة .

#### 2.السبخات :

هي قيعان البحيرات الصحراوية الوقتية ، وهي عبارة عن سهول منبسطة تقع عند قيعان الأحواض الداخلية المحصورة بين المرتفعات ، تتغذى أرضيتها برواسب من الغرين والطين وكذلك الاملاح التي تجمعت في البحيرات الوقتية والتي جلبتها إليها الأنهار الوقتية القادمة من المرتفعات المحيطة بتلك الاحواض بعد تساقط الامطار عليها ، وبعدها تتبخر المياه تترك ما تحمله من رواسب وأملاح .

# الجيولوجيا التاريخية



## الجيولوجيا التاريخية

تختص الجيولوجيا التاريخية (Historical geology) بدراسة تاريخ الأرض منذ نشأتها وحتى الآن، وتشمل هذه الدراسة مجمل الأحداث الفيزيائية (الطبيعية) والعضوية (الحياتية).

(1) **التاريخ الطبيعي للأرض:** ويشمل تكون الأرض ونشوء القارات والمحيطات، وتاريخ حركة الطبقات الأرضية، وعمليات بناء الجبال، والتغيرات المناخية للأرض والعصور الجليدية فيها.

(2) **التاريخ الحياتي للأرض:** ويشمل بدايات ظهور الحياة على الأرض، ابتداءً من الأشكال البسيطة لها ولغاية ظهور الإنسان. وهذا يشمل ظهور الأنواع المختلفة للكائنات بمملكتها الأربع وهي: مملكة البدائيات، ومملكة الطلائعيات، ومملكة النباتات، ومملكة الحيوانات.

### السجل الطبقي (الإستراتيجرافي) :

تغطي الصخور الرسوبية أكثر من 75% من السطح الخارجي للأرض، على الرغم من أن الصخور النارية والمتحولة تمثل أكثر من 90% من حجم الغلاف الصخري لها. وتحتوي الصخور الرسوبية على سجل شبه كامل لتاريخ الأرض، وتتميز هذه الصخور بخاصية التطبق. أي تجمع الحبيبات والفئات الصلب المكون للطبقات في صورة طبقات، وهي خاصية تساعد على ترتيب الصخور في نظام رأسى يعكس ترتيباً زمنياً. وتعرف الطبقة بأنها جسم نضيدي من الصخور الرسوبية أي طبقات رسوبية متراكمة، أما مصطلح layer، فهو أعم حيث يطلق على كل جسم نضيدي من الصخور سواء كانت رسوبية أو نارية أو متحولة. ويتراوح سمك الطبقة بين عدة مليمترات وعدة أمتار وتفصل الطبقات عن بعضها البعض بأسطح تسمى أسطح الطباقية.

### المضاهاة: correlation:

يتطلب عمل مقياس زمن جيولوجي، يمكن تطبيقه في كل الكرة الأرضية القيام بمناظرة الصخور التي لها العمر نفسه في مناطق الأرض المختلفة. وتعرف هذه العملية باسم المضاهاة، فالمضاهاة إذاً هي إيجاد العلاقة الزمنية بين تكاوين جيولوجية مفصولة عن بعضها البعض جغرافياً، ومدى ارتباطها ببعضها البعض.

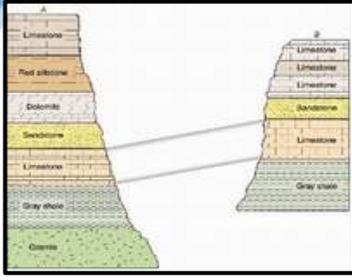
**المتكون formation** هو الوحدة الأساسية في تصنيف وتسمية الصخور، على أساس نوعية الصخور المكونة له ومظهرها. وبعد تحديد المتكون في منطقة ما فإنه يمكن إجراء المضاهاة بين المكاشف في مناطق أخرى، وتوضيح مدى تكافؤها مع متكون المنطقة الأولى. وتسمى هذه المضاهاة، المبنية على أساس نوعية.

الصخور مضاهاة صخرية (ليثولوجية) lithologic correlation

ويمكن إجراء المضاهاة بين التتابعات الطباقية بناءً على الشواهد التالية:

### \* شواهد المضاهاة بين التتابعات الطباقية :

(1) **استمرارية الطبقات continuity of strata:** وهي طريقة بسيطة تستعمل فقط عندما تكون مكاشف الطبقات مكشوفة ومستمرة، وهي تستعمل عند المضاهاة بين تتابعات توجد في حوض ترسيبي واحد، خاصة في المناطق الصحراوية القاحلة أو المناطق التي يقل فيها الغطاء النباتي. وحيث تقل التراكيب الجيولوجية.



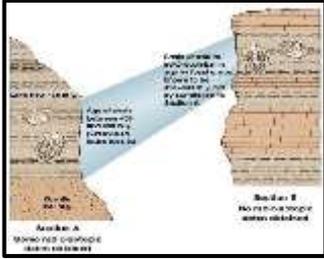
شكل (9)

(2) **التشابه الصخري Lithologic similarity** : تعتمد هذه القاعدة على أن الطبقات ذات الخصائص الصخرية والمعدنية الواحدة قد تكون متطابقة في العمر ، وبالتالي يمكن المضاهاة بينها . وبالطبع يمكن استخدام هذه الطريقة أيضاً بين التتابعات التي تقع في حوض ترسيبي واحد ، وعلى مسافة قريبة من بعضها البعض. (شكل 9)

### (3) تشابه الوضع في التتابع الطبقي Stratigraphic position similarity:

يمكن المضاهاة بين طبقتين أو مجموعتين من الطبقات محصورة بين طبقات محددة العمر ، أو تتمتع بوضع طبقي مميز في التتابع الطبقي ، كأن تكون الطبقة محصورة بين طفلة الأخضر والرمل الأحمر في منطقتين مختلفتين..

(4) **الوضع البنائي Structural position** : يمكن المضاهاة بين تتابعين مكونين من مجموعة من الطبقات المطوية بشدة مغطاة بطبقات مطوية بدرجة أقل ، حيث تضاهي الطبقات المطوية بشدة ببعضها ، كما تضاهي الطبقات المطوية بدرجة أقل ببعضها ؛ حيث ينتمي كل منها لتاريخ جيولوجي مختلف .



شكل (10)

(5) **المحتوي الحفري fossil content** : الحفريات هي ماتحتويه الصخور الرسوبية من بقايا متحجرة لنباتات وحيوانات عاشت في الماضي ، أثناء تكون الصخر الذي يحتويها . وتمثل الحفريات أهم القرائن التي تساعد على دراسة الطبقات وظروف تكونها وأعمارها ومضاهاتها . (شكل 10)

## حالات خاصة من المضاهاة

بالإضافة إلى القواعد السابقة للمضاهاة هناك حالات أخرى أكثر تعقيداً ، يجب على الجيولوجي الذي يجري عملية المضاهاة فيها أن يتمتع بقدر كبير من الحيطة والحذر ، وأن يحدد التعاقب الزمني الصحيح فيها ، قبل إجراء عملية المضاهاة . ومن هذه الحالات:

### \* التغير الجانبي أو تغير سحنة الرواسب: lateral variation or facies change:

"السحنة" facies هي مجمل مميزات ومعالم الراسب المكون للصخر مثل: نوعية الصخر الرسوبي ومحتوياته المعدنية، وبنياته الرسوبية، والمحتوى الأحفوري وغيرها. وتحدث ظاهرة التغير الجانبي أو تغير سحنة الرواسب على حواف أحواض الترسيب؛ حيث تترسب الرواسب الفتاتية الخشنة مثل الرمال بالقرب من الشاطئ، تليها إلى الداخل الرواسب الفتاتية الناعمة مثل الطفل ثم الرواسب غير الفتاتية مثل الحجر الجيري ، ويطلق مصطلح سحنة facies ليصف هذه المواضع المختلفة التي تتكون فيها الصخور الرسوبية. وكل هذه الأجزاء لطبقة واحدة ترسبت في وقت واحد على قاع البحر، أي إنها مترامنة ، ولكنها غير متشابهة من الناحية الصخرية أي إنه يمكن أن تتواجد عدة بيئات ترسيبية في الوقت نفسه على امتداد مساحة عريضة من قاع البحر . ويحدث الخطأ عندما لاتضاهي أجزاء هذه الطبقة لاختلاف مكوناتها الصخرية ، وفي الواقع كان يتوجب مضاهاة أجزائها ، لاتفاقها في زمن الترسيب . وعند تتبع طبقة رسوبية واحدة جانبياً ، فإننا نجد أن تلك الطبقة تتكون من أنواع مختلفة من الصخور . ويرجع السبب في ذلك إلى أنه يمكن أن تتواجد عدة بيئات ترسيبية في الوقت نفسه على امتداد مساحة عريضة . ويستخدم لفظ السحنة facies لوصف مثل تلك الرواسب تكونت في الوقت نفسه ولكن في بيئة ترسيب مختلفة .

## تحديد العمر باستخدام الملامح الاستراتجرافيه الأخرى

يمكن إجراء المضاهاة بين التتابعات الاستراتجرافية المختلفة وبصورة أدق باستخدام بعض الملامح الاستراتجرافية الأخرى . وتذكر من هذه الملامح ما يلي :

### \*طباقية المغناطيسية القديمة:

تعتبر دراسة المغناطيسية القديمة paleomagnetism إحدى الوسائل الحديثة في تحديد أعمار بعض الصخور. وتقوم هذه الدراسة على افتراض أن جسيمات الحديد المغناطيسي الموجودة في المواد البركانية أو في الرواسب سيتم تولية محاورها على امتداد خطوط المجال المغناطيسي السائد للأرض وقت تبلور المواد البركانية أو ترسيب الرواسب. وحيث إن المجال المغناطيسي للأرض تعرض للانقلاب (أى أصبح القطب الشمالى جنوبياً والعكس) ، كما تغير موضع الأقطاب كثيراً جداً طوال تاريخ الأرض الطويل بسبب حركة الكتل القارية بالنسبة للأقطاب فإن كل فترة من تاريخ الأرض تتميز باتجاه محدد للأقطاب، وكذلك للمجال المغناطيسى للأرض. وبمقارنة هذه الاتجاهات المعروفة باتجاه المغناطيسية المتبقية، في عينة المواد المدروسة يمكن تحديد عمرها. وتسمى عملية استخدام مغناطيسية الصخور لتحديد العمر استراتجرافيا بالطباقية المغناطيسية أو طباقية المغناطيسية القديمة وقد أمكن حساب عمر كل الانعكاسات المغناطيسية التى حدثت خلال كل حقبة الحياة الحديثة ومعظم حقبة الحياة الوسطى . حيث تم تحديد فترات المغناطيسية العادية ، وفترات الانعكاسات.

### \* طباقية النظائر :

تتغير النسبة بين نظيرى أى عنصر مع الزمن فى المواد التى تختزن هذين النظيرين مثل المواد الموجودة بالمحيط ويعكس وجود النظيرين فى الهياكل المتحجرة للكائنات الحية فى التتابعات الطباقية التغير فى نسبة النظيرين فى الرواسب البحرية عبر الزمن ؛ مما يمكن من استخدام هذه النسبة فى إجراء عملية المضاهاة بين التتابعات المختلفة. ومن النظائر التى تستخدم فى هذا المجال نظيرى عنصر الاسترانشيوم ، وهما : الاسترانشيوم - 86 والاسترانشيوم - 87، واللذان ينتشران بالنسبة نفسها فى البحار الحديثة. وقد تغيرت نسبة هذين النظيرين مع الزمن لأسباب عديدة، منها: التغير فى سرعة تجوية الصخور الحاوية لعنصر الاسترانشيوم، والتغير فى معدل وصول هذا المعدن لمياه المحيط. وقد تزايدت نسبة الاسترانشيوم - 87 خلال الخمسة وعشرين مليون سنة الأخيرة من عمر الأرض. وتحل كميات محدودة من الاسترانشيوم محل الكالسيوم فى البناء البلورى للهياكل الجيرية للأحياء البحرية . وبالطبع تكون نسبة نظائر الاسترانشيوم فى هذه الهياكل هى النسبة نفسها فى المياه التى يعيش فيها الكائن وتقدم الحفريات تسجيلاً للتغيرات فى نسبة الاسترانشيوم - 87 إلى الاسترانشيوم - 86 فى مياه البحار وبمقارنة النسبة بين نظيرى الاسترانشيوم فى هياكل الحفريات بالنسبة المعروفة لهذا التغير ، يمكن تحديد عمر الحفريات المدروسة ويطلق على هذه الطريقة لتحديد العمر طباقية النظائر isotopic stratigraphy، وهى من الطرق الحديثة التى ستساعد فى حل كثير من المشاكل الطباقية ؛ خاصة فى حفريات حقبة الحياة الحديثة ، التى لازالت تحتفظ بهياكلها الأصلية دون تحول كما تحتفظ بالنسبة الأصلية لنظائر الاسترانشيوم.

**\* طباقية الحدث:**

يمكن الإشارة إلى العديد من الأحداث التي تحدث بسرعة على وجه الأرض ، ويمكن استخدام طباقية الحدث event stratigraphy في تحديد أعمار الصخور والمضاهاة بينها . من هذه الأحداث نذكر:

**1. الطبقة المميزة marker bed أو الطبقة الدالة Key bed:** وهي طبقة رقيقة تمثل فترة زمنية محدودة ، ولها انتشار جغرافي واسع مثل : طبقات الرماد البركاني التي تكونت من طفح بركاني واحد شكل أو من عدد من الطفوح البركانية المتلاحقة ، وتغطي آلاف الكيلومترات المربعة من سطح الأرض ، وهي لذلك تقدم سطحاً متزامناً على مسافات كبيرة ، وتساعد في تحديد أعمار الصخور الحاوية لها والمضاهاة بينها . كما أن هناك بعض الطبقات الدالة التي تنتشر على وجه الأرض ككل، مثل الطبقة الرقيقة من الرواسب الغنية بمعدن الإيريديوم في نهاية العصر الطباشيري . وهذا المعدن شحيح للغاية في القشرة الأرضية ، ولكن وجوده بتركيز عالٍ في نهاية العصر الطباشيري يرجع إلى اصطدام الأرض بجرم سماوي مما أدى إلى انقراض عديد من الكائنات الحية ومنها الديناصورات ومن الطبقات الدالة أيضاً طبقات الحريث الثلجي glacial till.

**2. أسطح المد الأقصى Time of maximum inudation:** تحدث عمليات الترسيب إما أثناء دورة طغيان البحر أو انحساره . ويمكن رصد السطح الذي يكون فيه الترسيب قد حدث أثناء أقصى تقدم للبحر ، أو عند أقصى تراجع له في عدة مناطق متباعدة والمضاهاة بينها . وتمثل هذه الأسطح حدوداً زمنية جيدة ، تفيد كثيراً أثناء عملية المضاهاة.

**3. الرقائق الحولية Varves:** إن الرقائق الحولية عبارة عن طبقات دالة تتكون نتيجة للتغيرات المناخية الفصلية ،

وتوجد في البحيرات الجليدية. والرقيقة الحولية عبارة عن زوج من الطبقات إحداهما رقيقة ذات حبيبات ناعمة والأخرى أكثر سمكاً ذات حبيبات غير متجانسة . وحيث إنه لا يوجد تشابه بين هذه الأزواج نتيجة لتغير الظروف المناخية من عام إلى عام ، فإنه يمكن استخدام هذه الرقائق للمضاهاة بين التتابعات المختلفة .

**\* طباقية التتابعات :**

تستخدم علاقات عدم التوافق الإقليمي والتي تعبر عن هبوط عام في مستوى سطح البحر في تقسيم السجل الطبقي إلى تتابعات sequences. والتتابع هو الوحدة الأساسية المستخدمة في طباقية التتابع، وهو عبارة عن مجموعة من الطبقات الرسوبية، يحدها سطح عدم توافق من أعلى ومن أسفل، تنشأ من تغيرات في مستوى سطح البحر. فأتثناء تكون دلتا نهريّة فإن الرواسب تهبط عند دخول النهر إلى البحر. وتزداد تلك الرواسب تدريجياً ويرتفع قاع البحر؛ حتى يصل إلى مستوى سطح البحر لتتنشأ أرض جديدة وتتراكم الرواسب الطميية على هذا السطح الجديد، حيث تتقدم الدلتا عدة كيلو مترات في البحر خلال ملايين السنين؛ فإذا ارتفع سطح البحر نتيجة هبوط تكتوني مثلاً فإن خط الشاطئ يتحرك عدة كيلومترات داخل الأرض، وتنشأ دلتا جديدة فوق تتابع الدلتا السابق .

وقد تكون التتابعات عبارة عن تجمعات كبيرة من الرواسب البحرية، ترسبت على القارات، عندما يرتفع مستوى شاطئ المحيط على القارة ليكون بحاراً فوق القارية. ويمثل التتابع الواحد عشرات الملايين من السنين، يكون مستوى البحر قد ارتفع خلالها على القارة، ثم يعود مستوى البحر للانخفاض مرة ثانية هذا وقد كان مستوى سطح البحر على امتداد زمان الحياة الظاهرة أعلى مما هو عليه في الوقت الحاضر، ويعود ارتفاع أو انخفاض مستوى سطح البحر إلى عدة عوامل، منها :

**1. التغير في معدل خروج الصحارة عند الحيوود وسط المحيطية :**

وكما نعرف فإن الحيوود وسط المحيطية mid-oceanic ridges هي ارتفاعات على قاع البحر تتكون نتيجة لانبثاق الصهارة فتتكون قشرة أرضية جديدة . ويترتب على خروج الصهارة اتساع قاع البحر أو المحيط ؛ بحيث تغطي المياه مناطق جديدة وبالتالي تكوين تتابعات جديدة ويعقب النشاط التكتوني لألواح القشرة الأرضية فترات من الهدوء ، تدوم لعدة ملايين من السنين ينكمش خلالها الحديد فينخفض مستوى سطح البحر ؛ لتحدث علاقة عدم توافق تمثل نهاية التتابع وقد قدر أن سطح البحر يرتفع بسبب خروج الصهارة عند الحيوود وسط المحيطية ، حوالى عشرة أمتار كل مليون سنة .

## 2. انحسار وتقدم المثالج القارية :

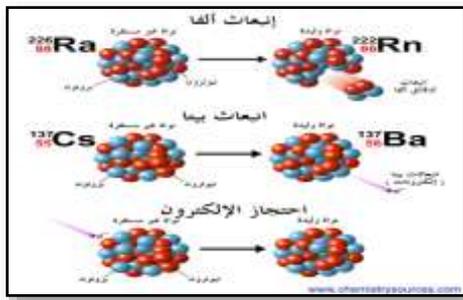
يؤدي انحسار وتقدم المثالج القارية إلى تغير حاد في مستوى سطح البحر حيث يترتب على زيادة التغطية الثلجية سحب كميات كبيرة من المياه وخروجها من دورة المياه في الطبيعة، ويعتقد أن مستوى سطح البحر قد انخفض لأكثر من مائة متر عدة مرات، وخلال العصور الجليدية في العصر الرابع، خلال المليونى سنة الأخيرة من عمر الأرض وتعتبر طباقية التتابعات sequence stratigraphy من أحدث الطرق الطباقية المستخدمة في المضاهاة.

## العمر المطلق

إن مقياس الزمن الجيولوجي لا يشتمل فقط على مقياس نسبي ولكنه يشمل أيضاً مقياساً مطلقاً مقدراً بالسنين من الآن ، ومرتكباً مع القياس النسبي ، ويلاحظ أن مقياس الزمن النسبي قد بني تدريجياً حتى أخذ شكله الحالي بنهاية القرن التاسع عشر ، أما مقياس العمر المطلق فقد تطور من خلال علم الزمن الجيولوجي بعد اكتشاف ظاهرة نشاط الإشعاع الذري وتطبيقاتها على المعادن .

**أسس التقدير الإشعاعي :** يبنى التقدير الإشعاعي على ظاهرة أن هناك كثيراً من الذرات غير ثابتة، وبالتالي التغير باستمرار إلى حالة أكثر ثباتاً وأقل طاقة ، وترتب على عملية التغيير هذه اضمحلال إشعاعي radioactive decay يؤدي بدوره إلى انبعاثات إشعاعية ، والعنصر الذي تضمحل نواته إشعاعياً يسمى الولود Parent ويسمى الناتج من الاضمحلال الإشعاعي الوليد daughter .

**الاضمحلال الإشعاعي : radioactive decay :** إن عديداً من النظائر المشعة والتي كانت موجودة يوماً ما في الأرض قد اضمحل ولم يبق لها وجود الآن ويرجع السبب في ذلك إلى أن معدلات الاضمحلال الذاتي لهذه العناصر كانت سريعة ، ومع ذلك فما زال يوجد حتى الآن القليل من لنظائر المشعة والتي تتحول ببطء . وقد بينت الدراسة العملية الدقيقة للنظائر المشعة أن معدلات الاضمحلال لا تتأثر بأية تغييرات في البيئة الطبيعية أو الكيميائية ،



شكل 4

ولذلك لا يتغير معدل الاضمحلال لنظير ما سواء كان في الوشاح أو في الصهارة أو في الصخر الرسوبي ، وهذه نقطة مهمة توضح أن معدلات الاضمحلال الإشعاعي لا تتأثر بأية عمليات جيولوجية. ويترتب على الاضمحلال الإشعاعي :

(1) انطلاق جسيمات ألفا

(2) انطلاق جسيمات بيتا

(3) تكتسب النواة إلكتروناتاً من خارجها . شكل (4)

وعندما تنطلق جسيمات ألفا نتيجة الاضمحلال الإشعاعي فإن نواة العنصر الولود تفقد بروتونين ونيوترونين ، ويتكون نظير وليد جديد يقل عدد الكتلة فيه بمقدار 4 كما يقل العدد الذري فيه بمقدار 2 عن النظير الولود من جانب آخر نطلق جسيمات بيتا يجعل النواة تطلق إلكترونات ويتحول أحد النيوترونات فيها إلى بروتون ، وبالتالي تبقى كتلة النواة ثابتة ، بينما يزيد العدد الذري بمقدار 1 ، ويتكون نظير جديد وفي حالة اكتساب إلكترون ، يلتقط أحد بروتونات نواة العنصر إلكترونات من المدار الخارجي ويتحول إلى نيوترون مما يترتب عليه نقص العدد الذري بمقدار 1 ويتكون نظير جديد ، بينما تبقى الكتلة ثابتة .

### معدل الاضمحلال الإشعاعي:

إن القانون الأساسي في الاضمحلال اشعاعي ثابت وهو : نسبة ذرات اصل (الولودة) التي تضمحل إشعاعياً أثناء كل وحدة زمنية هي دائماً النسبة نفسها ومن المهم أن نعرف أن معدل التحلل أو الاضمحلال الإشعاعي من عنصر ولود لنظيره الوليد يكون بمعدل ثابت لا يتغير ، يسمى ثابت التحلل .

ويتميز كل عنصر مشع بفترة زمنية تسمى عمر النصف Half-life وهي الفترة الزمنية اللازمة لأن يتحول نصف عدد ذرات عنصر مشع ما إلى النظير غير المشع . ويحدث التحلل الإشعاعي بمعدل هندسي أي أن عدداً ما من نويات عنصر مشع معين ( $N_0$ ) يتبقى نصف عددها مشعاً ( $N/2$ ) بعد مرور فترة عمر نصف واحدة ، بينما نصف هذا العدد أي ربع العدد الأصلي ( $N/4$ ) سيبقى مشعاً بعد مرور فترة عمر نصف أخرى وبعد مرور فترة عمر نصف أخرى سيبقى ثمن الكمية الأصلية ( $N/8$ ) ، وهكذا إلى ما لا نهاية .

ويقدر عمر العينة الجيولوجية بالفترة الزمنية المنقضية منذ تبلور الشبكة البلورية للمعدن الحاوي للذرات المشعة ، ويكون العمر عند لحظة البداية صفراً ، وتكون نسبة ذرات النظير المشع لذرات النظير غير المشع عندئذ صفراً وتقدر الفترة الزمنية منذ التبلور بقياس نسبة نويات النظير المشع إلى نويات النظير غير المشع في المعدن . وبالطبع فإن عمر النصف للعنصر المشع يجب أن يكون معلوماً ويضرب في نسبة نويات النظير المشع إلى نويات النظير غير المشع . على سبيل المثال إذا كانت نسبة اليورانيوم 238 إلى الرصاص 206 في عينة ما تساوي 1:1 ، فهذا يعني أن نصف المادة الأصلية من اليورانيوم قد تحللت إلى رصاص ، أي مضت فترة عمر نصف واحدة وحيث أن عمر النصف لليورانيوم 238 هو 4510 مليون سنة فإن هذا سيكون عمر العينة .

### التصنيف الطبقي (الإستراتيجي)

قسم الزمن الجيولوجي إلى وحدات غير متساوية بناءً على طول الأحداث الجيولوجية المختلفة وتشمل وحدات الزمن الجيولوجي : الدهر eon والحقب era والعصر period والحين epoch والعمر age مرتبة من الأطول إلى الأقصر . ويعتبر العصر الوحدة الزمنية الأساسية. أما الوحدات الطبقيّة الزمنية time - rock units فتشمل الصخور التي ترسبت خلال الفترة الزمنية المساوية لوحدة الزمن الجيولوجي المقابلة لها. وهي تشمل وحدة صخور الدهر eonothem وتقابل الدهر، والتجمع أو صخور الحقب erathem ويقابل الحقب، والنظام system ويقابل

العصر، والنسق series ويقابل الحين، والمرحلة stage وتقابل العمر، وتأخذ كل وحدتين متقابلتين من الوحدات السابقة أسما واحداً، فمصطلح الكمبري Cambrian يطلق على العصر الكمبري Cambrian Period والذي يشمل الفترة الزمنية الممتدة بين نحو 570 إلى 500 مليون سنة مضت، بينما يشير مصطلح نظام الكمبري Cambrian system إلى كل الصخور التي ترسبت خلال تلك الفترة الزمنية.

### العمود الجيولوجي :

هو مصطلح يطلق على التتابع الكامل لجميع الصخور التي تكون القشرة الأرضية من أقدم مكوناتها حتى أحدثها ويستعمل نفس المصطلح أحياناً للدلالة على التتابع الصخري الكامل الممثل في منطقة معينة. والعمود الجيولوجي العام يفوق طوله وما به من تفاصيل كل وصف أو تصور وهو لا يوجد ممثلاً كاملاً في مكان واحد وحتى بفرض أنه يمكن جمع سجل كامل لجميع الصخور الموجودة في جميع أنحاء الأرض فإنها لن تكون ممثلاً لكل الزمن الجيولوجي منذ أن تكونت للأرض قشرة صلبة لأنه سيتخلله ثغرات كثيرة من عدم التوافق التي تمثل فترات انقطاع أو توقف الترسيب نتج عن نشاط الحركات الأرضية المختلفة التي انتابت القشرة الأرضية في أزمنة كثيرة من التاريخ الجيولوجي الطويل. ويعتبر العمود الجيولوجي أحد الإنجازات الكبيرة التي توصل إليها جيولوجيو القرن التاسع عشر من خلال عملية المضاهاة لأنه يمكن الربط بين التتابعات الطباقية التابعة لزمن واحد. ولقد تمكن هؤلاء الجيولوجيون ومن خلال عملية المضاهاة على مستوى العالم من جمع عمود جيولوجي geologic column هو عبارة عن قطاع رأسي مركب يحتوي تتابع الطبقات المعروفة في ترتيب زمني على أساس محتواها الحفري أو أي أدلة أخرى على العمر النسبي. وما زال يضاف إلى هذا المقياس العالمي أويتم إدخال التحسينات عليه حتى الآن نتيجة وصف أو رسم خرائط لوحدة صخرية أكثر. ويقسم الجيولوجيون كل التاريخ الجيولوجي إلى وحدات مختلفة المدى الزمني تقابل الوحدات الصخرية للعمود الجيولوجي وتشمل في مجموعها مقياس الزمن الجيولوجي geologic time scale لتاريخ الأرض. وقد أدخلت وحدات مقياس الزمن الرئيسية خلال القرن التاسع عشر على يد علماء من غرب أوروبا وبريطانيا ونظراً لأن تحديد العمر المطلق باستخدام المواد المشعة لم يكن معروفاً في ذلك الوقت فإنه مقياس الزمن قد أقيم باستخدام طرق قياس العمر النسبي. وقد أضيفت التقديرات المطلقة لوحدة مقياس الزمن بعد إجازتها في القرن العشرين.

## تقسيمات الزمن الجيولوجي

إن عمر الأرض والبالغ (4600) مليون سنة قد قسم إلى دهرين أو أبدين هما دهر الحياة الخفية يمتد من (4600-544) مليون سنة، ودهر الحياة الظاهرة يمتد من (0-544) مليون سنة، وفيما يلي شرح مبسط لكل من هذين الدهرين :

### أولاً: دهر الحياة الخفية أو أبد الحياة المستترة: (Cryptozoic Eon)

يعرف أيضاً بدهر ما قبل الكامبري (Precambrian Eon) ، وهو متمثل بمجموعة الصخور القديمة التي تشكلت حجم واسع من القشرة القارية، ولا يوجد القشرة المحيطية. أغلبها صخور نارية وصخور متحولة شديدة التشوه. لكي تنتج هذه الصخور، لا بد من وجود سمك كبير من الصخور الرسوبية والصخور البركانية المنثنية والمتفلقة والتي اخترقت الصخور الجرانيتية . صخور هذا الدهر تحتوي فقط على القليل من متحجرات الأشكال الحياتية الأولية أو البدائية جداً. بدون المتحجرات الشائعة فإن مقارنة الطبقات الصخرية المنفردة من قارة إلى قارة يصبح صعب جداً، إذا لم يكن مستحيلاً. تقدم رئيسي في حل شفرة هذا الدهر يمكن تحقيقه باستخدام طرائق النظائر المشعة لمعرفة عمر الصخور النارية والمتحولة، هذه الأعمار تزودنا بتقسيمات مهمة لدهر الحياة الخفية وبالتالي معرفة عمر العديد من الأحداث الرئيسية التي وقعت فيه. يقسم دهر الحياة الخفية إلى ثلاث تقسيمات ثانوية هي: الحقبة الخفية أو الهيدي (Hadean Eon) ويطلق عليها في بعض المراجع بزمان اللاحياة، وحقبة الأركي أو حقبة الحياة السحيقة (Archean) وحقبة الحياة الأولية (Proterozoic) ، والتي قسمت اعتماداً على عمرها المستخرج بالنظائر المشعة وليست بالمتحجرات.

### ثانياً: دهر أو أبد الحياة الظاهرة: (Phanerozoic Eon)

صخور هذا الدهر أحدث عمراً من صخور دهر الحياة الخفية، وهي أقل تعقيداً (تشويهاً) وتحتوي على العديد من المتحجرات التي مكنت الجيولوجيين من مضاهاتها عالمياً على نطاق واسع. المدة التي أعقبت نهاية دهر الحياة الخفية يدعى بدهر الحياة الظاهرة (Phanerozoic Eon) صخور هذا الدهر غنية بالمتحجرات. مرور الزمن في هذا الدهر سُجل (أرخ) بواسطة المتحجرات التي توحى بالتطور المستمر لأشكال الحياة المتنوعة على الأرض. دهر الحياة الظاهرة قسم إلى ثلاث أحقاب (Eras) رئيسية، والتي قسمت بدورها إلى عدد من العصور (Periods):

### (1) حقبة الحياة القديمة: (Paleozoic era)

سمي هذا الحقب بعصر الأسماك وذلك لأن صخور هذا الحقب تحتوي على عدد من متحجرات الكائنات البحرية، أبرزها الأسماك الأولية ، فضلاً عن متحجرات البرمائيات هذا الحقب يقسم إلى ستة عصور اعتماداً على

درجة تشوه الصخور ، هذه العصور من الأقدم إلى الأحدث هي: العصر الكامبري والعصر الأوردوفيشي والعصر السيلوري والعصر الديفوني والعصر الكربوني والعصر البرمي.

### **(2) حقبة الحياة الوسيطة: (Mesozoic Era)**

سمي هذا الحقب بعصر الزواحف وذلك لأن صخور هذا الحقب تحتوي على عدد كبير من متحجرات الزواحف فضلاً عن متحجرات اللاقاريات الشائعة في هذه الصخور، صخور هذا الدهر قسمت إلى ثلاثة عصور هي من الأقدم إلى الأحدث: العصر الترياسي والعصر الجوراسي والعصر الطباشيري .

### **(3) حقبة الحياة الحديثة: (Cenozoic Era)**

سمي هذا الدهر بعصر الثدييات وذلك لأن صخور هذا الحقب تحتوي على عدد كبير من متحجرات الثدييات فضلاً عن متحجرات النباتات واللافقاريات. صخور هذا الحقب قسمت إلى عصرين، هما من الأقدم إلى الأحدث: العصر الثالث والعصر الرابع وهناك تقسيم آخر أحدث من التقسيم السابق، يقسم حقب الحياة الحديثة إلى ثلاث عصور هي من الأقدم إلى الأحدث: عصر الباليوجين وعصر النيوجين وعصر الانثروبوجين.

## **الأحافير Fossils**

الأحفورة أثر أو بقايا نبات أو حيوان كان يعيش منذ آلاف أو ملايين السنين. بعض هذه الأحافير أوراق نبات أو أصداف أو هيكل، كانت قد حُفظت بعد موت النبات أو الحيوان. وبعضها الآخر آثار ومسارات أقدام نتجت عن الحيوانات المتحركة. توجد معظم الأحافير في الصخور الرسوبية تشكلت هذه الأحافير من بقايا نباتات أو حيوانات طمرت في الرسوبيات مثل الطين أو الرمل المتجمع في قاع الأنهار والبحيرات والمستنقعات والبحار. وبعد مرور آلاف السنين، فإن ثقل الطبقات العليا الضاغطة على الطبقات السفلى يحولها إلى صخور. وهناك عدد قليل من الأحافير التي تمثل نباتات أو حيوانات كاملة لأنها حُفظت في جليد أو قطران أو إفرازات الأشجار المتجمدة. يعتقد بعض العلماء أن أقدم الأحافير هي لبكتيريا مجهرية عاشت قبل نحو 5.3 بليون سنة. وُجدت مثل هذه الأحافير في جنوب إفريقيا في نوع من الصخور يسمّى الشرت. كما عُثر على أحافير مماثلة لبكتيريا قديمة في أستراليا. وأقدم الأحافير الحيوانية هي بقايا اللاقاريات. ويُقدر عمر صخور هذه الأحافير بحوالي 700 مليون سنة. وأقدم أحافير الفقاريات هي أحافير للأسماك يُقدر عمر صخورها بحوالي 500 مليون سنة .

والأحافير واسعة الانتشار والعثور عليها أسهل مما يعتقد الكثيرون وتتوفر في معظم بقاع العالم. وهذا يعود لكون الصخور الرسوبية واسعة الانتشار تغطي حوالي 75 % من سطح اليابسة. ومع هذا يعتقد العلماء أن جزءاً يسيراً من الحيوانات والنباتات التي عاشت على الأرض قد تم حفظها في شكل أحافير. كما يُظن أن أنواعاً عديدة قد عاشت واختفت دون أن تترك أي أثر في السجل الأحفوري على الإطلاق. ولكن المزيد من الأنواع الأحفورية يتم اكتشافها دائماً. ومع أن السجل الأحفوري غير مكتمل، فإن العديد من المجموعات النباتية والحيوانية الهامة قد ترك

بقايا أحفورية. وقد مَكَّنَتْ هذه الأحافير العلماء من تصور نماذج الحياة التي وُجدت في عصور زمنية مختلفة في الماضي، وكذلك معرفة كيف عاشت أنواع ما قبل التاريخ كما تشير هذه الأحافير لكيفية تغير الحياة مع الزمن على الأرض.

### تحديد تاريخ الأحافير:

خلال سنوات عديدة من البحث تمكن علماء الأحافير من فهم الترتيب في السجل الجيولوجي لمعظم أنواع الأحافير. وعند أول اكتشاف لنوع أحفوري فالمفترض أن يوجد عادة مصاحباً لأنواع أخرى. وإذا عرف العلماء موقع وتاريخ حياة هذه الأنواع الأخرى سيكون بمقدورهم تحديد موقع الأجناس المكتشفة. ويشير هذا النوع من تحديد التاريخ فقط إلى ما إذا كانت أحفورة أقدم أو أحدث من الأخرى، ولا يعطي عمر الأحفورة بالسنين. ويقوم علماء الأحافير بتحديد عمر الأحفورة بقياس النظائر المشعة في الصخور المحتوية على الأحفورة. والنظائر المشعة عناصر كيميائية تتحلل أو تتلاشى لتشكل مواد أخرى. ويعرف العلماء معدل تحلل العناصر المشعة المختلفة. ومن خلال مقارنة كمية النظير المشع في الصخور بكمية المادة المنتجة عن التحلل، يتمكن العلماء من حساب المدة الزمنية التي استغرقتها عملية التحلل. وهذه الفترة الزمنية تشكل عمر الصخور والأحافير التي تحتويها.

### الأحافير المرشدة (الدالة) Index Fossils:

يُطلق هذا الاصطلاح على البقايا والآثار القديمة للنباتات والحيوانات التي عاشت خلال فترة معينة من الزمن الجيولوجي، والتي يمكن استخدامها في عمليات التأريخ الجيولوجي للصخور التي تحتوي عليها. وفي أغلب الأحيان تكون الأحفورة المرشدة محصورة في الصخور الرسوبية التي توجد في بيئات متعددة كالمحيطات المفتوحة والبحيرات الشاطئية الاستوائية والشعب المرجانية والشواطئ والبحيرات والأنهار. وتمثل الأحافير المرشدة في مجموعة من التكوينات العضوية، تضم الطحالب الميكروسكوبية وحبوب اللقاح والأصداف وأسنان القرش والتجاويف الهندسية الموجودة في الصخور الناجمة عن تحلل مواد عضوية غير معروفة لنا. كما تضم أيضاً أمثلة كبيرة وواضحة لأجزاء من حيوانات بائدة مثل أسنان الأفيال المنقرضة، وتعتبر الأحافير المرشدة وسائل ضرورية جداً في عمليات البحوث الجيولوجية، حيث تستخدم في مقارنة العمر الجيولوجي لتكوينات الصخور الرسوبية كما أنها ذات فائدة قصوى في عمليات البحث عن البترول والفحم والخامات الفلزية.

### العوامل التي تحدد اختيار أحفورة ما كأحفورة مرشدة:

**أولاً:** يجب أن تمثل الأحفورة مجموعة أحيائية تطورت بصورة سريعة، فوفقاً للمفاهيم التي تضمنتها نظرية التطور فإن المجموعات الأحيائية سواء كانت حيوانية أو نباتية ظهرت في نسق محدد، واستمرت محافظة على هذا النسق فترة من الزمن إلى أن استبدلت بها تكوينات أحيائية جديدة، ولما كانت الأحياء التي تعرضت لعملية التطور لا تعود مرة أخرى إلى أشكالها القديمة لذلك تكوّنت أنواع متعاقبة من الفونا والفلورا. وقد اعتبر كل نوع فردي منها دليلاً على الزمن الجيولوجي الذي عاش خلاله هذا النوع، ولا يخفى على المرء أنه كلما صغرت الفترة الزمنية التي تمثلها أي أحفورة مرشدة، كان ذلك أفضل، حيث تضيق حدود العمر النسبي الخاص بالصخور التي تحتوي على مثل هذه الأحفورة.

ويطلق الجيولوجيون عادة اصطلاح مدى الأحفورة (Fossil Range) ليدل على فترة الزمن الجيولوجي التي عاش خلاله الكائن الممثل للأحفورة كما يطلقون اصطلاح: النطاق الفوني (Faunal Zone) ليدل على ذلك النطاق الصخري التي توجد خلاله أحفورة مرشدة معينة أو مجموعة من الأحافير المرشدة التي لا يجاوز مداها الاستراتيجرافي حدود النطاق.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن كلا من المدى والنطاق يأخذ اسمه من الأحافير التي توجد فيه فلو أن أحفورة ما، ولتكن من جنس (Fusulinella) التي وجدت في مدى معين فإن هذا المدى سوف يُنسب إليها، أي (Fusulinella Range) وكذلك الأمر مع النطاق.

**ثانياً:** يجب أن تكون الأحفورة موجودة في الصخور بأعداد كافية بحيث يمكن العثور عليها بجهد معقول.

**ثالثاً:** يجب أن تكون عمليات تجميع الأحفورة المرشدة والتعرف عليها متسمة بالسهولة.

**رابعاً:** ينبغي أن تكون الأحفورة المرشدة منتشرة جغرافياً على نطاق واسع وفي عدة أماكن مختلفة من العالم.

**خامساً:** يجب أن تقاوم الأحفورة الضغوط الواقعة عليها من الطبقات الصخرية التي تعلوها أو التي دُفنت

خلالها، كما يجب أن تقاوم تأثيرات المحاليل الناجمة عن رشح المياه الجوفية، وفي الحالات التي توجد فيها الأحفورة المرشدة في مناطق مكشوفة، لا بد أن تكون لديها القدرة على مقاومة عوامل التعرية السطحية حتى تظل قادرة على البقاء دون أن تنهشم وتتحلل. ومن المعروف أن الأحافير في أغلب الأحيان لا تحتفظ بصورتها الكاملة، كما أنه لا يمكن فصلها من الصخور الحاوية لها دون بذل بعض الجهد، وقد تتعرض آنذاك للتحطم، ولذلك يجب إجراء عملية الفصل بدقة وحذر بالغين. وتُعتبر السمات التي يمكن من خلالها التعرف على الأحفورة في البيئة الحاوية لها، ذات فائدة كبرى. وتزداد فائدة الأحفورة كلما أمكن الحصول عليها من الصخر بسهولة سواء بالطرق الميكانيكية أو الكيميائية. وهناك بعض الأنواع من الأحافير المرشدة يمكن الحصول عليها بسهولة عن طريق معالجة الصخور الحاوية لها بالأحماض. فحبوب اللقاح على سبيل المثال، والأبواغ (Spores) والكونودونات (Conodonts) تتميز بمقاومتها العالية للأحماض ومن ثم يمكن فصلها كيميائياً من الصخور.

ومن المميّزات التي يُستحب أن تكون متوافرة في الأحافير المرشدة: صغر حجمها وتظهر قيمة ذلك أثناء فحص فئات الصخور الناجمة عن حفر آبار النفط الاستكشافية أو عمليات البحث الجيولوجي عن الركازات المعدنية، وتعتبر المثقبات (الفورامينيفيرا) والأبواغ وحبوب اللقاح من الأحافير المرشدة التي يتم البحث عنها أثناء عمليات حفر الآبار البترولية.

# جيولوجية الكويت الاقتصادية



## الجيولوجيا الاقتصادية لدولة الكويت

### أولاً: النفط

#### ما هو النفط؟

كلمة النفط تعريب لكلمة بترول (petroleum أو Petra Oil) وتعني زيت الصخر. أن التعريف السائد للنفط هو أنه عبارة عن مزيج معقد من المواد الهيدروكربونية. وتجدر الإشارة إلى أن المواد الهيدروكربونية توجد في صورة أو أكثر من صور المادة الثلاث: الغازات والسائلة والصلبة. ولكن دعونا نتعرف أولاً على النفط : ما هو تركيبه؟ وكيف نشأ؟ وكيف يستخرج من باطن الأرض؟ وسوف نحاول أن يكون ذلك التعرف في أبسط صورة ممكنة. هو سائل أسود كثيف سريع الاشتعال مكون من خليط من المركبات العضوية والتي تتكوّن من عنصري الكربون والهيدروجين وتعرف باسم الهيدروكربونات.

النفط عبارة عن مزيج من مركبات هيدروكربونية أساسها عنصر الهيدروجين والكربون وأبسط هذه المركبات هو غاز الميثان ويتكون من ذرة واحدة من الكربون حولها أربع ذرات من الهيدروجين ثم تتدرج المركبات في التعقيد بزيادة عدد ذرات الكربون حتى تصل إلى جزئيات غاية في الكبر بها مئات الذرات من الكربون وتكون مواد صلبة أو شبه صلبة. وفي المسافة بين جزيء غاز الميثان البسيط وجزئيات الإسفلت والقطران تقع السوائل البترولية مبتدئة بالخفيف منها مثل المكثفات والجازولين ثم النافثا ووقود الطائرات ثم الكيروسين والسولار والديزل حتى تصل إلى زيوت التزييت والشحوم ، كل هذا يوجد مختلطاً ممتزجاً بحيث يكون مادة واحدة هي الزيت الخام ومعه جزء كبير من الغاز الذائب يخرج من باطن الأرض سائلاً يميل إلى اللون الأخضر أو اللون البني..... الخ تبعاً لتوزيع المكونات المختلفة به.

تهتم الدول باكتشاف آبار جديدة للبترول وتطوير طرق حفر الآبار حيث أنه عادة يتم استخراج نحو 40% من النفط والجزء الأكبر يظل داخل باطن الأرض ويصعب استخراجها ومن أهم أسباب انتشار النفط هو سهولة نقله وتحويله إلى مشتقات، وانخفاض سعره وتوفره في كثير من البلدان التي لا تستهلك إلا القليل منه.

#### التأثيرات البيئية للنفط، منها:

- انفجارات زلزالية تصاحب إنتاجه وتشغيله.
- استخراج البترول عملية مكلفة، وأحياناً ضارة بالبيئة.
- يزعج استخراج النفط بالقرب من الشواطئ الكائنات البحرية الحية ويؤثر على بيئتها.

## مصفاة النفط:

عبارة عن منشأة تستقبل النفط الخام وتقرز مواده إلى عدد كبير من المنتجات النفطية الاستهلاكية، كالجازولين والقار ووقود الطائرات ووقود السيارات والنفط الأبيض والمئات من المنتجات وتتكون المصفاة بشكل عام من:

ويمر النفط داخل المصافي بثلاث مراحل وهي:

1. **مرحلة الفصل:** تفصل المواد بالحرارة، فالأثقل وزناً يبقى أسفل البرج والأخف في الأعلى.
2. **مرحلة التحويل:** إجراء بعض العمليات الكيميائية لتحويل النفط إلى منتجات مرغوبة (البلاستيك).
3. **مرحلة المعالجة:** تنقية المنتجات النفطية من الشوائب وإعداده للاستهلاك وأيضا يتم استخراج الغازات للاستفادة منها في بقية عمليات الإنتاج مثل إنتاج غاز الهيدروجين من النقتا الثقيلة للاستفادة منه في وحدات التكسير بالهيدروجين حيث يتم الاستفادة من آخر قطرة من النفط الخام.

## يُنقل النفط بطريقتين:

- \* النقل البري ويشمل خطوط الأنابيب وهي أحسن وسيلة لنقل النفط، بالإضافة إلى الشاحنات أو القطارات الصهرجية.
- \* النقل البحري وتتمثل في الناقلات والبواخر المسطحة.

## تجميع النفط الخام:

يُنقل النفط الخام من الآبار الى مراكز التجميع عبر أنابيب التدفق حيث يتم هناك فصل الغاز الطبيعي والماء والأملاح عن النفط الخام.

## مراحل تواجد النفط :

1. **مرحلة التكوين:** وهي المرحلة الأولى من مراحل تواجد النفط يتم فيها تكوين المادة للنفط في وجود عناصر يشترط توافرها وهي :

- ❖ المادة العضوية بتركيزات عالية في طبقة من الصخور وتسمى هذه الصخور "بصخور المصدر"
- ❖ حرارة وضغط حيث يتوافر كل من الضغط والحرارة المناسبة في الأعماق الكبيرة.

2. **مرحلة الهجرة:** في هذه المرحلة يهاجر النفط من مناطق تكونه (صخور المصدر) حيث الضغوط المرتفعة متجها إلى مناطق أخرى حيث الضغط الأقل، وتتطلب هذه المرحلة توافر عنصرين أساسيين وهما:

- ❖ فرق في الضغط: وهي القوة المسؤولة عن حركة هذه الموائع.
- ❖ قنوات متصلة مع بعضها البعض تمثل المسامات والنفاذية (porosity)، إضافة إلى الكسور والشقوق في الصخور وهي جميعها تمثل ممرات صخرية تسمح بمرور النفط من خلالها في اتجاه أفقي أو رأسي (هجرة أفقية، هجرة رأسية).

## عناصر المصيدة النفطية

1. **صخور الخزان:** وهي عبارة عن طبقة صخرية ذات مسامية ونفاذية عالية ، يسمح الصخر باحتواء النفط داخله ، حيث أن المسامية هي الحجم الكلي للفراغات بالنسبة لحجم الصخر، بينما ، كما هو في الحجر الرملي.
2. **صخر الغطاء:** وهو عبارة عن طبقة صخرية غير منفذة تعلو صخر الخزان لتمنع الهجرة الرأسية للنفط مثل صخور الجبس اللامائية.
3. **تركيب صخري:** وهو عبارة عن تركيب جيولوجي يشمل صخر الخزان والغطاء الصخري بطريقة مناسبة تمنع استمرار هجرة النفط سواء الرأسية أو الأفقية ، مثل المصيدة القبوية.
4. **تواجد النفط:** أن تجمع النفط بكميات اقتصادية في طبقة الممكن بعد تكوين المصيدة النفطية ، يعطيها صفة المصيدة النفطية.

## **الحفر واستخراج النفط:**

تعتبر عملية الحفر من أهم وأخطر العمليات والأكثر كلفة، وهي التقنية الوحيدة لاستخراج النفط من باطن الأرض. (راجع كتاب الطالب ودليل المعلم).

## **مراحل عمليات استكشاف البترول المعروفة حالياً**

1. **المسح الجيولوجي:** من أهم عمليات الاستكشاف لدراسة المظاهر الجيولوجية ووضعها على الخرائط المناسبة.
2. **المسوحات الجيوفيزيائية:** ويتم من خلالها التعرف على إمكانية وجود المصائد النفطية، والطريقة الوحيدة للتأكد من وجود النفط في المنطقة الجاري الاستكشاف بها هو القيام بحفر بئر ووضعها على الانتاج. وأنواع المسوحات الجيوفيزيائية هي:
  - (أ) **طريقة الجاذبية:** تعتمد على قياس الجاذبية الأرضية التي تختلف من مكان لآخر تبعاً لكثافة الصخور المختلفة والتي تدخل في التراكيب الجيولوجية. والهدف تكوين فكرة عن شكل وامتداد الأحواض الرسوبية والاتجاهات البنوية والتركيبية ومواضع الفوالق في المنطقة مما يؤدي إلى تحديد المناطق الأكثر احتمالاً لوجود المصائد التي يمكن أن تكون صالحة لتجمع المواد الهيدروكربونية.
  - (ب) **الطريقة المغناطيسية:** يشبه إلى حد كبير طريقة الجاذبية إلا أنه يعتمد على قياس المغناطيسية الأرضية بدلاً من الجاذبية الأرضية. وبالإضافة إلى أهداف طريقة الجاذبية فإن الطريقة المغناطيسية تهدف أيضاً إلى تحديد الكتل والأجسام البركانية المطمورة وبالتالي يمكن توجيه عمليات الاستكشاف والتركيز على المناطق الرسوبية ذات السماكات الكبيرة.
  - (ج) **الطريقة السيزمية أو الزلزالية:** أهم الطرق الجيوفيزيائية على الإطلاق وأدقها، وتنفذ كالآتي:
    - إحداث هزات اصطناعية على السطح أو بالقرب منه بواسطة مطارق ميكانيكية للمسح البري (أو مدافع هوائية بالنسبة للمسح البحري) حيث تنتقل على أثر ذلك الموجات الصوتية في الطبقات الصخرية وتنعكس أو تنكسر على الأسطح الفاصلة بين الطبقات المختلفة وترتد بذلك إلى سطح الأرض حيث يتم التقاطها بواسطة سماعات صوتية أرضية.
    - قياس زمن انتشار الموجات الصوتية وعودتها إلى سطح الأرض.
    - معالجة المعلومات الواردة بواسطة الحاسوب.

- تفسير المعلومات والذي يتضمن ترجمة النتائج التي تم الحصول عليها إلى معلومات جيولوجية مفيدة لعمليات الاستكشاف.

#### أ. التحاليل والدراسات الجيوكيميائية: يتم فيها:

- (1) تحليل عينات من التربة ومعرفة نسبة الغاز بها وبالتالي الاستدلال على قرب أو بُعد المصيدة النفطية.
  - (2) تحليل عينات نفطية ومقارنتها لمعرفة ما إذا كانت هذه الخامات من مصدر واحد أو عدة مصادر.
  - (3) تحليل العينات الصخرية بالإضافة إلى العينات النفطية بهدف تحديد الصخور المولدة للنفط.
- وهذه المعلومات تخضع للدراسة الدقيقة وغالباً باستخدام الحاسوب للوصول إلى نماذج تحاكي الأحواض الرسوبية في المنطقة وبالتالي معرفة أفضل المواقع للتراكيب الجيولوجية والتي يمكن أن تكون مصائد نفطية.

**ب. الحفر الاستكشافي:** إن أول بئر يتم حفرها تسمى بئراً استكشافية وتسمى أيضاً بالحفر العشوائي نظراً لأن عملية الحفر تتم تحت ظروف غامضة جداً. وتسير العملية ببطء شديد تحسباً لمواجهة أي مشاكل طارئة وتفادياً لأي مفاجآت. والمعلومات اللازمة من البئر الاستكشافية يتم الحصول عليها من:

- أ) دراسة العينات الفتاتية
  - ب) دراسة العينات اللبائية
  - ج) متابعة خواص سائل الحفر
  - د) القياسات الجيوفيزيائية في الآبار
  - هـ) اختبار الآبار
- فإن وُجد فيها كميات تجارية من النفط أو الغاز فنكون قد اكتشفنا حقلاً نفطياً، وإن لم نجد فتسمى بئراً جافة.

#### الخصائص العامة للنفط الثقيل (راجع كتاب الطالب ودليل المعلم)

### الحقول النفطية في الكويت

#### حقل برقان الكبير:

يعتبر من أكبر الحقول النفطية في العالم، ويبدو التركيب الجيولوجي للحقل بأنه غير متمائل جيولوجياً حيث يميل جانبه الغربي بزواوية أقل من 2°، بينما يميل جانبه الشرقي حوالي 15°. وتوجد المصائد البترولية في تكوين وارة وتكوين برقان التابعين للعصر الطباشيري، وينتميان إلى مجموعة الواسع . ويتكون حقل برقان الكبير من ثلاثة حقول كبيرة هي:

- 1. حقل برقان:** تركيبه الجيولوجي يشبه قبة بيضاوية، تبلغ مساحته 500 كم<sup>2</sup>، عدد آباره 460 بئراً، وتتخلل هذه القباب فوالق ثانوية يبلغ عددها حوال 30 فالقاً بخطوط مستقيمة وشعاعية، ويتراوح طولها ما بين 3-4 كم.
- 2. حقل المقوع:** تبلغ مساحته حوالي 186 كم<sup>2</sup>، ويميل في الاتجاه الشمالي الجنوبي وعدد آباره 178 بئراً، ويقع تركيب الموجود في حقل المقوع على عمق 150 متراً أعظم من قبة البرقان، ويتخلل الحقل حوالي 20 فالقاً ثانوية تتراوح أطوالها من 3 – 6 كم باتجاه الشمال الغربي – الجنوبي الشرقي.
- 3. حقل الأحمدى:** تبلغ مساحته حوالي 144 كم<sup>2</sup>، يمتد في اتجاه الشمال – الشمال الغربي، وتتخلله 4 فوالق تبدو متوازية.

ونذكر فيما يلي أسماء بعض الحقول النفطية مثل: حقل المناقيش، حقل الروضتين، حقل الصابرية، حقل الوفرة، حقل بحرة، حقل أم قدير.

## ثانياً: مصادر المياه في الكويت

تعد المياه سواء أكانت مياهاً عذبة أو قليلة الملوحة، شريان الحياة الأساسي ومقوماً رئيسياً من مقومات التنمية المعاصرة الشاملة بكل مكوناتها الاقتصادية والاجتماعية والبيئية.

تعتبر المياه الجوفية العذبة والقليلة الملوحة المصدر الطبيعي الوحيد للمياه في الكويت. ولا يزال العديد من الآبار ينتشر في أنحاء الكويت، وخاصة في مناطق الخبرات والتميلات التي تنتهي عندها الاودية الجافة والتي تتسرب اليها مياه المطر من خلال الصخور السطحية، ومن أهم هذه الخبرات الروضتين وام العيش والجليب وام المدافع وثمانية كبد وثمانية المناقيش وغيرها.

وتنقسم مصادر المياه في دول مجلس التعاون الخليجي بشكل عام، والكويت على وجه الخصوص، إلى مجموعتين هما:

### أولاً: مصادر المياه الطبيعية التقليدية:

تتمثل هذه المصادر أساساً في المياه السطحية ممثلة في مياه الأمطار وما ينجم عنها من سيول ومجري مائية تفعم بالمياه عقب سقوط الامطار. هذا بالإضافة الى المياه الجوفية العذبة والقليلة الملوحة. كما تتمثل في جلب المياه العذبة من دول الجوار الجغرافي .

### ثانياً: مصادر المياه البديلة (الاصطناعية):

تتمثل المصادر البديلة للمياه في الكويت في مصدرين هما، المياه المحلاة، ومياه الصرف الصحي المعالجة. وهما مصدران يمكن تنميتها بصورة متواصلة ومطرده وبالقدر المطلوب بعكس مصادر المياه الطبيعية التقليدية التي تنسم بأنها شبه ثابتة بل تتراجع بصورة متواصلة مع زيادة الضغط عليها مثل المياه الجوفية ويصعب تنميتها بما يواكب الاحتياجات المائية المتنامية ( المياه السطحية). ومن ثم سوف يقع على عاتق مصادر المياه البديلة الدور الأكبر في تحقيق الامن المائي المستدام للكويت وغيرها من دول الخليج. وتعد المياه المحلاة أكبر مصادر المياه بصفة عامة في الكويت بنسبة تبلغ 51.7% يليها المياه الجوفية بنسبة 38.8%. وأخيراً مياه الصرف الصحي المعالجة بنسبة 9.5%.

### وتنحصر موارد المياه في دولة الكويت فيما يلي:

(أ) مياه عذبة منتجة من البحر باستخدام طرق التحلية (المياه المحلاة).

(ب) المياه الجوفية العذبة قليلة الملوحة.

(ج) مياه الصرف الصحي المعالجة.

## المياه الجوفية

المياه الجوفية هي المياه المتواجدة تحت سطح الأرض والتي يمكن تجميعها بواسطة الآبار وأنفاق التصريف أو التي تندفع بشكل طبيعي إلى سطح الأرض بواسطة الينابيع. تتكون هذه المياه بفعل عملية رشح المياه الموجودة فوق سطح الأرض إلى الأسفل بحيث تكون الصخور التحت سطحية على درجة عالية من النفاذية بما يكفي لنقل المياه.

تتكون مياه الرشح الجوفي من تساقط الغلاف الغازي، وهناك مياه جوفية مصدرها التكتاف تتواجد في الجهات الصحراوية.

### مصادر المياه الجوفية:

- الأمطار التي تخترق التربة بواسطة مسامات وشقوق التكوينات الصخرية ثم تصل إلى خزانات المياه الجوفية.
- مياه البحيرات والأنهار والخزانات التي تنفذ خلال التربة وتصل إلى خزانات المياه الجوفية.
- الرشح المتبقي من فائض مياه الري من القنوات يعتبر مصدرا صناعيا مغذيا للمياه الجوفية.

### نظام المياه الجوفية:

يتغير مستوى وكمية ونوع المياه الجوفية بمرور الزمن، وتتأثر المياه الجوفية بالتغيرات الحاصلة بالمناخ، ففي السنوات الرطبة التي يكثر فيها التساقط يرتفع مستوى المياه الجوفية أما السنوات الجافة فينخفض هذا المستوى بشكل واضح بسبب قلة الأمطار الساقطة.

### يمكن تمييز ثلاثة نطاقات للمياه الجوفية:

- **نطاق التهوية:** يمتد هذا النطاق فوق أعلى جزء من مستوى المياه الجوفية ويتكون بعد فترة طويلة في الفصل المطير أو الرطب ولكن لا يتشبع بالماء بل يعتبر ممرا للتساقط الذي يترشح ويهبط إلى مستويات أكثر انخفاضا.
- **نطاق الجاذبية الشعرية:** يقع بين أعلى مستوى للمياه الجوفية وأكثر مستوى انخفاضا والتي تتطابق مع فترات الجفاف، ويوجد جزء من هذا النطاق مملوء بالماء والجزء الآخر مملوء بالهواء.
- **نطاق التشبع التام أو الدائم:** يقع هذا النطاق بين أقل مستوى للمياه الجوفية والصخور الكتيمة الواقعة تحت هذه المياه، وهي منطقة دائمة التشبع بالمياه.

## العوامل المؤثرة على مستوى المياه الجوفية

### 1. العوامل الطبيعية وتشتمل على:

\* **التساقط:** هناك علاقة كبيرة بين التساقط والتذبذب في مستوى المياه الجوفية، حيث يؤثر عامل الرشح من مياه الأمطار في تغذية المياه الجوفية. بما أن جزء من الأمطار الساقطة على الأرض ترشح إلى أسفل، فإن جزء آخر يجري على سطح الأرض بحيث يحتجز جزء من هذه المياه ويعود إلى الغلاف الجوي، وتبقى كمية من هذه المياه يصعب تحديدها فوق النباتات والأشجار والبنائيات. لذا كلما زادت كمية المياه المترشحة لباطن الأرض كلما ارتفع منسوب المياه الجوفية.

\* **الجريان السطحي:** مرور المياه الجارية في جزء من الطبقات المائية الحرة يؤثر على مستوى المياه الجوفية، وتوجد علاقة متبادلة بين الأنهار ومستوى الطبقات المائية وتكون هذه العلاقة في ثلاث حالات هي: حرة ودائمة عندما تقطع الأنهار جميع الطبقات المائية وتكون طبقات النفاذية تحت السطحية في أسفل النهر، أو مؤقتة ودائمة وذلك عندما تقطع طبقة النهر الطبقة النفاذة تحت السطحية في الأسفل في عمق معين حيث يرتفع مستوى ماء النهر فوق مستوى الطبقة تحت السطحية في مواسم ارتفاع منسوب الماء، أو غير موجودة وذلك عندما يكون مستوى النهر واقع أسفل الطبقة المائية بشكل دائم.

\* **التبخر والنتح:** إن تأثير النتح والتبخر في مستويات المياه الجوفية يعتمد على عمق مستوى المياه الجوفية وعلى شدة التبخر، حيث يكون التبخر والنتح في الطبقات المائية العميقة قليلاً جداً. ومن الملاحظ أن التذبذب في مستوى المياه الجوفية في المناطق التي لا تحتوي على أغطية نباتية يكون قليلاً ويعود سبب التذبذب في مواسم نمو النباتات إلى الفوائد الناتجة عن التبخر والنتح، ترجع زيادة هبوط مستوى المياه الجوفية في الأيام المشمسة إلى زيادة الفاقد في التبخر، ويصل هبوط المياه الجوفية إلى حده الأعلى في منتصف ساعات النهار، حيث يبدأ منذ الساعة الثامنة صباحاً، وتبدأ سرعته في الانخفاض حوالي الساعة السادسة مساءً وأثناء ساعات الظلام تتناقص سرعة الهبوط ويلاحظ رجوع في مستويات المياه بحيث لا يزيد مستواه أثناء النهار.

\* **الضغط الجوي:** إن تذبذب المياه الجوفية في الطبقات المائية الحرة الناتجة عن تغير الضغط الجوي قليلة جداً، وتعد زيادة ضغط الهواء فوق الطبقات المائية الحرة هي المسؤولة عن هبوط المستوى المائي. وزيادة الضغط في نطاق التربة يقلل حجم الهواء ويفسح المجال لجزيئات الماء في نطاق التربة لتحل محل الفراغ الناتج من تقلص حجم الهواء مما يعمل على رفع المياه الشعرية وبالتالي ارتفاع المستوى المائي، ويحدث العكس في حالة نقصان الضغط.

### 2. العوامل الإصطناعية:

ضخ المياه من الطبقات المائية بواسطة الآبار يعقبه هبوط في مستوى المياه الجوفية حول البئر، وزيادة الضخ في بعض المواسم يسبب هبوط في مستوى المياه الجوفية، لذا فإن التغذية الإصطناعية للمياه الجوفية كحقن المياه إلى الطبقات المائية بواسطة آبار الحقن يعمل على رفع مستوى المياه الجوفية.

يتحكم في جميع المياه الجوفية بكميات مختلفة مدى نفاذية الصخور (مدى قابليتها على تمرير المياه) وتدل التجارب على أن مياه الأمطار تبقى في الأماكن التي تتواجد فيها الأمطار على سطح الأرض ثم تتبخر وفي المناطق الرملية تنساب بسهولة وتصل إلى آفاق سفلية تحتية، وتنساب المياه بشكل أسرع في المناطق الحصوية.

## حركة المياه الجوفية

تتبع حركة المياه الجوفية شكل تضاريس السطح، فتسيل بوضوح باتجاه المنخفضات والسبب يعود لحركة المياه الجوفية المستديمة لكونها تنتقل بتأثير الجاذبية الأرضية نحو الأخاديد والأنهار والبحار وغيرها من الجهات المنخفضة بحيث تخرج في النهاية من الجهات المنخفضة على شكل ينابيع. ويعتمد معدل حركة المياه الجوفية على مدى نفاذية الصخور ودرجة ميل مستوى هذه المياه.

### مظاهر المياه الجوفية:

بالرغم من انسياب المياه الجوفية إلى أعماق بعيدة في جوف الأرض إلا أنه قد يساعد على ظهورها فوق سطح الأرض حركتها الدائمة في جوف الصخور، والتي ينجم عنها تشكيل كل من جوف القشرة الأرضية وسطحها بظواهرات جيومورفولوجية متباينة. ومن أهم المظاهر التي تبدو بها المياه الجوفية على سطح الأرض المجاري المفقودة التي قد تظهر أجزاء منها فوق السطح وتخفي بعضها في باطن الصخور، وآبار المياه، والينابيع، والنافورات والينابيع الحارة.

### أم العيش والروضتين:

في دولة الكويت هناك حقلان للمياه الجوفية العذبة هما حقل أم العيش والروضتين ويقعان في شمال الكويت، وقد بدأ الضخ من هذين الحقليين عام 1962م ويقدر المخزون الطبيعي لهذين الحقليين بحوالي 40 بليون جالون. توقف الإنتاج في حقل أم العيش عام 1990م نتيجة التدمير الذي أصاب منشآت الحقل بسبب الغزو العراقي للبلاد.

## ثالثاً: مواد البناء والتشييد

تضم القشرة الأرضية بعض المواد التي تتميز بأهميتها الخاصة في مجال البناء والتشييد مثل الحصى والرمال والجبس والحجر الرملي والحجر الجيري، حيث يحصل عليها الإنسان عن طريق التحجير بدلاً من التعدين، وتعتبر مواد البناء والتشييد من المواد الأساسية في عصرنا الحالي لازدياد النشاط العمراني في العالم. إلا أن قطاع الموارد الطبيعية غير النفطية في الكويت أقل أهمية من الموارد الطبيعية النفطية وذلك لعدم توافرها بصورة اقتصادية كبيرة.

**\* الحصى:** يوجد في الكويت 46 موقعاً طبيعياً للحصى، حيث يوجد في تكوين الدبدبة ومايستغل من الرواسب الحصىة اقتصادياً فيتراوح سمكها ما بين 0.5 – 3 متر. ويستخدم الحصى في صناعة الكونكريت، والاسفلت ورصف الطرق، ونتيجة للتوسع في النشاط العمراني زاد الطلب على الصلبوخ.

**\* الرمال:** توجد خمسة مواقع لمصادر الرمال في الكويت في جنوب غرب منطقة الجهراء، ويتراوح حجم الحبيبات ما بين حجم كبير إلى ناعم، حيث تتكون معظم الحبيبات الناعمة من الكالسيت والجبس. وتستخدم الرمال في صناعة الطابوق وفي رصف الطرق، أما الرمال الناعمة فتستخدم في صناعة الكونكريت والاسفلت.

**\* الحجر الجيري:** يستخرج الحجر الجيري من محجر الأحمدية، حيث يقع على عمق 6 أمتار في محجر الأحمدية، ويحتوي الجزء الأعلى من تكوين الدمام على حجر الصوان، ويستخدم الحجر الجيري في رصف الطرق البحرية، أما المسحوق الجيري فيستخدم في صناعة الاسفلت الكونكريتي ومشروعات الطرق.

**\* الحجر الرملي:** تقع مصادر الحجر الرملي في منتصف جنوب الكويت قرب الحدود بين الكويت والمملكة العربية السعودية، ويستخدم الحجر الرملي في صناعة الاسفلت والكونكريت.

**\* الحجر الجيري البطروخي:** تقع مصادر الحجر الجيري البطروخي (الحبيبي) على بعد حوالي 155 كم جنوب مدينة الكويت، وعلى امتداد شاطئ الخليج العربي، وتتميز هذه الرسوبيات بأن الطبقة العليا تتكون من

الحجر الجيري البطروخي، أما الطبقة السفلى فهي رمل بطروخي، وتتميز الطبقة العليا بوجود كربونات الكالسيوم بنسبة 75% على منها في الطبقة السفلية، وتستخدم معظم المادة الخام المتوافرة في صناعة طابوق الرمل الجيري، أما المادة الخام الغنية بالجير فتستخدم في صناعة الاسمنت.

**\* الطين:** تقع معظم مصادر الطين في جزيرة بوبيان، ويحتوي على نسبة عالية من الأملاح، وهو على هيئة طبقات في مرتفع جال الزور، كما توجد كميات من الطين الجيري والطيني في قاع جون الكويت، ولقد بينت الدراسات أن هذا الطين غير صالح لصناعة الكونكريت وصناعة المنتجات الفخارية.

**\* الكبريت:** يستخلص من البترول والغاز الطبيعي، وتبلغ طاقته الانتاجية 20 ألف طن كبريت سنوياً.

**\* الحديد والصلب:** يعتمد عدد من المصانع على صهر الحديد الخردة الذي يستورد معظمه، وفي الكويت مصنع واحد من عشرين مصنعاً موزعة على الدول العربية.

### **مشاكل بيئية:**

إن عدم مراعاة الشروط البيئية في عمليات إستخراج المواد المقلعة تسبب بالكثير من المشاكل البيئية، تمثلت في انخفاض مستوى سطح الأرض لموقع الدراكيل، وتراكم النفايات، واختفاء الغطاء النباتي، وتدمير مقومات الحياة الفطرية وعناصرها، بالإضافة إلى زيادة حجم مشكلة التصحر وزحف الرمال. بالإضافة الى أن عمل الكسارات وحركة الآليات الثقيلة المستخدمة في استخراج الصلْبوخ، يؤدي إلى انسداد مسام التربة، يقل عن 50% من التربة غير المنضغطة، وجفاف التربة وارتفاع درجة حرارتها بسبب عدم مقدرة النباتات على النفاذ في التربة المنضغطة، وزيادة معدلات الجريان السطحي لمياه السيول، وزيادة كميات الرمال والأترربة خلال فترة الصيف، تصل هذه الكميات أحياناً إلى 750 جم/طن إلى تأثير الحيوانات البرية نتيجة تلف واندثار النباتات التي تتغذى عليها الحيوانات الصغيرة، أكل العشب وانهيار السلسلة الغذائية بأكملها. كذلك تؤدي الضوضاء الناتجة عن مراحل استخراج الصلْبوخ إلى إبعاد الحيوانات عن المناطق التي يوجد فيها هذا النشاط، مما أحدث تغييرات كبيرة في سلوك الحيوانات البرية وقدرتها على التكاثُر، بالإضافة إلى أن حركة شاحنات النقل وآليات العمل تدمر بيوت هذه الحيوانات مما يؤدي إلى موتها داخل ملاحنها. وقد يترك بعض المقاولين الدراكيل بعد استخراج الصلْبوخ منها حفراً دون ردمها بشكل صحيح مما جعل بعض ضعاف النفوس يستغلها لسكب مواد مختلفة كالأصباغ وغيرها.

