



وزارة التربية
التوجيه الفني العام للعلوم
اللجنة الفنية المشتركة للجيولوجيا

مذكرة الوظائف الإشرافية

موجه فني جيولوجيا

(المرحلة الثانوية)

2018/2017م





الفهرس

الصفحة	الموضوع	ر.م.
3	الفلك	1
18	البلورات والمعادن	2
32	الصخور	3
45	العمليات الداخلية	4
57	العمليات الخارجية	5
73	التحرك الكتلي	6
77	الجيولوجيا التاريخية	7
89	الجيولوجيا الاقتصادية	8



الفلك





مقدمة

منذ أن وجد الإنسان على هذه الأرض وهو يتساءل عن أصل الأشياء وأسباب تكونها وكيفية تكونها، ومن التساؤلات المهمة والقديمة والتي شغلت الأذهان هو السؤال المتعلق بأصل الكون. وقد ظهرت العديد من الأفكار والآراء بعضها يعد أساطير وبعضها الآخر أصبح أفكار غير واقعية وبعضها نظريات عفا عليها الزمن. والنظرية الحديثة التي تفسر أصل الكون والتي لاقت رواجاً بين العلماء هي (نظرية الانفجار العظيم). أما النظرية التي تفسر أصل المجموعة الشمسية فهي (النظرية السديمية)، وهي تعد جزءاً من نظرية الانفجار العظيم ولكننا فضلنا دراستها على حده لتسهيل عملية الفهم لدى القارئ. أما فيما يتعلق بنشوء القمر، والذي يعد مهماً بالنسبة لنا لأنه التابع الوحيد للأرض، فإن هناك العديد من النظريات التي حاولت أن تفسر نشأته، ولكن أبرزها وأكثرها حداثة وقبولاً في الأوساط العلمية هي (نظرية التصادم). وسوف نتطرق إلى كل من هذه النظريات الثلاث (نظرية الانفجار العظيم، والنظرية السديمية، ونظرية التصادم) بشيء من التفصيل فيما يلي:

أولاً: نظرية الانفجار العظيم (Big Bang Theory)

الانفجار العظيم حادث كوني وقع قبل (15 بليون) سنة عندما كان الكون كله مضغوطاً في جزيء ذري واحد بشكل نقطة واحدة أطلق عليها العلماء اسم (الذرة البدائية) أو (الحساء الكوني). وأن حجم هذه النقطة كان يساوي الصفر وكتلتها لا نهائية. أي أن الكون كان عبارة عن طاقة خالصة. وأن الصيغة النهائية التي يمكن اختصار النظرية بها هي: أنه قبل (15) بليون سنة وقع انفجاراً هائلاً في ذرة بدائية كانت تحتوي على مجموع المادة والطاقة. وفي اللحظات الأولى من الانفجار الهائل ارتفعت درجة الحرارة إلى عدة تريليونات، حيث خلقت فيها أجزاء الذرات، ومن هذه الأجزاء خلقت الذرات، وهي ذرات الهيدروجين والهيليوم، ومن هذه الذرات تألف الغبار الكوني الذي نشأت منه المجرات فيما بعد، ثم تكونت النجوم والكواكب - وما زالت تتكون - وفي غضون ذلك كان الكون وما زال في حالة تمدد وتوسع، وبذلك فإن الانفجار العظيم أدى ليس فقط إلى ظهور جزيئات ذرية جديدة بل إلى وجود مفهومي الزمان والمكان اللذين كان يستحيل الحديث عنهما قبل المادة. والعلماء الذين أسسوا نظرية الانفجار العظيم عديدين، ولكن أبرزهم: القس البلجيكي جورج لو ميتير (George Le Maitre) الذي اقترح سنة (1927) صورة جديدة لنشأة الكون وتطوره، وقد وافقه على ذلك جورج كاموف (George Gamov).

أدلة حدوث الانفجار العظيم: هناك عدد من الظواهر التي تشير إلى حدوث الانفجار العظيم:

(1) الاتساع المستمر للكون (Continuously Expanding of Universe): لاحظ العلماء أن في كل مكان من الكون هناك مجرات تتباعد إحداها عن الأخرى بسرعات هائلة جداً. فمنذ بداية القرن التاسع عشر لاحظ علماء الفضاء وجود خطوط داكنة بين ألوان الطيف الشمسي لدى تحليلهم لضوء الشمس. ومع تطور معدات رصد الفضاء والنجوم ظلت هذه الخطوط ماثلة، وتبين فيما بعد أن هذه الخطوط تشير إلى انبعاث الهيدروجين من النجوم، وأثبت الفيزيائي الفرنسي (أرمان فيزو) أن الأجسام السماوية تترك عند تحليل طيفها لوناً أكثر احمراراً في حال كانت تقترب من مركز المراقبة، ولكنه يميل إلى الأزرق عندما تبتعد. وعمل أدوين هابل (Edwin Hubble) في النصف الأول من القرن العشرين على تطوير هذه الاكتشافات. وقد توصل هابل باستخدام تلسكوبه الشهير (تلسكوب هابل) من التوصل إلى فكرة توسع الكون إذ أكد أن النجوم والمجرات تبتعد عن مركز الرصد والذي هو الأرض، وكذلك تبتعد عن بعضها البعض. وبعد مجموعة من المقارنات وصل إلى وضع قانون عرف باسمه مفاده (إن سرعة النجم تتناسب تناسباً طردياً مع مربع المسافة التي



تصلنا عنه، أي أن النجم كلما كان بعيداً كلما ازدادت سرعة ابتعاده عنا). كما أن المجرات تبتعد عن بعضها البعض أيضاً. وقد حاول العلماء تشبيه هذه الظاهرة بانفجار قنبلة، فشطايها تبدأ بطيئة ثم تتسارع ومن ثم تتباطأ، وكل شظية سوف تبتعد عن البقية بنفس الطريقة.

ولكي نفهم الفكرة أكثر، احضر بالون وارسم عليه مجموعة من النقاط. اعتبر البالون هو الكون والنقاط هي المجرات، أبدأ بنفخ البالون، ستري أن النقاط كلها تبتعد عن بعضها، وكلما ازداد اتساع البالون كلما ازداد بعد النقاط أكثر. وهذا ما يحدث في الكون بالضبط.

وقد كان انشأتين في البدء من مؤيدي فكرة الكون الساكن (غير المتوسع) الذي تتوزع المادة فيه بصورة متساوية، لذلك اضطر إلى أن يضيف إلى أحد معادلاته الرياضية رقماً يدعى بالثابت الكوني لتكون معادلاته منسجمة مع ما هو معتقد في ذلك الوقت من سكون الكون، لكن حساباته برهنت له ما يناقض فكرته الأصلية تماماً وانتهى به المطاف إلى تأكيد أن الكون قابل للتوسع والانكماش مما دفعه إلى تعديل نظريته الأولى وتبنى تصور عن كون كروي من أربعة أبعاد.

(2) الخلفية الإشعاعية (Background Radiation): في عام (1948) توصل العالم (جورج

كاموف) (George Gamov)، وهو فيزيائي أمريكي من أصل روسي، إلى فكرة جديدة تتعلق بالانفجار الكبير، مفادها أنه إذا كان الكون قد تشكل فجأة فإن الانفجار كان عظيماً ويفترض أن تكون هناك كمية قليلة محددة من الإشعاع خلفت عن هذا الانفجار والأكثر من ذلك يجب أن تكون متجانسة عبر الكون كله.

وبعد عقدين من الزمن كان هناك برهان رصدي قريب لحديث كاموف، ففي عام (1964) قام باحثان يعملان في مختبرات شركة بل للتليفونات بمدينة نيويوركسي هما (آرنو بنزياس) (Arno Penzias) و (روبرت ويلسون) (Robert Wilson) بإجراء تجربة تتعلق بالاتصال اللاسلكي وبالصدفة عثرا على إشارات راديوية منتظمة الخواص، قادمة من كافة الاتجاهات في السماء وفي كل الأوقات وبصورة مستمرة. وفُسرَت هذه الإشارات الراديوية على أنها بقية الإشعاع الذي نتج عن عملية الانفجار الكوني العظيم. وقد قدرت درجة حرارة تلك البقية الإشعاعية بحوالي ثلاث درجات مئوية، ومنح بنزياس و ويلسون جائزة نوبل لاكتشافهم هذا.

وقد تحققت وكالة ناسا (NASA) الأمريكية عام (1989) من النتائج التي توصل إليها كل من بنزياس وويلسن عن الخلفية الإشعاعية للكون بواسطة إرسال قمر صناعي إلى الفضاء أسموه (COBE) وهو مختصر لعبارة : (Cosmic Background Explorer) والتي تعني (مستكشف الخلفية الإشعاعية) كان الغرض من إرساله التحري عن الموجات الكونية الدقيقة (Cosmic Microwave) وزودته بأحدث الأجهزة الحساسة، واحتاج هذا القمر إلى ثماني دقائق فقط للعثور على هذا الإشعاع وقياسه، بلغ ارتفاع هذا القمر (600 كم) حول الأرض، وقد وجد أن درجة حرارة الخلفية الإشعاعية للكون بأقل من ثلاث درجات مئوية (تحديداً 2.7355 مئوية). وقد أثبتت هذه الدراسة تجانس مادة الكون وتساويه التام في الخواص قبل الانفجار وبعده، أي من اللحظة الأولى لعملية الانفجار الكوني العظيم وانتشار الإشعاع في كل من المكان والزمان مع احتمال وجود أماكن تركزت فيها المادة الخفية التي تعرف باسم المادة الداكنة (Dark Matter). كذلك قام هذا القمر الصناعي بتصوير بقايا الدخان الكوني الناتج عن عملية الانفجار العظيم على أطراف الجزء المدرك من الكون (على بعد عشرة مليارات من السنين الضوئية) وأثبتت أنها حالة دخانية معتمة سادت الكون قبل تكون المجرات.

(3) كمية غازي الهيدروجين والهيليوم في الكون: تشير الدراسات الحديثة عن توزيع العناصر المعروفة في

الجزء المدرك من الكون إلى أن غاز الهيدروجين يكون أكثر قليلاً من (74%) من مادة الكون، ويليه في النسبة غاز الهيليوم الذي يكون حوالي (24.4%) من تلك المادة. ومعنى ذلك أن أخف عنصرين يكونان معاً أكثر من (98%) من مادة الكون المنظور، أما بقية العناصر مجتمعة (عدد العناصر المكتشفة هو 105 عنصر) فتكون أقل من (2%) من مادة الكون. وهذه الأرقام تدعم نظرية الانفجار العظيم، إذ أن جورج كاموف استطاع بطرق حسابية أن يتوصل إلى هذه النسب من قبل أن يتم حسابها بالطرق التجريبية بعشرات السنين.



مراحل نشأة الكون

يمكن تقسيم نشوء الكون وتطوره وفق نظرية الانفجار العظيم إلى خمسة مراحل رئيسية هي:

المرحلة الأولى: وهي المرحلة التي تسبق الزمن (10^{-43}). يطلق على هذه المرحلة بمرحلة التفرد ففي هذه المرحلة لا وجود للذرات والجسيمات الأولية، فكلها مندمجة لتشكّل شيئاً ما غامضاً لا يمكن معرفته، هذه المرحلة لا تخضع لأي قانون فيزيائي وتبقى مرحلة غامضة لا تفسرها الرياضيات الفيزيائية، فالعلماء عاجزين عن وصف أو تخيل أي شيء عقلائي أو مما يمكن قبوله عقلاً فيما يتعلق بزمن الصفر المطلق، حينما لم يكن هناك شيء قد حدث بعد. وراء الزمن المذكور الذي هو (10^{-43}) يقع زمن بلانك (Planck Time) الشهير، الذي سمي بهذا الاسم نسبة للعالم الفيزيائي الشهير ماكس بلانك (Max Planck)، هذا الزمن يمثل نقطة من الزمن لا أحد يعرف ما حدث قبلها، وهي في نظرية الانفجار العظيم متمثلة بما قبل الزمن (10^{-43}) ثانية. وهو الأمر الذي دعا العلماء إلى تسمية نقطة الزمن هذه بالحائط. وكان ماكس بلانك أول من أشار إلى استحالة تفسير الذرات في المرحلة التي تكون فيها الجاذبية متطرفة.

المرحلة الثانية: تبدأ من (10^{-43}) ثانية ولغاية (1) ثانية. في زمن مقداره (10^{-43}) حدث الانفجار العظيم. وكان قطر الكون (10^{-33}) سنتيمتر، أي أصغر من قطر نواة الذرة الذي يبلغ (10^{-13}) سنتيمتر. القوى الأربعة الموجودة الآن في الكون (القوة النووية الشديدة، والقوة النووية الضعيفة، والقوة الكهرومغناطيسية، وقوة الجاذبية) كانت متحدة مع بعضها مكونة نوع واحد من الطاقة، أما الحرارة فكانت تبلغ (10^{32}) كالفن أي أكبر من حرارة الشمس التي تبلغ (6000) درجة مئوية عند السطح و(20) مليون درجة مئوية في المركز. ودرجة حرارة الكون هذه تعد حدود الحرارة القصوى التي تنهار وراءها جميع القوانين الفيزيائية التي نعرفها. أما مادة الكون فكانت مكونة من قسيمات بدائية غير موجودة الآن، وهي أسلاف الكواركات (Quarks) التي تعد احد عناصر المادة. وكانت هذه القسيمات البدائية تتفاعل فيما بينها بشكل مستمر، وكان الكون يكبر ويتمدد بشكل دائم. من (10^{-35}) ثانية ولغاية (10^{-32}) ثانية، تضخم الكون بمقدار (10^{50}) مرة عن حجمه الأصلي، فمن حجم أقل من نواة الذرة إلى حجم كرة قطرها (10) سنتيمترات. وهذا التوسع الهائل أكبر من التوسع الذي حصل من حينها إلى الآن، فمعدل التضخم الآن صار ضعيفاً نسبياً فهو بمقدار (10^9)، بعبارة أخرى نقول أن فارق الحجم الموجود بين الجزء الأولي للكون وبين الكرة هو أكبر نسبياً من الفارق بين الكرة وبين حجم الكون الآن. يستمر توسع الكون وبرودته، ويحصل شيء مهم في الفترة ما بين (10^{-11}) ثانية إلى (10^{-15}) ثانية، إذ تختفي جميع القسيمات البدائية تاركة المجال للبارتيكولات (Particules) وهي اصغر الأجزاء المكونة للمادة المعروفة الآن، كما أن القوى الأربعة أخذت بالتفكك والانفصال، وتم ذلك عند درجة حرارة مقدارها (10^{15}) كالفن.

نتيجة لاستمرار توسع الكون وانخفاض درجة حرارته، وعند الزمن (10^{-10}) ثانية وما بعده فان العديد من الدقائق بدأت بالتكون.

هذه الدقائق تدعى بـ (Baryons) وتتضمن:

1. الفوتونات
 2. نيوتريونات
 3. الإلكترونات
 4. الكواركات (Quarks) والتي سوف تصبح المادة التي تبنى منها كتلة المادة والأحياء التي نعرفها اليوم.
- وكان حجم الكون ألف ضعف حجمه السابق، أي أن حجمه أصبح بحجم مجموعتنا الشمسية.



المرحلة الثالثة: من (1) ثانية إلى (3) دقائق، كانت درجة حرارة الكون أكثر من (10) بليون درجة مئوية. درجة الحرارة هذه يمكن الوصول إليها في انفجارات القنابل النيتروجينية. وفي هذه المرحلة كان الكون مؤلف من فوتونات والكترونات، والجزيئات الذرية الفرعية مثل النيوترون والبروتونات. ومع استمرار الانخفاض في درجة الحرارة فإن البروتونات، أصبحت أكثر شيوعاً حتى وصلت نسبتها حوالي سبعة أضعاف النيوترونات. اتحد كل نيوترون مع بروتون ليشكلاً زوجاً يدعى بالدوتيريوم (Deuterom) التي تجمعت لتكون نوى عنصر الهليوم، الذي يحتوي على بروتونين ونيوترونين، واستمرت هذه العملية حتى اندمجت كل النيوترونات مع البروتونات لتكوين الهليوم، أي اختفت جميع النيوترونات من الكون. وهذا يعني أن الهليوم يشكل تقريباً ربع مكونات الكون.

المرحلة الرابعة: من (3) دقائق إلى (100 مليون) سنة، لم تتكون الذرات إلا بعد (300 ألف) سنة، وانخفضت درجات الحرارة إلى (3000) كلفن، مما سمح لذرات الهيدروجين بالظهور والبقاء دون فناء. وبعد برودة الكون ظهرت الذرات المتعادلة بكثرة. وكان الكون أصغر مما هو عليه الآن بكثير جداً وتجمعت الذرات المتعادلة مكونة غيوماً غازية، من هذه الغيوم الغازية ظهرت النجوم الأولية وغدا الكون شفافاً وأصبح الضوء ينطلق لسنوات ضوئية دون مواجهة خطر الامتصاص ولم تكن الرؤية ممكنة قبل ذلك الوقت لأن الضوء كان يُمتص مما يجعل رصده - لو قدر أن رصد - مستحيلاً. وبعد حوالي (32 مليون سنة) بعد عملية الانفجار العظيم إلى اليوم بدأ خلق أغلب العناصر المعروفة لنا (وهي أكثر من مئة وخمسة عناصر) بعملية الاندماج النووي في داخل النجوم حتى تكون عنصر الحديد في داخل المستعمرات المتوهجة العظيمة، وتكونت العناصر الأعلى وزناً من نوى ذرات الحديد باصطيادها للنبات الأولية للمادة المنتشرة في صفحة السماء.

المرحلة الخامسة: من (100 مليون) سنة إلى (الوقت الحاضر)، عندما بلغ الكون خمس حجمه الحالي تشكلت المجرات الفتيّة من تجمع النجوم. وعندما بلغ الكون نصف حجمه الحالي تكونت المجاميع الشمسية التي تتكون من نجم يدور حوله عدد من الكواكب في مدارات خاصة بكل كوكب، أما منظومتنا الشمسية المسماة بدرب اللبانة (Milky Way) فقد تكونت بعد (100 بليون) سنة من حدوث الانفجار العظيم، عندما كان حجم الكون ثلثي حجمه الحالي. الكيفية التي تكونت بها الأنظمة أو المجاميع الشمسية فسرت وفق النظرية السديمية التي أصبحت اليوم جزءاً من نظرية الانفجار العظيم، والتي سوف نتطرق لها بشيء من التفصيل فيما يلي.

ثانياً: النظرية السديمية (Nebular Theory)

تمهيد: عرفنا في الفقرات السابقة كيف تكونت المجرات، وذكرنا أن كل مجرة تتكون من مجموعة من النجوم الساخنة، وتدور حول كل من هذه النجوم مجموعة من الكواكب. والآن نود التعرف على كيفية تكون مجموعتنا الشمسية وموقعها في الكون الواسع.

مجرة درب اللبانة (Milky Way): تقع مجموعتنا الشمسية في مجرة تدعى درب اللبانة، وهي عبارة عن قرص مفلطح من النجوم والغاز والغبار الكوني ولها ذراعين حلزونيين، للمجرة قطر مستعرض يتراوح طوله بين (100 – 2000) ألف سنة ضوئية وقطر قطبي يبلغ طوله حوالي (100) ألف سنة ضوئية، وتدور حول محورها مكملّة دورة واحدة بفترة تقارب (200) مليون سنة. تحتوي مجرة درب اللبانة على (1000000) مليون نجمة مختلفة الحجم والبريق، واحدة من هذه النجوم هي الشمس التي هي عبارة عن نجم متوسط الحجم ومعتدلة البريق، وتقع في حافة مجرة درب اللبانة، والشمس تقع في مركز المجموعة الشمسية التي تتكون من الشمس و(10) كواكب و(61) قمر وأكثر من (1500) كويكب وعدد لا يحصى من المذنبات والنيازك.



انكماش السحابة الجزيئية :

تتجمع هذه الغازات والغبار تحت تأثير الجاذبية) قوة الثقالة (التي تشدها لبعضها البعض. وتنكمش هذه السحابة على بعضها البعض وتستمر في الانكماش وتزداد كثافتها ، ويؤدي انكماشها هذا إلى ارتفاع درجة حرارتها بسبب تحول طاقة الوضع فيها الناتجة عن قوة الثقالة إلى طاقة حرارية . تتكور سحابة الهيدروجين والغبار أو يتكور جزء منها . وهنا تلعب كتلتها دوراً هاماً في تطور عمرها:

- ❖ إذا كانت كتلتها مقاربة لكتلة الشمس ، فيشتعل فيها تفاعل بروتون-بروتون (المتسلسل) يسمى أيضاً اندماج الهيدروجين حيث ينتج منه الهيليوم .(ينتج تفاعل الاندماج حرارة شديدة وضغط إشعاع يقاوم انكماش النجم . ويحدث توازن بين ضغط الإشعاع وقوة الثقالة ويستقر النجم على حجمه ويصبح مضيقاً مرئياً إلى حين).
- ❖ إذا كانت كتلة السحابة المتكورة أقل من 1 كتلة شمسية ، فلا يحدث فيها اندماج الهيدروجين وإنما حسب كتلتها فيمكن أن تشع ضوءاً ضعيفاً بسبب حرارتها العالية أو يحدث فيها اندماج الديوتيريوم الذي يجعل النجم يصدر ضوءاً خافتاً ، ويسمى هذا النجم الصغير قزم بني.
- ❖ إذا كانت كتلة السحابة المتكورة أكبر من كتلة الشمس فهي تصبح نجماً عملاقاً لونه أبيض-أزرق شديد الضياء . بعض تلك النجوم تصل كتلتها إلى 50 كتلة شمسية مثل سهيل هدار ، يسير فيها اندماج الهيدروجين وتفاعلات نووية أخرى سريعاً ، بحيث لا يستمر عمرها طويلاً وتنفجر في شكل مستعر أعظم خلال عدة ملايين من السنين .

إن أقرب سديم للمجموعة الشمسية حيث تنشأ نجوم جديدة هي سديم الجبار الذي يبعد عنا نحو 1300 سنة ضوئية. يبدأ تشكيل النجم بعدم استقرار جاذبي داخل الغيمة الجزيئية سببه في أغلب الأحيان موجات تصادمية تنتج من مستعر أعظم supernova أو اصطدام مجرتين . عندما تصل منطقة إلى كثافة مادية كافية تفي معايير عدم استقرار جينز فإن التكاثر المادي يبدأ بالانكماش تحت قوته الجاذبية الذاتية. وبانكماش الغيمة تتشكل فيها تكتلات فردية من الغبار الكثيف والغاز المعروف بكرات بوك وهي تحتوي في حدود 500 تكتل شمسي من المادة . فبازدياد تقلص الكرية وزيادة كثافتها ، تتحول الطاقة التجاذبية إلى حرارة وترتفع درجة الحرارة. عندما تصل الغيمة تقريباً إلى الحالة المستقرة من موازنة الضغوط فالنجم المبكر يتشكل في المركز.

فترة الانكماش الجاذبي تدوم تقريباً لمدة 10-15 مليون سنة. النجوم المبكرة لأقل من تكتلين شمسيين تدعوان نجوم مخطط الحرارة والزمن والتحول بينما ذوات الكتلة الأعظم هي نجوم هيربيغ أي/نجم بي. هذه النجوم المولودة حديثاً تبعث نفثات من الغاز على طول محور دورانها، وينتج من اصطدام تلك النفثات مع الوسط البيننجمي رقع سحابة صغيرة معروفة بـ"سحب". HERBIG-HARO يصل طول النفثات أحياناً إلى نحو 1000 سنة ضوئية.

بدء الاندماج النووي وتكون النجم الأولى :

تحت تأثير الضغط الشديد للداخل يحدث الاندماج النووي بين نوى ذرات الهيدروجين وينطلق أول شعاع للحرارة والضوء والضغط ليقاوموا الجاذبية ويسمى هذا النجم الوليد بـ"النجم الأولي.(Proto-Star) " وسرعان ما تزداد عملية اندماج الهيدروجين) تفاعل بروتون-بروتون المتسلسل (مكونة غاز الهيليوم مع حرارة وضوء ناتجة من مخلفات التفاعل، وتتوجه الطاقة الناتجة من التفاعلات النووية نحو سطح النجم ليشتع بنوره معلناً ولادة نجم جديد.

كما أسلفنا أن الاندماج داخل النجم يولد ضغطاً معاكساً لوزن مادة النجم (الجاذبية) . ولكن هيهات، الجاذبية لا تهدأ ولا تكل ولا تمل من ضغط مادة النجم إلى الداخل. وعلى الجانب الآخر لا تهدأ طاقة النجم الداخلية الناتجة عن



الاحتراق بالاندماج النووي ويضغط ضغط الإشعاع إلى الخارج. و هنا فقط نوضح هاتان القوتان اللتان تسيطران على النجم منذ مولده وطيلة حياته وحتى موته بانفجاره أو بتحوله إلى قزم أبيض أو قزم بني.

الجاذبية

وهي ميل الكتل والأجسام للتحرك والانجذاب نحو بعضها البعض كما في الجاذبية بين الأرض و الشمس، أو بين الاجرام السماوية وبين بعضها. قوة الثقالة هي إحدى القوى المؤثرة في الكون فهي تشكل النجوم والمجرات ، وهي خاصية لجميع الأجسام والجسيمات وتعتمد قوتها على كتلة المادة. و هي التي تجعلك ملتصقاً بالأرض ، فإذا قفزت إلى أعلى أعادتك إلى الأرض. وهي التي تجعل النجوم لا تشرذ بعيداً عن تجمعات النجوم والمجرات. إنها قوة جاذبة تقرب دائماً الأشياء من بعضها البعض وفي حالة النجم، هي التي تجمع جزيئاته قريباً من بعضها وتقربها من بعضها البعض. وقد عرفت الجاذبية بمفهومين.

أولاً : مفهوم الجاذبية الكلاسيكية لنيوتن .

ثانياً : تعريف اينشتاين لها في النظرية النسبية العامة.

التعريف الأول : قانون الجذب العام لنيوتن : أن كل جسم يجذب جسماً آخر في الكون بقوة عبر الخط الواصل بين مركزي الجسمين . شدتها تتناسب طردياً مع كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما . وصفها نيوتن ووضع لها معادلة ناجحة جداً في وصفها. وتعتبر قوة الجاذبية في الميكانيكا الكلاسيكية قوة مباشرة بعيدة المدى بمعنى أن هذه القوة تستطيع التأثير عن بعد بدون واسطة ويتم تأثيرها بشكل لحظي فأي تغير في موقع أحد الجسمين يرافقه تحول لحظي في الجاذبية بينه وبين الجسم الآخر.

وتولد الجاذبية حولها مجالاً يسمى بمجال أو حقل الجاذبية، وهو الحقل المتجهي الذي يصف قوة الجاذبية التي سيتم تطبيقها على أي كائن في نقطة معينة في الفضاء. وهو الذي يجعل تأثير الشمس على الكواكب يصل إلى حد معين في الفضاء لا تستطيع بعده أن تجذب شيئاً آخر. وإن كان سيتبقى ما يسمى بـ (المايكرو جرافيتي Micro Gravity) لأن تأثير الجاذبية يظل يضعف ويضعف ولكنه لا يختفي أبداً، فهي من أكثر القوى الكونية اتساعاً في المجال. جدير بالذكر أن القوى الكونية أربعة فقط وهم (الجاذبية والكهر ومغناطيسية والقوى النووية القوية والقوى النووية الضعيفة).

التعريف الثاني : نظرية النسبية العامة General Relativity لاينشتاين وتنص على أن وجود أي شكل من أشكال المادة أو الطاقة أو العزم يحدث انحناء في الزمكان وهو تعريف خاص بالنسبية يعتبر أن الفضاء المكاني والزمان هم خيوط من نسيج واحد ينحني معاً، وبسبب هذا الانحناء فإن المسارات التي تسلكها الأجسام يمكن أن تنحرف أو تغير اتجاهها ضمن الزمن. وهذا الانحراف يظهر لنا على أنه تسارع نحو الأجسام الكبيرة وعرفه نيوتن بأنه ثقالة أو جاذبية وعرفه اينشتاين على أنه انحناء للزمان والمكان الكوني نتيجة لوجود هذا الجسم به ونتيجة لهذا الانحناء تتجه الأجسام الأخرى إليه ككرة تقع في بالوعة. و كما هو موضح فإن كل جسم يحني الزمكان حوله ويجعل الأجسام الأخرى تتجه إليه ليتصقوا سويًا. و هذه هي فكرة الجاذبية بكل بساطة.

قوى الاندماج النووي:

الاندماج النووي عملية تتجمع فيها نواتان ذريتان لتكوين نواة واحدة أثقل. ويلعب اندماج الأنوية الخفيفة مثل البروتون وهو نواة ذرة الهيدروجين والديوترون نواة الهيدروجين الثقيل والتريتيوم وهو نواة التريتيوم دوراً هاماً في العالم وفي الكون، حيث ينطلق خلال هذا الاندماج كمية هائلة من الطاقة تظهر على شكل حرارة وإشعاع كما



يحدث في الشمس، فتمدنا بالحرارة والنور والحياة. فبدون هذا التفاعل ما وُجدت الشمس وما وُجدت النجوم، ولا حياة من دون تلك الطاقة المسماة طاقة الاندماج النووي. وتنتج تلك الطاقة الهائلة عن فقد في وزن النواة الناتجة عن الاندماج النووي، وهذا الفقد في الكتلة يتحول إلى طاقة طبقاً لمعادلة ألبرت أينشتاين التي توضح العلاقة بين الكتلة والطاقة.

الاندماج النووي في نجوم بحجم الشمس أو أصغر (تحويل الهيدروجين "بروتونات" إلى هيليوم داخل الشمس). يحدث تفاعل الاندماج النووي عندما تتداخل نواتان ذريتان. ولكي يتم هذا التداخل، لا بد من أن تتخطى النواتان التنافر الحاصل بين شحنتيهما الموجبتين (و تعرف الظاهرة بالحاجز الكولومبي). إذا ما طبقنا قواعد الميكانيكا الكلاسيكية وحدها، سيكون احتمال الحصول على اندماج الأنوية منخفضاً للغاية، بسبب الطاقة الحركية (الموافقة للهيجان الحراري) العالية جداً اللازمة لتخطي الحاجز المذكور. وفي المقابل، تقترح ميكانيكا الكم وهو ما تؤكدته التجربة أن الحاجز الكولومبي يمكن تخطيه أيضاً بظاهرة النفق الكمومي، بطاقات أكثر انخفاضاً.

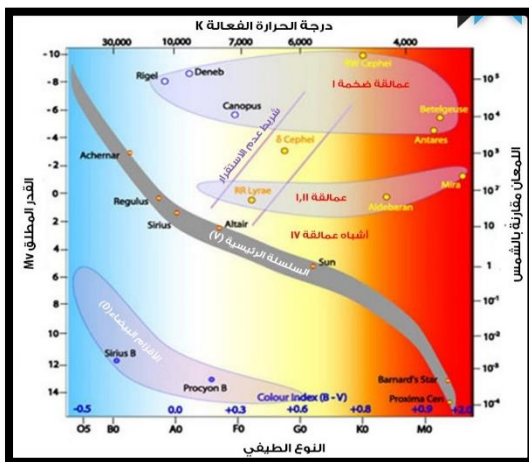
وبالرغم من ذلك، فإن الطاقة اللازمة للاندماج تبقى مرتفعة جداً، وهو ما يقابله حرارة أكثر من عشرات أو ربما مئات الملايين من الدرجات المئوية حسب طبيعة الأنوية. وفي داخل الشمس على سبيل المثال، يجري تفاعل اندماج الهيدروجين المؤين عبر مراحل إلى تولد الهيليوم، في ظل حرارة تقدر بـ 15 مليون درجة مئوية إلى 17 مليون درجة مئوية، ويحدث ذلك ضمن عدة تفاعلات مختلفة تنتج عنها حرارة الشمس.

ونختصر ببساطة، النجوم هي مفاعلات نووية عظيمة الحجم كل ما تفعله في حياتها كي تعيش هو أن تدمج ذرات لتحولها لذرات أخرى أكبر ويتحول جزء من الكتلة المفقودة إلى طاقة تخرج على صورة إشعاع وحرارة وجسيمات. وقد أعطت النسبية الخاصة علاقة بين كتلة الجسم وطاقته. ($E = mc^2$) والكتلة هي كمية مصنوعة، أي لا تقنى ولا تستحدث من العدم كما هي الطاقة بالضبط.

وعندما تتساوى القوتان ويستقر النجم تحت تأثير القوى المسيطرة عليه، يكون لدينا نجم وليد ولد من كميات هائلة من الغبار والهيدروجين ليحول الكون في مساحة حوله إلى نور وأشعة.

النجم الذي يولد يصنف من نجوم المتسلسلة الرئيسية Main Sequence Star والذي يصفه رسم هرتزبرونغ-راسل الذي يصنف ضياء النجم مع درجة حرارته ونوع طيفه، ونستطيع من خلاله التعرف على مصير النجم وحياته حتى موته.

مخطط H-R ؛ أو رسم هرتزبرونغ-راسل (شكل 1)



شكل (1)

ميلاد النجوم هذا هو حدث يومي كحدث فنائها والذي لا ينتهي دائما بعنف كما يتصور البعض، يحدث يوميا وفي كل مكان في كوننا الفسيح، كوننا المكون من 125 مليار مجرة في الكون المرئي فقط وكل منهم تحوى عدد من النجوم يساوي في المتوسط 200 مليار نجمة.

حجم النجم الوليد: لكل نجم في بدايته حجم معين يعتمد اعتمادا كليا على كتلته ونوعية التفاعلات النووية بداخله.

هناك النجوم الصغيرة والتي تسمى بالأقزام الحمراء وهذه النجوم تظل تحترق لتريليونات من السنين حرقا بطيئا لمادتها الداخلية وهي أطول النجوم عمراً بلا منازع. فمئذ أن خلق الكون وحتى هذه اللحظة لم يمض أي من هذه النجوم. فعمر الكون 7 و 13 مليار سنة تقريبا وتحتاج هذه النجوم إلى تريليونات السنين لتموت.



والنجوم متوسطة الحجم كالشمس وهي ذات الأعمار المتوسطة والتي تقدر بمليارات السنين "فقط"! فيقدر عمر الشمس الحالي بـ 55 مليارات عام وستظل على حالها هذا تحرق الهيدروجين وتحوله إلى هيليوم 5 مليارات سنة أخرى. ثم يبدأ حرق الهيليوم بداخلها وتحويله إلى الكربون وتنتفخ الشمس وتلتهم كوكب عطارد والزهرة والارض ويسخن مركزها بشدة وتتحول إلى ما يسمى بالعملاق الأحمر. والنجوم العملاقة (من 3 إلى 8 مرات كتلة الشمس) المرشحة للانفجار كمستعر أعظم (سوبرنوف) وتترك خلفها نجماً نيوترونياً أو نجم نابض وهذه النجوم عمرها قصير نسبياً ويقدر بملايين السنين لأنها تحرق وقودها بصرارة شديدة لكي تعادل قوى الجاذبية التي تريد سحق النجم إلى الداخل. وأخيراً ستنتصر الجاذبية عند أول بادرة من النجم لتكوين عنصر الحديد (قاتل النجوم) فتتكشم النجمة بسرعة ثم تنفجر انفجاراً عظيماً مطلقة مادتها في الفضاء لتكوين سدم أخرى يولد منها المزيد من النجوم الأصغر في الكتلة وعلى الأرجح ستكون مجموعات شمسية كاملة. وهناك النجوم الأكبر من هذا كله والمرشحة للانفجار بما يسمى الهايبر نوبا وتترك خلفها ثقباً أسوداً وهي تصنف كالنجوم السابقة بالضبط والفرق الوحيد هو كتلتها التي تزيد عن 50 كتلة شمسية. وهناك النجوم التي تنفجر وقت تكونها نظراً لوجود كميات رهيبية من المادة بداخلها فيكون انفجارها للخارج لحظياً وأقوى من قوى جاذبيتها. وهناك أيضاً النجوم الفاشلة والتي تسمى بالأقزام البنية وهي النجوم التي فشلت كلياً في تكوين أي اندماج نووي بداخلها ولكنها كانت مرشحة لتصير نجمة إذا ما زادت كتلتها قليلاً (تشبه كوكب المشتري وتبلغ كتلتها أحياناً 13 كتلة المشتري). ويعتبر المشتري بطريقة ما نجم فاشل لأنه مكون من الهيدروجين والهيليوم ولكن تنقصه الكتلة الحرجة التي يبدأ عندها الجرم بتكوين أول اندماج نووي له، وبالتالي كنا سنراه على صورة شمس صغيرة تدور حول شمسنا الأم العملاقة. وتختلف طريقة حياة النجم وطول عمره على حجمه وكتلته وبالتالي تختلف طريقة موته وفنائه. (راجع كتاب الطالب)

المجرات

كيف تُشكَّلت المجرات؟، يعد هذا السؤال أحد الأسئلة الجوهرية في علم الفيزياء الفلكية الحديثة، إذ يسלט الاكتشاف الحديث الذي توصل إليه فريق من الباحثين بقيادة الدكتور ريكاردو سكيافون من جامعة جون موريس في ليفربول الضوء على هذا التساؤل، بحسب صحيفة Daily Mail البريطانية.

ويشرح سكيافون أهمية اكتشاف عائلة جديدة من النجوم في مقال لمجلة The Conversation. وإليك نص المقال:

تتكون مجرة درب التبانة التي نعيش فيها من 100 مليار نجم، بالإضافة إلى بعض الغازات والغبار والمادة المظلمة الغامضة وتتماسك معاً عن طريق الجاذبية.

كما أن مجرة درب التبانة ذاتها، ما هي إلا واحدة من عدة مئات المليارات من المجرات في الكون الذي يمكن النظر إليه، وتتنوع هذه المجرات ضمن مجموعات كبيرة من الأحجام والكتل والأشكال والألوان.

قد بدأنا للتو في فهم كيفية نشأة وتطوير هذه الأنواع المختلفة من المجرات، ولكن لاتزال الصورة ضبابية بعض الشيء، فعلى سبيل المثال، النماذج الكونية لتشكيل المجرات، لم تكن قادرة على تحديد مكان ولادة النجوم التي نراها اليوم بالضبط.

تحديد كيفية تُشكَّل المجرات هام للغاية إذ أنه بدون المجرات لم يكن للنجوم أن تتنشأ، ومن ثم لم يكن لينشأ أي شكل من أشكال الحياة في الكون. من شأن الاكتشاف الجديد الذي حققناه، والمنشور في النسخة الإلكترونية من الإشعارات الشهرية للجمعية الفلكية الملكية، أن يلقي ضوءاً جديداً على كيفية تشكل المجرات والنجوم في داخلها. نجوم غريبة

لقد اكتشفنا مجموعة نجمية لها تركيبات كيميائية غريبة، غنيّة جداً بالنيوتروجين. وقد أثار هذا الأمر اهتمامنا إذ أن تلك النجوم تتشابه تماماً مع النجوم الكروية العنقودية التي تقع في "الهالة



النجمية" في مجرة درب التبانة. وتختلف خصائص هذه النجوم المكتشفة حديثاً، عن النجوم الكروية العنقودية الموجودة بالفعل، مما يشير إلى وجود ارتباط بينها وبين مجموعات عنقودية اندثرت. التفسير المنطقي لوجود تلك النجوم، أنه كان هناك مجموعة نجمية كروية عنقودية هائلة في وقت مبكر من عمر مجرة درب التبانة، والتي تدمرت بالكامل تقريباً، بالإضافة إلى أن خصائص النجوم المكتشفة حديثاً تشير إلى ارتباطها بالهالة النجمية الموجودة على حافة مجرة درب التبانة، وليس في جسم المجرة، فإن كان الأمر كذلك، فقد تكون النجوم الكروية العنقودية المدمرة تشكل على الأقل ربع نجوم الهالة النجمية.

النجوم الكروية العنقودية الغامضة :

يعرف علماء الفلك أن بعض نجوم مجرة درب التبانة قد ولدت في المجرة نفسها، بينما نشأت نجوم أخرى في مجرات أصغر، والتي ابتلعتها مجرة درب التبانة في نهاية المطاف، إلا أنه لم يتضح لنا حتى الآن، أي العمليتين أكثر حدوثاً. تولد النجوم الصغيرة بمجموعات كبيرة، وليست منفردة، بعض هذه المجموعات تسمى عنقودية، وهي الموجودة في أرجاء المجرة حالياً، وهي تتكون من نوعين تقريباً، النوع الأول من هذه النجوم، هي النجوم الشابة العنقودية منخفضة الكتلة، وهي توجد في داخل جسم مجرة درب التبانة، والنوع الثاني، هي النجوم العملاقة، وهي نجوم كروية عنقودية قديمة، وتقع على أطراف مجرة درب التبانة، في الهالة النجمية التي تحيط بجسم المجرة، وتتميز هذه النجوم بضخامة حجمها ورفقتها وشفافية هيكلها.

تشكل النجوم الكروية العنقودية نسبة ضئيلة من نجوم مجرة درب التبانة، إلا أن علماء الفلك لديهم شكوك على أنها تحتوي على دلائل هامة للمراحل المبكرة لكيفية تشكل المجرة. إلا أننا لا نعرف حقاً كيف تشكلت النجوم الكروية العنقودية أيضاً. النماذج الحالية تشير إلى أن معظم النجوم الكروية العنقودية قد تشكلت في سحب جزيئية عملاقة داخل الأجسام المضطربة للمجرات في بداية الكون، كما تشير إلى أن النجوم الكروية العنقودية قد استضافت أجيالاً عديدة من النجوم التي ولدت من مواد خاصة بنجوم أخرى، بعض هذه النجوم قد اندثرت حالياً. بالرغم من ذلك، لا تستطيع هذه النماذج أن تتكاثر وفقاً للتفاصيل التي نلاحظها في الواقع لدى النجوم الكروية العنقودية.

ما نعرفه حقاً هو أن الكون قد هيا الظروف فقط لتشكيل الكثير من النجوم الكروية العنقودية الشابة، ومن المفارقات، أن أجسام المجرات المضطربة هذه، تنافرت أيضاً مع النجوم الكروية العنقودية، ويُعتقد أن معظم هذه النجوم قد طُمست خلال تصادمها مع السحب الجزيئية العملاقة بعد ولادتها مباشرة. أما تلك النجوم التي نجت من هذا التصادم، والذي يرجح أن نسبة كبيرة منها قد طُمست، وربما غالبيتها العظمى، إذ يوجد من هذه النجوم في مجرة درب التبانة فقط 150 نجماً. ولكن إن كان الأمر كذلك، فلا بد من وجود الكثير من النجوم الكروية العنقودية قد تشكلت في البداية، وتقع في الأجزاء الأخرى من المجرة. تكمن الإجابة عن هذا الطرح في النجوم نفسها، إذ أن موقع النجوم وسرعتها وتركيبها الكيميائي قد يحمل أدلة تشير إلى تشكل هذه النجوم في مجرة درب التبانة أم خارجها. بفضل التطورات التكنولوجية الحديثة، تمكننا الدراسات الاستقصائية الضخمة من جمع بيانات مئات الآلاف إلى ملايين النجوم في مجرة درب التبانة، وقد تبين ذلك من خلال أحد تلك الأبحاث التي أطلق عليها APOGEE أو تجربة أباتشي لرصد تطور المجرات، وتتميز هذه التجربة عن غيرها بتركيزها على التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء، وهو أقل تردد للضوء الذي لا يمكن أن يراه الإنسان، على عكس كافة التجارب الأخرى التي تركز على الجزء المرئي من الطيف.

ترجع أهمية ذلك إلى الحجم الهائل من الغبار الموجود في جسم مجرة درب التبانة، والذي يظهر من خلال تحليل طيف الأشعة تحت الحمراء، أقل عتامة بشكل كبير، وهو ما مكن APOGEE من الرؤية من خلال الغبار في المناطق الداخلية بمجرة درب التبانة، أفضل من المسح الضوئي، وهو ما مكننا من تقدير مدى توافر كميات كبيرة من بعض العناصر الأساسية لآلاف النجوم للمرة الأولى، كما تمكنا أيضاً من تحديد مسار العائلات النجمية التي تسير بشكل غير ملحوظ خلال ملايين النجوم العادية. ماذا يعني ذلك؟



إذا تسنى لنا التأكد من هذه النتائج، فمن شأنها أن تدحض صحة نماذج تشكل المجرة. على سبيل المثال، قد تستطيع نتائج APOGEE أن تحدد أي من النجوم المتواجدة في الهالة النجمية قد تشكلت في المجرة وأيها تشكل خارج المجرة. كما تفرض علينا هذه النتائج أيضاً أن نراجع نماذج تشكل النجوم الكروية العنقودية، والذي يشكل صعوبة كبيرة في تحديد كمية النيتروجين التي نراها في هذه النجوم. لكن ربما نصل إلى ما هو أبعد من ذلك، إذ قد نكتشف أن النجوم الكروية العنقودية في الواقع، واحدة من أكثر أنماط تشكل النجوم في الكون. استطاعت الأبحاث خلال العقدين الماضيين، من تحديد التركيب الكيميائي الأساسي لباطن النجوم عن بعد، ولكن تظل هناك حالة من عدم التأكد، بالأخص فيما يتعلق بنجوم المجرات البيضاوية، التي يُعتقد أنها تتشابه في طريقة تشكلها مع نجوم الهالة النجمية في مجرة درب التبانة. المثير للاهتمام حقاً، أن التجربة أظهرت أن هذه النجوم في تلك المجرات تميل لأن تكون غنية بالنيتروجين والصوديوم، وهي العناصر التي وجدت في النجوم الكروية العنقودية. لقد ساهمت النجوم الكروية العنقودية بشكل كبير في تزويد كافة مجرات الكون بالنجوم، وهو ما لم نكن ندركه من قبل، وهو الاحتمال الذي لفت الانتباه، والذي من شأنه أن يغير فهمنا كلياً لكيفية تكون المجرات، بما فيها مجرة درب التبانة.

المجموعة الشمسية

يطلق الإغريق على الشمس "Helios"، والرومان كانوا يطلقون عليها "sol". وكانت بداية تكوّن المنظومة الشمسية منذ 4.6 بلايين سنة كسحابة غازية دوارة، ومع الوقت بردت السحابة وتجمّعت لتكون أجساماً كبيرة مكونة الكواكب الأولية، وما تبقى من مواد كوّنَت المذنبات والأجسام الفضائية التي تتجول بصمت بين أنحاء المجموعة الشمسية. وبالصدفة بعد 100 مليون سنة سخنت كرة الغاز وسط السحابة بشدة وانفجرت انفجاراً نووياً شديداً، لتولد منها الشمس كنجم أشبه بأي نجم له سيرة حياة نهايتها الموت. وتعتبر الشمس نجماً من بلايين بلايين النجوم في الكون. وكل ما يحتويه جسمك من كيماويات ابتداءً من الكالسيوم في عظامك حتى الزنك في شعرك قد تكونت في قلوب النجوم المستعرة طوال 122 بليون سنة. والضوء يقطع بلايين السنين ليصلنا من النجوم للأرض، وليعطينا مؤشراً عن حجم النجم ووزنه ومكوناته الكيماوية وعمره من خلال هذا الضوء النجمي الوافد.

والأقدمون لاحظوا حركات الكواكب التي كانت تُرى من فوق كوكب الأرض بالليل، وهذه الكواكب بخلاف الشمس وغيرها من النجوم لا ينبعث منها الضوء مباشرةً لأنها تسطع، حيث تعكس كالمرآة ضوء الشمس. وتعتبر الشمس نجماً في مركز المجموعة الشمسية، تدور حولها كل الكواكب. وسطح هذه الكرة النارية المتوهجة على الدوام درجة حرارتها 5,500 درجة مئوية، وقلبها يصل درجة حرارة 15,6 مليون درجة مئوية. والشمس حجمها كبير أكبر من حجم الأرض لدرجة يمكنها أن تستوعب أكثر من مليون أرض بداخلها، وهي تدور حول نفسها دوراناً مغزلياً حول محور مركزي كما يحدث في الكواكب من حولها، لكن هذا الدوران ليس بالسهولة أو الانسيابية التي تدور بها الأرض حول نفسها. وتقع أنشطة البقع الشمسية فوق الشمس عندما تتقاطع غازاتها معاً أثناء دورانها معها، والشمس دورانها ليس دوراناً انسيابياً كدوران الأرض، لأن الشمس ليست كتلة صلبة، لهذا غازات القطبين الشمسيين تدور بسرعات متفاوتة بالنسبة للغازات حول خط الاستواء، ممّا يجعل الحقول المغناطيسية بهما تنحرف، وهذا يسبب انحرافات مغناطيسية تظهر كبقع شمسية داكنة فوق سطح الشمس. وهذا التعقيد في الحقل المغناطيسي شديد بدرجة تجعله ينكمش، ويجعل القطبين الشمالي والجنوبي يتبادلان مكانيهما. وتتكرر هذه العملية بصفة مستمرة، ويطلق عليها دورة الشمس، والدورة الكاملة تستغرق 22 سنة. والسفر للشمس مستحيل مهما كانت شدة تحمل المركبات للحرارة العالية، وعدم استطاعة الوصول إليها ليس بسبب شدة الحرارة فقط، ولكن بسبب الرياح الشمسية حولها الشديدة جداً لدرجة تُغيّر من مسار أي مركبة تقترب من الشمس لشدة هذه الرياح. والشمس لشدة جاذبيتها جعلت الكواكب في مكانها تدور حول مركز الشمس.



وتتكون المجموعة الشمسية من الشمس (النجم الوحيد في مجموعتنا الشمسية)، وتدور حولها 9 كواكب، حيث يدور حولها أكثر من 100 قمر وعدد لا حصر له من الأجسام الصغيرة كالكويكبات والمذنبات. وتوجد جميعها في الوسط بين الكواكب، الذي نطلق عليه تجاوزاً الفضاء، مكونة المنظومة الشمسية. والمجموعة الشمسية تنقسم لقسمين:

1. قسم داخلي يحتوي الشمس وكواكب: عطارد والزهرة والأرض وقمرها والمريخ.
2. قسم خارجي يحتوي الكواكب الخارجية: المشتري وزحل وأورانوس ونبتون.

وبصفة عامة محيطات دوران هذه الكواكب حول الشمس ببيضاوية تقريباً، ما عدا زحل وبلوتو، فمحيطاهما تقريباً دائريان. لكن كل المحيطات التي تدور فيها الكواكب حول الشمس كلها في مستوى واحد، ويُطلق عليها مسار الشمس (ecliptic)، ما عدا الكوكب القزم بلوتو فهو ينحرف قليلاً عن هذا المستوى، وكل هذه الكواكب تدور في اتجاه واحد باتجاه عكس عقارب الساعة.

وهناك الكويكبات (asteroids) وهي عبارة عن أجسام صخرية صغيرة داخل النظام الشمسي، وتدور حول الشمس، ولا سيما بين كوكبي المريخ والمشتري، وفي أماكن أخرى وحول الشمس ذاتها. وأما المذنبات فهي عبارة عن أجسام جليدية، تأتي من خارج المجموعة الشمسية أو تخرج منها، ومداراتها طويلة جداً ومنتشرة بطريقة غير منظمة ومبعثرة داخلها. وبعض المذنبات تنتهي بالفشل، بحيث لا يمكن تفرقتها عن الكويكبات. وهناك الأقمار

التابعة للكواكب التي تدور حول كوكبها الخاص بها كما يفعل قمر الأرض، ومحيط دورانها في مستوى دوران الكواكب، وأحجامها مختلفة. وهناك أقمار عديدة أكبر من كوكب بلوتو، وقمران أكبر من كوكب عطارد. وهناك أقمار تصطدم بها الكويكبات التي تُحدث بها فوهات وندوب وحفر.

كان الفلكيون القدماء مشغولين بمحيط الفضاء منذ آلاف السنين، فلاحظوا نقاطاً مضيئة تتجول بين النجوم في السماء، فأطلقوا عليها الكواكب السيارة. وأطلقوا عليها أسماء رومانية هي:

(عطارد) Mercury: معناه بالرومانية رسول الآلهة.

(الزهرة) Venus: معناها بالرومانية إله الحب والجمال.

(المريخ) Mars: معناه إله الحرب.

(المشتري) Jupiter: معناه ملك الآلهة.

(زحل) Saturn: معناه أبو جوبتر وإله الزراعة.

وقد لاحظ الفلكيون القدماء الكويكبات والشهب التي لها ذيل متوهج وهي تتهاوى، وأطلق عليها العرب النجمة أم ذيل.

وكان القدماء يعتقدون أن الأرض مركز الكون، وكل النجوم بما فيها الشمس تدور حولها. لكن العالم كوبرنيك في القرن 16 أثبت بما لا يدع مجالاً للشك أن الأرض والكواكب في مجموعتنا الشمسية تدور في محيطاتها حول الشمس، ولم يصدقه علماء الفلك حتى جاء نيوتن ووضع قوانين الحركة. وقد تبدو الأرض لنا أنها مكان جميل وكبير، بينما الواقع أن كوكب المشتري أثقل منها بـ 317 مرة وكوكب زحل يكبرها وزناً 95 مرة. ورغم كبر هذه الكواكب نجد الشمس تضم وحدها 99,98% من كتلة المجموعة الشمسية لشدة جاذبيتها، والشمس تكبر الأرض بحوالي 109 مرات في الحجم. بعد اختراع التلسكوب (المقرب) (اكتشفت ثلاثة كواكب في المجموعة الشمسية، هي كوكب أورانوس (عام 1781) وكوكب نبتون (عام 1864) وكوكب بلوتو (عام 1930، قبل إعادة تصنيفه ككوكب قزم). (كما اكتشفت آلاف الأجسام صغيرة الحجم كالمذنبات والكويكبات.

يطلق على الكواكب الأربعة القريبة من الشمس (عطارد والزهرة والأرض والمريخ) اسم الكواكب الأرضية، لأن لها صخوراً علي سطحها، وهذه الكواكب الأربعة الصخرية التي يطلق عليها الكواكب الأربعة الأرضية صغيرة



نسبياً ومكونة من نفس المواد الموجودة فوق الأرض. وأما الكواكب الأربعة فيما وراء مدار المريخ (وهي المشتري وزحل وأورانوس ونبتون) فيطلق عليها الكواكب العملاقة الغازية، لأنها كواكب غازية لا توجد فوقها أرض صلبة لنقف فوقها. وتصنف الكواكب أيضاً حسب خواصها الطبيعية، فالكواكب الأربعة الأرضية - عطارد والزهرة والأرض والمريخ - يطلق عليها الكواكب الداخلية، لأن مداراتها تقع قريباً من الأرض وضمن نطاق حزام الكويكبات حول الشمس، وهي ثقيلة وصغيرة الحجم وصخرية القشرة وجامدة، وفي قلبها مصهورات معدنية (ما عدا عطارد، فجوه غازي تتسرب منه العناصر الخفيفة لقلّة قوة جاذبيته). وهذا هو عكس الكواكب العملاقة الغازية التي تقع وراء حزام الكويكبات، والتي يطلق عليها الكواكب المشتريّة (Jovian planetss)، فكلّها أحجامها وكتلتها كبيرة جداً، لكن كثافتها قليلة، ويعتبر المشتري أثقل الكواكب مجتمعة: فكتلته أقل من الأرض 318 مرة وحجمه أكبر من حجمها 1,300 مرة، ممّا جعل كثافته أقل وتعاود ربع كثافة الأرض. وزحل كتلته تعادل 95 مرة وزن الأرض، وكثافته أقل من كثافة الماء التي تعادل 1 جم/سم³. فالكواكب المشتريّة الغازية العملاقة جوها كثيف ويتكون من الهيدروجين ومركباته والهيليوم، وتتكون هذه الكواكب من غازات وسوائل وليس فيها ماء، ولها حلقات حولها وأقمار عديدة، وهذه الحلقات مكونة من غازات الهيدروجين والهيليوم وجليد ماء والأمونيا والميثان وأول أكسيد الكربون. ويقع الكوكب القزم بلوتو على حافة المنظومة الشمسية، وكان يعتبره الكثيرون في الماضي مذنباً كبيراً لا كوكباً، لأن مكوناته أشبه بمكونات المذنب الذي يتكون عادة من جليد وصخور، لكن مداره يختلف تماماً عن مدارات المذنبات وبقية الكواكب. وقد كان بلوتو - قبل إعادة تصنيفه ككوكب قزم - أبعد الكواكب التسعة وأصغرها، لكنه مغطى بالجليد الصلب بنسبة أكبر من الكواكب الأرضية الأربعة.

كما أن هذه الكواكب الأرضية يطلق عليها الكواكب السفلى أو الكواكب الداخلية، لأن مداراتها تقع بين حزام الكويكبات والشمس، والكواكب العملاقة الغازية يطلق عليها الكواكب العليا لأن مداراتها خلف حزام الكويكبات. والكواكب الأرضية الأربعة - عطارد والزهرة والأرض والمريخ - تشبه الأرض في أحجامها ومكوناتها الكيميائية وكثافتها، لكن فترة دورانها حول نفسها متراوحة. فبينما نجد المريخ والأرض يدوران حول نفسيهما دورة كاملة كل 24 ساعة، نجد الزهرة يدور حول نفسه في 2499 يوماً.

والكواكب العملاقة الغازية - كالمشتري وزحل وأورانوس ونبتون - نجدها أكبر حجماً من الكواكب الأرضية، وغلافها الجوي سميك وغازي، وكثافتها أقل، ومدة دورانها حول نفسها تتراوح ما بين 10 ساعات للمشتري و15 ساعة لنبتون. وهذا الدوران السريع يتسبب في تفلطح القطبين بنسبة 2% - 10%، ممّا يجعل الكوكب بيضاً أكثر منها كروياً.

وتقريباً كل كوكب - وبعض الأقمار - لها غلاف جوي محيط بها. فغلاف الأرض الجوي يتكون أساساً من الأكسجين والنيتروجين وثاني أكسيد الكربون. وجو كوكب الزهرة به نسبة عالية وكثيفة من غاز ثاني أكسيد الكربون، وأثار من الغاز السام ثاني أكسيد الكبريت، ممّا يصعب الحياة به. بينما جو كوكب المريخ به غاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة قليلة. لكن كواكب زحل وأورانوس ونبتون بها نسبة عالية من غازي الهيدروجين والهيليوم. وعندما يقترب

كوكب بلوتو القزم من الشمس يترقق جوه، وعندما يبتعد عنها في مداره يتجمد وينكمش ويسلك كالمذنب. ولو زُرّت كوكباً من الكواكب التسعة سيختلف عمره ووزنك فوقه، لأن لكل كوكب جاذبيته الخاصة وسنينه وأيامه التي تختلف مدتها من كوكب لآخر، كما أنه يختلف في ضغطه الجوي وطول مداره حول الشمس وجاذبيته وحرارته ومكونات جوه وكثافته.

ويوجد أكثر من 100 قمر يدور حول الكواكب المختلفة في مجموعتنا الشمسية، وهي تتراوح في حجمها بين أجسام أكبر من قمرنا إلى أجسام صغيرة. وكثير من هذه الأقمار قد اكتشفتها المركبات الكوكبية الفضائية وصوّرتها. وبعضها لها جو محيط كقمر تيتان حول زحل، وأخرى جوها عبارة عن مجالات مغناطيسية كقمر جانيميد حول كوكب المشتري، الذي يعتبر من أكثر الأقمار نشاطاً بركانياً في المجموعة الشمسية. وسطح القمر أوروبا حول



كوكب المشتري متجمد، بينما قمره غنيميد يشهد - كما يبدو في الصور - حركة في الصفائح الجليدية بسطحه. وبعض الأقمار الكوكبية عبارة عن مذنبات أسرتها جاذبية الكوكب نفسه، واعتبرت أقماراً تابعة لكواكبها، كقمر فيوبوس وديموس حول المريخ، وأقمار حول كوكب المشتري، وقمر فوب حول كوكب زحل، وأقمار كوكب أورانوس الجديدة، وقمر كوكب نبتون نيريد.

فمنذ عام 1610 وحتى عام 1977 كان يُظن أن كوكب زحل هو الكوكب الوحيد الذي له حلقات حوله. لكن حالياً نعرف أن كواكب المشتري وأورانوس ونبتون كلها لها نظام حلقي، رغم أن كوكب زحل أكبر هذه الكواكب الحلقيّة. ومكونات هذه الحلقات تختلف، وتختلف أجسامها في الحجم من الغبار إلى الصخور والكتل الجليدية. ومعظم الكواكب لها مجالات مغناطيسية تمتد في الفضاء حول كل كوكب، وهذه المجالات تدور مع دوران الكوكب نفسه، لتكنس معها الجسيمات المشحونة حوله. والشمس لها أيضاً مجالها المغناطيسي حولها، والذي يجذب كل المجموعة الشمسية بداخله.

كواكب شبيهة بالأرض

إن الكواكب السبعة المكتشفة، تدور حول نجم يُعرف باسم (ترايست-1) يبعد مسافة 39 سنة ضوئية عن الأرض، وهي مسافة صغيرة نسبياً، بالمقارنة بالكواكب الشبيهة التي تم اكتشافها سابقاً. وحسب الورقة العلمية التي قالت "ناسا" إنها ستُنشر لاحقاً في مجلة "نيتشر" العلمية، فإن العقود الماضية شهدت اكتشاف ألوف الكواكب خارج مجموعتنا الشمسية، عبر استخدام طريقة قياس الضوء العابر لرصد الكواكب الشبيهة بالأرض، فعندما يمر كوكب ما أمام نجم ما، يحجب الكوكب قدرًا من الضوء عن ذلك النجم، وهو الأمر الذي يوفر للعلماء مجموعة من المعلومات عن حجمه.

لكن الباحثين في "ناسا" استخدموا طريقة جديدة لكشف المجموعة الكوكبية الجديدة، إذ قاموا بعكس العملية برمتها، فمنذ عام 2010 إلى الآن؛ يقوم العلماء برصد النجوم القزمة صغيرة الحجم أولاً والتي تصلح لدعم الحياة في الكواكب المحيطة بها، ثم يقومون برصد الكواكب بعد ذلك، واستنباط المعلومات الخاصة بتحليل الغلاف الجوي في النهاية.

ورصد الباحث الرئيسي في الدراسة مايكل جاليون، منحنيات الضوء الصادرة من الكواكب في 19 سبتمبر الماضي، بعد أن اكتشف وجود النجم قبل أكثر من عام، وتابع الباحث مسارات تلك الكواكب طيلة الشهور الماضية، حتى تمكن من التعرف بشكل لا لبس فيه عن فترات مرورها المدارية، التي تعرف بكونها الفترة اللازمة لأي جرم فلكي سواء كان كوكباً أو قمراً طبيعياً أثناء سيره في المدار.

وقالت "ناسا" مؤتمرها الصحفي، إنها لاحظت أن الكواكب الداخلية الستة الأولى المكتشفة حديثاً تدور حول نجمها في فترة مدارية مُقدرة بـ1.5 إلى 13 يوماً، وقد استخدم الباحثون تلك المعلومة للحصول على كُتْل تلك الكواكب. واستخدم الباحثون طرقاً متطورة متعلقة برصد الكواكب الخارجية للتنبؤ بالأطوار المدارية للكواكب السبعة المكتشفة حديثاً، وقالت ناسا إنها لا تزال بصدد دراسة احتمالية وجود مياه على سطح الكواكب الشبيهة بالأرض، وهو الأمر الذي ربما يكون داعماً للحياة بشكل أو بآخر.

وكشفت "ناسا" أبرز 10 معلومات عن الكواكب المكتشفة، أولها أن 3 كواكب منها لديها ظروف جيدة لتتطور عليها الحياة بالفعل، وثانيًا أن الكواكب السبعة جميعها قد يحتوي على الماء، وثالثها أن هذا الاكتشاف يعد الأكبر من نوعه للوكالة، حيث لم يسبق لها اكتشاف نظام شمسي، يحتوي على حياة بهذا القدر.

ورابع المعلومات، أن الكواكب السبعة تعتبر قريبة نسبياً إلى الأرض، فهي على بعد 39 سنة ضوئية فقط، وخامساً، أنه وفقاً للإمكانيات الحالية، فإنه لكي يتم الوصول إلى تلك الكواكب سيستغرق البشر رحلة قدرها 44 مليون سنة. وسادساً، أن الكواكب السبعة المكتشفة قريبة جداً من بعضها لدرجة أنه يمكن لساكني أحد الكواكب رؤية الكوكب الآخر، كما يرى البشر القمر، وسابعاً أن قرب الكواكب من بعضها البعض، يستبعد إمكانية وجود أقمار تابعة لها، وثامنًا أنه خلال 10 سنوات على الأقل سيتأكد علماء ناسا من ما إذا كانت هذه الكواكب عليها كائنات حية أم لا،



وتاسعا، أن نجم (ترايبست 1) يبعد حوالي 325 تريليون ميل، وهو نجم صغير بالنسبة للشمس، ويقع في كوكبة الدلو، وعاشرا وأخيرا أن الكوكب "ترايبس وان أي"، أحد الكواكب السبعة، شديد الشبه بالأرض، فهو يقع على نفس المسافة بين الأرض والشمس وبنفس حجم كوكب الأرض.

والسنة الضوئية هي واحدة من أهم وحدات القياس التي تستخدم في المسافات البعيدة في علم الفضاء، وهي المسافة التي يقوم الضوء بقطعها خلال السنة الواحدة .

وتبلغ سرعة الضوء نحو 300 ألف كيلو متر في الثانية الواحدة، من هنا فإن المسافة التي يقطعها الضوء في الدقيقة الواحدة تقدر بـ 18 مليون كيلومتر، أما المسافة التي يقطعها في السنة الواحدة فهي 9.46 تريليون كيلو متراً.

ومنذ عام 2009 وإلى الآن، اكتشف العلماء نحو 4000 كوكب، منها أكثر من 13 كوكبا شبيها بالأرض، ويعد الكشف عن الكواكب الشبيهة بالأرض أحد أهداف علم الفلك الحديث، بسبب الأخطار المتزايدة التي يتعرض لها كوكب الأرض، واحتمالية نشوب حرب نووية مفاجئة أو ظهور سلالات جديدة من الفيروسات.

وأعلنت ناسا مؤخراً أن "كيبلر" اكتشف منذ إطلاقه 715 كوكباً جديداً، أضيفت لقائمة الكواكب خارج النظام الشمسي، ليصل عددها إلى قرابة 1700 كوكب.

وأرسلت وكالة ناسا المسبار "كيبلر" إلى الفضاء في مارس/ آذار 2009، في مهمة لاستكشاف ما إذا كانت هناك حياة في مجرة درب التبانة، ورصد مساحات من الكون يعتقد أنها تحتوي على ما يقرب من 100 ألف نجم شبيه بالشمس، ويحمل "كيبلر" على متنه أقوى كاميرا نصبت على متن مهمة فضائية حتى الآن.



البلورات والمعادن





ما هو المعدن ؟

عرّف الجيولوجيين المعدن " على أنه كل مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية وله تركيب كيميائي محدد ونظام بلوري مميز " .

وتتشابه بعض المعادن في بعض صفاتها ولذلك للتعرف على المعدن فإنه تتم دراسته من خلال خواصها الكيميائية والبلورية والفيزيائية

الخواص الكيميائية للمعادن: chemical Properties of the minerals

قُسمت المعادن كيميائياً إلى معادن عنصرية ومعادن مركبة وقُسمت المعادن المركبة على أساس نوع الأنيون أو الشق الحمضي الداخل في تركيب المعادن إلى عدة مجموعات منها الأكاسيد والكبريتات وغيرها، ويعتبر هذا التقسيم مناسباً جداً كيميائياً وجيولوجياً حيث تتبع معظم الخواص الكيميائية والبلورية والفيزيائية للمعادن نوعية الأنيون (الشق الحمضي) في تركيب المعدن عن ارتباطها بالكاتيون. فمعدن الكالسيت CaCO_3 ومعدن الماغنيزيت MgCO_3 متماثلان في الشق الحمضي لذلك فهما متماثلان في الخواص البلورية، بينما يختلف معدن الكالسيت تماماً مع معدن الفلورايت (CaF_2) في الشق الحمضي رغم تواجد كاتيون الكالسيوم في تركيب كلا المعدنين .

تصنف المعادن في مجموعات أساسية بحسب تركيبها الكيميائي وخاصة الشق السالب لها كما يلي :

أ . المعادن العنصرية :

هي المعادن التي تتكون من عنصر كيميائي واحد في حالة نقية وتسمى العناصر فيها بالعناصر الطليقة Native Elements وهي لا تتحد بسهولة مع مواد أخرى، وقد تكون معادن عنصرية فلزية مثل الذهب (Au) والفضة (Ag) والبلاتين (Pt) والنحاس (Cu) . أو قد تكون معادن عنصرية لا فلزية مثل معادن الكبريت (S) والألماس (C) والجرافيت (C) والشاويت (C) . وعموماً المعادن العنصرية توجد في الطبيعة بكميات نادرة، وتعتبر ذات أهمية اقتصادية كبيرة .

ب . المعادن المركبة ، ومنها:

1 . معادن الكبريتيدات Sulphides:

تتكون معادن هذه المجموعة من اتحاد فلز مع الكبريت حيث يكون الكبريت (S) هو الأنيون (أو الشق الفلزي الحمضي) وتعتبر معادن هذه المجموعة من أهم المجموعات المعدنية إذ تضم خامات معدنية ذات قيمة اقتصادية. ومن أمثلة معادن الكبريتيدات معدن البيريت (FeS_2) ، الجالينا (PbS) ، الأرجنيت (Ag_2S) ، الكاروليت (Cu_2S_4) .

2 . معادن الهاليدات Halides:

تتكون معادن هذه المجموعة من اتحاد فلز مع أحد عناصر الهالوجينات التالية: الكلور (Cl) ، الفلور (F) البروم (Br) ، اليود (I) مثل معدن الفلورايت (CaF_2) والهاليت (NaCl) السالفيت (KCl) .



3. معادن الأكاسيد :Oxides

تتكون معادن الأكاسيد من اتحاد الأكسجين المنتشرة في مكونات القشرة الأرضية مع أحد العناصر الفلزية وتشمل معادن كثيرة ذوات أهمية اقتصادية مثل معدن الهيماتيت (Fe_2O_3) والروتيل (TiO_2).

4. الهيدروكسيدات : Hydroxides

تتكون معادن الهيدروكسيدات أو الأكاسيد المتميئة من أكسيد فلز مع مجموعة (OH)، أي أنها تحتوي على شق الهيدروكسيل (OH) ضمن تركيبها الكيميائي مثل معدن الجوثيت ($FeO(OH)$ ، المانجانيت ($MnO(OH)$).

5. معادن الكربونات : Carbonates

تضم مجموعة معادن هشة ولينة وفاتحة اللون تميل إلى الذوبان في الأحماض، تتكون عند اتحاد فلزات أو شبه الفلزات مع مركب الكربونات (CO_3) ويعتبر هو (الشق الحمضي)، ومن أكثر معادن هذه المجموعة انتشاراً معدن الكالسيت ($CaCO_3$)، والدولوميت ($CaMg(CO_3)_2$)، المغنيسيت ($MgCO_3$)، وهناك الكربونات المتميئة وهي معادن ثانوية تتشكل عندما تتبدل عناصر معينة في المركب مثل الملاكيت $Cu_2(OH)_2CO_3$ ، والأزوريت $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$ وهما ناتجان عن تبدل معادن النحاس.

6. معادن الكبريتات : Sulphates

معادن يتكون من اتحاد فلز أو أكثر مع مركب الكبريتات $(SO_4)^{2-}$ ضمن تركيبها الكيميائي ويعتبر هو الأنثيون (الشق الحمضي)، في المعدن ومن أهم معادن هذه المجموعة وأكثرها انتشاراً معدن الجبس ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)، معدن الأنهيدريت $CaSO_4$ ، ومعدن الباريت $BaSO_4$.

7. معادن الفوسفاتية : Phosphates

معادن تحتوي على مركب الفوسفات $(PO_4)^{3-}$ ضمن تركيبها ومعظم هذه المجموعة معادن غنية بعناصر أرضية نادرة. ومن أهم هذه المعادن معدن الأباتيت $Ca_5(F,Cl,OH)(PO_4)_3$.

8. معادن السيليكات : Silicates

تتكون معادن هذه المجموعة من اتحاد وحدة أو أكثر مع مركب السليكون والأكسجين $(SiO_4)^{4-}$. ومعادن السيليكات تعتبر أهم مجموعات المعادن وأكثرها انتشاراً حيث أن 30% من بين جميع أنواع المعادن هي معادن سيليكاتية. وأن معظم المعادن المكونة للصخور النارية والمتحولة هي معادن سيليكاتية وهذه الصخور تكون أكثر من 90 % من تركيب القشرة الأرضية.

ومن أمثلة المعادن السيليكاتية: معادن الفلسبار مثل الأرتوكليز $KAlSi_3O_8$ والألبيت $NaAlSi_3O_8$ والأنورثيت $CaAl_2Si_2O_8$. ومعادن الميكا: وهناك ما يقرب 30 نوع من معادن الميكا أهمها المسكوفيت والبيوتيت، وأيضاً هناك معدن الأوليفين $(Mg,Fe)_2SiO_4$ ، والكوارتز SiO_2 .

تتكون الوحدة الأساسية في تركيب السيليكات من أربع ذرات أكسجين تتمركز داخلها ذرة سليكون تنتظم في شكل هندسي فراغي على هيئة هرم رباعي الأوجه.

وترتبط رباعيات الأوجه مع بعضها البعض عن طريق المساهمة بذرة أو اثنين أو ثلاثة أو أربعة ذرات أكسجين لتعطي تراكيب معقدة من المعادن السيليكاتية.



وتبعاً لبنيتها الذرية المعقدة ولنوع الرابطة بين رباعيات الأوجه قسمت معادن السليكات إلى الأنواع التالية :

1. السليكات المنعزلة : وتعتبر أبسط أنواع السليكات ووحدتها الأساسية تركيب رباعي الأوجه (SiO_4) مثل معدن الأوليفين $(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$.

2. السليكات المتجمعة Sorosilicates : هي سليكات ثنائية رباعي الأوجه ، وحدتها البنائية الأساسية $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{-6}$.

3. السليكات الحلقية : حيث تتربط وحدات رباعيات الأوجه في حلقات سداسية والوحدة الأساسية لهذه المعادن $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{-12}$ مثل معدن البريل $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$.

4. السليكات السلسلية : حيث تنتظم رباعيات الأوجه في سلاسل إما مفردة أو مزدوجة والوحدة الأساسية للسلاسل المفردة $(\text{SiO}_4)^{-2}$ مثل عائلة البيروكسين $(\text{FeMg})\text{SiO}_3$.

وأما الوحدة الأساسية للسلاسل المزدوجة

$(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{-6}$ مثل عائلة الأمفيبول $\text{CaMg}_5(\text{SiO}_{11})_2(\text{OH})_2$

5. السليكات الصفائحية Phyllosilicates : حيث تنتظم رباعيات الأوجه على هيئة صفائح والوحدة الأساسية هي $(\text{Si}_4\text{O}_{10})^{n-2}$ مثل عائلة الميكا (المكسوفيت) $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

6. السليكات الهيكلية Tectosilicates : ويكون التركيب البنائي لها في صورة إطار ذي ثلاثة أبعاد حيث تشترك كل الوحدات البنائية رباعية الأوجه على الأكسوجينات الأربعة على رؤوس الشكل الرباعي الأوجه مع الوحدات المجاورة مثل الكوارتز SiO_2 ، فليساير الأرتوكليز $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ، ومعدني البلاجيوكليز الصودي والكلسي.

الخواص البلورية: Crystal Properties

لقد أثبتت الدراسات أن الخواص البلورية للمعادن من أهم الخواص التي يمكن بواسطتها التعرف على المعدن، إذ أن هذه الخواص وحدها تكفي غالباً لتمييز معدن عن غيره من المعادن، لأن معظم المعادن توجد في صورة متبلرة (تكون المعادن غير المتبلورة في المملكة المعدنية قلة وتعتبر استثناء وليست قاعدة ومن أمثلة المعادن غير المتبلورة الأوبال $(\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_2\text{O})$).

ويتضح الفرق بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة في البناء الداخلي. فإذا كانت الذرات مرتبة في نظام معين فالمادة متبلورة، أما إذا لم تكن كذلك أي أن الذرات غير مرتبة فالمادة غير متبلورة وهنا يكمن الفرق بين الزجاج والكوارتز واللذان يتركبان من عنصري الأكسجين والسليكون.

وتعرف البلورة على إنها جسم صلب متجانس يحتوى على نظام أو ترتيب داخلي مميز ثلاثي الأبعاد. وتتحكم بعض الظروف السائدة أثناء تكوين البلورات كالضغط والحرارة والبيئة الكيميائية في حجم وطبيعة الأوجه البلورية.

ويعتمد شكل البلورة على :

1. البناء الداخلي للبلورات : إن أول خطوة في تكوين البلورة هو تكون الأنوية البلورية والتي تعتبر بذور البلورات مكونة الوحدة البنائية للبلورة وعليها تتكون باقي الوحدات، ويتم ترتيب ذرات أو أيونات العناصر المكونة للمعدن ترتيباً داخلياً منتظماً مكوناً شكل هندسي مميز. ويعود السبب في اختلاف الخواص الطبيعية للمعادن ذات التركيب الكيميائي الواحد كما في الماس والجرافيت إلى اختلاف البناء الداخلي للبلورات هذه المعادن أو ما نسميه التركيب الذري البلوري ويتحدد البناء الداخلي للبلورة بما يأتي:



أ. الترتيب الفراغي للذرات أو الأيونات في البلورة :

تترتب الذرات أو الأيونات المتشابهة في البلورة عند نقاط منتظمة في الأبعاد الثلاثة بطريقة تجعل كل ذرة أو أيون في البلورة لها نفس الظروف المحيطة بالذرات أو الأيونات الأخرى وينشأ عن مثل هذا الترتيب الهندسي تركيب شبكي مفتوح مجسم يعرف بالتركيب الشبكي الفراغي أو الشبكة الفراغية وتترتب الذرات فيه في الاتجاهات الثلاثة من الفراغ ويبعد بعضها عن بعض أو تتكرر على مسافات متساوية في هذه الاتجاهات. ويتحدد التركيب الشبكي الفراغي لذرات أو أيونات البلورة من تكرار معين لوحدات صغيرة جداً تعرف الواحدة بإسم الوحدة البنائية المبينة.

تتكون كل وحدة بنائية من ثماني نقاط فراغية مرتبة في أركانها الثمانية وتتخذ شكل متوازي الأوجه وهي أبسط وحدات الترتيب الفراغي المتكون من (14) نمطاً من الوحدات البنائية وتعرف هذه الترتيبات الفراغية بإسم الترتيبات الفراغية الأربعة عشر لبرافيه The 14 Bravais space lattices.

وتقسم الوحدات البنائية على حسب تواجد الذرات في الترتيب الفراغي كالتالي:

Primitive centering (P): الذرات تشغل زوايا الوحدة البنائية فقط.

Body centered (I): ذرة في مركز الوحدة البنائية بالإضافة إلى ذرات متواجدة في الأركان الثمانية وتعرف بمركز في الداخل .

Face centered (F): فتكون نقاط إضافية عند مراكز جميع الأوجه وتعرف بإسم ممرضة الأوجه

Centering (C): نقطة في مركز وجه ونقطة أخرى في مركز الوجه المقابل فيعرف بممرضة الوجهين المتقابلين.

عدد التناسق Coordination Number : يقصد به عدد الذرات أو الأيونات التي يرتبط بها عنصر ما مع ذرات العناصر الأخرى.

ويعتمد عدد التناسق على:

❖ تكافؤ العنصر Valence Electrons .

❖ نصف قطره الذري.

❖ نصف قطر العنصر الذي يرتبط به .

فمثلاً لتكوين شكل رباعي الأوجه (SiO_4) نجد أن ذرة السليكون تحاط بـ (4) ذرات من الأكسجين، وحيث أن عدد إلكترونات التكافؤ للسليكون (4) فإنه يحتاج إلى أربع ذرات أحادية التكافؤ أو ذرتين ثنائية التكافؤ، وبما أن ذرة الأكسجين ثنائية التكافؤ فإن لكل ذرة من ذرات الأكسجين تشارك بإلكترون واحد مع السليكون وبإلكترون آخر مع ذرة سليكون أخرى وعليه يقال أن عدد تناسق السليكون يساوي (4) ويعتبر رباعي الأوجه في حد ذاته وحدة بنائية Unit cell والتي بتكرارها تتكون البلورة .

تختلف الوحدات البنائية بعضها عن بعض في أطوال حدودها والزوايا المحصورة بين هذه الحدود ويتحدد شكل الوحدة البنائية على أساس :

1 . أطوال حدود كل وحدة بنائية (المحاور البلورية) والمقصود بالأطوال هي المسافة بين كل نقطتين في الأبعاد الثلاثة وهذه الأبعاد الثلاثة هي ما تعرف بالمحور البلوري (أ) والمحور (ب) والمحور (ج) وهذه المحاور الثلاثة تلتقي في نقطة مركزية.



2. الزوايا المحصورة بين هذه الأطوال .

أما حجم البلورة فيتوقف على تكرار الوحدات البنائية في الاتجاهات الثلاثة مما يؤدي إلى نمو البلورة وزيادة في الحجم شرط أن تظل النسبة بين أطوال المحاور وقيم الزوايا المحورية ثابتة لبلورة المعدن الواحد، ونمو البلورة متوقف على طبيعة الوسط الذي تنمو فيه هذه البلورة بمعنى أن تكون الأيونات أو الذرات المكونة لهذه البلورة متواجدة بوفرة وهناك عوامل كثيرة لها أثر في نمو البلورة مثل درجة الوسط ، الحيز ، والضغط، والأس الهيدروجيني، البيئة الكيميائية.

ب. الروابط الكيميائية:

الروابط هي الوصلة التي تربط بين ذرات أو أيونات العناصر المكونة لبلورات المعادن . وعلى حسب نوع الرابطة وقوتها يتحدد خواص المعادن ، وكلما زادت قوة الرابطة زادت صلابة المعدن ، ومعظم المعادن تحتوي على أكثر من نوع واحد من الروابط وتعرف بالمعادن غير متجانسة الروابط Heterodesmic مثل معدن المايكا والأوجيت والأركليز ، أما المعادن التي تتكون من رابطة واحدة فقط فتعرف بالمعادن أحادية الرابطة أو متجانسة الروابط Homodemic مثل معدن الهاليت والماس .

وتوجد أربعة أنواع من الروابط الكيميائية في المعادن :

1. الرابطة الأيونية Ionic Bond:

هي أبسط الروابط الكيميائية، وتتكون نتيجة قوة الجذب الكهروستاتيكية لأيونات موجبة وأخرى سالبة تكونت نتيجة فقد أو اكتساب إلكترونات حتى تتعادل الشحنات الكهربائية في المركب، والذي يعتمد على حجم الذرات وشحنتها الكهربائية من أمثلة المعادن التي ترتبط ذراتها بهذه الرابطة هو معدن الهاليت NaCl والفلوريت CaF₂. وتتميز بلورات تلك المعادن بتمائل بلوري مرتفع لأن الكاتيونات تحاول دائماً أن تحيط نفسها بأكثر عدد من الأنيونات، كما إنها تتميز بصلادة متوسطة ووزن نوعي متوسط ودرجة انصهار وغلان مرتفعة نسبياً، ومعظم هذه المعادن رديئة التوصيل للحرارة والكهرباء أما محاليلها فجيده التوصيل للكهرباء لأنها تتأين إلى أيونات حرة موجبة وسالبة عند إذابتها بالماء.

2. الرابطة التساهمية Covalent Bond:

تعتبر من أقوى الروابط الكيميائية وتحدث بين الذرات التي توجد في مستواها الأخير عدد من الإلكترونات أقل مما يلزم ذلك المستوي بالإلكترونات أو أكثر، ومثل هذه الذرات ترتبط عن طريق تداخل المستويات الأخيرة بحيث تشكل مستويات مشتركة تدور فيها الإلكترونات حول ذرتين بدلاً من دورانها حول ذرة واحدة للوصول إلى حالة الاستقرار أو التشبع. وهذه الرابطة موجودة في بعض المعادن العنصرية وفي معظم معادن السليكات رباعية الأوجه (SiO₄) ، وتتميز هذه المعادن بأن بلوراتها شحيحة الذوبان في الماء لذلك لا تتأين، ودرجة انصهارها وغلانها مرتفعتان جداً ومعامل التمدد الحراري لديها منخفض، وبلوراتها رديئة التوصيل للحرارة والكهرباء لذلك تستعمل هذه المعادن كمادة عازلة في الأجهزة الكهربائية مثل معدن المايكا وتتميز بالصلادة العالية كما في الماس والكوارتز.

3. الرابطة الفلزية Metallic Bond:

يوجد هذا النوع من الروابط بين ذرات الفلزات حيث أنها تميل لفقد الإلكترونات من المستويات الخارجية لتصبح أيونات موجبة مما ينتج عن ذلك سحابة من الإلكترونات المفقودة والتي تكون طليقة وحررة في البناء الذري للفلز ولا تخص ذرة معينة في البلورة بل تخص التركيب البلوري كله كوحدة. وتعمل هذه السحابة على ربط الكاتيونات



بعضها ببعض، وتتميز معادن الفلزات بانخفاض صلابتها ودرجة غليانها وإنصهارها، وتتميز بقابلية هذه المعادن للطرق والسحب وسهولة تشكيلها، وتعتبر موصلات جيدة للحرارة والكهرباء وتوجد هذه الرابطة في المعادن العنصرية كالذهب والبلاتين والنحاس والفضة .

4 . رابطة فاندرفال Van Der Waals Bond:

تعتبر من أضعف الروابط الكيميائية والتي تتكون من قوي جذب ضعيفة متخلفة على سطح جزيئات متعادلة في المعدن إلى جانب قوي ارتباط أخرى. ومن أحسن أمثلتها معدن الجرافيت حيث ترتبط ذرات الكربون مع بعضها في مستوى أفقي بواسطة روابط تساهمية مكونة مجموعات سداسية (صفيحة رقيقة). وترتبط الصفائح بعضها مع بعض في مستوى رأسي برابطة فاندرفال ضعيفة، لذلك يسهل تشقق المعدن إلى صفائح في مستويات متوازية نتيجة لضعف القوة الرابطة بين الصفائح. (وكذلك الحال بالنسبة للتشقق في معدن الميكا مع اختلاف أنواع الروابط عن الجرافيت، حيث ترتبط ذرات الأكسجين بذرات السليكون في الصفائح برابطة تساهمية، وترتبط الصفائح بعضها مع بعض برابطة ضعيفة أيونية عن طريق أيونات البوتاسيوم). وتتصف هذه المعادن بدرجة إنصهار منخفضة جد وصلادة منخفضة وتشقق بصورة جيدة.

الخواص الخارجية للبلورات The External Properties of Crystals

إن من أهم المكونات للشكل الخارجي للبلورة هي الأوجه البلورية وأحرف البلورة والزوايا بين الوجوهية ، والشكل الخارجي للبلورة المتكاملة يعكس وجود أو عدم وجود عناصر التماثل البلوري، والمعادن التي تُظهر عناصر التماثل البلوري تكون قد تكونت في بيئات ذات ظروف تكون مثالية ، وتصنف عناصر التماثل إلى محور التماثل ومركز التماثل ومستوى التماثل، وهناك نوعان من محور التماثل هما:

أ . محور التماثل الدوراني :

- إذا كان تكررت الأوجه المتشابهة مرتين في الدورة الكاملة أي أن البلورة تعيد الوضع نفسه كل 180° ، يسمى محور التماثل بأنه ثنائي ويرمز له بالعلامة (●) أو بالعدد 2 .
- أما إذا كررت البلورة الوضع نفسه ثلاث مرات في الدورة الكاملة أي كل 120° حول المحور فعندئذ يسمى ثلاثي التماثل ويرمز له بالعلامة (▲) أو بالعدد 3 .
- وإذا تكرر الوضع الواحد في البلورة أربع مرات في الدورة الكاملة أي كل 90° فإن المحور يكون رباعي التماثل ويرمز له بالعلامة (■) أو بالعدد 4 .
- وأخيرا إذا تكرر الوضع الواحد في البلورة ست مرات في الدورة الكاملة أي كل 60° فإن المحور يكون سداسي التماثل ويرمز له بالعلامة (◆) أو بالعدد 6 .
- أما الأشكال الخماسية والسباعية عند تكرارها تترك فراغات وهذا لا يتفق مع الترتيب الذري في النظم البلورية المختلفة لذلك لا يظهر لها تماثل بلوري.

ب. محور التماثل الانقلابي:

عبارة عن المحور الذي يشتمل على خاصية الدوران مع الانقلاب، حيث يمكن رؤية أحد الأوجه أكثر من مرة. (راجع كتاب الطالب)



التعرف على المعادن من خلال أشكال بلوراتها

صنف العلماء البلورات إلى سبع مجموعات أو فصائل بلورية استناداً إلى المحاور البلورية . وتعرف المحاور البلورية بخطوط وهمية تتقاطع في مركز البلورة وتمتد إلى وسط الأوجه أو الأحرف أو الزوايا الركنية المتناظرة في البلورة .

ويعتمد التمييز بين هذه الفصائل على الصفات التالية للمحاور البلورية :

(1) عدد المحاور البلورية :

ويكون عددها غالباً ثلاثة محاور باستثناء السداسي والنظام الثلاثي يكون عددها أربعة محاور ، هذه المحاور هي :

- ❖ المحور (أ) (a-axis) أفقي ممتد من الأمام إلى الخلف بالنسبة لماسك البلورة ويعتبر طرفه الأمامي موجب الإشارة (+) وطرفه الخلفي سالب الإشارة (-) .
- ❖ المحور (ب) (B-axis) وهو محور أفقي ممتد من اليمين إلى اليسار بالنسبة لماسك البلورة ويعتبر طرفه الأيمن (+) موجب وطرفه الأيسر (-) سالب الإشارة .
- ❖ المحور (ج) (c-axis) وهو محور رأسي ممتد من أعلى إلى أسفل ويعتبر طرفه العلوي (+) موجب أما طرفه السفلي (-) سالب الإشارة .

(2) الزوايا المحورية :

تتقاطع المحاور البلورية في مركز البلورة وتحصر فيما بينها زوايا تعرف بالزوايا المحورية ويرمز للزاوية المحصورة بين المحور (أ)، والمحور (ب) بالزاوية جاما ويرمز لها (γ). أما الزاوية الناتجة عن تلاقي المحور (أ) والمحور (ج) فهي الزاوية بيتا ويرمز لها (β) وينتج عن تلاقي المحور (ج) مع المحور (ب) زاوية تسمى ألفا ويرمز لها (α) .

(3) أطوال المحاور البلورية :

تنساوى المحاور البلورية الثلاثة في الطول في بعض الفصائل البلورية وفي فصائل أخرى يتساوى اثنان فقط وفي البعض تختلف المحاور البلورية الثلاثة في الطول .

Crystallographic Systems الفصائل البلورية

(1) فصيلة المكعب :

يشمل هذا النظام جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور بلورية متساوية ومتعامدة. ($a_1 = a_2 = a_3$) و ($\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) . وتعتبر بلورات هذه الفصيلة أكثر البلورات تناسقاً وتماثلاً. وينتمي إلى هذا النظام معظم بلورات الكبريتيدات والهاليدات والأكاسيد وعلى سبيل المثال معدن الجالينا (Pbs) البيراييت (FeS) والهاليت (NaCl) والفلوراييت (CaFe) والماس C .



(2) فصيلة الرباعي :

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور بلورية متعامدة، المحوران الأفقيان متساويان في الطول ولا يتساويان مع المحور الرأسي (أ = ب ≠ ج) و ($\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$). ومن المعادن الشائعة معدن كاسيتريت SnO_2 ومعدن روتال TiO_2 ومعدن الزركون ZrSiO_4 .

(3) فصيلة المعين القائم :

تتميز جميع بلورات هذه الفصيلة بوجود ثلاثة محاور متعامدة ومختلفة الأطوال أي أن (أ ≠ ب ≠ ج) و ($\gamma = \beta$) و ($\alpha = 90^\circ$) وعادة تمسك البلورة بحيث يكون المحور الأطول هو المحور (ج). (ج < ب < أ). ومن أمثلة معادن هذه الفصيلة معدن الكبريت.

(4) النظام السداسي :

تتميز بلورات هذه الفصيلة بوجود أربعة محاور بلورية، ثلاثة منها أفقية ومتساوية في الطول أما المحور الرابع وهو المحور الرأسي (ج) عامودي على مستوي المحاور الأفقية وقد يكون أقصر أو أطول من المحاور الأفقية ($a_1 = a_2 = a_3 \neq c$) وتتقاطع المحاور الثلاثة الأفقية في زوايا متساوية قيمة كل منها 120° وتمسك البلورة السداسية بحيث يكون المحور الرأسي (ج). ودائماً (ج) هو المحور سداسي التماثل (دوراني) ويتبع هذا النظام عدة معادن مثل الكوارتز SiO_2 ، البيريل، الزمرد، الجرافيت، الأباتيت. وعادة تشمل فصيلة الثلاثي مع فصيلة السداسي، حيث يتشابهان في وجود أربع محاور بلورية، ولكن يختلف النظام الثلاثي بوجود محور تماثل دوراني رأسي ثلاثي وليس سداسي، ولا يوجد مستوى تماثل ينصف البلورة ضمن المستوى الرأسي.

(5) فصيلة أحادي الميل :

تتميز بلورات هذه الفصيلة بوجود ثلاثة محاور بلورية مختلفة الأطوال (أ ≠ ب ≠ ج) ويتعامد المحور ب مع المحور الرأسي (ج) أما المحور (أ) فيميل إلى الأمام بالاتجاه إلى ماسك البلورة. أي أن ($\alpha = \gamma = 90^\circ$) والزوايا β منفرجة أكبر من 90° وتعرف بالزوايا الموجبة أما الزاوية β الحادة فتعرف بالزوايا السالبة ويختلف قيمة الزاوية β من معدن لآخر وهذا ما يساعد في التعرف على المعادن. ومن أمثلة المعادن التي تتبع هذه الفصيلة الجبس، الملاكيت، ازواريت، مسكوفيت.

(6) فصيلة ثلاثي الميل :

تتميز بلورات هذه الفصيلة بعدم تساوي المحاور البلورية أ ≠ ب ≠ ج، وعدم تعامدها ($\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$) ومن أمثلة المعادن التي تتبع هذه الفصيلة معدني الأنورثيت، الألبيت.

يذكر أن 50% من مجموع المواد المتبلرة تتبع نظام أحادي الميل، 25% تتبلور في نظام المعين، و 15% تتبع نظام الثلاثي الميل أما النظم البلورية الأخرى فتشكل فقط 10% من مجموع المعادن المتبلرة.



النظم البلورية وعناصر التماثل

محاور التماثل الدوراني		مستويات التماثل		النظام البلوري
النوع	العدد	النوع	العدد	
4-3 3-4 2-6	13	3- محورية 6- مائلة	9	المكعب
4-1 2-4	5	3- محورية 2- مائلة	5	الرباعي
2-3	3	3- محورية	3	المعين القائم
6-1 2-6	7	4- محورية 3- مائلة	7	السداسي
2-1	1	1- محورية	1	أحادي الميل
-	-	-	-	ثلاثي الميل

ملاحظة :

- ❖ مستويات التماثل المحورية تكون موازية للمحاور البلورية، والمائلة تكون قطرية
- ❖ محاور التماثل: مثلاً 4-3 يعني هناك ثلاث محاور تكون رباعية التماثل الدوراني أي يمكن رؤية وجه معين حول تلك المحاور 4 مرات خلال دوران 360 درجة، (3-4) يعني هناك أربع محاور تكون ثلاثية التماثل الدوراني، أي يمكن رؤية وجه معين حول تلك المحاور 3 مرات خلال دوران 360 درجة..... وهكذا

الأشكال التي توجد عليها بلورات المعادن في الطبيعة

توجد بعض المعادن في الطبيعة في هيئة بلورات مفردة ولكن الغالبية العظمى من المعادن توجد بلوراتها متجمعة في هيئة مجموعات قد تكون منظمة في ترتيبها أو غير منظمة. وتصنف مجموعات البلورات إلى قسمين حسب التركيب الكيميائي لأفرادها فإذا كانت جميع البلورات ذات تركيب كيميائي واحد فإنها تعرف بإسم المجموعة المتجانسة (من معدن واحد) . أما إذا كانت من بلورات مختلفة التركيب الكيميائي (من معادن مختلفة) ، فإنها تعرف بإسم المجموعة غير المتجانسة ، وتصنف النمو البلوري إلى ثلاثة أقسام هي :

1. **النمو المتوازي:** تنمو بلورات المعدن الواحد بالقرب من بعضها البعض حيث يكون المحور الطولي والأسطح البلورية لها متوازية.
2. **النمو المعدني الفوقي:** يظهر معدنين متداخلين نمو بلوري منتظم، ويحتوي كل منهما على تركيب شبكي وحجم مختلف عن الآخر .
3. **البلورات التوأمية:** يحدث هذا النوع عندما تنمو بلورتين من نفس المعدن مع بعضهما لتكون بلورة واحدة تحتوي على عناصر تماثل جديدة.



الخواص الفيزيائية للمعادن Physical Properties Of Minerral

1] الخواص الضوئية (البصرية) :

وهي الخواص التي تعتمد على لون ومقدار الضوء المنعكس من سطح المعدن وتشمل الخواص الضوئية :

1. **اللون :** هناك معادن لها لون ثابت (متأصل) تساعد في التعرف عليها مثل الكبريت الذي يتميز بلونه الأصفر الفاقع، معدن الجرافيت يتميز بلونه الأسود ، ومعدن الملاكيت يتميز بلونه الأخضر ، والأزوراييت (كربونات النحاس القاعدية) بلونه الأزرق.

أما المعادن التي ليس لها لون ثابت فيعزى اختلاف اللون فيها إلى عدة أسباب منها :

أ. **اختلاف التركيب الكيميائي من عينة إلى أخرى :** أما المعادن التي تظهر ألوانا مختلفة في العينات المختلفة لنفس المعدن. فقد يكون السبب إختلاف التركيب الكيميائي من عينة إلى أخرى ، مثل معدن السفاليرايت Sphalerite ، الذي يختلف لونه من البني الأصفر إلى الأسود ، وذلك بسبب كثرة الحديد في هذه الحالة. وقد يكون السبب في تغير اللون وجود شوائب تعمل عمل الأصباغ فتصبغ المعدن بلون مخالف للونه إذا كان نقياً، كأنواع الكوارتز مثل الكوارتز الوردي ، والكوارتز البنفسجي (الأميثست) ، والكوارتز الأحمر خفي التبلور المعروف باسم جاسبر jasper ، إذ تنتج هذه الألوان عن وجود شوائب مثل أكسيد الحديد (اللون الأحمر) أو أكاسيد المنجنيز (اللون البنفسجي) ، والمعروف أن الكوارتز النقي شفاف اللون. وقد يعزى التغير في اللون إلى البناء الذري للمعدن حيث توجد بعض الروابط بين الذرات "مكسرة" ، كما هو الحال في معدن الكوارتز المدخن smoky quartz ، وقد يكون اللون موزعا في المعدن الواحد في هيئة حلقات أو نطاقات منتظمة حول بعضها البعض مثل معدن أجيت Agate (كوارتز خفي التبلور) ، وتورمالين Tourmaline ، (سليكات الألومنيوم والبورون والمغنيسيوم والحديد).

ب. **تغير في البناء الذري للمعدن :** حيث توجد بعض الروابط بين الذرات "مكسرة" كما هو الحال في معدن الكوارتز المدخن .

ج. **توزيع الشوائب في المعدن الواحد :** قد يكون في هيئة حلقات أو نطاقات أو أحزمة حول بعضها البعض مثل معدن العقيق الذي يعتبر نوعا من أنواع الكوارتز مستتر التبلور ، أو أن يكون توزيع الشوائب في المعدن على هيئة بقع أو نقط مثل معدن الياقوت الأزرق.

وهناك بعض الظواهر الخاصة باللون تتميز بها بعض المعادن ومن هذه الظواهر :

1. ظاهرة تلاعب الألوان :

حيث يتغير لون المعدن نتيجة لتداخل الأشعة الضوئية إما داخله أو على سطحه بسبب تغير زاوية سقوط الضوء عليه أو الانعكاس الانتقائي الذي يقوم به أو لكليهما كما هو الحال في الماس.

2. **ظاهرة تغير الألوان :** يتغير لون المعدن نتيجة لتداخل أشعة الضوء المنعكسة من أسطح مستويات متوازية خارجية تحتوي على صفائح رقيقة من معادن أخرى يكتنفها المعدن مثل معدن اللابرادورايت إذ يعطي المعدن عند تحريكه أمام العين الألوان الزرقاء – الخضراء والحمراء .

3. **خاصية عين الهر :** حيث تنتج هذه الخاصية من اختلاف الانعكاسات الضوئية على سطوح المعادن الليفية ، فيظهر المعدن في لون متوهج يختلف باختلاف زاوية الرؤية فيشبه بذلك بريق عين النمر

(بني ذهبي) وعندما يكون (أزرق) يسمى عين الهر .

4. **ظاهرة التصدؤ :** تتكون نتيجة عمليات الأكسدة للأسطح الخارجية للمعدن ألوان مختلفة عن لون المعدن الأصلي كما هو الحال في معدن الكالكوبايرايت .



5. ظاهرة اللآلة : تنتج عن انعكاسات ضوئية داخل المعدن بسبب اختلاف ترتيب بعض الجزيئات مثل الأوبال

6. المخدش

7. البريق

8. الشفافية

(راجع كتاب الطالب ودليل المعلم)

9. التضوء: إلى جانب ظاهرتي التفلور والتفسفر فإن هناك :

التضوء الحراري : وهو تضوء ينتج عن تسخين المعادن لدرجات معينة، وهي تظهر بصورة خاصة للمعادن غير الفلزية التي تحتوي على بعض الشوائب المعدنية التي تتحفز بواسطة الحرارة، ويزداد توهج الضوء مع زيادة الحرارة.

التضوء الاحتكاكي: وهو تضوء ناتج عن سحق المعادن أو خدشها أو حكها، ومعظم المعادن التي تظهر هذا النوع من التضوء هي معادن لافلزية وتحتوي على نظام تصفح جيد مثل السلفرايت والليبيدوليت.

[2] الخواص التماسكية :

هي الخواص التي تدل على قوة تماسك أجزاء المعدن وتعتمد على البناء الداخلي لبلورات المعادن . أي على الترتيب الذري الداخلي . ونوع الرابطة الكيميائية بين الأيونات أو الذرات المكونة لبلورات المعادن. وتشمل هذه الخواص كل من : الصلادة - المكسر - التشقق - المتانة - الوزن النوعي.

الوزن النوعي للمعدن : عبارة عن نسبة كثافة المعدن إلى كثافة الماء (الكثافة النسبية). ولما كانت كثافة الماء عند درجة 4 مئوية تساوي الوحدة ، فإن الرقم الدال على الوزن النوعي هو نفس العدد الدال على كثافة المعدن بإستثناء أن الوزن النوعي لا يتميز له (لأنه يمثل نسبة) أما الكثافة فإنها تتميز. فمثلا ، الوزن النوعي للكوارتز يساوي 2.65 ، أما كثافة الكوارتز فتساوي 2.65 جم/سم³ .

عندما نقول أن الوزن النوعي لمعدن الكوارتز هو 2.65 فإننا نعني أن عينة معينة من الكوارتز تزن 2.65 مرة وزن حجم مساو لها من الماء. والذهب وزنه النوعي 19 يعني أن الذهب يزن 19 مرة حجم وزن مساو لهذه العينة من الماء. والوزن النوعي خاصية هامة مميزة للمعدن ، وهي ثابتة لا تتغير (عند درجة معينة من الحرارة والضغط) طالما أن التركيب الكيميائي للمعدن لم يتغير ، فإذا تغير التركيب الكيميائي للمعدن نتيجة لإحلال بعض العناصر محل عناصر أخرى في البناء الذري الداخلي ، مثل إحلال الألومنيوم محل السليكون وإحلال الحديد محل المغنسيوم ، فإن قيمة الوزن النوعي للمعدن تتغير تبعا لذلك الإحلال .

ويختلف الوزن النوعي أيضا باختلاف طريقة رص الذرات في البناء الذري الداخلي للمعدن. فالمعروف أن الذرات قد ترص نفسها في مادة البلورة إما في هيئة سداسية أو ثلاثية أو مكعبية ، وينتج من ذلك أن السنتيمتر المكعب ، مثلا ، يحتوي في كل حالة على عدد من الذرات مختلف عنه في الحالة الأخرى ، وبالتالي يختلف الوزن النوعي من حالة إلى أخرى. ومن أمثلة ذلك الكربون ، فقد توجد ذرات الكربون مرسوسة تبعا للنظام المكعبي ، لتعطي بلورات مكعبة هي معدن الماس ، وزنه النوعي 3.4 ، أو قد توجد ذرات الكربون مرسوسة بنظام هو النظام السداسي ، في بلورات معدن الجرافيت ، وزنه النوعي 2.25. ومن الأسباب التي تؤدي إلى الخطأ في تعيين الوزن النوعي للمعدن بصفة عامة وجود شوائب مختلطة به وكذلك وجود فجوات هوائية ، ولذلك عند تعيين الوزن النوعي لمعدن ما ، يجب التأكد من خلو المعدن من مثل هذه الشوائب والفجوات الهوائية ، كما يجب أن يكون المعدن خاليا من آثار التحلل بفعل العوامل الجوية (التأكسد والكربنة والتميو) كما يجب على دارس المعدن تحري الدقة التامة أثناء عملية تعيينه للوزن النوعي للمعدن.

ويستفاد من إختلاف الوزن النوعي في فصل المعادن والخامات المعدنية وتركيزها. وتستغل الطبيعة أيضا هذا الإختلاف في الوزن النوعي في فرز المعادن. وتجميعها في أماكن مختلفة كل بحسب وزنه النوعي. فمثلا ، المعادن



الثقيلة لا تنتقل مسافات كبيرة وتتركز بالقرب من مصادرها الأصلية ، أما المعادن الخفيفة فيمكن للسيول أو المياه الجارية أو حتى الرياح أن تنقلها إلى مسافات بعيدة عن مصادرها الأصلية وبذلك تفصلها عن المعادن الثقيلة.

[3] الخواص الحسية :

بعض المعادن يمكن التعرف عليها والتمييز بين المعادن باستخدام حواس الإنسان وتعتبر صفة مميزة للمعدن لتساعد في التعرف عليه . الرائحة - الطعم (المذاق) - المغناطيسية - درجة الانصهار - الكهربائية.

تكون المعادن في الطبيعة

هناك عدة طرق لتكون المعادن وهي:

أولاً : تجمد الصهير (المagma) أو اللافا (Lava) :

الصحير هو محلول معقد ثقيل تتحرك فيه العناصر المختلفة بحرية وتتكون المعادن نتيجة اتحاد هذه العناصر بعضها مع بعض تحت ظروف خاصة . وعند انخفاض درجة حرارة الصهير فإن بلورات المعادن تنفصل على مراحل حسب درجة حرارة الصهير والمعروف أن التبريد البطيء يساعد على نمو كبر حجم البلورات . أما التبريد السريع فيؤدي إلى تكوين بلورات صغيرة الحجم . وفي حالة تجمد اللافا على سطح الأرض فإن البلورات لا تتكون بسبب التبريد المفاجئ.

تتكون المعادن ذات درجات الانصهار الأعلى أولاً وبعد ذلك يتغير تركيب الصهارة الباقية لتتكون المعادن الأخرى، وبذلك تتبلور السليكات أولاً من المagma لتعطي المعادن السليكاتية الهامة المكونة للصخور مثل الفلسبارات البلاجيوكليز والأوليفين - الأمفيبول - الميكا - الفلسبارات البوتاسية - والكوارتز . إلى جانب تبلور أكاسيد وكبريتيدات الفلزات الناتجة من المagma لتكون رواسب الخامات.

في المرحلة الأخيرة من تبلور المعادن فإن المتبقي من الصهارة تكون غنية بعناصر مثل الفلورين والبورون والليثيوم والبريليوم والتيتانيوم لتكون بلورات ذوات أحجام كبيرة لمعادن ذات قيمة اقتصادية مثل الأحجار الكريمة مثل التوباز والزمرد والتورمالين . الصهارة الغنية بالبورون والليثيوم تشكل بلورات التورمالين ، والغنية بالفلورين تشكل التوباز أما الغنية بالبريليوم فتشكل البريل.

ثانياً : تكوين المعادن من المحاليل :

تتكون كثير من المعادن في الطبيعة نتيجة لتبلورها من المحاليل بعدة طرق:

1. بخر السائل المذيب :

بسبب عملية التبخر التي تتعرض لها مياه البحار والمحيطات والبحيرات المالحة فإن نسبة الأملاح المذابة فيها تتركز مما يؤدي إلى تبلور هذه الأملاح وترسبها من المحلول حسب درجة ذوبانها . فتتبلور أولاً المعادن الأقل ذوباناً مثل كربونات الكالسيوم ثم كربونات المغنسيوم ثم تنتهي عملية التبلور بالأملاح الأكثر ذوباناً مثل كلوريد الصوديوم (الهاليت) .



2. انخفاض درجة حرارة وضغط المحاليل:

الماء الساخن يُذيب كمية أكبر من الأملاح من الماء البارد ، وعندما يبرد المحلول الساخن فإن الماء سيكون بدرجة التشبع من الأملاح المذابة الموجودة به مما سيؤدي إلى تبلورها ، وكلما كان درجة الضغط عالية على المحلول ، وكلما كان بإستطاعة الماء حمل كمية أكبر من الأملاح المذابة مما سيؤدي إلى تكون محلول ذو تركيز عال جداً، وعند انخفاض الضغط ستبدأ البلورات في النمو.

3. فقد الغاز الذي يعمل كمذيب من المياه الجوفية :

إذ أن المياه الجوفية التي تحتوي على نسبة من غاز ثاني أكسيد الكربون تتحول إلى حمض ضعيف هو حمض الكربونيك الذي يعمل على إذابة الصخور الجيرية (كربونات الكالسيوم) ويحولها إلى بيكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان في الماء وهو مركب غير مستقر حيث يفقد ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء ليتحول إلى كربونات الكالسيوم لا تذوب في الماء . ومثل معدن الكاليسيت الذي يتكون في هيئة استلاكتيت (هوابط) واستلاجميت (صواعد) في الكهوف .

4. تفاعل المحاليل مع المواد الصلبة (عملية الإحلال) :

وهي عملية يتغير فيها المعدن إلى معدن آخر جديد بفعل المحاليل ويحدث ذلك بإذابة المحلول للمعدن الذي يصادفه ويرسب مكانه في نفس الوقت معدن آخر جديد يختلف عنه في التركيب الكيميائي . ومثال على ذلك معدن سميثونيت Smithsonite (كربونات الزنك) والذي يتكون نتيجة تفاعل محلول مائي محتوي على كبريتات الزنك مع الحجر الجيري بعملية الإحلال .

ثالثاً : تكوين المعادن من الغازات :

مما هو جدير بالذكر إذ المجما تحتوي على غازات ومواد طيارة مذابة فيها تحت ضغط كبير وفي درجة حرارة عالية . وتشمل هذه المواد الطيارة والغازات بخار الماء (الأكثر وجود) والكلور والفلور والبورون والكبريت . فأما أن تتفاعل هذه الغازات و الأبخرة مع بعضها البعض أو مع الصخور المحيطة بها ، وأما أن تتحول مباشرة من الحالة الغازية إلى الحالة الصلبة نتيجة التبريد والتجمد السريع (عملية التسامي). ومن أمثلة المعادن التي تتكون بهذه الطريقة بلورات الكبريت الصفراء اللامعة النقية حول فوهات البراكين النشطة.

رابعاً : إعادة تكون المعادن:

يتغير بناء وخواص المعادن تغيراً كاملاً إذا أثرت عليها عوامل خاصة مثل الحرارة والضغط وبخار الماء والتفاعلات الكيميائية وينتج عن ذلك معادن جديدة وهذه التغيرات مرتبطة بعمليات التحول. ومثال على ذلك تكون معدن الجرافيت من تحول الكربون الموجود في الصخور بفعل الحرارة العالية . وتكون معدن الجارنيت نتيجة اتحاد أكاسيد وسليكات الحديد والألمنيوم بفعل الحرارة العالية. وتكون معدن السكارن.



الصخور





أنسجة الصخور النارية

يتم وصف الأنسجة من النواحي التالية: درجة التبلور - حجم البلورات - شكل البلورات.

أولاً: درجة التبلور: توصف درجة التبلور كالتالي:

- زجاج كلي. holohyaline.
- خليط من زجاج وبلورات. hypocrystalline.
- بلورات كلي. Holocrystalline.

ثانياً: حجم البلورات: حجم الحبيبات في الصخور النارية يعتمد على سرعة التبريد في الصهير لكن في الصخور الجوفية يلعب محتوى الأبخرة في الصهير دوراً أكثر أهمية ، وهناك عوامل أخرى تؤثر في حجم البلورات مثل لزوجة الصهير وعدد أنوية البلورات. (راجع كتاب الطالب)

تقسم الصخور النارية حسب حجم حبيباتها إلى:

- أ. دقيقة التحبب أقل من 1 مم
- ب. متوسطة التحبب 1 – 5 مم
- ج. خشنة التحبب 5 – 10 مم
- د. شديدة الخشونة (بجماتي) أكثر من 10 مم

الحبيبات الدقيقة (التي تتكون في البازلت مثلاً) تتكون نتيجة تكون عدد كبير من الأنوية مصاحب بتبلور سريع نتيجة للتبريد السريع على سطح الأرض ، أم الحبيبات الخشنة تتكون نتيجة للعوامل التالية:

1. التبريد البطيء بحيث يكون هناك وقت كافٍ لتجميع مزيد من الأيونات لتلتصق حول البلورات النامية.
 2. لزوجة منخفضة تسمح بتسرب سريع للأيونات في اتجاه البلورات النامية.
 3. عدد نواة البلورات يجب أن يكون قليلاً حتى تنمو البلورات دون أي إعاقة من البلورات المجاورة.
- أما الحبيبات الخشنة جداً في الصخور البجماتيية تعتمد ظاهرياً على المحتوى العالي من المتبخرات والذي يتركز في المراحل الأخيرة من التبلور. للماء والأبخرة الأخرى تأثيرين مهمين على الخشونة الشديدة للحبيبات وهما:

1. تمنع تكون الأنوية وذلك بإضعاف الروابط بين السليكا SiO_4
2. الماء والأبخرة تزيد من سرعة النمو وذلك بتخفيض درجة اللزوجة وبالتالي تزداد سرعة تحرك الأيونات إلى مراكز الأنوية القليلة فتصبح بلورات كبيرة.

ثالثاً: شكل البلورات: تقسم أشكال الحبيبات إلى التقسيمات التالية:

- كاملة الأوجه .
- ناقصة الأوجه .
- عديمة الأوجه .



وشكل الحبيبات يساعد على التعرف على تتابع التبلور :

1. إذا تكون الصخر من حبيبات معظمها كاملة الأوجه يدعى نسيج الصخر (Panidiomorphic) مثل صخر اللامبروفير (lamprophire)
2. إذا تكون الصخر من حبيبات معظمها ناقصة الأوجه يدعى نسيج الصخر (Hypidiomorphic) وهو النسيج السائد في معظم الصخور النارية.
3. إذا تكون الصخر من حبيبات معظمها عديم الأوجه يدعى نسيج الصخر (Allotriomorphic) مثل صخر الأبلت .
4. إذا كانت الحبيبات متساوية الأبعاد تسمى. equant.
5. إذا كانت الحبيبات صفائحية أو لوحية تسمى. tabular.
6. إذا كانت الحبيبات منشورية أو مستطيلة تسمى. prismatic.
7. إذا كانت الحبيبات إبرية الشكل تسمى. acicular.

أنسجة الصخور الزجاجية

تبلور الصهير السريع الذي يؤدي إلى تكون الزجاج يسمى devitrification. تنمو بلورات ليفيه عاموديه على الشقوق في الزجاج أو على شكل شعاعي على أطراف البلورات الكبيرة مكون أجساما دائرية تعرف باسم spherulite.

- أنسجة الانسياب. Flow Textures : إذا استمر الانسياب خلال مراحل التبريد والتبلور للصهير ينتج عن ذلك ترتيب للبلورات في اتجاه الانسياب وينطبق ذلك على بلورات الفلسبار الصفائحية مكونه النسيج التراكمي.
- أنسجة النمو المشترك. Intergrowth Textures : أن معادن الصخور النارية ربما تتبلور في نفس الوقت أو في تتابع أو بعضها ينمو على حساب الآخر.

فيما يلي بعض الأمثلة المختلفة من أنسجة النمو المشترك:

- النسيج البويكليتي Poiklitic Textures : بلورات صغيرة تنتشر عشوائيا داخل بلوره كبيره من معدن مختلف. البلورات الصغيرة عديمة الأوجه ويبدو انها تبلورت بعد البلورة الكبيرة وهناك ظواهر تشير إلى وجود تفاعلات بين البلورات الصغيرة المحاطة والبلورة الكبيرة ادت إلى تكون هذا النسيج.
- النسيج الأوفيتي Ophitic Texture : النسيج الأوفيتي ينشأ عندما تحاط بلورات البلاجيوكليز ببلورات كبيرة من البيروكسين أو الأليفين. وفي هذا النسيج نجد عكس ما هو حاصل في النسيج البويكليتي فالبلورات الصغيرة هنا تكون كاملة الأوجه ولا يوجد أي مؤشر على حصول تفاعل بينها وبين البلورة المحيطة. عندما تحيط بلورة البيروكسين أو الأليفين الكبيرة جزئيا ببلورات البلاجيوكليز يسمى النسيج subophitic.
- النسيج التراكمي Cumulus Texture : المعادن الأولية (التي تكونت في بداية التبلور) في بعض الأحيان تتركز وتتفصل عن الصهير لتكون صخور مختلفة التركيب عن الصهير. تراكم هذه المعادن الأولية يكون النسيج التراكمي وتكون هذه المعادن كاملة الأوجه.
- النسيج الهيروغليفي Graphic Texture : ينتشر هذا النسيج على الأخص في صخور البيجماتيت وينشأ نتيجة نمو مشترك بين بلورات مثله وسداسية الشكل من الكوارتز داخل بلورة من الفلسبار القلوي.



■ **النسيج الميرمكيتي Myrmekitic Texture:** ينشأ هذه النسيج كنمو مشترك من الكوارتز داخل البلاجيوكليز ويمتد إلى الفلسبار المجاور.

■ **النسيج البيرثيتي Perthite والأنتي بيرثيت Antiperthite:** النسيج البيرثيتي هو نمو مشترك بين البلاجيوكليز والفلسبار البوتاسي حيث توجد بلورات من البلاجيوكليز داخل بلورة الفلسبار البوتاسي. أما بالنسبة لنسيج الأنتي بيرثيت فيحدث العكس حيث توجد بلورات الفلسبار البوتاسي داخل البلاجيوكليز.

المعادن الأساسية المكونة للصخور النارية

المعادن الأساسية هي التي تكون الجزء الأكبر من الصخور النارية > 90 % ، تشكل معادن السيليكات الجزء الأعظم من ناحية الحجم.

المجموعات الرئيسية لمعادن السيليكات هي:

الكوارتز - الفلسبارات المعادن الفلسيه - الفلسباتويدات - الأوليفين - البيروكسين - الأامفيبول المعادن المافيه - المايكا

* الكوارتز:

- ألفا كوارتز alpha quartz يتبلور في درجات حرارة أقل من 570 درجة مئوية.
- بيتا كوارتز beta quartz يتبلور في درجات حرارة أعلى من 570 درجة مئوية .

هناك ارتباط كبير بين نسبة السليكا SiO_2 في الصخر الناري وبين كمية الكوارتز الموجودة في ذلك الصخر. عندما تصل نسبة السليكا حوالي 65% يبدأ ظهور الكوارتز وكلما زادت هذه النسبة كلما زادت نسبة الكوارتز، وهناك صور أخرى للسليكا الحرة غير الكوارتز تتواجد في الصخور النارية منها: الكالسيدوني chalcedony - التريديميت tridymite - الكريستوباليت cristobalite هذه الأنواع الثلاثة عبارة عن كوارتز دقيق التحبب جدا . الكالسيدوني يتبلور في العروق الحر مائية Hydrothermal veins التريديميت والكريستوباليت ينحصر وجودهما تقريبا في الصخور البركانية أو في الفراغات الموجودة بها.

* مجموعة الفلسبارات: Feldspars

وتشكل هذه المجموعة أهم معادن الصخور النارية على الإطلاق وتشتمل هذه المجموعة على سلسلتين:

1. سلسلة الفلسبار القلوي
2. سلسلة البلاجيوكليز

الفلسبار القلوي Alkali Feldspar: يكون الفلسبار القلوي سلسلة محلول جامد solid solution بين المركبين : أورثوكليز $KAISi_3O_8$ - ألبيت $NaAlSi_3O_8$ ويكون كل من الألبيت (Ab) والأورثوكليز (Or) سلسلة محلول جامد بينهما امتزاج كامل في درجات الحرارة المرتفعة فقط ويقل هذا الامتزاج تدريجيا مع انخفاض درجة الحرارة.

- 1- الميكروكلين microcline. يتكون في درجات الحرارة المنخفضة
- 2- الأورثوكليز orthoclase. يتكون من الصهارة في درجات الحرارة المتوسطة لذلك ربما يوجد مع السنادين في الصخور البركانية وكذلك مع الميكروكلين في الصخور الجوفية.



- 3- السنادين. sanadine يتكون من الصهارة في درجات الحرارة المرتفعة فقط ولذلك لا يوجد إلا في الصخور البركانية فقط.
- 4- الألبيت. albite يوجد في كل من الصخور البركانية والجوفية.
- 5- الأنورثوكليز. anorthoclase يعتبر أقل الفلسبارات القلوية شيوعاً وهو متوسط التركيب بين السنادين والألبيت. أكثر تواجده في الصخور البركانية.
- 6- البيرثيت perthite والأنتيبيرثيت antiperthite: تقل قابلية المزج بين الفلسبار الصودي والفلسبار البوتاسي مع انخفاض درجة الحرارة وينفصلان عن بعضهما أو يلفظ أحدهما الآخر ويكونا ما يعرف بالنمو المشترك اللفظي-ex solution intergrowth حيث يكون أحد الفلسبارين الجزء الأكبر من البلورة ويكون الفلسبار الآخر مكتنفات بداخلها. إذا كان الجزء الأكبر من البلورة فلسبار بوتاسي يحتوي على ملفوظات ex-solution من الألبيت تسمى البلورة بيرثيت وإذا حدث العكس فإنها تسمى أنتيبيرثيت. يشيع البيرثيت في الصخور الجوفية.
- 7- مجموعة البلاجيوكليز Plagioclase : معادن البلاجيوكليز تكون سلسلة محلول جامد متصل في جميع درجات الحرارة بين الألبيت والأنورثيت. تقسم معادن البلاجيوكليز إلى ستة معادن حسب تركيبها الكيميائي النسبية بين (An. و Ab) أهم ما يميز معادن البلاجيوكليز (خاصة الكلسي منها) هو التغيير إلى سوسيريت Saussuritization وهو خليط من معادن الأبيدوت epidote والأكتينوليت actinolite والكلوريت chlorite والكالسيت calcite والألبيت albite.
- 8- مجموعة الفلسباتويدات Feldspathoids : أهم معدنين في هذه المجموعة هما : النفلين nepheline واللوسيت leucite وهما غير مشبعين بالسيليكا ولذلك لا يظهران إلا في الصخور النارية غير المشبعة (أي أن كمية السيليكا في الصهارة أقل مما هو مطلوب لتكوين الفلسبارات فيكون بدلا منها لفلسباتويدات) لا توجد مجموعة الفلسباتويدات مع الكوارتز في صخر واحد.
- يوجد النفلين في الصخور الجوفية والبركانية على حد سواء ويشيع فيه التغيير إلى كانكرينيت. cancrinite
 - اللوسيت ينحصر وجوده في الصخور البركانية فقط. وكثيراً ما يحتوي على مكتنفات دقيقة مستديرة الشكل ومرتبته دائرياً بالقرب من حافة البلورة. يبدي اللوسيت توأمية تقاطعية تشبه توأمية الميكرو كلين ولكنها ليست متعامدة.

المعادن المافية: (ارجع لكتاب الطالب صفحة 79)

* مجموعة الأليفين Olivine :

تتكون مجموعة الأليفين من عدة معادن في سلسلة محلول جامد واحد بين معدني الفورشترت (Mg_2SiO_4) و فورستريت (Fe_2SiO_4 Fayalite) أكثر هذه المعادن شيوعاً هو الفورشترت، يوجد غالباً في الصخور فوق المافية والمافية ، و يتميز بشكله البلوري الشائع وهو المنشور القصير وكذلك بتضاريسه المرتفعة ومظهره السكري وبتشققاته غير المنتظمة والمتقطعة.

* مجموعة البيروكسين Pyroxene :

تشتمل مجموعتي البيروكسين على سلسلتي محلول جامد رئيسيتين هما:

سلسلة البيروكسين المعيني orthorhombic pyrox وسلسلة البيروكسين أحادي الميل monoclinic pyrox

* تكون السلسلة الأولى محلول جامد بين الانستاتيت ($MgSiO_3$) Enstatite والفيروسيليت ferrosilite ($FeSiO_3$)

* أهم معادن هذه السلسلة الانستاتيت Enstatite والهيرثين Hyperthene

* السلسلة الثانية ثلاثية الأطراف (انستاتيت – فيروسيليت – ولاستونيت). أهم معادن هذه السلسلة الأوجيت

والبيجونيت والدايوسيد . يضاف إلى هذه السلسلتين البيروكسينات القلوية وأهمها الأيجيرين والأيجيرين أوجيت



- الأنستاتيت: أكثر معادن البيروكسين شيوعاً في الصخور فوق المافية.
- الهيبرثين: شائع الوجود في كل من الصخور النارية المافية وفوق المافية.
- الدايوسيد: ليس شائعاً في الصخور النارية وينحصر وجوده في بعض أنواع الصخور المافية ولكنه شائع في الصخور المتحولة خاصة تلك الغنية بالكالسيوم والمغنيسيوم.
- الأوجيت: أكثر معادن البيروكسين شيوعاً في الصخور النارية ويوجد في معظم أنواعها من فوق المافية إلى متوسطة، لونه يتراوح من عديم اللون إلى بني باهت جداً ومع زيادة نسبة الحديد فيه تزداد شدة اللون ويسمى فيرو أوجيت.
- الإجيرين: بيروكسين أحادي الميل صودي تركيبيه المثالي $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ لكنه غالباً ما يحتوي على قليل من الحديد والمغنيسيوم لوجود سلسلة محلول جامد بينه وبين الأوجيت ويوجد في الصخور القلوية سواء المشبعة أو غير المشبعة بالسليكا. ومن أهم الخصائص البصرية التي يستعان بها في التمييز بين معادن البيروكسين المختلفة مجهرياً هي: اللون والتغيير اللوني – العلامة البصرية – الزاوية البصرية – زاوية الانطفاء.

* مجموعة الأمفيبول Amphibole:

الأمفيبول يتكون من مركب سيليكاتي معقد يحتوي على كميات متفاوتة من العناصر التالية :
Ca, Mg, Fe, Al, & (OH) ion. أكثر معادن هذه المجموعة شيوعاً هو الهورنبلند. Hornblende.

* مجموعة الميكا Mica:

تتكون هذه المجموعة من عدة مركبات سيليكاتية تحتوي على كل من Al+K بالإضافة إلى hydroxyl ion (OH).
أهم معدنين في هذه المجموعة هما: المسكوفيت muscovite و البيوتيت biotite.

* المعادن الإضافية ونواتج التغيير:

المعادن الإضافية توجد غالباً على هيئة حبيبات دقيقة منبثه بين المعادن الأساسية وأحياناً على هيئة مكتنفات بداخلها. ولبعض هذه المعادن دلالات هامه بالنسبة لتكوين الصهارة التي تكونت منها الصخور النارية.
• نواتج التغيير alteration products تنشأ نتيجة تأثير المعادن الأساسية بعوامل التجوية أو تأثير المحاليل الحر مائية أو المياه الجوفية. من نواتج التغيير مثلاً المعادن التالية: الكلوريت والسربنتين والكربونات والمعادن الطينية والابيدوت.

الصخور الرسوبية

نسيج الصخور الرسوبية: Texture of Sedimentary Rocks

النسيج: هو حجم وشكل وطريقة ترتيب الحبيبات المكونة للصخر. وهو يمثل علاقة الحبيبات ببعضها البعض داخل الصخر الواحد. ويمكن دراسة النسيج بالحصول على عينات يدوية من الحقل أو بالشرائح الرقيقة للصخور أو بطريقة التحليل الميكانيكي. ويعتقد أن معظم الرواسب حديثة التكون يوجد بها نسبة عالية من الفراغات أو المسام Pores حيث قد تصل نسبة المسامات في الحجر الرملي وقت الترسيب ما بين 20 – 55% بينما قد تصل إلى 80% في صخور الغرين وصخور الطين.



الخواص النسيجية للصخور الرسوبية الفتاتية :

(1) حجم الحبيبات والترتيب (أو التعبئة): Grain Size and Packing

هو عبارة عن تقسيم حبيبات الصخر وذلك في تحديد العلاقة الحجمية بين كل من الزلط والرمل والطين ويعتبر مقياس تدرج الحبيبات للعالم ونتورث Wentworth هو الأكثر استعمالاً بين الجيولوجيين. أما مقياس كرومباين وهو الأكثر استعمالاً بين الجيولوجيين. حيث يحول الحدود المتدرجة إلى قيمة فاي ϕ باستخدام العلاقة التالية: $\phi = -\log_2 \text{diam (mm)}$ (لأساس 2) كما في المعادلة التالية: $\phi = -\log_2 \text{diam (mm)}$ أما الترتيب (أو التعبئة) فهي كيفية ترتيب مكونات الصخر حيث أن الترتيب المتقارب يؤدي إلى انخفاض في حجم الفراغ ومن ثم يغير في مسامية و نفاذية الصخر. لذا فإن الاتصال بين الحبيبات يكون بمثابة مماس (أو اتصال نقطة Tangential Contact) ولكن يمكن تغيير بواسطة حركة السوائل الجوفية مما يؤدي إلى تقارب نقاط الاتصال بين الحبيبات مثل الاتصال المتطاول (Long Contact) اتصال مقعر — محدب (Concave - Convex Contact) واتصال متشابك (Sutured Contact) لاحظ الشكل الذي يوضح أنواع الاتصالات المختلفة بين الحبيبات.

(2) شكل الحبيبات (الاستدارة والتكور): Grain Shape & Roundness & Sphericity

لتحديد شكل الحبيبات لا بد من معرفة الاستدارة Roundness والتكور Sphericity ولمعرفة ذلك لا بد من معرفة علاقة قياس كل من طول وعرض وسمك الحبيبة أو الحصى الصغيرة حيث يمكن وصفها بمحاور الأقطار الثلاثة للحبيبة. ولقد أمكن إيجاد أربعة رتب رئيسية وهي كالتالي:

1. كروية
2. قرصية
3. ورقية (نصلية)
4. قضيبية

(3) طراز الراسب: Grain Fabric

يلعب الطراز دوراً مهماً في الخصائص الطبيعية للصخور مثل إمرار السوائل والحرارة وغيرها بين أجزاء الصخر. ويقصد الطراز هو طبيعة ترتيب وضع الفراغات الداخلية للصخر وكيفية توجيه مكونات الصخر. يقسم الطراز إلى قسمين من حيث النشأة:

- (أ) **طراز التشوه: Deformational Fabric** يتكون نتيجة الضغط الخارجي على الصخر حيث تتحرك مكونات الصخر ويصبح لها توجهاً معيناً نتيجة الضغط. ويحدث هذا غالباً في الصخور المتحولة.
- (ب) **طراز بناء الإضافة: Apposition Fabric** يتكون أثناء ترسيب مكونات الصخر ويُشار إليه بالطراز الأولي. وهو أن خاصية تراص وتماسك الصخور الرسوبية مصحوبة بانخفاض في المسامية حيث تشكل ظاهرة التشوه وهذه تغير الطراز الأولي حيث أنه ربما حدث نتيجة خاصية الالتحام والسمنتة المبكرة.

(4) النضوج النسيجي: Textural Maturity

هو مدى درجة تجوية ونقل وإعادة ترسيب الراسب المكون للراسب (أو الصخر). ولنضوج حجر الرمل مثلاً لا بد من التركيز والنسيج. فحجر الرمل الناضج تركيبياً أو معدنياً يتكون من كوارتز بنسبة عالية جداً، أما الحبيبات المعدنية والفئات الصخرية والطين فقد تمت إزالتها بالتعرية والفرز.



(5) النسيج السطحي: Surface Texture

هو ما يظهر على سطح حبيبة الرمل من علامات دقيقة مثل الخدوش والخطوط والتعرجات وغير ذلك. حيث يمكن رؤية بعض هذه العلامات بالعين المجردة والبعض الآخر بالمجهر العادي أو الإلكتروني. فمثلاً ظهور خاصية التلج على سطح حبيبة الرمل يدل على نشاط هوائي (أو ربحي)، كذلك ظهور خطوط مستقيمة ومنظمة تدل على تعرض هذه الحبيبات إلى زحف جليدي أو جليدية.

الخواص النسيجية للصخور الرسوبية الغير فتاتية:

(1) **النسيج البلوري Crystalline Texture**: يتكون من الكالسيت المتبلور اللامع من بلورات لامعة ونظيفة (نقي) يصل حجم حبيباتها إلى 100 ميكرون أو أكبر. ويظهر هذا النسيج بشكل جيد في الصخور الرسوبية الجيرية وكذلك رواسب المتبخرات.

(2) **النسيج الغروي Micritic Texture**: وهو يُطلق على طين الكربونات حيث تتراوح أقطار جسيمات الجير الدقيق الحبيبات بين 0.03 - 0.04 مم ويُعرف أيضاً بنسيج الراسب الأرضي أو الوحل الكلسي. يتكون النسيج الغروي من أنشطة الرياح والأمواج والمد والجزر وتتسبب جميعها في تفتيت وتكسير حطام الأصداف وغيرها إلى قطع صغيرة جداً. وكذلك يمكن أن يتكون بالترسيب الغير عضوي المباشر خصوصاً في بيئات الكربونات.

(3) **النسيج السري (أو البطروخي) Oolitic Texture**: وهذا يُعرف أيضاً بالرمل السري والذي يتكون في بيئات عالية النشاط والطاقة مثل منطقة المد والجزر وهو نسيج جيد التصنيف وقد يحتوي على قليل أو خالي من الراسب الأرضي.

(4) **نسيج العقد الطينية الجيرية: Pelletic Texture**: وهو يتكون من عقد حبيبية طينية عديمة البنية أو التشكل وغير متبلورة. وهي تتشكل نتيجة عمليات مختلفة حيث أن كثير من الحيوانات غير الفقارية تفرز (تخرج) طين جيرى على هيئة عقد أو كريات تسمى Faecal Pellets وكذلك عملية تجير (تطين) للحبيبات الهيكلية بواسطة الطحالب ويكثر تواجد مثل هذا النسيج في البرك الشاطئية والمحجوزة.

وقد قسمت الصخور الرسوبية بناء على ظروفها الفيزيائية والكيميائية إلى قسمين هما:

(1) **خارجي النشأة: Exogenetic Rocks** هي الصخور الفتاتية التي تكونت حبيباتها من تفتت صخور سابقة التكوين وتكونت بطريقة فيزيائية (طبيعية).

(2) **داخلي النشأة: Endogenetic Rocks** هي الصخور المتبلورة وغير المتبلورة ترسبت من المحاليل وتشمل الترسيبات المحلية (الملح الصخري، الجبس، الإنهيدرايت)

تقسيم الصخور الرسوبية على حسب أماكن تواجدها إلى قسمين هما:

(1) **داخل حوضيه: Intrabasinal Rocks** هي التي تشكلت في الأحواض الرسوبية وكذلك تم تجميعها في تلك الأحواض وتشمل الصخور الرسوبية الكيميائية والكيميائية الحيوية.



(2) **خارج حوضية: Extrabasinal Rocks** هي التي تشكلت خارج الحوض الترسيبي ثم جلبت إلى داخل الحوض الترسيبي وتشمل الرواسب القارية Terrigenous Sediments.

الصخور المتحولة Metamorphic Rocks

أنواع التحول Types of metamorphism :

يتم التحول في سلسلة من العمليات المعقدة والمتنوعة تسمى بالعمليات التحولية، قد تكون التحولات واسعة النطاق أو ضيقة اعتماداً على عوامل التحول والبيئة الجيولوجية التي تتم فيها هذه العمليات وعليها يمكن تقسيم التحول إلى الأنواع التالية:

- (1) التحول الحراري (التماسي) Thermal (contact) metamorphism.
- (2) التحول الديناميكي (التحطيمي) Dynamic (cataclastic) metamorphism.
- (3) التحول الإقليمي (الحراري-ضغطي) Regional (dynamo-thermal) metamorphism.
- (4) التحول التصادمي Impact (shock) metamorphism.
- (5) التحول الدفني Burial metamorphism.

(1) التحول الحراري (التماسي): Thermal (contact) metamorphism

يعتبر هذا النوع من التحولات ضيقة النطاق ويتم محلياً في مناطق تداخل الكتل الصهيرية في صخور مضيفة سابقة التكوين، وتكون الحرارة المتولدة من الصهير العامل المسيطر في هذا النوع مع عدم إغفال دور الغازات والسوائل في اتمام التحول. يسمى النطاق المتأثر بالتحول والذي يمتد من عدة أقدام إلى عدة كيلومترات باسم دائرة التحول، ويكون التأثير الحراري على أشده في مناطق التماس المجاورة للكتلة الصهيرية المتداخلة ويقل تدريجياً بعيداً من منطقة التماس.

العوامل التي تعمل على تحديد التأثير الحراري على الصخور وبالتالي تتحكم في درجة تحول الصخور ومدى انتشارها وهي:

1. حجم الصهير المتداخل: تتسع دائرة التحول كلما كانت الكتل المتداخلة كبيرة الحجم كما هو الحال في دوائر التحول حول الكتل البلوتونية والباتوليتية.
2. درجة حرارة الصهير: تكون درجة التحول عالية إذا كانت حرارة الصهير مرتفعة جداً وإذا كانت الظروف المحيطة تعمل على تبريد الصهير ببطيء.
3. التركيب الكيميائي للصهير: كلما زادت حموضة الصهير زاد التأثير على تحول الصخور وذلك لأن الصهير الحمضي يكون محملاً بكميات كبيرة من الغازات والسوائل النشطة كيميائياً.
4. التركيب المعدني للصخور: تؤثر نوعية الصخر على درجة التحول ونوعه ونوع النواتج صخرية، مثال: حجر رملي Sandstone يتحول إلى كوارتزيت Quartzite، صخور طينية Mudstone تتحول إلى هورنفيلس Hornfels.



صخور جيرية Limestone تتحول الي رخام Marble وتنتج من التحول الحراري (التماسي) مجموعة صخور كتلية massive rocks ذات معادن غير موجهة مثل الرخام Marble الهورنفلس Hornfels والكوارتزيت Quartzite

(2) التحول الاقليمي (الضغطي - الحراري) Regional (dynamo-thermal) metamorphism

من التحولات واسعة النطاق ويحدث فيه تغيير وتكييف الصخور سابقة التكوين في مناطق إقليمية شاسعة تمتد لآلاف الكيلومترات المربعة وبسبك تقدر بآلاف الأمتار تحت تأثير الضغط العالي المصحوب بارتفاع كبير جداً في درجة الحرارة، كما أن وجود المحاليل النشطة كيميائياً تساعد كثيراً في عملية التحول، يأتي هذا الضغط من حركات القشرة الأرضية ونتيجة الدفن لإعماق بعيدة في باطن الأرض. تصاحب هذا النوع من التحولات إعادة تبلور المعادن الأصلية الموجودة سابقاً وتكوين معادن جديدة وذلك بتفتت وتكسر المكونات المعدنية للصخور وأحياناً قد تنصهر وتذوب ثم تستعيد كيانها من جديد متبلورة ومصفوفة بحيث تشغل أقل حيز ممكن تحت تأثير الضغط. كما ويصاحب هذا التحول تكوين بنيات وأنسجة تحولية جديدة وذلك بترتيب المعادن التحولية المتكونة حديثاً في نظام يناسب الظروف المستجدة، ويتم هذا الترتيب بحيث يكون المحور الطولي لبلوراتها في اتجاه واحد عمودي علي اتجاه الضغط وينشأ عن هذا الترتيب تجمع معدني في هيئة طبقات رقيقة أو شرائط، Bands وريقات Folia ورقائق أو صفائح Laminae متوازية ومتعامدة علي اتجاه الضغط.

تصنيف الصخور المتحولة:

(أ) تقسيم الصخور المتحولة تبعاً للتركيب الكيميائي لأصل المكونات:

1. الصخور المتحولة المشتقة من الصخور الطينية (الطين الصفحي والصلصال) وهذه تسمى Peliticsediments وتكون دائماً غنية بسليكات الألمونيوم المائية وأكاسيد البوتاسيوم (K_2O).
2. الصخور المتحولة المشتقة من الصخور الرملية أو الصخور الغنية بالكوارتز والفلسبار (مثل الصخور النارية الحمضية) وهذه تسمى Psammitic sediments او Quartz-feldspathic sediments وتكون دائماً غنية بسليكات الصوديوم وفقيرة بأكاسيد CaO , FeO , MgO وتحتوي علي معادن البلاجيوكليز.
3. الصخور المتحولة المشتقة من الصخور الجيرية (الحجر الجيري والدولومايت) وهذه تسمى Calcareous sediments وهي في معظمها صخور الرخام الغنية بالكالسايت والدولومايت.
4. الصخور المتحولة المشتقة من الصخور النارية القاعدية (الجابرو والبازلت) وهذه تسمى Basic rocks وهي في معظمها صخور تحتوي علي الهورنبلد، البيروكسين والبلاجيوكليز الكلسي.
5. الصخور المتحولة المشتقة من الصخور الماغنيسية (الدونايت-البريدوتايت) وهذه تسمى Ultrabasic rocks وهي في معظمها صخور غنية بالأولفين، البيروكسين والبلاجيوكليز الكلسي.
6. الصخور المتحولة المشتقة من الصخور الحديدية المانجنيزية (صخور رسوبية حديدية) وهذه تسمى Ferruginous rocks وهي في معظمها صخور تحتوي علي معادن الماجنيثايت، الهيماتايت والجارنت.



(ب) تقسيم الصخور المتحولة على حسب البنيات :

من التصنيفات الحديثة والمستخدمة بكثرة وهو تصنيف علي أساس البنيات والأنسجة الرئيسية للصخور المتحولة ومعادنها. يمكن تصنيف الصخور المتحولة علي هذا الأساس الي مجموعتين:

1. الصخور المتورقة (الصفائحية) Foliated rocks: وهي الصخور التي تتكون من بلورات معدنية قشرية, Flaky, أنبوبية, Tabular, أو إبرية Needle-like الشكل, ويتم تنظيم هذه البلورات بحيث تكون محاورها الطويلة متوازية فتكوّن بنية طبقية Layered, صفائحية Laminated أو حزمية Banded.

2. الصخور غير المتورقة (غير الصفائحية) Non-foliated rocks: وهي الصخور التي تتميز بالنسيج الكتلي الكثيف Massive أو الحبيبي Granular.

وصف بعض الصخور المتحولة

أولاً الصخور الصفائحية (المتورقة) Foliated Rocks .

1. الأردواز Slate :

الأصل: صخر متحول ناتج من تحول الصخور الرسوبية الفتاتية ذات الحبيبات الناعمة جداً مثل الطين والطفل. التحول: تحول إقليمي ذو مرتبة واطئة تحت ظروف من الضغط المرتفع والحرارة المنخفضة التكوين المعدني: تتكون من الميكا البيضاء (السريسييت Sericite) الكلوريت (Chlorite) والكوارتز (Quartz) بالإضافة إلي التورمالين (Tourmaline) الأبيدوت (Epidote) وخامات الحديد (Iron ore) البنيات والأنسجة : صخرة متحولة ذات حبيبات ناعمة جداً ومتجانسة, وتتميز بالتشقق الكامل المعروف بالانقسام الأردوازي (Slate cleavage) حيث تتشقق إلي صفائح رقيقة بسبب النمو المتوازي لمعادن الميكا والكلوريت. يأخذ الأردواز ألوان تتراوح من الرمادي, الأسود إلي الأخضر

2. الفليت: Phyllite

الأصل: صخرة متحولة ناتجة من تحول الصخور الرسوبية الفتاتية ذات الحبيبات الناعمة جداً مثل الطين (clay) أو الطفل (shale) التحول: تحول إقليمي ذو مرتبة واطئة (أكثر تقدماً من تحول الأردواز) تحت ظروف من الضغط المرتفع والحرارة المنخفضة. التكوين المعدني: تتكون من الميكا البيضاء (السريسييت), الكلوريت (chlorite) والكوارتز (quartz) بالإضافة إلي التورمالين (tourmaline) الأبيدوت (epidote) وخامات الحديد (iron ore) ألا أن حبيبات الفليت أكبر حجماً من مثيلاتها في الأردواز وتزيد نسبة الميكا البيضاء (السريسييت) علي الكلوريت البنيات والأنسجة: صخرة متحولة ذات حبيبات ناعمة ومتجانسة ألا أن حبيبات الفليت أكبر حجماً (أكثر خشونة) من مثيلاتها في الأردواز, وتتميز بالتشقق الكامل حيث تتشقق إلي صفائح رقيقة بسبب النمو المتوازي لمعادن الميكا والكلوريت علي شكل رقائق مستطيلة. قد يتواجد البنية الشستوزية في الفليت. *يأخذ الفليت ألوان تتراوح من الرمادي إلي الأسود ويتميز ببريقه الامع.



3. الشست: Schist

الأصل: صخر متحول ناتج من تحول صخور مختلفة الرسوبية الفتاتية الطين و الطفل أو النارية القاعدية التحول: تحول إقليمي ذو مرتبة واطئة أو متوسطة تحت ظروف من الضغط المرتفع والحرارة المتوسطة (أكثر تقدماً من تحول الفليت) التكوين المعدني: تتميز صخور الشست بالتنوع الكبير في مكوناتها المعدنية تبعاً لتنوع التركيب المعدني للصخور الأصلية. أهم المعادن فيها هي الميكا ((mica الكلوريت (Chlorite)، الأكتينوليت (Actinolite)، الألبايت (Albite)، الكوارتز (Quartz)، التلك (Talc) والهورنبلند (Hornblende) بالإضافة إلى الجرافيت (graphite)، الأبيدوت (Epidote) وخامات الحديد (Iron ore) البنيات والأنسجة: صخرة متحولة ذات حبيبات ناعمة أو متوسطة، وهي من أكثر الصخور التي تحتوي على البنية الشستوزية والتي تتكون من رقائق بلورية من المعادن الميكا ((mica والكلوريت (Chlorite) وبعض المعادن المنشورية مثل الهورنبلند (Hornblende) حيث تترتب في صفوف رقيقة متوازية تكسب الصخر شكلاً صفائحياً.

4. الناييس: Gneiss

الأصل: صخرة متحولة ناتجة من تحول صخور مختلفة، فيمكن أن تنتج من الصخور الرسوبية أو النارية التحول: تحول إقليمي (ضغطي- حراري) ذو مرتبة عالية تحت ظروف من الضغط المرتفع والحرارة المترفة. التكوين المعدني: تتميز صخور الناييس بالتنوع الكبير في مكوناتها المعدنية تبعاً لتنوع التركيب المعدني للصخور الأصلية. الناييس ذات الأصل الناري تتكون من طبقات من الفلسبار (feldspar) والكوارتز (Quartz) متبادلة مع أخرى من البيوتيت (biotite) والهورنبلند (Hornblende) وتلك التي تأتي من أصل رسوبي تتكون من أشرطة من المعادن الفلسبار (feldspar) والكوارتز (Quartz) تتبادل مع معادن صفائحية مثل الميكا mica الكلوريت (Chlorite) والجرافيت (graphite) البنيات والأنسجة: صخرة متحولة ذات حبيبات خشنة، وهي من أكثر الصخور التي تحتوي على البنية الناييسوزية والتي تتكون من رقائق أو أشرطة من المعادن الداكنة اللون مثل الميكا mica (الهورنبلند (Hornblende) والأخرى الفاتحة اللون (مثل الفلسبار والكوارتز) حيث تترتب في صفوف رقيقة متبادلة. قد يتواجد الكوارتز على شكل عدسات. *يميل لون الناييس في كثير من الأحيان إلى الرمادي المبيض، وهناك عدة أنواع من الناييس منها الناييس الجرانيتي (granitic gneiss) والناييس الديوريتي (dioritic gneiss)

ثانياً الصخور غير الصفائحية (غير المتورقة) Non-foliated Rocks

1. الهورنفلس: Hornefiles

الأصل: تتكون صخور الهورنفلس نتيجة تحول مختلف أنواع الصخور الرسوبية بالإضافة لبعض الصخور النارية، لذا يمكن أن تكون نتاج لصخور الطينية (pelitic) الطينية-الرملية (psammetic) نارية (igneous) الجيرية (calcareous) أو القاعدية (basic) التحول: تتكون بفعل التحول الحراري التماسي لذا يكثر وجودها على حدود الصخور الجوفية. التكوين المعدني: تختلف المعادن في الهورنفلس تبعاً لاختلاف التركيب المعدني للصخور الأصلية، أهم المعادن فيه هي الكوارتز (Quartz)، الفلسبار، الميكا، الكوردريت (cordierite)، الأندالوسايت (Andalusite)، السيليمانيت (Silimanite)، الأديوبسايت (Diopside) والكورندوم (corundum) البنيات والأنسجة: يتميز الهورنفلس بأنه صخرة متماسكة ذات حبيبات ناعمة جداً ويسود فيه البنية الحبيبية والنسيج ال



Porphyroblastic, ويميل لون الهورنفلس في كثير من الأحيان إلى الرمادي.

2. الكوارتزيت: Quartzite

الأصل: تتكون صخور الكوارتزيت نتيجة تحول الحجر الرملي (Sandstones) التحول: تتكون بفعل التحول الحراري التماسي أو الاقليمي.

التكوين المعدني: يتكون أساساً من بلورات معدن الكوارتز بالإضافة إلى نسبة قليلة من الفلسبار، وقد يتواجد الميكا. البنيات والأنسجة: يتميز الكوارتزيت بأنه صخرة متماسكة تتكون من بلورات متوسطة أو ناعمة ويسود فيه البنية الحبيبية والنسيج الموزاييك (Mosaic).

*يتميز الكوارتزيت بلونه الأبيض وقد يكتسب اللون الأحمر، الوردي، الرمادي أو البنفسجي إذا احتوي على شوائب

3. الرخام (المرمر): Marble

الأصل: تتكون صخور الرخام نتيجة تحول الصخور الكلسية (الحجر الجيري والدولومايت) التحول: تتكون بفعل التحول الحراري التماسي أو الاقليمي.

التكوين المعدني: يتكون أساساً من بلورات معدن الكالساييت بالإضافة إلى نسبة قليلة من الكوارتز إذا كانت الصخور الأصلية تحتوي على كربونات الماغنيسيوم (الدولومايت) فقد يساعد على تكوين معادن

الديوبسايت (diopside)، التريمولايت (terimolite)، الجارنت (garnet) والسربنتين (serpentine). البنيات والأنسجة: يتميز الرخام بأنه صخرة متماسكة تتكون من حبيبات متوسطة إلى خشنة متساوية الأبعاد تقريباً ومتراصة بشكل منتظم مما يكسب الصخر البنية الحبيبية والنسيج الموزيكي (Mosaic).

*الرخام النقي أبيض اللون وقد يميل لونه إلى الأحمر، الوردي، الرمادي، الأصفر، الأخضر أو الأسود على حسب الشوائب الموجودة فيه. يتميز الرخام بلمعانه السكري المميز (Sugary)



العمليات الداخلية





العمليات الداخلية والصفائح التكتونية

(1) الزلازل:

أجهزة الرصد الزلزالي: يسمّى الجهاز المستعمل لتسجيل الموجات الزلزالية بالـ **سيزموجراف**، وهو جهاز صغير يمكن حمله وتثبيتته أفقياً أو رأسياً (حسب نوع الموجة الزلزالية المراد قياسها)، ويتكون من قاعدة مثبت رأسياً وزنبرك متصل بعمود من الصلب ينتهي بقلم أو بشعاع ضوئي أو إلكتروني ومثبت أمام الشعاع اسطوانة عليها شريط ورقي أو حساس أو إلكتروني أنواع الموجات الزلزالية تدور بسرعة ثابتة ومعروفة بحيث تستطيع تسجيل الزلازل. وفيه يتم تسجيل الموجات الزلزالية وزمن وصولها إلى النقطة التي يقع فيها الجهاز. وتقاس قوة الزلازل بوحدات مقياس ريختر **RICHTER MAGNITUDE SCALE** وهو عبارة عن مقياس لوغاريتمي يحسب كمية الطاقة المتحررة عن مصدر الموجات السيزمية، أما شدة الزلزال فهو رقم يعبر عن مدى احساس الناس بالزلزال وتأثيره على البيئة المحيطة ويقاس باستخدام مقياس ميركالي وهو مقياس مقسم إلى 12 درجة لوصف شدة ما تحدثه الزلازل من تأثيرات مختلفة في الأماكن المختلفة حول مركز الزلزال.

أنواع الزلازل حسب اسباب حدوثها: هنالك أربعة أنواع من الزلازل حسب أسباب حدوثها:

- (أ) **زلازل تكتونية:** وتحدث بصورة فجائية في المناطق التي تتعرض للانكسار أو التصدع، ولذا يرتبط حدوث هذه الزلازل بمناطق الانكسارات. وهذا النوع هو أكثر أنواع الزلازل شيوعاً وانتشاراً.
 - (ب) **زلازل بركانية:** وهي التي ترتبط هزاتها بالهزات الناجمة عن انبثاق اللابة من فوهات البراكين.
 - (ج) **زلازل مستحثة:** تنشأ نتيجة النشاطات البشرية مثل التفجيرات النووية وأعمال المناجم والمحاجر أو عن طريق حقن أو سحب السوائل من باطن الأرض.
 - (د) **زلازل انهيارية:** تنشأ نتيجة انهيار بعض الفجوات أو الكهوف الموجودة ضمن القشرة الأرضية.
- 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:** وهي تنشأ عند أعماق لا تزيد على 60 كم
- (2) **الزلازل المتوسطة العمق:** وهي تنشأ عند أعماق تتراوح بين 60-300 كم.
- (3) **الزلازل العميقة:** تنشأ عند أعماق تتراوح بين 300 – 800 كم.

وتنشأ معظم الزلازل على أعماق صغيرة وهي أكثر الزلازل تدميراً، ويلاحظ أن المناطق التي تتركز فيها الزلازل العميقة هي أيضاً المناطق التي بها أغوار بحرية سحيقة العمق. أما باقي الزلازل فهي تقع على مناطق السلاسل الجبلية الحديثة أو في مناطق وجود شقوق كبيرة في القشرة الأرضية، مثل منطقة سلسلة المرتفعات الممتدة في منتصف قاع المحيط الأطلنطي (الحيد الوسط – أطلنطي) ويوجد توافق كبير مناطق الزلازل ومناطق البراكين حيث أن كلاهما يحدث في مناطق الضعف في القشرة الأرضية.

يوجد ثلاث مناطق تكثر فيها الزلازل: **المنطقة الأولى:** وهي دائرة المحيط الهادي وهذه المنطقة هي أشد نطاقات للزلازل حدوثاً وإنها ذلك النطاق الحلقى المعروف بحلقة النار. ويتمثل بنسبة 78% وهو أهم مناطق حدوث البراكين في العالم، حيث أن كلا من البراكين والزلازل تحدث في هذا النطاق لكونه ضعيف جيولوجياً فهو عبارة عن مناطق التقاء صخور السيل بصخور السيلما وأنه من أهم مناطق الالتواءات الألبية الميوسينية الحديثة.

المنطقة الثانية: تقع هذه المنطقة بين جبال الألب وجبال الهمالايا.

المنطقة الثالثة: وتمتد من أيسلندا مخترة وسط المحيط الأطلسي حيث سلسلة من الجبال البركانية تحت هذا المحيط ويطلق عليها إثم سلسلة وسط الأطلسي وتعتبر الجزر البركانية في المحيط الأطلسي جزءاً من هذه السلسلة. وتحدث الزلازل في البحار كما تحدث على اليابسة، وهي تحدث غالباً نتيجة انخساف قسم كبير من قاع



المحيط وهذا ما يؤدي أحيانا 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)).

التأثير الناتج عن الزلازل: يحدث عن الزلازل العميقة تأثيرات عديدة:

- 1- اشتعال الحرائق.
- 2- تدمير المنشآت العمرانية.
- 3- الموجات الزلزالية التسونامي tsunami ويحدث بسبب زلزال في قاع المحيط، وأول علاماته هي انسحاب المياه بشدة من الشاطئ نحو البحر ثم بعد دقائق تترد الأمواج ثانية إلى خط الساحل بقوة وبشدة على شكل موجات بحرية عالية جداً.
- 4- الانزلاقات الأرضية الزلزالية: والتي تكثر في المناطق ذات الحافات الصخرية العالية والتي تكثر فيها التكوينات الرملية والطينية أو المناطق التلالية الطينية للزلازل العنيفة.
- 5- تشقق سطح الأرض: وينتج عن ذلك أن تبتلع الأرض عبر شقوقها كل شيء.
- 6- تغير مناسيب سطح الأرض: وينتج عن ذلك هبوط بعض الأراضي وارتفاع بعضها الآخر.
- 7- تغير مناسب اليابس والماء.

(2) 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. ومن الدراسات الحديثة في هذا المجال استخدام الأقمار الصناعية حيث يمكن بواسطتها استعمال جهاز قياس الميل Tilt meter الذي يدلنا على تغير ميل التراكيب الجيولوجية نتيجة اندفاع الصهارة من أسفل إلى أعلى وحدوث تفلطح في المنطقة التي يبدأ يتكون فيها المخروط البركاني والذي تخرج منه الحمم.

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 أزر وكناري ويلتف إلى جبال الأنديز الغربية في الولايات المتحدة.

دور الانفجار البركاني في التأثير على مناخ الأرض: 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. وإذا كان الرماد والغازات تؤثر على الطقس والمناخ، فلا بد أن التأثير يكون على طبقة الاستراتوسفير، حيث تحوم طبقة من الغازات لفترة طويلة، مع عدم وجود سحب أو أمطار تغسل تلك الملوثات بسرعة. وقد قام أخصائيو المناخ بتحديد طبقة من الرذاذ تبقى لمدة طويلة عند ارتفاعات تتراوح بين 15 و 30 كم، والتي يبدو أنها تتكون غيام رقيقة من رماد سلكياتي وملح من البحر ونقيطات من حمض الكبريتيك تقلل من شفافية الجو، وربما تنشأ تلك المكونات من مصادر عديدة، مثل رذاذ البحر أو الأعاصير الترابية أو الثورات البركانية أو حرائق الغابات. وتتغير كثافة طبقة الرذاذ خلال شهور أو سنوات، إلا أنها قد تتغير فجأة نتيجة ثوران بركاني، كما تحتاج لسنوات



حتى تعود لوضعها الطبيعي، وتسقط أشعة الشمس على هذه الطبقة من الغيوم في الاستراتوسفير مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الاستراتوسفير وبرودة الغلاف الجوي أسفلها، وكذلك سطح الأرض.

العمليات الداخلية البطيئة نظريات الانجراف القاري وتكتونية الألواح

على الرغم من أن نظرية تكتونية الألواح مازالت غير واضحة بدرجة كافية لدى الكثيرين، إلا أن لتكتونية الألواح تأثيراً قوياً على كل جوانب حياتنا. فمن المؤكد أن الزلازل والبراكين لا تتوزع بصورة عشوائية على سطح الأرض، وإنما تحدث بالقرب من حواف الألواح. وعلاوة على ذلك، فإن هناك علاقة بين الألواح وطرق تكوين وتوزيع العديد من الرواسب المعدنية المهمة. كما تشرح النظرية كيف تنشأ القارات وأحواض المحيطات وسلاسل الجبال والتي تؤثر على الغلاف الجوي للأرض ودورة الماء في المحيطات اللتان تحددان وتؤثران بصورة أساسية في مناخ الكرة الأرضية، ولذلك، فقد أثرت حركة الألواح بصورة كبيرة على التوزيع الجغرافي للنباتات والحيوانات وتطورها وانقراضها. سنستعرض بعض الفرضيات التي سبقت نظرية تكتونية الألواح، لشرح الدلائل التي أدت إلى قبول البعض لفكرة حركة القارات والبعض الآخر لرفضها:

(1) الأفكار الأولى عن الانجراف القاري:

لاحظ سير فرانسيس بيكون Sir Francis Bacon عام 1620م التشابه الكبير بين خطوط الشواطئ الغربية لأفريقيا وخطوط الشواطئ الشرقية لأمريكا الجنوبية. إلا أن بيكون لم يجد أي علاقة بين القارات القديمة والحديثة، وفي عام 1801م لاحظ ألكسندر فون هومبولت الملاحظة نفسها ولكنه أرجع ذلك التشابه إلى التعرية على امتداد وأدى كبير، ولم يرجعها إلى تكسر قارة أكبر. كما ذكر انطونيو سنيدير بليجريني Antonio Snider- Pellegrini-1858م في كتابه "الخلق وأسراره" وهو أحد المراجع الأولى عن الانجراف القاري، أن كل القارات كانت متصلة مع بعضها خلال العصر البنسلفاني (العصر الكربوني المتأخر) ثم انفصلت بعد ذلك. وقد بنى اعتقاده هذا اعتماداً على التشابه بين الحفريات النباتية في طبقات الفحم من زمن البنسلفاني في أوروبا وأمريكا الشمالية. وقد عزى سنيدير انفصال القارات إلى طوفان ثوراتي (الذي ربما يكون طوفان نبي الله نوح عليه وعلى نبيينا وآله الصلوة والسلام). وفي نهاية القرن التاسع عشر لاحظ الجيولوجي النمساوي إدوارد سويس Edward Sues التشابه بين الحفريات النباتية لحقب الحياة القديمة (الباليوزوي) المتأخر في الهند وأستراليا وأفريقيا وأنتاركتيكا وأمريكا الجنوبية. وفي عام 1885م اقترح سويس اسم أرض الجندوانا Gondwanaland لقارة عظمى مكونة من كل القارات الجنوبية. وفي عام 1910م نشر الجيولوجي الأمريكي فرانك تايلور Frank B. Taylor بحثاً قدم فيه نظريته الخاصة عن الانجراف القاري، وذكر فيه أن تكون سلاسل الجبال يكون نتيجة للحركة الجانبية للقارات. كما اعتبر تايلور القارات الحالية أجزاء من قارات قطبية أكبر تكسرت في النهاية وهاجرت نحو خط الاستواء بعد أن أبطأت الكرة الأرضية من دورانها نتيجة لقوى مد وجزر هائلة. وعلى الرغم من معرفتنا أن الميكانيكية التي اقترحها تايلور غير صحيحة، إلا أن أحد أهم مساهماته كان اقتراحه أن حيود وسط الأطلنطي Mid- Atlantic Ridge والتي اكتشفها البعثات البريطانية ربما يحدد الموقع الذي انفصلت على امتداده قارة قديمة لتكون المحيط الأطلنطي الحالي.



فرضية الانجراف القاري

لقد 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. ومع ذلك فقد طور الجيولوجي ألكسندر دي توا Alexander du toit البراهين التي قدمها فاجنر، وجمع المزيد من الأدلة الجيولوجية والحفرية لدعم الانجراف القاري. وفي عام 1937م نشر دي توا كتابه باسم "قارتنا المتجولة"، حيث قارن رواسب الجليد في قارة الجندوانا برواسب الفحم الموجودة في صخور من العمر نفسه في قارات النصف الشمالي للكرة الأرضية. ولكي يحل هذه الإشكالية، حرك دي توا قارات الجندوانا إلى القطب الجنوبي وجمع القارات الشمالية الموجودة بها رواسب الفحم مع بعضها عند خط الاستواء. وسمى هذه الكتل الشمالية أوراسيا Laurasia وهي تشمل أمريكا الشمالية وجرينلاند وأوروبا وآسيا الحالية (باستثناء الهند). وعلى الرغم من هذه الأدلة والبراهين، إلا أن معظم الجيولوجيين استمروا في معارضتهم وعدم قبولهم لفكرة تحرك القارات. وقد استمر الوضع على ما هو عليه حتى عام 1960م حينما قدمت بحوث علم المحيطات أدلة مقنعة أن القارات كانت متصلة يوماً ما ثم انفصلت لاحقاً، مما أدى آخر الأمر إلى قبول أوسع لفرضية الانجراف القاري.

(2) 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. وتلقي نظرية تكتونية الألواح حالياً قبولا واسعا 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. ويفسر الجيولوجيون الآن عديداً من العمليات الجيولوجية، مثل بناء الجبال والنشاط الزلزالي والنشاط البركاني في ضوء نظرية تكتونية الألواح. (راجع كتاب الطالب)

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 حيود وسط المحيط mid-oceanic ridges. وتتميز الحيود المحيطية بطوبوغرافية وعرة متجعدة وتضاريس مرتفعة على امتداد كسور كبيرة (صدوع عادية) مع هبوط قاع الوادي الممتد على قمة الحيود ونشاط زلزالي وسريان حراري 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 وتمتد ويقبل سمكها نتيجة التحذب، حيث تتكون كسور ووديان خسف rift valleys وخلال هذه المرحلة، تتداخل الصحارة في الصدوع والكسور لتكون جدداً موازية sills وقواطع dikes وانسيابات من اللابة.



2-الحدود المتقاربة: convergent plate boundaries

حتى يتكون غلاف صخري جديد باستمرار على امتداد حدود الألواح المتباعدة، فإن الغلاف الصخري الأقدم يجب أن يستهلك ويعاد تدويره لكي تبقى المساحة الكلية لسطح الأرض ثابتة، وإلا فإن الكرة الأرضية ستتمدد باستمرار. ويحدث هذا الاستهلاك للألواح عند حدود الألواح المتقاربة حيث يقترب أو يتصادم لوحان. 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 (الأسستينوسفير)، ترتفع درجة حرارته وينصهر في الوشاح في النهاية. وتعرف المنطقة المقوسة للنشاط الصهاري باسم قوس صهاري magmatic arc، حيث يمتد هذا القوس موازيا للخنق المحيطي وتصعد الصهارة إلى السطح لتكون سلسلة من البراكين. فإذا تكونت البراكين على قشرة محيطية، فإن القوس الصهاري يعرف في تلك الحالة بقوس جزر بركاني volcanic island arc. أما إذا تكونت على القشرة القارية، فإن القوس الصهاري يسمى قوساً بركانياً قارياً continental volcanic arc. 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 oceanic-oceanic plate boundary، ويهبط اللوح المندس لأسفل ليكون الجدار الخارجي للخنق المحيطي. ويتواجد على امتداد الجدار الداخلي للوح المندس أجزاء من رواسب بحرية وتدية الشكل مطوية ومتصدعة بدرجة كبيرة، بالإضافة إلى غلاف صخري محيطي تم انتزاعه (كشطه) من اللوح الهابط. وعندما يهبط اللوح المندس في الغلاف اللدن (الأسستينوسفير) فإنه يسخن وينصهر جزئياً.

***الحدود المحيطية-القارية:** عندما يتقارب لوحان أحدهما محيطي والآخر قاري (وبالرجوع إلى كتاب المعلم صفحة 24) يكون اللوح المحيطي الهابط الجدار الخارجي للخنق المحيطي، كما هو الحال في الحدود المحيطية-المحيطية. وعندما يهبط اللوح المحيطي البارد، والمحتوى على الماء، والأعلى في الكثافة في الغلاف اللدن (الأسستينوسفير) الساخن، فإنه يحدث انصهار وتتكون صهارة. وتكون تجمعات الصخور النارية في الأقواس البركانية القارية أكثر سليكية (فلسية) من تلك الموجودة في أقواس الجزر، لأن الصهارة المتكونة في الوشاح ربما تهضم وتبتلع القشرة القارية المنصهرة أثناء عملية التمثل. وتوجد في تلك الأحزمة الصهارية صخور متحولة، تنشأ نتيجة إعادة التبلور تحت درجات الحرارة المرتفعة والضغط المنخفضة. وتحدث هذه الظروف لأن السوائل الساخنة تصعد بالقرب من السطح، حيث تسبب ارتفاع درجات حرارة هذه البيئة المنخفضة الضغط.

***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 وبيقيان طافيان. ويتكون نطاق عريض يتميز بالتشوه الشديد عند حد التصادم، حيث تطحن القارتان كلا منهما الأخرى. ويتميز هذا الحد بوجود حزام من الجبال مقطوع بالعديد من صدوع البارزة thrust faults وزيادة سمك القشرة القارية بدرجة كبيرة في نطاق الاصطدام. وتمثل جبال الهيمالايا مثالا لتصادم القارات الذي بدأ منذ 40-50 مليون سنة، حيث اصطدم اللوح الهندي مع اللوح الآسيو أوروبي. وما زالت عملية رفع الصخور مستمرة مع التصدع وعديد من الزلازل الكبيرة المستمرة حتى الآن.



(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.

التركييب الجيولوجية الثانوية (Secondary Geologic Structure)

تعتبر عمليات الطي والتصدع من أكثر أشكال التشوه شيوعاً في الصخور الرسوبية والنارية والمتحولة، ولكنها تكون أوضح ما يمكن في الصخور الطبقيّة (سواء كانت رسوبية أو بركانية)، ولكي نتعرف على كيفية حدوث عمليات التشوه في الصخور، فإنه من المفيد جداً معرفة بعض الخصائص الأولية للمواد الصلبة.

الإجهاد والانفعال: يفضل الجيولوجيون استخدام مصطلح إجهاد stress بدلاً من مصطلح ضغط pressure عند مناقشة تشوه الصخور، ويصف مصطلح إجهاد حابس confining stress الوضع عندما يكون الإجهاد متساوياً في كل الاتجاهات، مثل الضغط على جسم صغير مغمور في سائل أو غاز، وعلى العكس من ذلك فإن الإجهاد التفاضلي differential stress والذي يكون غير متساو في كل الاتجاهات، هو الذي يسبب تشوه الصخور، وللإجهاد التفاضلي ثلاثة أنواع هي:

- **إجهاد الشد tensional stress** وهو الذي يعمل على شد الصخور، وبالتالي جذب مكونات الصخر بعيداً عن بعضها البعض.
- **إجهاد تضاعطي compressive stress** وهو إجهاد يدفع بمكونات الصخر نحو بعضها البعض.
- **إجهاد البتر (القص) shear stress** وتعمل على دفع كل جانبيين متقابلين من الجسم ليسا على خط واحد ولكنهما في المستوى نفسه في اتجاهين متعاكسين.

ويستخدم مصطلح انفعال لوصف تشوه الصخور نتيجة للإجهاد، ويمكن تعريف الانفعال strain بأنه تغير في حجم أو شكل جسم صلب أو في كليهما معاً نتيجة للإجهاد. ويسبب الإجهاد الحابس تغييراً في حجم الجسم الصلب، بينما يبقى الشكل ثابتاً. أما الإجهاد التفاضلي فإنه يؤدي إلى تغيير شكل الجسم الصلب، وقد يسبب أو لا يسبب تغييراً في الحجم.

أولاً: الثنيات 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. وقد ينتج التشوه إما عن قوى أفقية أو رأسية في الأرض، مثلما ندفع قطعة من الورق في اتجاهين متقابلين أو من أسفل إلى أعلى فيحدث الطي. وقد تطوى الطبقات بلطف أو بعنف تبعاً لشدة القوى السائدة وقت التشوه والفترة الزمنية التي تعرضت فيها الصخور للتشوه وقابلية الطبقات لمقاومة التشوه.

أجزاء الطية: (راجع كتاب الطالب)



تصنيف الطيات

(أ) على أساس مقدار ميل الجناحين:

❖ **طية متماثلة Symmetrical Fold:** تنشأ عندما يميل جناحا الطية (المحدبة والمقعرة) بزاوية ميل متساوية في الاتجاهين ويكون المستوى المحوري لكل منهما رأسيا 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) بزاوية ميل تختلف عن الأخرى، وبذلك يصبح المستوى المحوري للطية مائلا عن المستوى الرأسى. وتتكون هذه الطية عندما يكون الضغط من أحد الجانبين أكثر من الآخر فيكون ميل أحد الجناحين أكبر من ميل الآخر.

❖ **طية مضطجعة (نائمة) Recumbent Fold:** تنشأ عندما يصبح جناحا الطية في وضع أفقي تقريبا نتيجة الضغط المتزايد ويكون المستوى المحوري لهذه الطية أفقيا حيث تصبح الطبقات القديمة فوق الطبقات الأحدث منها. ويكثر وجود الطية المضطجعة في مناطق التصادمات القارية ن مثل جبال الألب والهمالايا.

❖ **طية مقلوبة Overturned Fold:** هي تلك التي يزيد فيها مقدار عدم التماثل حتى يزيد الميل في أحد جناحيها على 90° ، وفي هذه الحالة يكون المستوى المحوري مائلا عن المستوى الرأسى بدرجة كبيرة وتكون الطبقات المكونة لأحد الجناحين مقلوبة.

❖ **قبة 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:

❖ **طية محدبة Anticline:** حيث يتقارب جناحا الطية نحو الأعلى، أي أن الجناحين يميلان بعيدا عن المستوى المحوري للطية، وينتج بتأثير قوى الشد.

❖ **طية مقعرة Syncline:** حيث يتقارب جناحا الطية نحو الأسفل أي أن الجناحين يميلان نحو المستوى المحوري للطية وتنتج بتأثير قوى الضغط.



ثانياً: القباب الملحية salt domes

هي عبارة عن مظاهر تركيبية اختراقية (Pire cement) 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. وفي الحالة الأخيرة يستدل عليها بالاستعانة بالطرائق الجيوفيزيائية تحت السطحية.

تتكون القباب الملحية من الهاليت (الملح الصخري) بصورة رئيسة، وبصورة أقل شيوعاً تتكون من الجبس أو الانهيدريت. وقد درست هذه التراكيب بصورة مستفيضة في العديد من بقاع الأرض، وذلك لأهميتها الاقتصادية الكبيرة كمناطق لتشكيل مصائد ملائمة لتراكم الهيدروكربونات أو كمصادر مهمة لصخور المتبخرات والكبريت المستخدمة في العديد من الصناعات.

لا تعطى المكاشف السطحية إلا القليل من المعلومات عن هذه التراكيب، في حين تقدم عمليات الحفر الاستكشافي معلومات أكثر أهمية في هذا المجال. ويمكن دراسة البنية الداخلية لهذه التراكيب عندما تكون قريبة من السطح وذلك باستخدام الطرق الجيوفيزيائية وخاصة الجاذبية والزلزالية والمغناطيسية.

طريقة التكوين : ينبغي التمييز عند دراسة هذه التراكيب بين لب الصخور المخترقة والرسوبيات المندفعة معها. فاللب عادة ما يكون دائرياً أو مستطيل الشكل على السطح، فيما يكون بهيئة أسطوانة ملحية شبه دائرية تخترق عمود الترسيبات بصورة عمودية أو مائلة أحياناً وهي تنتج عن اختراق ملح الهاليت اللدن في الطبقات الرسوبية التي تعلوه. وتنضغط طبقة الملح هذه من بعض أجزائه السفلى التي يبلغ سمكها عادة أكثر من 1000 متر. وتأتي القوة الدافعة المؤثرة على الأملاح من فرق الكثافة بين الملح والرواسب التي تغطيه. فالملاح الصخري ذو كثافة تبلغ 2.2 جرام/ سنتيمتر مكعب، وتقل كثافته مع ازدياد العمق والذي غالباً ما يصاحبه زيادة مستمرة في درجة الحرارة بسبب عمقها. في حين تزداد كثافة الصخور المحيطة به مع ازدياد العمق، مما يخلق حالة من فرق الكثافة والتي بدورها تدفع الملح للتحرك نحو الأعلى، وذلك طبقاً للمبدأ الفيزيائي المعروف والذي يرتفع بموجبه المائع الأخف خلال المائع الثقيل الواقع فوقه. فإذا توفرت ثنية محدبة صغيرة فوق قمة طبقة أصلية معرضة إلى ظروف حرارية لا تقل عن 300 درجة مئوية، فإن الأملاح في مثل هذه الحالة تسلك سلوك الموائع فتبدأ بالتحرك منسابة نحو الثنية المحدبة الضعيفة، نازحة من المناطق المحيطة بها وأخيراً فإن طبقة الأملاح المحيطة قد تصبح ضيقة لدرجة يستحيل معها إضافة أي مقدار آخر من الملح إلى القبة المتكونة على شكل عيش الغراب. وقد ينكشف الملح الصخري ويظهر على سطح الأرض، كما هو الحال في بعض القباب الإيرانية مثلاً أو في القباب الموجودة شمال ألمانيا. إذ ينساب في بعض البقاع على المنحدرات السطحية مشكلاً ما يشبه الثلجات الجليدية، لذلك فإنها تُعرف بالثلجات الملحية (Salt glaciers).

وتكون معظم القباب الملحية في العالم دائرية الشكل على سطح الأرض. ويتفاوت قطرها بصورة رئيسة من كيلومتر واحد إلى 5 كيلومتر. إلا أن بعض القباب وصل قطرها إلى 8 كيلومترات. وقد يكون السطح العلوي للقبة منبسطة أو قبابي. وبعض القباب تكون متناظرة وتميل جدرانها بنفس الزاوية من جميع الجوانب. في حين تكون بعضها غير متناظرة وتكون جدرانها مائلة من جانب واحد أو أكثر نحو الداخل وتمتد العديد من القباب الملحية إلى أعماق تبلغ عدة كيلومترات.



ثالثاً: 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 زحزحه بعض أجزاء الطبقات رأسياً أو أفقياً وتتأثر هذه الحركات الصدعية التكتونية بفعل قوى الشد والضغط المختلفة التي تتعرض لها صخور قشرة الأرض.

أنواع الصدوع

حيث إن أهم ما يميز الحركات الصدعية هو كيفية زحزحة أجزاء الطبقات أفقياً أو رأسياً على طول الصدوع، فقد اعتبر الجيولوجيون اختلاف نوع الحركات المؤدية إلى تكوين الصدوع وطبيعة اتجاه الطبقات الصخرية وزحزحتها على طول أسطح الصدوع عاملين رئيسيين عند تصنيف الصدوع إلى أشكال مختلفة، 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، ويتميز الصدع العادي بأن اتجاه ميل الصدع يتفق مع اتجاه الرمية، وتتراوح زاوية سطح الصدع في هذه الحالة من 45° إلى 90° ونتيجة لرمي الطبقات إلى أسفل فإن الحائط المعلق ينخفض منسوبه عن الحائط الأساسي أو الأسفل.

(ب) الصدوع المعكوسة وصدوع الدسر:

تنتج الصدوع المعكوسة من الإجهادات التضاغية، حيث يتحرك الحائط العلوي نسبياً إلى أعلى بالنسبة للحائط السفلي، وتؤدي حركة الصدع المعكوس إلى تقصير القشرة الأرضية وزيادة سمكها. وهناك نوع خاص من الصدوع المعكوسة يسمى صدع الدسر thrust faults وهو صدع معكوس يميل مستواه بزاوية صغيرة تقل عن 45° غالباً في معظم امتداده. ومثل هذه الصدوع تكون شائعة في سلاسل الجبال المشوهة بشدة، حيث تنتج صدوع الدسر بتأثير قوى تضاغية كبيرة في القشرة الأرضية.

(ج) الصدوع مضربية الانزلاق:

وهو صدع تكون الحركة الأساسية فيه أفقية، ولذلك فإنها تكون موازية لمضرب الصدع، وتتكون الصدوع مضربية الانزلاق نتيجة إجهادات القص أو الانزلاق. ومن أمثلتها المشهورة صدع سان اندرياس في كاليفورنيا، وصدع البحر الميت في المنطقة العربية، ويحدد اتجاه حركة الصدع الأفقية بالنظر إلى طول صدع مضربي الانزلاق، فإذا وجدنا أن الحركة النسبية قد أدت إلى أن تكون الكتلة التي على اليسار وكأنها قد تحركت في اتجاه الرائي، أو أن الكتلة التي على يمينه قد تحركت بعيداً عنه، فإن الصدع يكون صدع مضربي يسارياً left lateral strike-slip fault.

أما إذا وجدنا أن الحركة سببت تحرك الكتلة التي على يمينه نحوه والكتلة التي على يساره بعيداً عنه فيكون هذا صدعاً مضربي الانزلاق right lateral strike-slip fault.

(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. ونتيجة لحدوث الصدوع وتزحزح الطبقات قد يؤدي ذلك إلى تكرار ظهور أو حدوث الطبقة الواحدة أو اختفاء جزء منها فإذا كان الصدع قد حدث على طول مضرب الطبقات فقد يؤدي ذلك إلى تكرار حدوث الطبقة الواحدة بالقرب من منطقة سطح الصدع، وفي بعض الأحيان الأخرى فقد تختفي أجزاء



من الطبقة الواحدة إذا رميت الطبقات إلى أسفل في حالة الصدوع العكسية وكثيراً ما تتكرر الطبقات كذلك على طول أسطح الصدوع الدورانية وفي حالة إذا قطع سطح الصدع الطبقات الصخرية في اتجاه مائل على ميل الطبقات. 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، يُميز 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، ويطلق على تلك الكتل الصخرية الصدعية البارزة اسم الظهر وتتميز الجوانب الحائطية للظهر الصدعي بشدة انحدارها وانصقال جوانبها.

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.

رابعاً: الفواصل Joints

تنتشر الفواصل في كل المنكشفات تقريباً، والتي تتكون نتيجة تأثير القوى التكتونية، وتتكسر الصخور بسهولة أكثر عندما تتعرض للشد أو الضغط، مثل أية مادة قصية 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 أثراً في الصخور في صورة مجموعة من الفواصل، وقد تتكون الفواصل أيضاً بسبب 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.

ومعظم الفواصل تكون لها أسطح مستوية تقريباً ولا بد من تحديد اتجاه المضرب ومقدار الميل واتجاهه عند وصف الفاصل، ولا توجد الفواصل وحيدة أبداً، بل توجد في مجموعات تتكون من أعداد كبيرة، وتعرف مجموعة الفواصل التي تكون أسطحها متوازية تقريباً بمجموعة فواصل، أما نظام الفواصل فيشمل مجموعتين أو أكثر من مجموعات الفواصل المتقاطعة والتي قد تكون من العمر نفسه أو ذات أعمار مختلفة.

وتكون هذه الفواصل عادة بداية لمجموعة من التغيرات التي تؤثر بدرجة ملحوظة في الصخور فالفواصل مثلاً تعمل كقنوات يصل من خلالها الماء والهواء إلى عمق الصخور، مما يؤدي إلى زيادة سرعة التجوية وضعف التركيب الداخلي، وإذا تقاطعت مجموعتان أو أكثر من الفواصل، فقد تسبب التجوية تكسر الصخور إلى كتل أو أعمدة كبيرة. وترجع أهمية تحديد نظم الفواصل إلى أن الجيولوجيين قد يجدون أحياناً رواسب خامات ذات قيمة اقتصادية عند فحص أنظمة الفواصل، فقد تهاجر محاليل مائية ساخنة حاملة للذهب إلى أعلى خلال نظام من الفواصل، حيث يترسب معدنا الكوارتز والذهب في الشقوق، كما قد تكون المعلومات الدقيقة عن الفواصل مهمة أيضاً عند تخطيط وإنشاء المشروعات الهندسية الكبيرة، خاصة السدود والخزانات فقد يكون صخر الأساس عند



الموقع المقترح به عديد من الفواصل ، مما يؤدي إلى انهيار الخزان أو تسرب الماء منه ويكون إنشاء الخزان من الخطورة في هذا المكان. وعادة ما تتشكل الفواصل على شكل مجموعات أو نظم غالبا ما تكون متوازية وتأخذ أشكال عمداية أو صفائحي .

أسباب الفواصل:

- 1-تمدد الصخور رأسيا بسبب تناقص وزن الرواسب فوقها نتيجة تأثير عمليات التعرية.
- 2-الإجهاد في الصخور نتيجة الضغوط أو قوى الشد المسببة لتشوّه الصخور.
- 3-تقلص وانكماش المواد المصهورة عند عملية التبريد.



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. **بيئات الترسيب:** تختلف أنواع الرواسب في بيئات الترسيب المختلفة وهي تصنف كما يلي:

1. بيئات الترسيب القارية: اعتاد العلماء أن يميزوا بين البيئات القارية الآتية:

❖ **البيئات الترسيبية البرية:** حيث الرواسب السائدة فيها:

- (أ) التربة وتسود في المناخ المطير.
- (ب) الرواسب الريحية وهي تتكون في المناطق الجافة الصحراوية ومن أشهرها الكثبان الرملية.
- (ج) الرواسب الجليدية ومن أشهرها التليت Tillite التي تتكون من خليط من الجلاميد والرمال والغرين والطين التي تجرفها الجليديات.
- (د) الرماد البركاني ونواتج البركان الصلبة الناتجة عن النشاط البركاني.

❖ **البيئات النهرية:**

وهي بيئات قارية لكن مائية وتنتشر هذه البيئات على طول مجاري الأنهار. وبسبب الاختلافات التي تمر بها الأنهار قسم العلماء بيئات الأنهار إلى عدة أقسام:

- بيئة السفوح
- بيئة رواسب ضفاف الأنهار ووديان الفيضانات.
- بيئة الدلتا
- بيئة مصبات الأنهار (خليط من رواسب الأنهار والرواسب البحرية).
- بيئات المستنقعات والبرك وتكثر فيها المياه الراكدة المليئة بالنباتات والرواسب.
- بيئات البحيرات: وهي تختلف رواسبها حسب أنواعها فمنها البحيرات المالحة التي يكثر فيها الرواسب الملحية، أما البحيرات العذبة فيكثر فيها الرواسب الطينية والغرينية والنباتات.

2. بيئات الترسيب البحرية: هناك أربع أقسام أساسية من البيئات البحرية:

- (أ) **البيئات الساحلية:** وهي البيئات الواقعة على الساحل (عند التقاء البحر باليابسة).
- (ب) **البيئات المتوسطة:** وتقع فوق الرف القاري (لا يزيد العمق عن 200 م)
- (ج) **البيئات العميقة:** وهي تقع على المنحدرات القارية ومعظم رواسبها لا تتأثر بالظروف المناخية السائدة في المناطق القارية المجاورة لها.
- (د) **البيئات البحرية السحيقة:** وتقع على الأرصفة المحيطية التي يصل عمقها إلى 10000 متر.



التجوية Weathering

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

(أ) التجوية الميكانيكية:

هي عملية تحطيم وتفتت الصخور السطحية دون حدوث أي تغير كيميائي بها.

عوامل التجوية الميكانيكية:

(1) اختلاف درجات الحرارة Temperature Variations:

إن اختلاف درجات الحرارة بين الليل والنهار يؤدي إلى تكرار عمليتي تمدد الصخور وانكماشها. وهذا يؤدي إلى حدوث خلخلة أجزائها وتفتتها. وينشط هذا العامل في المناطق الصحراوية.

(2) التوتد الصقيعي Frost Wedging: حيث تحدث كسور وتدية بسبب التمدد الناتج من تجمد الماء .

(3) قوة التبلور Crystallization Force: عندما تنمو البلورات في حيز محدود يصاحب نموها ضغط هائل على جدران المكان الذي تنمو فيه.

(ب) التجوية البيولوجية:

يحدث هذا النوع من التجوية بفعل التأثير الميكانيكي أو الكيميائي للكائنات الحية على الصخور في التربة .

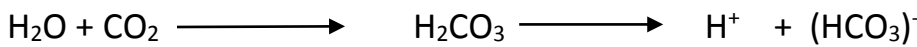
(ج) التجوية الكيميائية:

هي عمليات تحلل الصخور السطحية بفعل التأثير الكيميائي لمكونات الهواء الجوي على الصخور السطحية وهناك خمس عمليات تؤدي إلى تحلل الصخور بفعل التجوية الكيميائية وهي:

1. التحلل المائي Hydrolysis:

وتكمن فعالية الماء في إتمام عملية التحلل المائي في أيونات الهيدروجين الصغيرة .

مثال: تحويل معادن الفلسبارات البوتاسية مثل الأورثوكليز إلى كاولينيت Kaolinite (أحد المعادن الطينية) تعرف هذه العملية بعملية الكولنة (Kaolinitization) وهي تتم كالاتي: الماء يسيل فوق السطح وقبل أن يتخلل المسام بين حبيبات التربة يذيب قليلاً من ثاني أكسيد الكربون مكوناً حمض الكربونيك:



حمض كربونيك

أيون بيكربونات



وذلك يزيد من مقدار أيونات الهيدروجين الموجودة في الماء. وتتخلل هذه الأيونات من الهيدروجين في التركيب البلوري للفلسبار البوتاسي وتحللها بالطريقة الآتية:



فلسبار بوتاسي

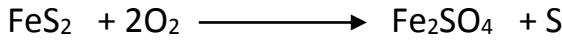
سليكا كاولينيت

وتنتقل أيونات البوتاسيوم إلى الماء مكونة محلولاً تتفاعل مع المعادن في التربة مكونة متبخرات أما السليكا يبقى جزءاً منها في التربة والجزء الآخر يتحرك مع المحاليل الغروية.

ففي حالة تكون الكاولينيت فإن حجم الكاولينيت أكبر من حجم الفلسبار البوتاسي الذي تكون منه، ويساعد هذا على تشقق وتفتت الصخور المتأثرة بهذه العملية.

2. التأكسد Oxidation:

يمكن اعتبار التأكسد أحياناً عملية اتحاد الأكسجين مع العناصر. حيث تتكون عنها أنواع من التربة مثل تربة اللاتريت الحمراء التي تتكون من أكاسيد الحديد وتربة البوكسيت الصفراء التي تتكون من أكسيد الألومنيوم. من أشهر الأمثلة على التأكسد تحلل معدن البيريت كما يلي:



كبريتات حديد أكسجين بيريت

وكبريتات الحديدوز سهلة الذوبان في الماء وسريعة التحول إلى مواد أخرى. أما الكبريت يتأكسد مكوناً حمض الكبريتيك ويتفاعل مع المعادن مكوناً كبريتات ومعظمها قابلة للذوبان في الماء وذلك يساعد على زيادة تحلل الصخور.

3. التكرين Carbonation:

وفي هذه العملية يتحد حمض الكربونيك مع بعض القواعد أو كربوناتها فتتكون الكربونات والبيكربونات. ومن أمثلة عملية التكرين تأثير حمض الكربونيك على الصخور الجيرية.

والجدير بالذكر أن بيكربونات الكالسيوم (الكربونات الهيدروجينية) قابلة للذوبان في الماء مما يسبب ذوبان الصخور الجيرية مما يؤدي إلى تكوين فجوات عميقة وكهوف في الصخور الجيرية التي تتخللها المياه المحملة بثاني أكسيد الكربون. ومن أشهر المظاهر التي تتكون نتيجة عملية التكرين للصخور الجيرية هي الصواعد والهوابط.

4. التميؤ Hydration:

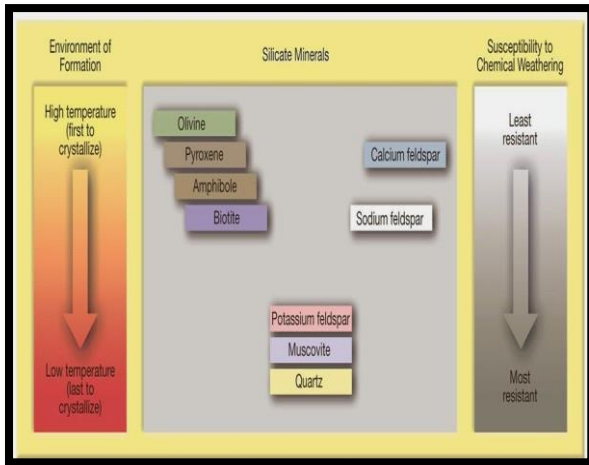
التميؤ هو اتحاد الماء مع بعض المعادن مكوناً ما يعرف بالمعادن المائية. التركيب البلوري للمعدن. ومن أمثلة ذلك تكون معدن الجبس من معدن الأنهيدرايت. الذي يزداد حجمه وسط الصخور المحيطة به مما يسبب تفتتها أو تشققها.



5. الذوبان:

هو ذوبان المعادن المكونة للصخور أما في المياه الجوفية أو في مياه الأمطار. وعملية الذوبان هي عملية كيميائية ومعظم المعادن يمكن أن تذوب في الماء ولكن بدرجات متفاوتة. فمثلا السليكا لا تذوب في الماء النقي ولكن تذوب في الماء القلوي وكذلك كربونات الكالسيوم عندما تتحول إلى بيكربونات يمكن أن تذوب في الماء.

درجة ثبات المعادن بالنسبة للتجوية:



شكل (2)

عندما تتعرض المعادن المختلفة لعمليات التجوية تتحلل بدرجات متفاوتة إذ أن بعض هذه المعادن أكثر ثباتاً من الآخر. وقد تمكن جولديتش (Goldich) (شكل 2) 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. 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.

في الصخور المتحولة نلاحظ أن المعادن التي توجد في الصخور المتحولة ولا يوجد مثيلاً لها في الصخور النارية تكون أكثر ثباتاً تجاه التجوية الكيميائية من المعادن التي يوجد مثيل لها في الصخور النارية مثل الجارنت والتلك والسربنتين تكون أكثر ثباتاً حتى من الكوارتز.

التعرية Erosion

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

عوامل التعرية

أولاً: الرياح:

يعد عامل الرياح من أهم أوجه النشاط الجيولوجي للغلاف الجوي. وتظهر نتائج العمل الجيولوجي للرياح بوضوح في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية.

*** العمل الهدمي للرياح:** يتجلى أثر الرياح كعامل هدمي في الأماكن التي تكثر فيها الرمال وتقل الأمطار والنباتات

ويسمى العمل الهدمي للرياح بالتحات الريحي Wind Erosion وهو نتيجة عمليتين مختلفتين هما التذرية والبري.



1. التذرية Deflation:

وهي عملية إزالة الرواسب التي تفككت نتيجة عمليات التجوية ونقلها إلى أماكن أخرى. وأهم نواتج التذرية تكون الأرصفة الصحراوية الحجرية والحصوية.

2. بري الرياح Wind Abrasion:

وهذه 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 Undercutting. ومن المعالم الصحراوية التي تنشأ نتيجة النحت السفلي ما يسمى بصخور عيش الغراب أو موائد الشيطان Mushroom Rocks و سطوح الفواصل التي تحدد في العادة أشكال المعالم الصحراوية المسماة بالأبراج الصخرية Rock Towers والتي تتخلف أمام الجبال والسفوح المترجعة نتيجة عمل الرياح.

ويلاحظ أن عملية البري هي عملية تفاوتية حسب صلادة الطبقات الصخرية وتركيبها الأصلي، فالصخور الجيرية تصقل تماماً نتيجة بري الرياح.

* العمل البنائي للرياح (النقل والترسيب): يمكن تقسيم حمولة الرياح إلى نوعين:

1. **حمولة معلقة Suspended Load:** وهي تتكون من حبيبات لا يتجاوز قطر الواحدة منها 1/4 مم حتى 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. أما الفتات الصخري الذي لا تستطيع الرياح حمله فيبقى في مكانه في صورة حصاء متخلفة Lag Grave .

أما الحمولة المتحركة للرياح فتترسب عندما تفقد الرياح قدرتها على تحريكها. وهناك عدة عوامل تساعد على كسر حدة الرياح وترسيب حمولتها المتحركة ومن أهم هذه العوامل :

1. عدم ثبات سرعة طبقة الهواء المتحركة بالقرب من سطح الأرض، نتيجة لتأثير التعرجات التضاريسية على التيارات الهوائية المنخفضة.

2. مقابلة الرياح لأي عائق طبيعي أو صناعي.



التجمعات الرملية Sand Accumulations:

1. الظلال الرملية وسفي الرمال Sand Shadows & Sand Drifts:

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. ويتوقف وجود الظلال الرملية على بقاء العائق في مكانه، كما أن هذه التجمعات الرملية لا تنتقل من مكانها الذي يحدده العائق.

وتتكون **الظلال الرملية** عندما تسقط حبيبات الرمال التي تصطدم بالعائق وتتراكم أمامه، ثم بعد ذلك ينقسم تيار الهواء إلى ذراعين تمران بجواره ولا يتم الترسيب في خارج حدود هذين الذراعين ويكون الترسيب قليلاً خلف العائق بسبب حركة الدوامات الهوائية.

* أما **السفي** يتكون عادة على منحدرات التلال المواجهة للرياح، فهذه المنحدرات تجعل الرياح تتحرك إلى أعلى وتقل سرعة الرياح خلال هذه الحركة، وهذا ما يجعلها ترسب ما تحمله من رمال على المنحدرات.

2- الكثبان الرملية Sand Dunes:

وهي تجمعات رملية ذات أحجام مختلفة ومساحات ضخمة، ومن مميزاتها أنها تتخذ أشكالاً معينة، وتتكون بفعل عملية السفي ولكن لا يتوقف تكونها ووجودها على وجود عائق. والكثبان الرملية تقسم في الأساس إلى مجموعتين بحسب تجمعها، وهما مجموعة الكثبان الشاطئية والنهرية و مجموعة الكثبان الصحراوية.

تكون الكثبان الرملية وحركة الرمال:

في حالة الكثبان الشاطئية والنهرية التي تتكون على السهول المنبسطة للشواطئ الرملية أو بالقرب من الأنهار، لا يكون أصل الرمال التي تتكون منها محلياً، ولكنها تتكون من رواسب منقولة بتيار الماء وترسبة على الشاطئ، وهذه الرمال تكون في العادة عالية الفرز وتكون خالية تقريباً من الحبيبات الكبيرة.

إذا كانت الرواسب بحرية الأصل فإن الرمال المكونة للكثبان سوف تكون جيدة الفرز، أما إذا كانت الرواسب برية المصدر أي تكونت بفعل بري الرياح للصخور فإنها سوف تكون رواسب رديئة الفرز. ومن أهم العوامل التي تساعد على تكون الكثبان الصحراوية هو تفاوت أحجام حبيبات الرمال المكونة لها حيث تزداد حركة الكثبان مع زيادة درجة التفاوت بين أحجام الحبيبات المكونة لهذه الرمال.

نمو الكثبان الرملية وحركتها:

تبدأ الدوامات الهوائية المختلفة القوة النشاط في جوانبها المعاكس لاتجاه الرياح وينمو الكثيب من ترسب الرمال المناسبة مع الهواء على جانبه المقابل للرياح. ويكون انحدار سطح الكثيب على جانبه المقابل للرياح انحداراً خفيفاً لا يزيد على 10°. أما المواد التي لا يجذبها ذلك الجانب وتنساب مع الرياح فتتهار على الوجه المعاكس لاتجاه الرياح وترسب عليه مكونة منحدرًا شديدًا تتراوح درجة ميله بين 30° - 35° وهو يساوي زاوية الاستقرار الطبيعي للرمال الجافة. وتعمل الدوامات في الجانب المعاكس لاتجاه الرياح من الكثيب على عدم تجاوز الرمال



المتطايرة لقمة الكثيب الناشئ وبهذا ترتفع القمة ويستطيل الكثيب في الناحية المقابلة للرياح على هيئة منحدر لطيف طويل.

أشكال الكثبان الرملية:

يتوقف شكل الكثيب الرمل على عدة عوامل أهمها سرعة الرياح وثبات اتجاهها والإمداد الرملي. وأهم أنواع الكثبان:

1. الكثبان الهلالية (البرخان) Crecentic Dunes or Barchan:

تتكون الكثبان الرملية الهلالية عندما يبلغ الكثيب المستطيل نسبة النضج ويبدأ بالحركة في اتجاه الرياح الهابة. وفي أثناء الحركة تكون أطراف الكثيب النحيلة أقل مقاومة للريح من وسط الكثيب، وبذلك يمتد طرفا الكثيب في هيئة جناحين يصل طولاهما وتقوساهما إلى الدرجة التي تحقق مقاومة للرياح تساوي مقاومة الجزء الأوسط من الكثيب. وعندئذ يتكون الكثيب الهلالي.

2. الكثبان المستعرضة Transverse Dunes:

وهي عبارة عن صفوف من البرخان اتجاهها عمودي على اتجاه الرياح وهي تتكون وتنمو عندما ينقلب اتجاه الرياح موسمياً إلى اتجاه عمودي على الاتجاه الأصلي. وهذا يحدث في المناطق الصحراوية التي تقابلها جبال عالية تعمل على عكس اتجاه الرياح عندما تصطدم بها. (شكل 16)

3. الكثبان الطولية أو السيفية Longitudinal or Sief Dunes:

وهي تتكون في المناطق الصحراوية المدارية. وتتكون هذه الكثبان من تراكبات مستطيلة من الرمال تمتد في اتجاه مواز لاتجاه الرياح وخاصة في الأماكن التي يكون فيها اتجاه الرياح ثابتاً. وتتكون هذه الكثبان نتيجة الاستطالة التدريجية للكثبان الهلالية عندما يستطيل احد جناحيها. ويمكن أن تنمو هذه الكثبان الطولية إلى أحجام هائلة تصل في ارتفاعها من 40 إلى 60 متراً.

ثانياً: 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 ويسمى 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.

* العمل الجيولوجي للأنهار

(1) التحات Erosion : تعتبر المياه الجارية والأنهار من أبرز عوامل النقل. ويتم العمل التحاتي للمياه الجارية بواسطة ما تحمله من مواد صلبة معلقة كالغرين والرمل والحصى الصغير.



(2) النقل Transportation: هو إزالة وحمل المواد المفتتة الناتجة من فعل التجوية وعمليات التحات ونقلها إلى أماكن ترسيبها في السهول والبحار. وتنقسم الحمولة التي تحملها الأنهار إلى قسمين هما:

*** حمولة ظاهرة:** وهي تنقسم إلى قسمين

أ. حمولة معلقة: وهي تتكون من حبيبات صغيرة نسبياً وهي تظل معلقة في الماء نتيجة قوة تيار الماء أثناء جريانه.

ب. حمولة متدحرجة: وهي الكتل الفتاتية التي تتدحرج في قاع النهر أثناء جريان الماء وهي تتكون من حبيبات كبيرة نسبياً مثل حبات الرمال الغليظة والحصى وأحياناً الجلاميد.

*** حمولة غير ظاهرة:** وهي ما يحمله النهر من مواد ذائبة مثل الملاح والمواد الغروية. وتنقل الأنهار حمولتها بثلاث طرق مختلفة هي الطفو والتعلق والدفع وهذا يعتمد على حجم هذه الحبيبات وقوة تيار الماء.

(3) الترسيب Sedimentation: إذا بلغت حمولة النهر غايتها القصوى فإن أي زيادة في الحمولة تؤدي إلى ترسيب كمية مكافئة لها من الحمولة الأصلية. حيث يوجد في هذه الحالة توازن بين عملية التحات وعملية الترسيب ولا يكون للنهر حينئذ أي قدرة على تعميق مجراه.

تصنيف وتطور الوديان والمجاري النهرية (دورة التحات النهرية)

يبدأ فعل المياه الجارية عند تساقط ماء المطر على منطقة منحدر، فإذا كان سطح هذه المنطقة مستوياً، فإن مياه الأمطار تجري إلى أسفل على هيئة طبقات عريضة وضحلة من الماء الجاري. أما إذا كان سطح الأرض المنحدر متعرجاً 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 وأيضاً في مجار الأنهار والجداول. وتتبع الكثير من الأنهار صدوعاً وشقوقاً في الصخور، ويمكن أيضاً أن تتبع الأنهار مكاشف الطبقات اللينة حينما

تتداخل هذه الطبقات مع طبقات أخرى أصلد منها. وتتجمع جداول الأنهار مع بعضها مكونة ما يعرف بأحواض الصرف. ويعرف مظهر توزيع الوديان في منطقة معينة باسم نمط الصرف Drainage Pattern. وهناك عدة أنواع من أنماط الصرف منها:

(1) نمط صرف متفرع: ويتكون من الصرف في الصخور المتجانسة مثل الصخور النارية غير المتشققة والطبقات الرسوبية الأفقية والحطام الصخري المتجانس.

(2) الشرفات النهرية: وهي امتدادات طويلة من الأرض على جانبي النهر تكون على هيئة مصاطب واحدة فوق الأخرى، ويكون في الغالب عدة أزواج، ومجرى النهر محصور بين الزوج السفلي منها ويمثل كل زوج من هذه الشرفات فترة من حركات الرفع التي جددت نشاط النهر. فزوج الشرفات العلوي يمثل مستوى قاع النهر أثناء إحدى مراحل كهولته الأولى. وقد أدت فترة من تصابي النهر إلى حفر واد جديد في الرواسب المكونة لهذه الشرفات العالية، وحينما عاد النهر إلى مرحلة الكهولة بدأ يرسب في الوادي الجديد الذي حفره في الشرفات الأولى العالية راسب جديدة مكونة مستوى جديداً من الشرفات أقل ارتفاعاً من المستوى السابق. ويتكرر هذه العملية تتكون عدة مستويات من الشرفات النهرية.



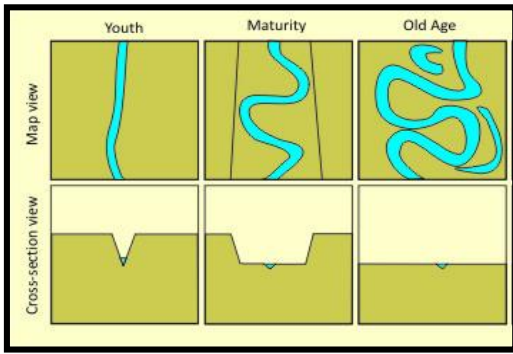
مراحل تطور النهر: تمر الأنهار أثناء رحلتها من منبعها إلى مصبها بمراحل مختلفة ولذلك فإن الأنهار التي تمر في مناطق ذات تضاريس عالية فإن مجراها يكون شديد الانحدار مما يجعل لها قدرة كبيرة على حت الصخور وحفر وديانها وفي هذه المرحلة تكون الوديان عميقة ولا توجد على ضفافها رواسب تذكر وتسمى هذه المرحلة من مراحل تطور النهر **بمرحلة الشباب Youth Stage**. ويكون المقطع الرأسي العرضي لهذه الوديان على شكل حرف (V).

ومع استمرار التعرية والتحات تتغير طبوغرافية المنطقة المحيطة بالنهر حتى تتحول المظاهر المميزة لمرحلة الشباب في النهر بمظاهر تدل على نضجه حيث يصبح الوادي ذات جوانب خفيفة الانحدار ويسمى النهر ناضجا أى يمر **بمرحلة النضوج Mature Stage**.

وعندما تبلغ قيمة منحدر أو تدرج المجرى الحد الذي يزود مياه النهر بالسرعة التي تكفي فقط لمجرد حمل الحطام الصخري الذي يأتيه من جوانبه، دون أن يحدث تحات في قاع النهر، وحينما يكون منحدر المجرى بحيث يحدث توازن تام تقريبا بين كمية الفتات الصخري التي ينحتها النهر والكمية التي يرسبها يسمى النهر

متدرجا Graded Stream.

وعندما تستوى تماما المظاهر الطبوغرافية المستديرة المميزة لمرحلة النضج، وكذلك عندما تتحول المجاري العميقة إلى وديان واسعة، يكون المنحدر النهري قد وصل تقريبا إلى مرحلة الترسيب فقط، وعندئذ يوصف النهر بأنه وصل إلى **مرحلة الكهولة Old Stage**.



شكل (3)

(شكل 3)

تصابي الأنهار: يمكن أن تؤدي بعض الظروف أثناء تطور النهر إلى استعادة النهر لشبابه وهو ما يسمى بتصابي النهر Rejuvenation، عندما يستعيد النهر قوته بعد أن يكون قد وصل إلى مرحلة متقدمة من تطوره، وهذه الظروف قد تؤثر على بروفيل تدرج مجرى النهر إذ يرتفع تدرج المجرى بحيث تزداد قوة التيار المائي مما يجعله قادرا على حت الصخور والرواسب الواقعة على ضفافه وفي مجراه مرة أخرى. وأهم العوامل التي تؤدي إلى تصابي الأنهار هي:

- (1) انخفاض في مستوى حد العمق الخاص بالنهر الذي يؤدي إلى خفض مستوى خط نهاية التحات النهري وذلك يجعل النهر يستعيد نشاطه التحاتي مرة أخرى.
- (2) رفع الأرض نتيجة لحركة أرضية قرب منابع الأنهار مما يؤدي إلى زيادة انحدار مجرى النهر واستعادته شبابه.

المظاهر الناتجة عن النشاط التحاتي للأنهار

1. الأعمدة الترابية Earth Pillars: وهي أعمدة عالية تتكون من صخور رخوة غير متماسكة كالطفل والطين، تتوج رؤوسها جلاميد من الصخور الصلبة وتتكون هذه الأعمدة بفعل مياه الأمطار والسيول نتيجة تآكل الصخور الرخوة وبقاء الجلاميد يقوم بحماية ما تحتها من صخور فتبقى على شكل أعمدة.



2. . الحفر الوعائية Pot Holes: تتكون نتيجة السرعة المتفاوتة لمياه الأنهار وتأثيرها على صخور القاع حينما تكون هذه الصخور صلبة ويكون سطحها غير منتظم، وبذلك تنشأ تيارات ودوامات لها حركة دائرية لولبية فتدور معها قطع الصخر التي يحركها تيار الماء في حركة طاحنة تحفر في صخر القاع حفرا تكاد تكون مستديرة الشكل.

3. مساقط المياه (الشلالات) Water Falls: تنشأ هذه المظاهر عندما يندفع الماء فوق جروف مكونة من طبقات صلبة تتخلل طبقات اقل صلادة في مجاري الأنهار. وأفضل الظروف لتكون هذه المساقط عندما توجد طبقة صلدة كثيرة الفواصل مثل الحجر الجيري تتلونها من أسفل طبقة رخوة ضعيفة كالطفل، فهذه الأخيرة تتآكل ويتقهقر مكشفا إلى الخلف وتبقى الطبقة العليا بارزة ويبقى وجهها رأسيا، فيندفع الماء منحدرًا من فوقها رأسيا أيضا مكونا مسقطا للمياه.

4. المسارع Rapids: وتتكون المسارع عندما يتحول الصخر الصلب في مسقط المياه إلى منحدر طويل شديد الانحدار يندفع عليه الماء بسرعة هائلة. وفي هذه الحالة يتحول مسقط المياه إلى ما يسمى **بالمسرّع** ومن أشهر هذه المسارع الموجودة في نهر النيل بمصر.

5. الخوانق والأخاديد Gorges and Canyons: الخانق هو واد ضيق ذو جوانب شديدة الانحدار أو رأسية تقريبا. أما الأخدود فهو متسع وعميق جدا بالنسبة لاتساعه. وتتكون الخوانق والأخاديد عندما تتدفق مياه الأنهار الشابة بسرعة عالية على الانحدارات الشديدة.

6. التعرجات النهرية River Meanders: وهي معالم تتكون في مراحل تطور النهر المتأخرة عندما يصل النهر إلى خط نهايات التحات ويكون قد بلغ مرحلة الكهولة، وعندئذ تنخفض سرعة التيار فيه لدرجة كبيرة فيتحول نشاطه من النحر السفلي إلى التآكل الجانبي الذي يؤثر على الرواسب المفككة التي تكون جوانبه.

العمل البنائي للأنهار:

يقتصر العمل البنائي للأنهار على الترسيب . ويحدث الترسيب من الأنهار عندما تقل قوة نقل هذه الأنهار للرواسب بسبب عوامل مختلفة تؤثر في سرعة انسياب ماء النهر وكميتها.

العوامل التي تؤدي إلى انخفاض سرعة ماء النهر:

- ❖ انخفاض درجة ميل المجرى.
- ❖ تغير شكل الوادي واتساعه المفاجئ.
- ❖ تعرض المياه الجارية لعوائق مثل الكتل الصخرية أو سدود أو تراكيب جيولوجية بارزة.
- ❖ تدفق المياه في جسم مائي هادئ كبحيرة أو خليج أو بحر.

المظاهر الناتجة عن ترسيب الأنهار

1. السهول الفيضية Flood Plains: وهذه هي الأراضي المستوية من الوديان على جانبي مجرى النهر والتي يغمرها الفيضان، فتترسب عليها كميات كبيرة من الغرين والطيني. وفي الأنهار الشابة يترسب الحصى والجلاميد والطيني.



2. رواسب البحيرات الهالالية: تتكون من رواسب دقيقة الحبيبات ورواسب عضوية.

3. رواسب مصبات الأنهار والدالات: Deltaic & Estuarine Deposits: حينما يصل النهر إلى البحر يتكون عادة نوعان من المظاهر الطبوغرافية مصبات الأنهار والدالات.

المصب النهري: عبارة عن خليج مستطيل في اتجاه مجرى النهر يصب فيه النهر. وهو يتكون عندما تكون سرعة هبوط المنطقة التي يلتقي فيها النهر بالبحر وإزالة الرواسب منها بواسطة التيارات البحرية أكبر من سرعة تزويد هذه المنطقة بالرواسب.

الدلتا النهريّة: تتكون عادة عندما تكون سرعة هبوط المنطقة التي يلتقي فيها النهر بالبحر وإزالة الرواسب منها بواسطة التيارات البحرية أقل من سرعة تزويد هذه المنطقة بالرواسب.

ثالثاً : 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 بيري أسطح الصخور الصلبة المكونة لسطح القشرة الأرضية الملامس للغطاء الجليدي المتحرك، وذلك يؤدي إلى ظهور ملامح تضاريسية مميزة على أسطح الأراضي التي كانت مغطاة بغطاء جليدي عند ذوبان الجليد فوق هذه الأراضي. وهناك نوعان من الجليديات هما:

(1) الأنهار الجليدية Valley Glaciers:

وتتكون فوق قمم الجبال العالية التي تصل قممها إلى حد الجليد الدائم، حيث تتراكم الثلوج في الوديان وتنزل تدريجياً إلى أسفل بفعل ذوبان الجليد في المناطق المنخفضة. والوديان التي تتكون بفعل هذه الجليديات يكون مقطعها على شكل حرف U انظر شكل وتتميز هذه الوديان بتكوين ما يعرف بالوديان المعلقة Hanging Valleys وهي الأودية الفرعية التي تصب في مجرى الجليد الرئيسي. وتتميز رواسب هذه الجليديات بأنها رواسب رديئة الفرز تسمى ركام الجليد.

(2) الأغطية الجليدية Ice Sheets:

لا يوجد في الأرض غير غطاءين جليديين عظيمين فقط، والأغطية الجليدية تسبب نقل كميات هائلة من الرواسب الجليدية (التليت أو صخور الحريث) وعندما تقع الأغطية الجليدية بالقرب من مساحة بحرية أو محيطية فإنها تساهم في تكوين جبال جليدية.



العمل الجيولوجي للجليديات

(أ) العمل الهدمي للجليديات:

يظهر التأثير الهدمي للجليديات في بري الصخور المحيطة بمجرى الجليد أثناء حركته وذلك نتيجة احتكاك الجليد وما ينقله من حطام صخري بهذه الصخور مما يؤدي إلى صقلها في مستويات واضحة. ويكون هذا التأثير على شكل خطوط متوازية أو حروز على جانبي مجرى الوادي وفي قاعدته.

(ب) العمل البنائي للجليديات:

يمكن الإشارة إلى رواسب الجليديات المختلفة الناتجة عن الركام الجليدي وهي رواسب تتميز بأنها رديئة الفرز وتفاوتت في أحجام حبيباتها. ويمكن ملاحظة تراكماتها في نهاية مجرى الوادي بعد ذوبان الجليد. وتتميز الرواسب النهرية للجليد والتي تستمد مياهها من ذوبان الجليد بما يسمى برواسب الاكتساح Outwash Deposits وهي في كثير من الأحيان تكون على شكل تطبق متدرج.

رابعاً : مياه البحار والمحيطات

قام العلماء بتصنيف البيئات البحرية إلى ثلاثة بيئات حسب العمل الجيولوجي المؤثر على كل منها هي:

1. البيئات الشاطئية التي تسود فيها عمليات التحات والتعرية بفعل التيارات البحرية والأمواج.
2. البيئات اليمية التي تمثل أماكن ترسيب للرواسب القارية في المناطق الواقعة على الأرفف القارية.
3. البيئات المحيطية (العميقة والسحيقة) التي تتميز بقلّة تأثيرها بالعمليات السائدة للمساحات القارية.

الأمواج والتيارات البحرية:

تنتقل الطاقة عادة في المساحات المحيطية والبحرية عبر الغلاف المائي على هيئة أمواج والتيارات بحرية فالأمواج تنتج عادة من فعل الرياح في سطح البحر، أما التيارات البحرية فتتكون نتيجة لمؤثرات مختلفة بالإضافة إلى فعل الرياح. والطاقة الناتجة من الأمواج والتيارات البحرية مسؤولة عن العمل الجيولوجي للبحار وعن العمليات الجيولوجية الخارجية التي تسود فوق هذه المساحات.

العمل الجيولوجي للأمواج على الشواطئ

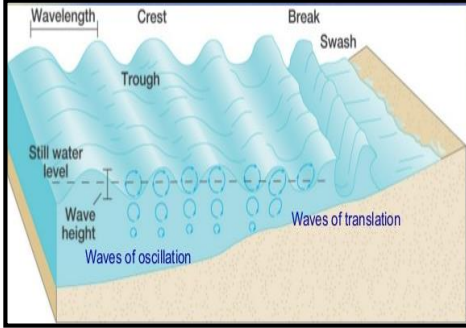
هناك نوعان من الأمواج: (شكل 4)

(أ) أمواج التذبذب Wave of Oscillation وهي التي تتولد في البحار والمحيطات المفتوحة نتيجة تذبذب المياه في حركة رأسية نتيجة هبوب الرياح في اتجاه معين.

(ب) أمواج الانتقال (الارتطام) waves of translation وهي تتولد قريباً من الشاطئ وتتكون نتيجة انكسار موجات التذبذب عندما تقترب من الشاطئ لأنها تدخل في عمق من الماء أقل من ارتفاعها فتتكسر ثم ترتطم بصخوره بقوة شديدة. وهي تسمى أمواج الانتقال لأن الماء ينتقل بشدة نحو الشاطئ بعد الانكسار. ويقابل ارتطام



الأمواج بالشاطئ نشوء تيار في الاتجاه العكسي (بعيدا عن الشاطئ) ويسمى هذا التيار بتيار السحب Undertow Current.



شكل (4)

وتعمل قوة الارتطام على تهشيم الجروف المحيطة بالشواطئ وتفتت صخورها، والصخور التي تتكون منها الشواطئ تتفاوت في صلابتها ومقاومتها لقوة الأمواج، ومن ثم فإننا نرى أن أغلب الشواطئ الصخرية متعرجة وغير مستقيمة، تبرز منها الصخور الصلبة في هيئة رؤوس صخرية تمتد داخل البحر بينما تتراجع الصخور الرخوة داخل الأرض مكونة خلجانا. وقد تقابل الأمواج في الصخور فجوات أو شقوقا فتعمل بها نشاط أكبر مما تعمله في باقي الصخور. فتتكون بذلك الكهوف والأنفاق الشاطئية. وقد تتكون الجروف الشاطئية عندما تقوم الأمواج بقطع الصخور الشاطئية بصورة رأسية. عندما تتحرك أمواج

الارتطام نحو الشاطئ فإنها ترتطم بقوة بالصخور الصلبة البارزة (الرؤوس) وتقل قوتها عندما ترتطم بصخور الشاطئ الموجودة في الخلجان ولذلك فمع مرور الوقت تتآكل الرؤوس بمعدل أكبر من صخور الخلجان مما يؤدي إلى جعل الشاطئ على شكل قريب من الخط المستقيم.

وعندما ترتطم الأمواج غالبا بصخور الشاطئ وهي قادمة في اتجاه مائل عليه، فإن ذلك يؤدي إلى انعكاس الأمواج وإلى ظهور تيار من الماء يسير في اتجاه مواز للشاطئ وتسمى هذه الأنواع من التيارات بتيارات الشواطئ الطولية Longshore Current وتعمل هذه التيارات على توزيع الرواسب الفتاتية وغيرها على طول الشاطئ وليس فقط قرب الأماكن التي تتكون فيها هذه الرواسب نتيجة نحت الأمواج للصخور. وتسمى عملية توزيع الرواسب على الشواطئ بواسطة تيارات الشواطئ الطولية بالانجراف الشاطئي الطولي Longshore Drift.

وتختلف درجة مقاومة الشواطئ الرسوبية لفعل الأمواج بحسب الوضع التركيبي للطبقات المكونة لصخور الشاطئ وبحسب وجود الفواصل في هذه الطبقات وغيابها وبحسب كثافة وطبيعة انتشار هذه الفواصل في الصخور. وتعتبر الطبقات المكونة من تتابعات متجانسة من الصخور الطباقية الأفقية أو المائلة نحو البر من أشد الشواطئ مقاومة لفعل الأمواج، أما إذا كانت الطبقات مائلة نحو البحر، فإن هذا يساعد على سرعة وكثرة حدوث الانهيارات الأرضية نتيجة لفعل الأمواج على مثل هذه الطبقات.

العمل الجيولوجي للتيارات البحرية السطحية

من أهم التأثيرات الجيولوجية للتيارات البحرية السطحية توزيع الحرارة والبرودة على سطح مياه البحار والمحيطات ومن بعد ذلك تأثيرها على المناخات ودرجات حرارة المياه في المناطق المختلفة. والتي يمكن ربطها بالتغيرات التي حدثت في تأثير التيارات البحرية وتوزيعها على سطح الأرض مما أدى إلى حدوث تغيرات في توزيع المساحات القارية بالإضافة إلى تأثير الأحزمة الريحية عليها.

العمل الجيولوجي البنائي للبحار : الترسيب في البيئات البحرية

(أ) الترسيب في البيئات البحرية الضحلة: إن العمليات الترسيبية التي تتم على الشواطئ في دورة التحات الشاطئية تحدث عندما تغطي البحار على اليابسة وتسمى الشواطئ التي تتطور بشواطئ الغمر Shorelines of Submergence. ويكون العمل الجيولوجي للبحر (الأمواج) عملا هدميا ويؤدي إلى تحطيم التضاريس وتحويلها إلى مسطح مغطى برواسب غليظة. أما في حالة انحسار البحر يتكون ما يسمى بشواطئ الرفع



Shorelines of Emergence وتتميز هذه الشواطئ في مراحلها الابتدائية بسهولة مسطحة تقريبا مغطاة برواسب بحرية مفككة ناتجة غالبا عن مرحلة مبكرة من تطور الشاطئ. وتتميز مرحلة الشباب لشواطئ الرفع بظهور شواطئ حاجزية بين البحر وبين الشاطئ على هيئة ألسنة رملية نتيجة لفعل الانجراف الشاطئي الطولي. وتتكون بين هذه الألسنة الرملية والشاطئ نفسه بحيرات شاطئية طويلة ممتدة على طول الشاطئ. وتسمى هذه البحيرات لاغونات Lagoons ، ومع تقدم الشاطئ نحو النضج تمتلئ البحيرات بالرواسب المنقولة إلى الشاطئ وتتقهقر الحواجز الرملية نحو خط الشاطئ نتيجة هجوم الأمواج بصورة مستمرة. ويؤدي ذلك إلى تكوين المستنقعات التي تميز أواخر مرحلة الشباب.

وعندما تمتلئ المستنقعات الشاطئية تماما وتتهدم الحواجز وتتلاشى نتيجة نحت الأمواج المستمر يدخل الشاطئ في مرحلة الكهولة ويتحول إلى خط مستقيم تقريبا وبسيط وتنتشر عليه شرفات الموج Wave Built Terraces ويلاحظ أن العمل الجيولوجي للأمواج والتيارات البحرية الشاطئية أثناء تطور شواطئ الرفع يكون عملاً بنائياً ينحصر في إعادة توزيع الرواسب الشاطئية وبعض الرواسب التي تصل إلى الشاطئ من اليابس بفعل الرياح أو الأنهار أو بواسطة التيارات الشاطئية الطولية.

ويلاحظ أن معظم عمليات الترسيب الشاطئية تكون رواسب فتاتية وترابية. وهذه العمليات عادة تسود في المناطق المناخية المعتدلة. أما في المناطق الجافة التي تكون فيها عمليات نقل الرواسب بفعل الأنهار إلى البحار ضعيفة، فتظهر فيها عمليات الترسيب الكيميائي بوضوح على الشواطئ وفي هذه الحالات تتكون رواسب كيميائية مثل رواسب المتبخرات و كربونات الكالسيوم وتسمى هذه الرواسب بالسبخات.

ويقسم العلماء البيئات الشاطئية إلى عدة مناطق:

- (1) منطقة فوق المد: وهي لا تنغمر تحت سطح ماء البحر إلا نادرا وهي تتكون من رواسب وتراكبات رملية.
- (2) منطقة وسط المد: وهي المساحة التي تغمرها مياه المد وتنحسر عنها مياه الجزر وتسمى بمسطح المد والجزر.
- (3) منطقة تحت الجزر: وهذه المنطقة تكون غالبا مغمورة تحت سطح الماء ولكن المياه تنحسر عنها نادرا. وعندما تترسب السبخات فإن كربونات الكالسيوم تترسب عادة في منطقة تحت الجزر ومنطقة مسطح المد والجزر. وعندما تترسب كربونات الكالسيوم حول حبيبات الرمال فإنها تكون ما يعرف بالحجر الجيري البطروخي.

(ب) الترسيب في البيئات اليمية والأرفف القارية: إن الترسيب في البيئات اليمية القريبة من الشاطئ تتأثر تأثيرا كبيرا بالظروف السائدة في المناطق القارية المجاورة. ويمكن القول أن الرواسب اليمية التي تتكون بالقرب من المناطق الشاطئية تحتوي على كميات ملحوظة من المواد الفتاتية الترابية الغليظة مثل الرمال أو الكربونات الحاوية لبقايا من المرجان. وتنتمي إلى ما يعرف بالبيئات اليمية الداخلية وهي تقع بالقرب من الشواطئ. أما البيئات اليمية الخارجية فتحوي على رواسب دقيقة غالبا تتكون من المارل الحاوي لبقايا كثيرة لأحياء هائمة مثل بعض الرأسقدميات والفورامينيفرا الهائمة. ولكن طبيعة الترسيب في المناطق الواقعة على أرفف القارات نتيجة انحسار البحار تتكون من رواسب قارية أو شاطئية.



جـ العمل البنائي للكائنات البحرية (الشعاب المرجانية)

الشعاب المرجانية هي 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 أرصفة ممتدة. وتستمر الأجيال الجديدة للكائنات الحية في النمو فوق هياكل المتبقية من الأجيال التي سبقتها وقد كانت هذه مصادر للرواسب الجيرية الشعبية في الأزمنة الجيولوجية القديمة وما زالت كذلك في الزمن الحديث. وتفضل هذه الكائنات الحياة في المياه الضحلة للبحار الاستوائية التي لا تنخفض درجة حرارتها عن 20°س والتي لا يتجاوز عمقها عن 50 مترا.

وتنقسم الشعاب المرجانية إلى أربعة أنواع حسب أماكن نموها بالنسبة للأرض اليابسة وهي:

(1) الشعاب السجافية Fringing Reefs :

وهي تكون مصاطب أو أرصفة ملاصقة للشواطئ ولا تظهر إلا أثناء الجزر.

(2) الشعاب الحاجزية Barrier Reefs :

وهي تكون أرصفة عالية في هيئة حواجز حول الشاطئ. وتفصل الشاطئ عنها بحيرات شاطئية طويلة تسمى لاغونات.

(3) الشعاب الحلقية Atolls :

وهي شعاب شكلها دائري كامل الاستدارة تقريبا تحصر بداخلها لاغونات مستديرة الشكل وهي تنمو في أعالي البحار مكونة جزرا مميزة لاسيما في المحيط الهادي.



التحرك الكتلتي





مقدمة

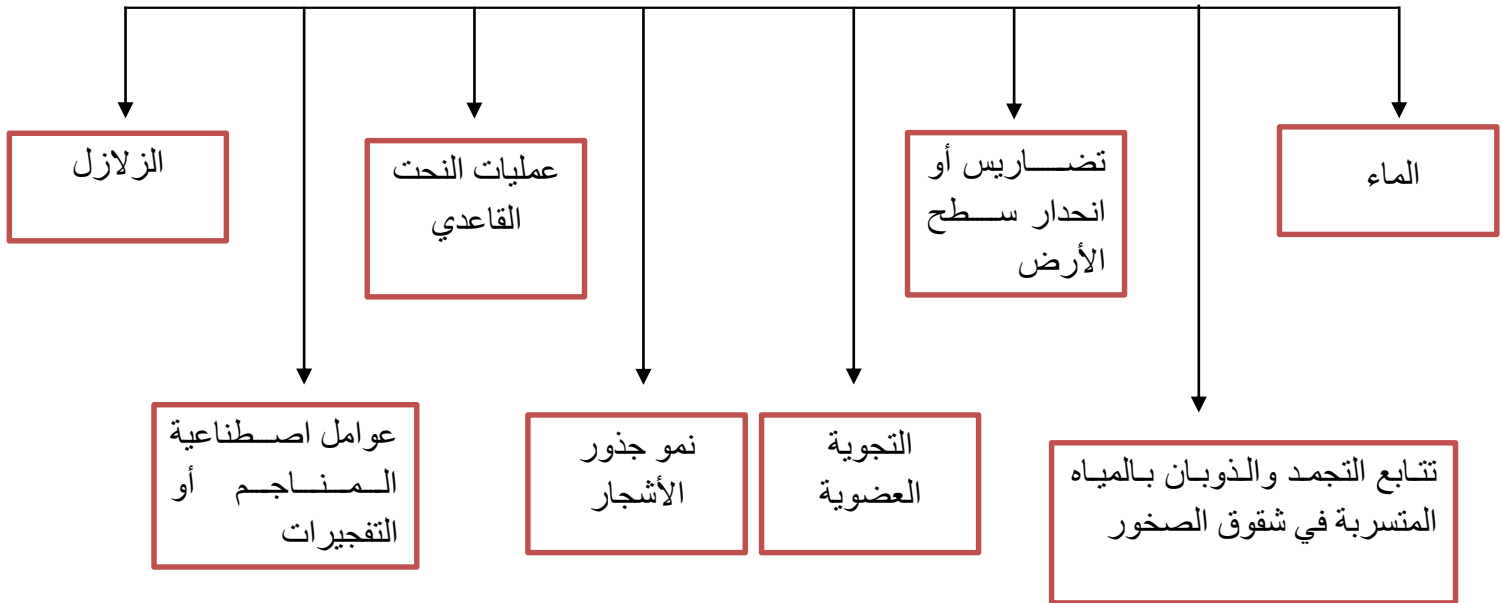
العمليات الخارجية هي تلك العمليات التي تؤدي إلى تحطيم وتفتيت الصخور المكونة لتضاريس القشرة الأرضية، وإلى نقل (تحرك كتلي) مخلفات هذا الحطام من المناطق المرتفعة وترسيبه في المناطق المنخفضة من سطح الأرض ، وبعد دراسة كتاب الطالب و دليل المعلم تكون أبرز المفاهيم هي :

التحرك الكتلي :

هو تحرك أجزاء من القشرة الأرضية ككتلة واحدة إلى أسفل المنحدر تحت تأثير الجاذبية الأرضية. يعتقد بعضهم أن عوامل التجوية هي المسؤولة عن التحرك الكتلي ولكن عمليات التجوية هي التي تؤدي إلى تكوين الفتات الصخري وأن التحرك الكتلي يأتي في مرحلة تالية لتكون الفتات والركام الصخري. وينشأ التحرك الكتلي بفعل التيارات المائية وبتأثير المنحدرات. فبمجرد أن تضعف تجوية الصخر وتفتته، يقوم التحرك الكتلي بنقل الركام إلى أسفل المنحدر حيث تقوم المجاري المائية بنقله بعيداً ويعتمد ذلك على زاوية الاستقرار .

العوامل التي تحفز عمليات التحرك الكتلي

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 :





الشروط اللازم توفرها لحدوث تحرك كتلي :

1. يجب أن توجد منحدرات لتتحرك عليها الصخور والركام الصخري كما أن الجبال والبراكين ينتج عنها المنحدرات كأحد التشكيلات الأرضية الطبيعية و ربما من خلال عمليات رفع الكتل الأرضية و هبوط القاع قد تكون المحيط بعد مرور عدة فترات زمنية
- ونجد أن العمليات الديناميكية داخل الأرض ان لم تستمر في إنتاج المرتفعات يصبح النظام الذي يحرك الركام بطيء وقد يتوقف عن العمل في النهاية
2. مواقع معظم حوادث التحركات الكتلية السريعة تحدث في الجبال لأنها تتعرض للتعرية السريعة ، فينتج عن ذلك منحدرات شديدة غير ثابتة
3. تنخفض قدرة التحرك الكتلي السريع الشامل ليقصر على تحركات صغيرة غير خطيرة على المنحدرات عندما يشيخ التشكيل الأرضي في العمر، فبمرور الوقت ومع ضعف عملية تكون الجبال ، تعمل عمليات التعرية والتحرك الكتلي على خفض ارتفاع الأرض، فتتحول المنحدرات المجددة والحادة إلى أراضي منخفضة قليلة الانحدار. حيث طاقة الوضع المختزنة في القشرة الأرضية تتحول إلى طاقة حركية خلال التحرك الكتلي، وتزداد طاقة حركة الكتلة المتحركة على المنحدرات. تتحول طاقة الزلزال خلال القشرة الأرضية نحو السطح، وتنشأ عن ذلك تغيرات متباينة على سطح الأرض
4. يمكننا أن نمنع التحرك الكتلي حتى نتجنب المخاطر التي يسببها ن محاولتنا لتجنب تأثير الجاذبية الأرضية أمر مستحيلاً، ولكن من الأفضل أن نسأل كيف يمكننا تقليل تأثيرات التحرك الكتلي ومخاطره

الدوافع في عملية التحرك الكتلي و أمثلتها :

- المنحدرات من العوامل التي تجعل مواد قمة المنحدرات تتحرك على جوانبها نحو قاعدتها .
- أمثلة من الدوافع: تشيع المواد بالماء/ شدة ميل المنحدرات/ اهتزاز الأرض بسبب الزلازل /إزالة الغطاء النباتي. طبيعة المواد
- ◆ وصف التحرك الكتلي بمصطلحات ركام أو طمي أو أرض عندما تكون التربة أو الغطاء الصخري مفككا هما السائدين في التحرك الكتلي.
 - ◆ يضاف مصطلح صخر كجزء من وصف التحرك الكتلي عندما ينفصل جزء كطبقة صخرية ويتحرك إلى أسفل المنحدر
 - ◆ تصنف الأنواع المختلفة من التحرك الكتلي إلى بطيئة أو سريعة بسبب وجود الكثير من معدلات السرعة المختلفة التي تقع بين هذين النقيضين. كما أن سرعة العملية الواحدة قد تختلف بشدة في المكان الواحد .

أنواع الحركة في التحرك الكتلي

(1) التساقط . (راجع كتاب الطالب)

(2) الانزلاق :

(أ) انزلاق دوراني :

عندما يكون السطح الفاصل فيه على شكل منحنى يشبه الملعقة، تصاحبها استدارة للكتلة إلى الأعلى يكون اتجاه حركة المواد وإلى الخارج .

(ب) الانزلاق الانتقالي . (راجع كتاب الطالب)



(3) الانسياب : (راجع كتاب الطالب)

يحدث عندما تتحرك الكتل على المنحدر كسائل كثيف لأن التشبع بالماء هو شرط لحدوث الانسياب. وتستجيب بالحركة إلى الأسفل بفعل الجاذبية.

(أ) الانسياب الركامي :

- ❖ نتيجة نحت الصخر قرب قاعدة المنحدر يفقد الصخر الدعم والثبات ويتهوى في النهاية
- ❖ المناطق التي يحدث فيها الانسياب الطيني هي المناطق الجبلية المدارية الجافة أو شبه الجافة
- ❖ سلوك التحرك الكتلي في الانسياب الطيني يتحرك كسائل فيندفع في مجاري الجداول والأخاديد
- ❖ شكل تجمع الانسياب الركامي تأخذ شكل رواسب مروحية الشكل عند قمم الأخاديد
- ❖ اللاهارة هو نوع من الانسياب الركامي الذي يتكون من مواد بركانية (الرماد والركام البركاني) على جوانب البركان .
- ❖ يتكون اللاهارة عندما يصبح الرماد والركام البركاني مشبعين بالماء

(ب) الانسياب الأرضي

- يحدث الانسياب الأرضي على جوانب التلال في المناطق الرطبة أثناء المطر الغزير أو انصهار الجليد
- ❖ الشكل الذي يتخذه الانسياب الأرضي هو شكل اللسان أو قطرات دموع تندفع إلى أسفل المنحدر.
- ❖ يحدث الانسياب الأرضي بمعدل بطيء مقارنة بالانسياب الركامي لأنه عالي اللزوجة

(ج) انسياب التربة

يحدث هذا النوع من التحرك الكتلي المشبعة بالماء ملليمترات عندما تتشبع التربة بالماء، وتتحرك فيه المواد أو سنتيمترات قليلة في السنة ، يحدث انسياب التربة عندما لا يستطيع الماء التخلل في الطبقات العميقة من التربة بسبب وجود حاجز غير منفذ للماء، مثل طبقة من الطين الكثيف، تحتفظ التربة بالماء، ثم يحدث التحرك الكتلي بانسياب التربة .

◆ البيرمافروست

مصطلح يعني الأرض المتجمدة بصورة دائمة.

- ◆ يحدث انسياب التربة في المناطق المرتكزة على البيرمافروست يحدث انسياب التربة في الطبقة النشطة التي تعلو البيرمافروست. أثناء الصيف، لا يستطيع الماء الناتج عن انصهار الثلج النفاذ من خلال طبقة البيرمافروست، فتصبح الطبقة النشطة مشبعة بالماء وتبدأ في الانسياب. وهذا يحدث على منحدرات لا تتعدى زاوية انحدارها درجة أو درجتين كما هو موضح بالشكل.

(4) الزحف : (راجع كتاب الطالب)



الجيولوجيا التاريخية





الجيولوجيا التاريخية

تختص الجيولوجيا التاريخية بدراسة تاريخ الأرض منذ نشأتها ولحد الآن، وتشمل هذه الدراسة مجمل الأحداث الفيزيائية (الطبيعية) والعضوية (الحياتية) :

- (1) التاريخ الطبيعي للأرض: ويشمل تكون الأرض ونشوء القارات والمحيطات، وتاريخ حركة الأطباق الأرضية، وعمليات بناء الجبال، والتغيرات المناخية للأرض والعصور الجليدية فيها.
- (2) التاريخ الحيائي للأرض: ويشمل بدايات ظهور الحياة على الأرض، ابتداءً من الأشكال البسيطة لها ولغاية ظهور الإنسان. وهذا يشمل ظهور الأنواع المختلفة للكائنات بمملكتها الأربعة وهي: مملكة المونيرا، ومملكة الطليقيات، ومملكة النباتات، ومملكة الحيوانات.

التصنيف الطبقي (الإستراتجرافي)

تضم الوحدات الطباقية (الإستراتجرافية) stratigraphic units مجموعة الطبقات التي يمكن تقسيمها بناءً على خصائصها الطبيعية أو الكيميائية أو محتواها من الحفريات. كما تشمل تلك الوحدات أيضاً وحدات زمنية time units يتم وضعها بناءً على أعمار هذه الطبقات. ولقد تنبه العلماء في أواخر القرن التاسع عشر إلى أهمية فصل مفهوم الزمن الجيولوجي وتقسيماته عن أقسام الصخور، التي ترسبت خلال هذا الزمن. ولقد أدى هذا الفصل إلى نشأة وحدات الزمن الجيولوجي والتي تشمل مختلف عصور periods الزمن الجيولوجي، وأيضاً الوحدات الزمنية الصخرية time-rock units والتي تشمل أنظمة systems الصخور التي تكونت خلال هذه العصور. وقد قام الجيولوجيون في مختلف أنحاء العالم منذ نهاية القرن التاسع عشر وخلال القرن العشرين بعمل شبكات من المضاهاة الإستراتجرافية وعمل تدقيق لمقياس الزمن الجيولوجي إلا أنهم استخدموا مصطلحات ومفاهيم مختلفة مما أدى إلى حدوث كثر من اللبس. وللقضاء على هذا اللبس ولوضع قواعد ثابتة لتسمية الوحدات الطباقية الرسمية، وضعوا "دليل التسمية الطباقية". وقد وضع هذا الدليل (الكود) في الأساس ليضع قواعد تسمية الوحدات الإستراتجرافية الرسمية المختلفة، مما يعمل على سهولة التواصل بين الجيولوجيين.

ويشمل هذا الدليل خمسة أنواع من الوحدات وهي:

- وحدات الزمن الجيولوجي geochronologic أو units time.
- الوحدات الطباقية الزمنية chronostratigraphic units أو time rock units.
- الوحدات الطباقية الصخرية lithostratigraphic أو units rock.
- الوحدات الطباقية الحيوية biostratigraphic units.
- وحدات القطبية المغناطيسية الطباقية rock - polarity time أو chronostratigraphic units polarity.



1. وحدات الزمن الجيولوجي : قسم الزمن الجيولوجي إلى وحدات غير متساوية بناءً على طول الأحداث الجيولوجية المختلفة وتشمل وحدات الزمن الجيولوجي time units: الدهر eon والحقب era والعصر periode والحين epoch والعمر age مرتبة من الأطول إلى الأقصر. ويعتبر العصر الوحدة الزمنية الأساسية. أما الوحدات الطباقية 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 وتقابل الحقب، والنظام system ويقابل العصر، والنسق series ويقابل الحين، والمرحلة stage وتقابل العمر، وتأخذ كل وحدتين متقابلتين من الوحدات السابقة أسما واحداً، فمصطلح الكامبري Cambrian يطلق على العصر الكامبري Periode Cambrian والذي يشمل الفترة الزمنية الممتدة بين نحو 570 إلى 500 مليون سنة مضت، بينما يشير مصطلح نظام الكامبري Cambrian system إلى كل الصخور التي ترسبت خلال تلك الفترة الزمنية.

2. الوحدات الطباقية الصخرية : أو باختصار الوحدات الصخرية rock units، فتعبر عن تقسيم التتابع الطبقي بناءً على صفاته الصخرية، بصرف النظر عن زمن تكوين هذه الصخور أو طريقة تكوينها. وتشمل الوحدات الصخرية فوق المجموعة supergroup والمجموعة group والمتكون formation والعضو member والطبقة bed. والوحدة الرئيسية في هذا التصنيف هي المتكون formation. ويضم المتكون مجموعة من الطبقات التي لها نفس الخصائص الصخرية، وتحتوي عادة على نفس المجموعة من الحفريات. وقد تتكون بعض المتكونات من نوع صخري واحد مثل الحجر الجيري، بينما تتكون مكونات أخرى من طبقات رقيقة متبادلة من أنواع مختلفة من الصخور مثل الحجر الرملي والطفلي. وعلى الرغم من هذا الاختلاف فإن كل متكون يحتوي على مجموعة من الطبقات الصخرية التي يمكن تتبعها على الخرائط الجيولوجية ذات مقياس الرسم المناسب (في حدود 1:25000). ويسمى المتكون بإسم بعض المعالم الجغرافية المحلية مثل الأنهار أو المدن أو غيرها. كما يجب أن يختار للمتكون منطقة مرجعية يوجد بها المتكون بشكل كامل. وعند كتابة المصطلح باللغة الإنجليزية تكتب الحروف الأولى كبيرة. ويجب إتباع النظام نفسه عند تسمية بقية الوحدات الصخرية مثل فوق المجموعة أو المجموعة أو العضو.

3. الوحدات الطباقية الحيوية : تقوم على أساس تقسيم التتابعات الطباقية على أساس محتواها من الحفريات. والوحدة الأساسية للوحدات الحيوية هي النطاق الحيوي biozone وهي طبقة أو مجموعة من الطبقات تتميز بوجود نوع معين وحيد أو مجموعة مميزة من الحفريات، بغض النظر عن حدود النوعية الصخرية الحاوية لها أو العمر. وقد تتطابق حدود النوع الحيوي مع حدود الوحدات الطباقية الأخرى وقد لا تتطابق. وإذا دلت الحفريات أو مجموعة الحفريات الدالة على زمن معين، سمي النطاق بالنطاق الزمني chronozone. ويختلف نوع النطاق بناءً على اختلاف درجة الدلالة الزمنية لمجموعة الحفريات المميزة للنطاق، فمنها نطاق المدى zone range، الذي يتحدد من بداية ظهور حتى اختفاء عنصر حفري واحد يميزه، ومنها نطاق المجموعة assemblage zone الذي يتحدد من بداية ظهور عنصرين حفريين أو أكثر حتى اختفائهما. كما قد يكون نطاق وفرة acme zone وهو نطاق يتحدد من بداية انتشار ووفرة مجموعة حفرية معينة حتى تناقصها ويسمى النطاق باسم المجموعة الحفرية الدالة عليه.

4. وحدات القطبية المغناطيسية الطباقية : هي وحدات حديثة نسبياً، وتقوم على بصمات المغناطيسية القديمة paleomagnetism المتبقية في الصخور، والتي تقاس بهدف تحديد شدة واتجاه مجال الأرض المغناطيسي في الأزمنة الجيولوجية الماضية، حيث تشبه المغناطيسية المتحفزة في الصخور والتي يعبر عنها بنطاق قطبية polarity zone الحفريات المحتواة في الطبقات. وللصلة المغناطيسية أهمية زمنية يعبر عنها كنطاق قطبية زمني polarity chronozone. وهذه الأهمية الزمنية لأحداث المغناطيسية القديمة وفترات القطبية تمكننا من بناء مقياس زمني بناءً على القطبية القديمة، والذي يظهر اتجاه القطبية القديمة المحفوظة في نوعيات مختلفة من الصخور، مثل: إنسيابات اللابة القارية وبازلت قاع المحيط ورواسب البحار العميقة. وتساعد المواد المشعة في تحديد العمر المطلق لأحداث المغناطيسية القديمة، والتي يطلق عليها وحدات قطبية زمنية polarity chronologic units.



وفي الرواسب البحرية العميقة يمكن تحديد العمر الدقيق لوحداث القطبية من ربطها بالنطاقات الحيوية. وبالتالي، فإن المغناطيسية القديمة خاصة في الصخور تظهر تتابعاً زمنياً ويمكن استخدامها في عمل مضاهاة زمنية بين التتابعات الطبقة. فإذا أمكن تعرف أحداث مغناطيسية قديمة وكان من الممكن ربطها بوسائل أخرى للمضاهاة، أصبحت لدينا وسيلة جيدة لمضاهاة الرواسب البحرية العميقة على مستوى عالمي. وقد ثبت أن المغناطيسية القديمة طريقة ممتازة لعمل تقسيم طبقي زمني لصخور حقب الحياة الحديثة والنصف العلوي من حقب الحياة الوسطى، إلا أن تطبيقه على الصخور الأقدم من ذلك تقتقر لوجود قطاعات مرجعية جيدة على مستوى الكرة الأرضية ككل. بمعنى آخر، فإن المقياس الزمني للمغناطيسية القديمة يطبق فقط على الصخور التي ترسبت على قيعان المحيطات الحديثة. وفي الآونة الأخيرة، ومع وجود أجهزة قياس المغناطيسية (مجنومترات) على درجة عالية من الدقة والحساسية، يمكن تحديد أحداث المغناطيسية القديمة لكثير من التتابعات الطبقة في قيعان المحيطات ومعايرة هذه الأحداث بتقديرات الأعمار المطلقة باستخدام المواد المشعة، حيث يعكس تحديد عمر الصخور التي لا تحتوي على حفريات مرشدة.

السجل الطبقي (الإستراتجرافي)

من بين أنواع الصخور الثلاثة (النارية والرسوبية والمتحولة) والتي تكون القشرة الأرضية، فإن الصخور الرسوبية تمدنا بسجل أكثر إكتمالاً لتاريخ الأرض. وعلى الرغم من أن الصخور النارية تمثل أكثر من 90% من حجم القشرة الأرضية فالصخور الرسوبية تمثل أكثر من 75% من الصخور المكشوفة على سطح الأرض أو توجد في الكيلومترات القليلة القريبة من السطح. وتمثل الطباقية stratification أو bedding التي توجد في الصخور الرسوبية أهمية خاصة في بناء تاريخ الأرض، حيث تسمح الطباقية بوضع في بناء تاريخ الأرض حيث تسمح الطباقية بوضع ترتيب وتنظيم وتحديد للتتابعات الطبقة stratigraphic sequences. ويعرف علم الطبقات (الإستراتجرافية) stratigraphy بأنه العلم الذي يدرس الصخور الطباقية أو الطبقات ومضاهاتها. وهو يدرس العلاقات المكانية والزمنية بين أجسام الصخور وديناميكية ترسيبها، والتي يمكن ملاحظتها وتفسيرها. وتنتج الطباقية من ترسيب وتجمع الحبيبات الصلبة، والتي تستقر على القاع من الماء أو الهواء تحت تأثير الجاذبية الأرضية في هيئة طبقات beds متتالية متعاقبة. وتحدث عملية الترسيب بشكل دوري تعكس فترات ترسيب يعقبها فترات سكون أو توقف للترسيب. وهذا النشاط الدوري في الترسيب هو المسئول أساساً عن الأنسجة المختلفة التي تلاحظ في الطبقات المتتالية وأيضاً في أسطح الطباقية planes bedding التي تفصل بينها. وتحدث عملية الترسيب في أحواض ترسيب مختلفة الأحجام. وتتصلد الرواسب وتتصخر نتيجة للدفن تحت طبقات لاحقة لها مما يزيد من وضوح أسطح الطباقية والحدود بين الطبقات.

القواعد الأساسية لتحديد العمر النسبي : هناك عدة قواعد أساسية تستخدم لتفسير الأحداث الجيولوجية في السجل الصخري يمكن توضيحها فيما يلي:

1. قاعدة تعاقب الطبقات : superposition Principle of stratigraphic

هي إحدى القواعد الأساسية لعلم الطبقات وتنص على أن كل طبقة في التتابع الرسوبي الذي لم يتعرض لأية قوى تكتونية تكون أحدث عمراً مما تحتها وأقدم في العمر من الطبقة التي تعلوها. ويعتبر تطبيق قاعدة التعاقب الطبقي هو الخطوة الأولى في تقدير العمر النسبي في الصخور الطباقية. وحيث إن قاعدة التعاقب الطبقة تحت عدم تعرض التتابع الطبقي لتأثيرات تكتونية فإنه من المهم أن نعرض لقاعدة أخرى من قواعد علم الطبقات تعالج التاريخ النسبي في التتابعات المتأثرة بالعمليات التكتونية وهو ما يعرف بقاعدة الأفقية الأصلية.



2. قاعدة الأفقية الأصلية : Principle of original horizontality

قاعدة الأفقية الأصلية وهي تنص على أنه ليس فقط عملية الترسيب التي تحدث من أسفل لأعلى (وبالتالي تتجمع الرواسب في طبقات متلاحقة) لكن أيضاً أسطح الترسيب والتي تكون مستوية أساساً ولا تميل إلا بدرجات قليلة عن الأفقي. ولهذا فإن الطبقات الرسوبية تكون أساساً أفقية لأن الأسطح التي تتجمع فوقها الرواسب (والتي تفصل بين الرواسب من جهة والماء أو الهواء من جهة أخرى) تكون أفقية أساساً وتتجمع فوقها الحبيبات تحت تأثير الجاذبية. وعلى الرغم من أن التتابع المتقاطع cross-bedding والذي سبق مناقشته أثناء دراسة الصخور الرسوبية يكون مائلاً إلا أن التوجه الكلي لوحات التطبيق المتقاطع تكون أفقية. وعندما نشاهد تتابعات طبقية تميل على الأفقي بشكل واضح فإن هذا يعزى إلى أن أحدث ما بعد الترسيب أدت إلى ميلها. فإذا مال تتابع طبقي أكثر من الوضع الرأسي سمي التتابع الطبقي معكوس الوضع reversed ويكون وضع الطبقات مقلوباً overturned القوى التكتونية على إمالة وطي وتكسير الطبقات الصخرية الموجودة في القشرة الأرضية. ويحتم تحديد ترتيب الطبقات في التتابع الطبقي الرسوبي أن نحدد بشكل دقيق سمات السطح العلوي والسفلي للطبقات. وتكون هذه السمات عبارة عن تراكيب رسوبية أولية تتكون عند ترسيب الرواسب وتوجد التراكيب الرسوبية على السطح الخارجي للطبقات كما قد توجد داخل الطبقات.

3. قاعدة الاستمرارية الجانبية الأصلية : lateral continuity Principle of original

قاعدة الاستمرارية الجانبية الأصلية تترسب الصخور الرسوبية في أجسام ثلاثية الأبعاد وتمتد أفقياً في كل الاتجاهات حتى تتلاشى عند حافة حوض الترسيب الذي تترسب فيه أو تتغير خواصها إلى نوع آخر من الرواسب. ويتحدد امتداد الطبقات أفقياً من خلال عملية المضاهاة correlation. فعندما تضاهي المنكشفات المنفصلة للوحدة الصخرية نفسها بشكل صحيح، فإنها تدل على أن هذه المنكشفات عبارة عن أجزاء مما كان وحدة واحدة متصلة في الأساس. وتحمل الطبقات الرقيقة الواسعة الانتشار التي لها صفات خاصة مميزة أهمية زمنية أي تعبر عن لحظة زمنية محددة يمكن استخدامها كخطوط تعبر عن التساوي الزمني عند إجراء المضاهاة. وتعتبر هذه الوحدات الفيزيائية المتماثلة متزامنة جيولوجياً على امتداد منطقة تواجد مثل طبقات الرماد البركاني والتي تأخذ شكل الفريشة (الملاءة) blanket تترسب من التدفقات البركانية. تقدم هذه الطبقات الدالة or maker beds key وسيلة مضمونة على نطاق شبه إقليمي لإجراء المضاهاة.

4. قاعدة علاقات القطع المستعرض : Principle of cross-cutting relationships

قاعدة علاقات القطع المستعرض من المبادئ المهمة المستخدمة في تحديد العمر النسبي قاعدة علاقات القطع المستعرض. ويدل مفهوم هذه القاعدة على أن أي شيء يقطع طبقة من الصخور الرسوبية أو أي نوع من الصخور يكون أحدث عمراً من الطبقة الرسوبية أو من تلك الصخور بمعنى أن القاطع يكون أحدث عمراً من المقطوع فأجسام الصخور النارية المتداخلة (مثل: القاطع dikes) والصدوع تقطع الصخور والتراكيب السابقة عليها في التكوين وبالتالي فهي أحدث عمراً منها.

5. قاعدة المكتفات (المتداخلات) : Principle of inclusions

قاعدة المكتفات (المتداخلات) وهي تؤكد على أن الفتات والحبيبات التي توجد في صخر تكون أقدم عمراً من الصخر نفسه. فإذا احتوت طبقة ما على فتات من طبقة أو جسم ناري مجاور كانت تلك الطبقة الأخيرة أو الجسم الناري أقدم عمراً والعكس صحيح.



6. قاعدة التتابع الحفري : Principle of fossil succession

قاعدة التتابع الحفري لعبت قاعدة التتابع الحفري دوراً رئيسياً في تطور علم الجيولوجيا التاريخية وهي تنص على أن كل طبقة أو مجموعة من الطبقات في التتابعات الرسوبية تحتوي على حفريات مميزة تختلف عما تحتها وما فوقها. وتمثل الحفريات fossils بقايا كائنات حية قديمة أو أثارها وهي تساعد كثيراً في تحديد العمر النسبي للصخور الرسوبية. وقد دعمت قاعدة التتابع الحفري قاعدة التعاقب الطبقي كثيراً لأن الحفريات ليست كالحبيبات غير العضوية تتواجد عشوائياً وإنما تتواجد بنظام محدد يمكن تتبعه. فأنواع الصخور يمكن أن تتكرر كثيراً في التتابعات الطبقيّة الرأسية بتكرار ظروف الترسيب بينما تتغير المجموعات الحفرية رأسياً ولا تتكرر أبداً بسبب نظام التطور الذي لا يعيد الكائن المنقرض مرة ثانية. ويسمى هذا الترتيب الطبقي للحفريات بالتتابع الحفري (تتابع المجموعة الحيوانية faunal succession).

7. بصمات المغناطيسية الأرضية القديمة : Paleomagnetic signatures

بصمات المغناطيسية الأرضية القديمة من الإضافات المهمة التي حدثت في القرن العشرين إلى علم الطبقات اكتشاف بصمات المغناطيسية الأرضية القديمة paleomagnetism في الصخور. حيث يظهر في صخور التتابعات الطبقيّة تتابع من أحداث القطبية المغناطيسية (أي اتجاه المجال المغناطيسي للأرض في وقت ما) من القطبية العادية normal polarity أي مماثلة لاتجاه المجال المغناطيسي الحالي للأرض والقطبية المعكوسة reverses polarity أي يكون اتجاه المجال المغناطيسي عكس اتجاه المجال الحالي حيث يكون قطب الأرض الشمالي متجهاً نحو الجنوب الحالي. ولقد تعرض المجال المغناطيسي للأرض للانقلاب كثيراً طوال تاريخ الأرض الطويل كما تغير موضع الأقطاب المغناطيسية كثيراً جداً أيضاً بسبب حركة الكتل المتقاربة بالنسبة للأقطاب. وهذا يقدم وسائل أخرى لتقسيم التتابعات الطبقيّة كما يمكن به إجراء المضاهاة بين التتابعات الطبقيّة المتباعدة أيضاً.

عدم التوافق

من الظواهر الطبقيّة المهمة التي تفيد كثيراً في تحديد العمر النسبي والتاريخ الجيولوجي ما يعرف بعلاقة عدم التوافق unconformity. ويعرف عدم التوافق بأنه سطح تعرية أو عدم ترسيب مدفون، وبالتالي فهو يعبر عن جزء مفقود من السجل الجيولوجي نتيجة التعرية وعدم الترسيب. فعدم التوافق هو سطح بين طبقتين يفصل بينهما فاصل زمني. ويمكن تعرف أربعة أنواع من عدم التوافق وهي عدم التوافق الزاوي وعدم التوافق التخالفي وعدم التوافق الانقطاعي وشبه التوافق.

وتسمح القواعد الأساسية السابق ذكرها بتحديد العمر النسبي بالنظر إلى مجموعة رأسية من الطبقات أو إلى أي تتابع طبقي (استراتجرافية) على أنه سجل مرتب زمنياً للتاريخ الجيولوجي لمنطقة ما. ويسمى الخط الزمني المقابل والموضوع على أساس هذا التتابع بالزمن الجيولوجي وهو الممثل زمنياً لهذا التتابع أي كسجل جزئي كامل للوقت الذي أنقضى منذ ترسبت أقدم الطبقات في أسفل التتابع إلى أحدث الطبقات في أعلى التتابع (يستخدم مصطلح الزمن الجيولوجي أيضاً للإشارة إلى الفترة الزمنية الممتدة منذ انتهاء تكوين الأرض ككوكب منفصل حتى بداية التاريخ المكتوب). وتختلف التتابعات الطبقيّة عن التتابعات الرسوبية فالتتابعات الرسوبية هي تغيرات رأسية في التركيب الصخري للرواسب المتكونة في بيئة ترسيب واحدة. أما التتابع الطبقي فهو أشمل في التعريف ويضم طبقات واسعة التغيير لكل منها أصل مختلف. وبينما يتم التأكيد في التتابعات الرسوبية على طبيعة الأنواع المتتابعة من الرواسب فإن التأكيد في التتابعات الطبقيّة (الإستراتجرافية) يكون على التتابع الزمني للطبقات المكونة للتتابع وظروف الترسيب.



مضاهاة الوحدات الصخرية

تمكن المساح الإنجليزي وليام سميث William Smith عام 1793م من تعرف أن الحفريات يمكن استخدامها لتحديد الأعمار النسبية للصخور الرسوبية. وقد لاحظ من خلال دراسة العديد من الحفريات أن الطبقات المختلفة كانت تحتوي على أنواع مختلفة من الحفريات وأنه يمكن تمييز طبقة عن الأخرى باستخدام الحفريات المميزة لكل طبقة. ويسمى هذا الترتيب الإستراتيجي للحفريات بالتتابع الحفري faunal succession. وقد فتح هذا الاكتشاف الباب لعمل مضاهاة للطبقات الرسوبية على مساحات أوسع. وتعني المضاهاة correlation تحديد التماثل بين أجزاء وحدة إستراتيجية مفصولة جغرافياً. وتشمل الوحدات الإستراتيجية طبقة أو مجموعة من الطبقات تتميز ببعض الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية أو الحيوية. ولقد قام سميث في بادئ الأمر بمضاهاة الطبقات على أساس التشابه في الخواص الفيزيائية (التركيب الصخري والمعدني) بالإضافة إلى محتواها الحفري وذلك على مسافات تبلغ عدة كيلومترات، ثم بعد ذلك على مسافة عشرات الكيلومترات. ولقد أصبح من الممكن استخدام الحفريات وحدها في عمل مضاهاة بين تتابعات تفصل بينها مئات أو آلاف الكيلومترات. ويشمل ما يعرف بقانون المضاهاة القواعد التي وضعها سميث للمضاهاة بين التتابعات الطبقة وينص هذا القانون على أن: "الطبقات التي لها نفس التركيب الصخري والمعدني والتي تحتوي على حفريات متشابهة تنتمي إلى نفس العمر الجيولوجي". ويتضمن عمل المضاهاة هدفين أساسيين: الأول تحديد الأعمار النسبية للوحدات المنكشفة بالنسبة لبعضها البعض في المنطقة التي يتم دراستها والثاني عمل مقارنة بين أعمار الوحدات بالنسبة إلى مقياس الزمن الجيولوجي. وتتم مضاهاة الوحدات الصخرية بعدة طرق وتشمل أنواع الصخور المتشابهة والوضع في التتابع الطبقي والمحتوى الحفري. وتستخدم مميزات الصخور مثل اللون وحجم الحبيبات والتركيب الرسوبية التي تسمح بتمييز كل وحدة صخرية عن الأخرى عند عمل المضاهاة بين الوحدات الصخرية خاصة إذا كانت المنكشفات كافية. ومن الأهمية بمكان معرفة أن عملية مضاهاة الصخور يقابلها الكثير من الصعوبات عند تطبيقها لذلك يجب مراعاة القواعد التي وضعها الجيولوجيون بعد سميث للتوصل لعمل مضاهاة دقيقة. فيجب عند استخدام قاعدة الاستمرارية الجانبية lateral continuity principle مراعاة أن تلك الطريقة يمكن استخدامها عند المضاهاة في حوض ترسيبي واحد لأنه من المعروف أن الطبقات الرسوبية تستدق وتنتهي عند حواف أحواض الترسيب كما أنها قد تتدرج إلى أنواع أخرى من الصخور نتيجة تغيرات السحنات. كما يجب مراعاة أن الاعتماد على التشابه الصخري فقط بين الطبقات لا يكفي كما ذكرنا إلا في حالات خاصة جداً. كذلك يجب مراعاة الوضع التركيبي للطبقات حيث يمكن استخدام وضع الطبقات بالنسبة إلى تركيب تكتوني معين (مثل عدم التوافق مثلاً) مما يساعد على مضاهاة الطبقات. ولكن قد تؤدي بعض الأوضاع التكتونية إلى تغير وضع الطبقات مما لا يسمح بتطبيق قاعدة تعاقب الطبقات. فعند ملاحظة ميل الطبقات والنواها مثلما يحدث أثناء التصادم القاري فإن التشوه قد يكون كبيراً جداً لدرجة أن الطبقات الأقدم قد تأتي فوق الطبقات الأحدث. وبالتالي فإن الاستنتاجات المبنية على الطبقات المقلوبة قد تؤدي قطعاً إلى نتائج غير صحيحة عند تقدير الزمن النسبي للطبقات. ويمكن استخدام بعض الأدلة مثل علامات النيم والتطبيق المتقاطع لتحديد ما إذا كانت الطبقات في الوضع الصحيح أم إنها قلبت. كما يمكن عمل المضاهاة بين الوحدات الصخرية عن طريق الوضع في التتابع الطبقي والطبقة الدالة key bed مثل طبقات الفحم والرماد البركاني. وتكون مثل هذه الطبقات مهمة عند عمل مضاهاة بين تتابعات صخرية وخاصة على نطاق إقليمي. وتستخدم الحفريات للدلالة على زمن الوحدات الصخرية حيث تمثل تلك الحفريات بقايا لكائنات حية عاشت لفترة زمنية خلال الزمن الجيولوجي الماضي. وتسمى الحفريات التي تستخدم في تحديد عمر الطبقات التي تحتويها بالحفريات المرشدة (الدالة). ولكي تكون الحفريات مرشدة فإنها يجب أن تكون شائعة في الطبقات ولها توزيع جغرافي واسع ومدى زمني محدود. ومن أحسن الأمثلة على الحفريات المرشدة الكائنات الحية الطافية والتي تتميز بتطور سريع وانتشار جغرافي واسع. وإذا تم تعريف حفريات دالة في منكشف ما فإن عملية المضاهاة باستخدام التتابع الحفري fossil succession. وبالإضافة إلى المضاهاة بين الوحدات الصخرية المنكشفة فوق سطح الأرض فإنه يمكن المضاهاة بين الوحدات الصخرية تحت السطحية عند البحث عن المعادن والفحم والبتروول باستخدام تسجيلات الآبار التي توضح الخصائص الفيزيائية المقاسه للقطاع الصخري أثناء الحفر والعينات الأسطوانية التي يتم الحصول عليها من الآبار وأيضاً شظايا



الحفر التي تخرج إلى السطح أثناء حفر الآبار. وقد أستطاع الجيولوجيون خلال القرنين الماضيين باستخدام التتابعات الحفرية والتتابعات الإستراتيجية أن يضاهاوا المتكونات في جميع أنحاء العالم ليخرجوا بنتيجة هذا الجهد، وهو مقياس الزمن الجيولوجي لكل الأرض.

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 ومابه 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 فإنه لن يكون 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 لمضاهاة أنه 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 أو يتم إدخال تحسينات عليه حتى الآن نتيجة وصف أو رسم خرائط لوحات 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 لوحات مقياس الزمن بعد إجازتها في القرن العشرين.

تقسيمات الزمن الجيولوجي:

يتضح من تقسيمات الزمن الجيولوجي أن عمر الأرض والبالغ (4600) مليون سنة قد قسم إلى حقتين أو أبدين هما حقبة الحياة الخفية تمتد من (544-4600) مليون سنة، وحقبة الحياة الظاهرة تمتد من (0-544) مليون سنة، وفيما يلي شرح مبسط لكل من هاتين الحقتين :

أولاً: حقبة أو أبد الحياة الخفية: (Cryptozoic Eon) (راجع كتاب الطالب)

يعرف أيضاً بـحقبة ما قبل الكامبري (Precambrian Eon) ، وهو متمثل بمجموعة الصخور القديمة التي تشكلت حجم واسع من القشرة القارية، ولا يوجد في 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 والمتقلبة والتي اخترقت الصخور الجرانيتية. تحتوي صخور هذه الحقبة على القليل من متحجرات الأشكال الحياتية الأولية أو البدائية جداً وبدون المتحجرات الشائعة فان مقارنة الطبقات الصخرية المنفردة من قارة إلى



قارة يصبح صعب جداً، إذا لم يكن مستحيلاً. تقدم رئيسي في حل شفرة هذه الحقبة يمكن تحقيقه باستخدام طرائق النظائر المشعة لمعرفة عمر الصخور النارية والمتحولة، هذه الأعمار تزودنا بتقسيمات مهمة لحقبة الحياة الخفية وبالتالي معرفة عمر العديد من الأحداث الرئيسية التي وقعت فيه. تقسم حقبة الحياة الخفية إلى ثلاث تقسيمات ثانوية هي: الحقبة الخفية (Hadean Eon) وحقبة الاركين (Archean) وحقبة الحياة الأولية (Proterozoic)، والتي قسمت اعتماداً على عمرها المستخرج بالنظائر المشعة وليست بالمتحجرات.

ثانياً: حقبة أوأبد الحياة الظاهرة: (Phanerozoic Eon) (راجع كتاب الطالب)

صخور هذه الحقبة احدث عمراً من صخور حقبة الحياة الخفية، وهي أقل تعقيداً (تشويهاً) وتحتوي على العديد من المتحجرات التي مكنت الجيولوجيين من مضاهاتها عالمياً على نطاق واسع. المدة التي أعقبت نهاية حقبة الحياة الخفية تدعى بـحقبة الحياة الظاهرة (Phanerozoic Eon) وهي مشتقة من أصل إغريقي يعني الحياة المرئية هذه الحقبة تؤشر العصور التي كانت المتحجرات فيها شائعة جداً. مرور الزمن في هذه الحقبة سُجل (أرخ) بواسطة المتحجرات التي توحى بالتطور المستمر لأشكال الحياة المتنوعة على الأرض. حقبة الحياة الظاهرة قسمت إلى ثلاث دهور رئيسية، والتي قسمت بدورها إلى عدد من العصور .

1. دهر الحياة القديمة: (Paleozoic era) (راجع كتاب الطالب)

سمي هذا الدهر بعصر الأسماك (Age of fishes) وذلك لأن صخور هذا الدهر تحتوي على عدد من متحجرات الكائنات البحرية، أبرزها الأسماك الأولية (Primitive fishes)، فضلاً عن متحجرات البرمائيات (Amphibians). هذا الدهر يقسم إلى ستة عصور اعتماداً على درجة تشوه الصخور في بريطانيا هذه العصور من الأقدم إلى الأحدث هي: العصر الكامبري (Cambrian Period) والعصر الأوردوفيشي (Ordovician Period) والعصر السيلوري (Silurian Period) والعصر الديفوني (Devonian Period) والعصر الكربوني (Carboniferous Period) والعصر البرمي (Permian Period).

2. دهر الحياة الوسيطة: (Mesozoic Era) (راجع كتاب الطالب)

سمي هذا الدهر بعصر الزواحف (Age of Reptiles) وذلك لأن صخور هذا الدهر تحتوي على عدد كبير من متحجرات الزواحف (Reptiles) فضلاً عن متحجرات اللافقاريات (Invertebrates) الشائعة في هذه الصخور . صخور هذا الدهر قسمت إلى ثلاثة عصور هي من الأقدم إلى الأحدث: العصر الترياسي (Triassic Period) والعصر الجوراسي (Jurassic Period) والعصر الكريتاسي (Cretaceous Period).

3. دهر الحياة الحديثة: (Cenozoic Era) (راجع كتاب الطالب)

سمي هذا الدهر بعصر اللبائن (Age of Mammals) وذلك لأن صخور هذا الدهر تحتوي على عدد كبير من متحجرات اللبائن فضلاً عن متحجرات النباتات واللافقاريات ، صخور هذا الدهر قسمت إلى عصرين، هما من الأقدم إلى الأحدث: العصر الثلاثي (Tertiary Period) والعصر الرباعي (Quaternary Period) وهناك تقسيم آخر أحدث من التقسيم السابق، يقسم دهر الحياة الحديثة إلى ثلاث عصور هي من الأقدم إلى الأحدث: عصر



الباليوجين (Paleogene Period) وعصر النيوجين (Neogene Period) وعصر الانثروبوجين (Anthropogene Period)

الأحافير

الأحفورة أثر أو بقايا نبات أو حيوان كان يعيش منذ آلاف أو ملايين السنين. بعض هذه الأحافير أوراق نبات أو أصداف أو هياكل، كانت قد حُفظت بعد موت النبات أو الحيوان. وبعضها الآخر آثار ومسارات أقدام نتجت عن الحيوانات المتحركة. توجد معظم الأحافير في صخور رسوبية. 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 الشّرت وهو نوع من المرو. كما عُثر على أحافير مماثلة لبكتيريا قديمة في أستراليا. وأقدم الأحافير الحيوانية هي بقايا اللافقاريات، الحيوانات التي ليس لها عهود فقري. ويُقدر عمر صخور هذه الأحافير بحوالي 700 مليون سنة. وأقدم أحافير الفقاريات (وهي الحيوانات ذات العمود الفقري) 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 مكّنت 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.

كيف تتكون الأحافير ؟

تموت معظم النباتات والحيوانات وتتغفن متحللة دون أن تترك أي أثر في السجل الأحفوري. وتقوم البكتيريا وأحياء أخرى بتحليل الأنسجة الطرية كالأوراق أو اللحم. ونتيجة لذلك فإن هذه الأنسجة نادراً ما تترك أي سجلات أحفورية. وحتى أكثر الأجزاء صلابة مثل العظام والأسنان والأصداف والخشب تبلى في النهاية بواسطة المياه المتحركة أو تذيبها مواد كيميائية. إلا أنه عند طمر بقايا النبات والحيوان في الترسبات فإنها قد تصبح متأخرة. وتحفظ هذه البقايا في الغالب دون تغيير يُذكر. ولكن معظمها يعثره تغيير بعد الدفن، ويختفي العديد منها تماماً، إلا أنه يترك سجلاً أحفورياً في الراسب.

طرق التأخير: راجع الكتاب المدرسي



أهمية دراسة الأحافير

1. الأحافير تكشف التاريخ القديم :

كان العالم مختلفاً عما هو عليه الآن عندما تشكلت معظم الأحافير في الماضي البعيد. وكانت النباتات والحيوانات التي انقرضت منذ زمن طويل تستوطن المياه واليابسة. ومن الممكن أن نجد بحرًا قديمًا في منطقة جبال عالية، وفي مكان غابة استوائية كانت مزدهرة قبل ملايين السنين نجد الآن سهولاً باردة جافة. وحتى القارات ابتعدت عن مواقع كانت تحتلها قبل مئات الملايين من السنين. ولم يكن هناك أسلوب لتسجيل هذه التغيرات. ولكن علماء الإحاثة — وهم العلماء الذين يدرسون حياة ما قبل التاريخ — قد تمكنوا من تجميع المعلومات حول ماضي الأرض من خلال ملاحظات سجلها الأحفوري بمعرفة النباتات والحيوانات القديمة حيث يستطيع علماء الإحاثة من خلال دراستها معرفة الكثير عن مظاهر وسبل الحياة للعديد من كائنات ما قبل التاريخ. وإحدى الطرق التي يستعملها علماء الإحاثة تتم من خلال مقارنة هذه الأحافير بأجناسها المعاصرة. وفي العديد من الحالات تُظهر عمليات المقارنة أن الأنواع الأحفورية لها أقارب معاصرة وقرابة منها، كما أن حالات التشابه والاختلاف بين أنواع الأحافير وأقاربها المعاصرة يمكن أن تعطي معلومات هامة. وتعد الأحافير النباتية والحيوانية التي لا مثيل ولا قريب معاصر لها، أكثر صعوبة في فهمها. وتعتمد إحدى طرق معرفة حياتها السابقة على مقارنة أحافيرها بأنواع معاصرة لا تنتمي إليها وإنما تشبهها في شكلها العام. فعلى سبيل المثال، تبين الأحافير أنه ما بين فترة 210 مليون سنة إلى 63 مليون سنة خلت، عاشت مجموعة من الزواحف ذات إصبع واحد طويل نحيف يبرز من عند كل طرف أمامي. ولا تشبه البنية العظمية أيًا من تلك الزواحف المعاصرة الآن. ومع ذلك، يبدو أنها تشبه أجنحة الطيور المعاصرة. وحيث إن الطيور المعاصرة تستعمل الأجنحة للطيران، فإن علماء الأحافير استنتجوا أن تلك المخلوقات المنقرضة كانت تطير. وأطلقوا عليها اسم السحالي المجنحة. إن معرفة ظروف موت وانطمار الأحافير يمكن أن تبين كيف عاشت. فقد وجد علماء الأحافير أعشاشًا أحفورية لديناصورات في حداثتها. تشير هذه الأحافير إلى أن بعض أنواع الديناصورات كان يعتني بصغاره ويقوم بتغذيتها في أعشاش مهيأة، تقريبًا كما تفعل طيور اليوم. وتقدم آثار الأقدام والممرات والمسالك، المسماة الآثار الأحفورية، معلومات عن سلوك حيوانات ما قبل التاريخ. فعلى سبيل المثال، توحى بعض آثار الأقدام بأن بعض أنواع الديناصورات سارت في قطعان. كما أن بعض الآثار الأحفورية تبين أن بعض الدينان المنقرضة قد عاشت في أنفاق بسيطة محفورة في قاع البحر.

2. تتبع تاريخ الحياة: ينكشف الكثير من طبقات الصخور الرسوبية في الأخدود العظيم المسمى — جراند كانيون في أريزونا بالولايات المتحدة — تتبّع مظاهر الحياة يقدم السجل الأحفوري دليلًا مهمًا لتاريخ الحياة. وتشير الأحافير إلى أنه على مدى مئات الملايين من السنين، قد حفلت الحياة على الأرض بخلايا بكتيريا بسيطة وحيدة الخلية وطحالب إلى جانب عديد من الكائنات المعقدة والمتنوعة. كما تشير أيضًا هذه الأحافير إلى أن بعض الأنواع قد تغيرت جذريًا وحلت محلها أنماط حياة جديدة متأقلمة كليًا. ويبين موقع الأحافير في طبقات صخرية رسوبية كيف ازداد تباين الكائنات الحية عبر الزمن. فكلما ترسب الراسب، حطت طبقات جديدة فوق الأقدم منها. وعند تحول الترسيبات إلى حجر، فإن هذه الطبقات تبقى محفوظة حسب زمن ترسبها. وفي الطبقات التي لم يفسد ترتيبها نجد أن الأحافير في المناطق السفلية أي الأقدم عمرًا - أقل تعقيدًا من التي توجد في الطبقات الأصغر عمرًا والموجودة قرب السطح. وتعطي الأحافير المحفوظة في طبقات الأخدود العظيم في أريزونا في الولايات المتحدة الأمريكية مثالاً جيدًا على ازدياد التعقيد في الكائنات المعاصرة. فالطبقات القريبة من القاعدة عمرها حوالي بليون سنة، وتحتوي على أحافير بسيطة الشكل. أما الطبقات التي عمرها حوالي 600 إلى 500 مليون سنة مضت فتحتوي



أحافير لحيوانات لافقارية، شاملة الحيوانات البحرية المنقرضة المسماة ثلاثية الفصوص. وتظهر بقايا الأسماك الأحفورية في طبقات عمرها نحو 400 مليون سنة. أما بعض الطبقات العليا التي تشكلت في الفترة بين 330 - 260 مليون سنة مضت فإنها تحتوي على آثار بعض حيوانات اليايسة المبكرة مثل البرمائيات والزواحف.

3. التعرف على البينات القديمة المختلفة: يستخدم بعض أنماط الأحافير في التعرف البينات القديمة فمثلاً أحفورة النخيل يعني وجودها أن المناطق المعتدلة كانت يوماً ذات مناخ مداري. و أحفورة محار موجودة في تتابع صخري يابس يدل علي أن البحر قد غطى مناطق اليايسة الداخلية في يوم ما.

4. تسجيل التغيرات في الأرض: يستخدم العلماء الأحافير في تحديد كيفية تغير مناخ الأرض وكذلك تضاريسها عبر ملايين السنين. فقد وجدوا على سبيل المثال، أحافير بعض أشجار النخيل الاستوائية في مناطق ذات مناخ معتدل (بارد) اليوم. كما وجدوا طبقات من الفحم الحجري - وقود أحفوري - المتكون من بقايا النباتات التي انقرضت قبل ملايين السنين، في القارة القطبية الجنوبية حيث تشكل اليوم مناطق أكثر برودة لتنمو بها هذه النباتات. وتشير مثل هذه الأدلة إلى أن مناخ هذه المناطق قد تغير.

وقد وجد علماء الأحافير، أحافير أصداف بحرية في صخور بعيدة في وسط اليايسة في أيامنا هذه. وتبين مثل هذه الأحافير أن مياه البحر كانت في يوم ما منتشرة عبر هذه المناطق. وتعطي الأحافير أدلة تدعم نظرية الزحف القاري، وهي الفكرة التي تنص على أن مواقع القارات قد تغيرت على مدى مئات الملايين من السنين الماضية. وقد وجد العلماء أحافير لديناصورات متشابهة في كل القارات الحديثة. ونتيجة لهذا يعتقد علماء الأرض أن كل الكتلة الأرضية تقريباً كانت موحدة في قارة واحدة عملاقة. ويشير هذا إلى أنه بعد حوالي 200 مليون سنة من ذلك التاريخ كانت القارة العملاقة بدورها تتجزأ أو تنفصل. وكانت القارات تبتعد ببطء إلى وضعها الحالي.

تصنيف الأحافير :

كما هو الحال في النباتات والحيوانات الحية، يتم تصنيف أنواع الأحافير طبقاً لمدى انتماء بعضها لبعض. وبصفة عامة يحدد العلماء مدى الانتماء من خلال مقارنة معالمها الحيوية العديدة. ويعتمد تحديد المجموعات الأحفورية و بصورة أساسية على أشكال الأجزاء الصلبة مثل الأصداف والأسنان والهياكل لأنها تشكل المعالم المحفوظة.

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.



الجيولوجيا الاقتصادية





الجيولوجيا الاقتصادية لدولة الكويت **(النفط – المياه الجوفية – مواد البناء والتشييد)**

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 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 تترجج 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 النفاثات ووقود الطائرات ثم الكيروسين والسولار ريس والديزل حتى تصل إلى زيوت التزييت والشحوم ، كل هذا يوجد مختلطاً ممزوجاً 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.

النفط من الثروات الطبيعية غير المتجددة وتتسابق الدول الصناعية الكبرى على زيادة استيراده من الدول المنتجة له والتي تستهلك كميات قليلة منه لقلّة التنمية الصناعية لديها يساهم النفط اليوم بحوالي 39 % من استهلاك الطاقة العالمي وتحتوي منطقة الشرق الأوسط على أغنى مخزون للنفط في العالم. 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 استخراجه ومن أهم أسباب انتشار النفط هو سهولة نقله وتحويله إلى مشتقات، وانخفاض سعره وتوفره في كثير من البلدان التي لا تستهلك إلا القليل منه.

أهمية النفط في الصناعات البتروكيميائية:

يدخل كمادة خام في صناعة البلاستيك واللدائن والألياف الصناعية والأصباغ. يعتبر النفط من أنظف مصادر الطاقة مقارنة مع الفحم الحجري والوقود النووي. سهولة نقله وتخزينه. لتعرف على أهم طرق استكشاف البترول: تحديد أماكن وجود النفط أو الغاز، أي تحديد الطبقات الصخرية الحاملة للنفط أو الغاز من حيث العمق الرأسي لكل طبقة، والامتداد الأفقي للجزء الذي يحتوي على النفط أو الغاز. وقد كانت طرق البحث عن البترول قديماً تعتمد على الشواهد السطحية مثل تسرب النفط أو الغاز إلى سطح الأرض خلال الشقوق الصخرية، أو وجود آثار بعض المواد الهيدروكربونية بالتربة السطحية للأرض، غير أن هذه الطرق قد تطورت إلى حد بعيد خلال القرن العشرين، فأصبح البحث عن البترول يعتمد على قياسات دقيقة تستخدم فيها أجهزة مطورة، وذلك لخفض نفقات عمليات التنقيب. ويتوزع النفط الخام بين جميع قارات الأرض في الطبقات الرسوبية ذات المسام مع اختلاف في الكميات بين مكان وآخر. وتحتوي منطقة الخليج العربي على النسبة الكبرى منه حيث يبلغ الاحتياطي بها حوالي ثلثي الاحتياطي العالمي. وتبلغ نسبة الاحتياطي بدولة الكويت حوالي 8.5% من احتياطي العالم كله. بالإضافة



إلى ما سبق فإن النفط قد يحتوي على بعض الشوائب من مواد أخرى مثل مركبات الكبريت والنيتروجين وثاني أكسيد الكربون.

التأثيرات البيئية للنفط:

- ❖ انفجارات زلزالية تصاحب إنتاجه وتشغيله.
- ❖ استخراج البترول عملية مكلفة، وأحيانا ضارة بالبيئة.
- ❖ يزعج استخراج النفط بالقرب من الشواطئ الكائنات البحرية الحية ويؤثر على بيئتها.
- ❖ استخراج النفط قد يتضمن الكسح، الذي يحرك قاع البحر.
- ❖ يقتل النباتات البحرية التي تحتاجها الكائنات البحرية للحياة.
- ❖ نفايات الزيت الخام والوقود المقطر تؤثر بطريقة كارثية على بيئة الكائنات الحية.

مراحل استخلاص النفط :

- الأولى: حفر بئر ليصل لمستودعات البترول تحت الأرض.
- الثانية: زيادة الضغط تحت الأرض لبدء النفط في الخروج تحت تأثير هذا الضغط، وهناك تقنية مساعدة عن طريق حقن الماء أو حقن الغاز الطبيعي.
- الثالثة: تعتمد على تقليل كثافة النفط لتعمل على زيادة الإنتاج.

مصفاة النفط:

عبارة عن منشأة تستقبل النفط الخام وتفرز مواده إلى عدد كبير من المنتجات النفطية الاستهلاكية، كالجازولين والبقا ووقود الطائرات ووقود السيارات والنفط الأبيض والمئات من المنتجات. تتكون المصفاة بشكل عام من:

- ❖ أبراج الفصل.
- ❖ مبادلات حرارية.
- ❖ مضخات كهربائية أو بخارية.
- ❖ مفاعلات كيميائية.
- ❖ أوعية وخزانات للفصل والتخزين.
- ❖ صمامات

بالإضافة إلى آلاف الأطنان من الأسلاك الكهربائية والأجهزة الدقيقة.

ويمر النفط داخل المصافي بثلاث مراحل وهي:

مرحلة الفصل: تفصل المواد بالحرارة، فالأثقل وزناً يبقى أسفل البرج والأخف في الأعلى.

مرحلة التحويل: إجراء بعض العمليات الكيميائية لتحويل النفط إلى منتجات مرغوبة (البلاستيك).

مرحلة المعالجة : تنقية المنتجات النفطية من الشوائب وإعداده للاستهلاك وأيضاً يتم استخراج الغازات للاستفادة منها في بقية عمليات الإنتاج مثل إنتاج غاز الهيدروجين من النقطة الثقيلة للاستفادة منه في وحدات التكسير بالهيدروجين حيث يتم الاستفادة من آخر قطرة من النفط الخام.



ينقل النفط بطريقتين:

- ❖ النقل البري ويشمل خطوط الأنابيب وهي أحسن وسيلة لنقل النفط ، بالإضافة إلى الشاحنات القطارات الصهريجي.
- ❖ النقل البحري وتتمثل في الناقلات والبواخر المسطحة.

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

مراحل تواجد النفط:

مرحلة التكوين: وهي المرحلة الأولى من مراحل تواجد النفط يتم فيها تكوين المادة للنفط في وجود عناصر ثلاثة يشترط توافرها وهي: المادة العضوية بتركيزات عالية في طبقة من الصخور وتسمى هذه الصخور "بصخور المصدر" حرارة و ضغط حيث يتوافر كل من الضغط والحرارة المناسبة في الأعماق الكبيرة.

مرحلة الهجرة: في هذه المرحلة يهاجر النفط من مناطق تكونه (صخور المصدر) حيث الضغوط المرتفعة متجهها 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).

مرحلة التجمع: وهي المرحلة الأخيرة والمسؤولة عن تجمع النفط بكميات كبيرة غالباً ما تكون اقتصادية، ولتجمع النفط لأبد من وجود نظام صخري يعمل على منع استمرار هجرة النفط وتجمعه في نطاق هذا النظام، ويسمى هذا النظام بالمصيدة النفطية.

عناصر المصيدة النفطية:

صخور الخزان: وهي عبارة عن طبقة صخرية ذات مسامية ونفاذية عالية ، ليسمح الصخر باحتواء النفط داخله ، حيث أن المسامية هي الحجم الكلي للفراغات بالنسبة لحجم الصخر، كما هو في الحجر الرملي.

صخر الغطاء: وهو عبارة عن طبقة صخرية غير منفذة تعلو صخر الخزان لتمنع الهجرة الرأسية للنفط مثل صخور الجبس اللامائية.

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.

تواجد النفط : أن تجمع النفط بكميات اقتصادية في طبقة المكن 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). أثناء عمليات الحفر يكون البئر مملوءاً بطين حفر ثقيل حتى يتغلب على الضغط الممكن. وهذا يسمح عند انتهاء عمليات الحفر ومتطلباتها برفع مانع الانفجار بدون خطورة. ثم يركب رأس البئر ويوصل بأنبوب الإنتاج وأنبوب الطي عند قمة البرج. ورأس البئر عبارة عن مجموعة من الصمامات والوصلات يمكن بواسطتها التحكم في تدفق النفط، ويسمى رأس البئر في هذه الحالة بشجرة عيد الميلاد. ويزاح الطين بعد ذلك من أنبوب الطي بضخ الماء حتى يصبح الماء أقل من ضغط النفط في الطبقة المنتجة وعند ذلك يدفع مخلوط النفط والغاز أمامه من الماء وتبدأ البئر في الإنتاج.

مراحل عمليات استكشاف البترول المعروفة حالياً

المسح الجيولوجي: من أهم عمليات الاستكشاف لدراسة المظاهر الجيولوجية ووضعها على الخرائط المناسبة.

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 الإنتاج.

أنواع المسوحات الجيوفيزيائية هي:

❖ **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 البنيوية والتركيبية ومواضع الفوالق في المنطقة مما يؤدي إلى تحديد المناطق الأكثر احتمالاً لوجود المصائد التي يمكن أن تكون صالحة لتجمع المواد الهيدروكربونية.

❖ **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.

الطريقة السيزمية أو الزلزالية: أهم الطرق الجيوفيزيائية على الإطلاق وأدقها، وتنفذ كالاتي: 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.

التحليل 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 وغالبا باستخدام الحاسوب للوصول إلى نماذج تحاكي الأحواض الرسوبية في المنطقة وبالتالي معرفة أفضل المواقع للتراكيب الجيولوجية والتي يمكن أن تكون مصائد نفطية.

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 وتقادياً لأي مفاجآت. والمعلومات اللازمة من البئر الاستكشافية يتم الحصول عليها من:

- (أ) دراسة العينات الفتاتية
- (ب) دراسة العينات اللبابية
- (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.

ما هي أنواع النفط وفقاً لتصنيف وكالة حماية البيئة الأمريكية؟

تقسم وكالة حماية البيئة الأمريكية النفط إلى أربع فئات من الزيوت بناء على خطورتها وإمكانية تنظيفها في حالة التسرب وهي:

❖ **فئة الزيوت الخفيفة سريعة التبخر:** وتشمل أغلب المشتقات النفطية والأنواع العالية الجودة من النفط الخام. وتتميز بأنها شفافة وسريعة الاشتعال والتبخر وتطفو على سطح الماء، تمتزج بالتربة بسهولة ويصعب التخلص منها، وهي زيوت سامة ذات رائحة نفاذة.

❖ **فئة الزيوت غير اللاصقة:** وهي زيوت شمعية تطفو على سطح الماء ويصعب امتزاجها بالتربة وهي أقل سمية من الفئة السابقة. يمكن التخلص منها عن طريق الغسيل بالماء.

❖ **فئة الزيوت الثقيلة اللاصقة:** وهي زيوت لزجة بنية أو سوداء. وبما أن كثافتها قريبة من الماء فإنها غالباً ما تغرق. وخطرها لا يكمن في التسمم وإنما في التصاقها بالسماك والطيور والحيوانات. ويشمل هذا النوع المشتقات النفطية الثقيلة والخام المتوسط والثقل.

❖ **فئة الزيوت غير السائلة:** وهي زيوت غير سامة سوداء أو بنية داكنة. تذوب بالحرارة ويصبح تنظيفها صعباً. وتتضمن كل أنواع النفط الثقيل.

طرق تشكل النفط:

1. التشكل الطبيعي للنفط الثقيل:

يتشكل النفط الثقيل من المواد العضوية الأولية بتأثير الحرارة والضغط المتعرضة لها والتي تتعلق بدورها بسمائة الرسوبيات التي تغطي الصخور من جهة وارتباطها بتطور الأحواض الرسوبية فيها من جهة أخرى. حيث تتحول المواد العضوية تدريجياً إلى نفط ثقيل وبعدها إلى نفط عادي ثم نفط خفيف وغاز وذلك خلال فترات زمنية طويلة. كما أن تأثير المواد العضوية الأولية يفسر تواجد بعض الحقول النفطية ذات النفط الثقيل التي بقيت في الصخور الأولية ولم تصل إلى مرحلة تشكل النفط الخفيف أو هاجرت نتيجة للحركات التكتونية خلال مرحلة التحويل وتجمعت في المكامن القريبة.



2 . التشكل الثانوي للنفط الثقيل:

هناك عوامل ثانوية قد تساهم في عملية تشكل تجمعات النفط الثقيل ومنها : تشكل الإسفلتينات الذي يحصل خلال المرحلة الأخيرة للـ Metagenesis أو ترسبها أثناء هجرة الغاز و المواد الهيدروكربونية الخفيفة والتي يمكن أن تحصل خلال إحدى مراحل تكوين النفط أو هجرته الذي يؤدي إلى ترسب الإسفلتينات وهي ظاهرة يصعب تمييزها عن الشكل الطبيعي للإسفلتينات الناتجة عن تحول المادة العضوية الأولية. تأثير المياه المتحركة ذات المصدر السطحي وذلك عند ارتشاحها في الطبقة وملاستها للنفط. حيث تسبب غسل المواد الخفيفة بما يتناسب مع درجة انحلالها، مسببة انخفاض المواد الخفيفة البارافينية والعطرية وازدياد نسبة الإسفلتينات والمواد الثقيلة الموجودة في المكمن، وبالتالي ازدياد الوزن النوعي للنفط المتبقي. تأثير البكتريا الهوائية أو الكبريتية التي تحتويها المياه ذات المصدر السطحي أو الجوفي، الملازمة للمكامن النفطية حيث تهاجم هذه البكتريا بشكل رئيسي المواد الخفيفة، ولا بد هنا من الانتباه إلى أهمية المياه ذات المصدر السطحي بالمقارنة مع المياه الطبقيّة أو الجوفية، حيث تستطيع المياه المذكورة أن تمارس عملها بشكل جيد عندما تكون نسبة الأوكسجين فيها لا تقل عن (0.8 mg/l). وأن تكون حاوية على النتريت، كما وأن غياب H_2S يسمح للبكتريا الهوائية بنشاط فعال تساهم في تحول النفط الخفيف إلى الثقيل. وهنا يجب أن تكون درجة الحرارة لا تزيد عن (65 C) و أن هذه البكتريا قد استطاعت أن تخلص النفط الخفيف من المواد الأليفينية بشكل كامل خلال فترة (30 days) وذلك في الظروف المخبرية. الفصل الطبيعي للنفط عن مكوناته، بفعل الهجرة الطبيعية للنفط في الصخور الطبقيّة ذات المواصفات المختلفة، حيث تؤدي إلى تحرير الغاز والمواد الخفيفة وذات اللزوجة القليلة تاركة المواد الثقيلة تشكل ترسباتها أحياناً إغلاقاً جيداً يمنع استمرار هجرة الغاز والنفط إلى الأعلى.

3 . الخصائص العامة للنفط الثقيل (راجع كتاب الطالب ودليل المعلم)

المكامن البترولية - مكامن النفط

المكمن البترولي هو الصخر أو التكوين الذي يحتوي على النفط أو الغاز الطبيعي أو كليهما. والفرق بين المكمن البترولي والمصيدة البترولية هو أن المكمن يشكل جزءاً من طبقة صخرية واحدة. بينما تتكون المصيدة البترولية من عدة طبقات بعضها يحتوي على النفط أو الغاز، وبعضها يعمل على منع حركة النفط أو الغاز وإبقائه داخل المصيدة البترولية. والمكامن البترولية تصنف طبقاً لنوع المادة الهيدروكربونية التي تنتجها إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي مكامن النفط، ومكامن الغاز ومكامن الكثافة.

ما هو خام برنت؟

يستخدم خام برنت كمعيار لتسعير ثلثي إنتاج النفط العالمي، خاصة في الأسواق الأوروبية والإفريقية. لذلك فإن إشراف حقله على النضوب سيشكل مشكلة كبيرة للمتعاملين الذين بدأوا يبحثون عن بديل للتسعير. ويتكون "برنت" من مزيج نفطي من 15 حقلاً مختلفاً في منطقتي برنت ونيبيان في بحر الشمال، اللتين تنتجان نحو 500 ألف برميل يومياً. ويعتبر "برنت" من النفوط الخفيفة بسبب وزنه النوعي البالغ 38 درجة وانخفاض نسبة الكبريت التي تصل إلى 0.37 في المائة.



ما الفرق بين الاحتياطات والمخزونات ؟

"احتياطات" النفط تختلف عن "المخزون" الذي تذكره وسائل الإعلام عندما تتحدث عن التغير في أسعار النفط. فالاحتياطات بمعناها العام تمثل النفط الموجود في باطن الأرض الذي لم يستخرج بعد، بما في ذلك النفط الذي لم يتم اكتشافه. أما المخزون فهو نفط تم استخراجه ويمثل كميات النفط الخام والمشتقات النفطية التي تخزنها الشركات والحكومات لأهداف تجارية أو إستراتيجية. وعادة ما تؤثر تغيرات المخزون على أسعار النفط، بينما لا يوجد ارتباط مباشر بين الاحتياطات وأسعار النفط. وتقسم الاحتياطات إلى ثلاثة أنواع، احتياطات مؤكدة وهي كمية النفط التي تأكد وجودها علمياً ويمكن استخراجها خلال السنوات المقبلة بناء على التكنولوجيا والعوامل الاقتصادية السائدة حالياً، واحتياطات محتملة، واحتياطات ممكنة.

الحقول النفطية في الكويت

حقل برقان الكبير: يعتبر من أكبر الحقول النفطية في العالم، ويبدو التركيب الجيولوجي للحقل بأنه غير متماثل جيولوجياً حيث يميل جانبه الغربي بزاوية أقل من 2°، بينما يميل جانبه الشرقي حوالي 15°. ولقد تم حفر أول الآبار خلال الأعوام 1938، 1951 و 1952 على التوالي. وتوجد المصائد البترولية في تكوين وارة وتكوين برقان التابعين للعصر الطباشيري، وينتميان إلى مجموعة الواسع.

ويتكون حقل برقان الكبير من ثلاثة حقول كبيرة هي:

- ❖ حقل برقان: تركيبه الجيولوجي يشبه قبة بيضاوية، تبلغ مساحته 500 كم²، عدد آباره 460 بئراً، وتتخلل هذه القباب فوالق ثانوية يبلغ عددها حوال 30 فالقاً بخطوط مستقيمة وشعاعية، ويتراوح طولها ما بين 3 - 4 كم.
- ❖ حقل المقوع: تبلغ مساحته حوالي 186 كم²، ويميل في الاتجاه الشمالي الجنوبي وعدد آباره 17 بئراً، ويقع تركيب الموجود في حقل المقوع على عمق 150 متراً أعظم من قبة البرقان، ويتخلل الحقل حوالي 20 فالقاً ثانوياً تتراوح أطوالها من 3 - 6 كم باتجاه الشمال الغربي - الجنوبي الشرقي.
- ❖ حقل الأحمدى: تبلغ مساحته حوالي 144 كم²، 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. تنقسم مصادر المياه في دول مجلس التعاون الخليجي بشكل عام، والكويت على وجه الخصوص، إلى مجموعتين

أولاً: مصادر المياه الطبيعية التقليدية:

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



العذبة من دول الجوار الجغرافي. وتعتبر المياه الجوفية العذبة والقليلة الملوحة المصدر الطبيعي الوحيد للمياه في الكويت.

ثانياً: مصادر المياه البديلة (الاصطناعية):

الندرة المائية الطبيعية، والطفرة التنموية المعاصرة وما صاحبها من زيادة سكانية سريعة من ناحية ثانية، فرض ضرورة حتمية للبحث عن مصادر مياه بديلة ونظيفة لتأمين الاحتياجات المائية المتزايدة في الكويت بوتيرة متسارعة، وتتمثل المصادر البديلة للمياه في الكويت في مصدرين هما، المياه المحلاة، ومياه الصرف الصحي المعالجة. وهما مصدران يمكن تنميتها بصورة متواصلة وبالقدر المطلوب بعكس مصادر المياه الطبيعية التقليدية التي تتسم 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 الأمن 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%. وتتحصر موارد المياه في دولة الكويت فيما يلي: مياه عذبة منتجة من البحر باستخدام طرق التحلية، المياه الجوفية العذبة قليلة الملوحة، مياه الأمطار، 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 تحت سطحية على درجة عالية من النفاذية بما يكفي لنقل المياه. تتكون مياه الرشح الجوفي من تساقط الغلاف الغازي، وهناك مياه جوفية مصدرها التكاثف تتواجد في الجهات الصحراوية.

مصادر المياه الجوفية:

1. الأمطار التي تخترق التربة بواسطة مسامات وشقوق التكوينات الصخرية ثم تصل إلى خزانات المياه الجوفية.
2. مياه البحيرات والأنهار والخزانات التي تنفذ خلال التربة وتصل إلى خزانات المياه الجوفية.
3. الرشح المتبقي من فائض مياه الري من القنوات يعتبر مصدراً صناعياً مغنياً 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 ممراً للتساقط الذي يترشح ويهبط إلى مستويات أكثر انخفاضاً.



❖ **نطاق الجاذبية الشعرية:** يقع بين أعلى مستوى للمياه الجوفية وأكثر مستوى انخفاضاً 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

أ. 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 والبنائات. 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 أغشية نباتية يكون قليلاً ويعود سبب التذبذب في مواسم نمو النباتات إلى الفوائد الناتجة عن التبخر النتح. 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.



ب. 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 الاصطناعية للمياه الجوفية كحقن المياه إلى الطبقات المائية بواسطة آبار الحقن يعمل على رفع مستوى المياه الجوفية. يتحكم في تجميع 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 أفاق 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 المستديرة 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 وتختفي 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. تقدر الطاقة الإنتاجية لحقل الروضتين بحوالي مليون جالون يوميا في الحالات العادية، ويمكن زيادة الإنتاج إلى مليونين ونصف جالون يوميا عند الحاجة لمدة تتراوح بين 10-15 يوما بحد أقصى ثلاث مرات سنويا حفاظا على المياه الجوفية في الحقل.

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 الصلْبوخ.

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 الأحمد، حيث يقع على عمق 6 أمتار في محجر الأحمد، 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.

