جامعة الموصل/
كلية علوم البيئة وتقناتها/
قسم علوم البيئة

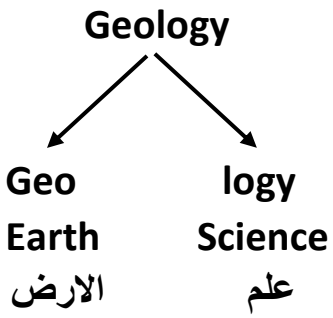
الجيولوجيا العامة
General Geology
المرحلة الاولى

د. محمد وليد

General Introduction مقدمة عامة

علم الارض: هو العلم الذي يختص بدراسة تكوين الأرض و تاريخها وتركيبها و حياة نباتاتها و حيواناتها القديمة ومواردها وتضاريسها والعمليات الطبيعية التي اثرت على الارض وانواع المعادن والصخور والبيئات التي نشأت فيها.

و الجيولوجيا كلمة مشتقة في الاصل من اللغة اليونانية، و هي مكونة من مقطعين الاول (Geo) معناه الأرض، والثاني (logy) معناه العلم



نشأة علم الارض عبر التاريخ

يعود تاريخ الجيولوجيا إلى حوالي أكثر من ألف سنة قبل الميلاد؛ حيث اعتبَر البابليون مَنشَأ العالم (الأرض) من الماء، كما أوردَت الأساطير المصرية نصًّا يشير إلى أن الماء (المحيط) هو أصل العالم.
منذ نشأة البدايات الأولى لعلوم الأرض، كان الشغل الشاغل للمهتمين بهذه العلوم هو التفكيرَ في الطبيعية والظواهر الأرضية، لكن هذه البدايات كان يغلب عليها الخلط بينها وبين الخرافات والأساطير منذ عصور ما قبل التأريخ. وكان حوض البحر المتوسط منطقة نموذجية لملاحظة ظاهرتين؛ هما الزلازل والبراكين، وما يصاحبهما من تغيرات سريعة وواضحة على سطح الأرض.

وكان الإغريق هم أولَ مَن أثرى العالم الحديث بالنظريات الجيولوجية المحددة؛ إذ إن الأساطير الإغريقية التي ردَّدها هوميروس **Homer** سنة 900 قبل الميلاد، التي كانت تشير إلى مفهوم الإغريق آنذاك عن شكل الأرض - لا تختلف كثيرًا عن المفاهيم الشائعة لدى شعوب البحر المتوسط في هذه الأيام.

وقام العلماء والمفكرون والفلاسفة الإغريق بتسجيل الملاحظات الكثيرة عن نشوء الأرض وشكلها ومكوناتها وبداية الحياة عليها مثل زينوفانس **Xenophanes** (600 ق.م) وزانثوس **Xanthus** وهيرودوتس **Herodotus** (485 - 424 ق.م) وأرسطو **Aristotales** (380 - 322 ق.م) الذي يعتبر أول مفكِّر إغريقي يثبت كرويَّة الأرض، بالإضافة إلى ملاحظة واهتمام العالم اليوناني ثيو فراست الذي ألف أول كتاب في الجيولوجيا وأسماه "كتاب الصخور." أما فلاسفة الرومان فقد اهتمُّوا أيضًا بالعلوم الطبيعية وتأثروا بالإغريق.

وتطوَّر تاريخ علم الأرض - على الأغلب - في بداية القرن التاسع، وحتى القرن الحادي عشر الميلادي على يد علماء وروَّاد عصر الحضارة الإسلامية. وبكل فخر يمكننا القول: إنَّ ابن سينا (980 - 1038م) هو المؤسس الرئيس للجيولوجيا عند العرب المسلمين. اذ تناول ابن سينا كثيرًا من آرائه الجيولوجية في كتابه "الشفاء" في الجزء الذي سماه "المعادن والآثار العلوية." اما البيروني فقد كان أحد العلماء الذين ازدهرت بهم الحضارة الإسلامية، والذي نبغ في علم المعادن والصخور في كتابه" الجماهر في معرفة الجواهر."

لقد تناولت كتاباتُ العرب فروعًا مختلفة للجيولوجيا، مثل :علم المعادن، علم الأحجار الكريمة، وعلم الصخور، كذلك كتَبوا في الجيولوجيا الطبيعية، علم البحار، وعلم الحفريات، وقاموا بعدد من عمليات المساحة الأرضية، ورسم الكثير من الخرائط التوضيحية، كما اهتم العرب بصناعة التعدين واستغلال الخامات، وكتاباتهم وإن كانت متفرقة ومنتشرة في عدد ضخم من المراجع والمجلدات تحت أسماء وعناوين مختلفة على مدى نحو ستة قرون من الزمان، إلا أنها في مجموعها تدل على فَهم واعٍ بأهم القواعد والمبادئ الرئيسية لعلوم الأحجار والأرض.
وقد ساهم في وضع هذا التراث الزاخر نفرٌ من عباقرة الإسلام، بل عباقرة العالم الأفذاذ، وإن كان كل منهم قد صال وجال في ميادينَ أخرى للعلوم، شأنهم في ذلك شأن علماء ذلك العصر؛ فقد كان تفوقهم في علوم الأرض على مستوى تفوقهم ونبوغهم في العلوم الأخرى، ومن بين هؤلاء الأعلام: الكندي، المسعودي، البيروني، ابن سينا، الإدريسي، ابن خلدون، ابن ماجد، ابن الشاطر... وآخرون، إلا أننا نعتبر هؤلاء المشاهير الذين ذكَرناهم مؤسِّسي علم الجيولوجيا عند العرب.

اهم فروع علم الجيولوجيا:

1- علم البلورات	Crystallography
2- علم المعادن	Mineralogy
3- علم الصخور	Petrology
4- علم المتحجرات	Paleontology
5- علم الطبقات	Stratigraphy
6- علم الجيولوجيا التركيبية	Structural Geology
7- علم الجيوكيمياء	Geochemistry
8- علم الجيوفيزياء	Geophysics

9- علم الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology
10- الجيولوجيا الاقتصادية Economic Geology
و تشمل فرعين اساسيين هما:
- جيولوجيا النفط Petroleum Geology
- جيولوجيا التعدين Mining Geology
11- علم المياه والموائع Hydrology
12- علم الزلازل Seismology
13- علم البراكين Volcanology
14- علم الجيومورفولوجي Geomorphology
15- علم الجيوديسيا Geodesy
16- علم الجيولوجيا العسكرية Military Geology
17- علم الجيولوجيا الجنائية Forensic Geology
18- الجيولوجيا البيئية Environmental Geology

يعد هذا الفرع احد علوم الجيولوجيا التي اكتسبت اهمية كبيرة في السنوات والعقود الاخيرة و ذلك لاهمية علم الجيولوجيا في فهم و تفسير بعض اسباب التلوث وايجاد اهم الحلول للحد منها و معالجتها.

اهمية علم الجيولوجيا

تلعب الجيولوجيا (علوم الأرض) دورًا هامًّا في معظم ميادين الحياة الاقتصادية؛ حيث تعتمد تنمية المجتمعات على تطبيقات فروع هذا العلم في مجالات الحياة المختلفة، وأصبح يُسهِم في خدمات عديدة، نوجز بعضها فيما يلي:

1- البحث عن مصادر الطاقة، كالبترول والغاز الطبيعي والفحم والمواد النووية، والعمل على استخراجها واستغلالها.
2- الكشف عن خامات المعادن، والتوسع في إنتاج الخامات المعدنية المختلفة.
3- استكشاف المياه الجوفية كمصادرَ إضافية لمياه الريِّ والشرب و اغراض الري.
4- المساهمة في حماية البيئة.
5- اختبار مدى صلاحية المواقع المختارة لإقامة المشروعات الهندسية العملاقة؛ كالسدود والجسور والأنفاق، والأبنية الضخمة والأبراج والمدن.
6- تحديد الأماكن للمواد الأولية للبناء مثل الرمل والحصى والحجر الجيري والرخام.
7- دارسة الكوارث الطبيعية ومعرفة اسبابها وطرق الوقاية منها للحد من اثارها السلبية مثل الزلازل والبراكين والانزلاقات الأرضية وتصدع الأبنية.

جامعة الموصل/
كلية علوم البيئة وتقناتها/
قسم علوم البيئة

الجيولوجيا العامة
General Geology
المرحلة الاولى

د. محمد وليد

نشوء الكون والأرض

لفهم كيفية تكون كوكب الارض لابد من فهم كيفية تشكل الكون بشكل عام، فالارض ليست وحدها في هذا الكون الشاسع وانما هي جزء منه، ولطالما شغل سؤال كيفية تشكل الكون و الارض تفكير العلماء و المفكرين، ولفهم ذلك فقد وضعت العديد من الفرضيات و النظريات من اهمها فرضية الفيلسوف الالماني كانت Kant Hypothesis 1775 وهو اول من وضع اسس النظرية السديمية (Nebular Theory)، وفرضية عالم الرياضيات الفرنسي لابلاس Laplace Hypothesis عام 1796، وفرضية العالم الجيولوجي تشمبرلين Chemberlin في بدايات القرن العشرين، وفرضية المد الغازي (Gaseous Tidal Hypothesis) من قبل العالمين جينس و جيفريس J. Jeans & H. Jeffries عام 1917، وفرضية النجوم المزدوجة للعالم فريد هويل Fred Hoyle. ان جميع الفرضيات السابقة لم تحضى بدعم و اجماع العلماء عليها كونها لم تجيب عن معظم تساؤلات العلماء حول كيفية نشوء الكون، الى ان ظهرت النظرية الحديثة وهي ما تعرف بنظرية الانفجار العظيم (Big Bang)

نظرية الانفجار العظيم Big Bang Theory

الانفجار العظيم هي أحد أهم نظريات نشأة الكون، ظهرت في العشرينيات من القرن الماضي، واستغرق بناؤها أكثر من أربعة عقود. وعلى عكس جميع النظريات الأخرى ما زالت تلقى قبولا واسعا لدى العلماء. يعود تأسيسها للعالمين الروسي ألكسندر فريدمان والبلجيكي جورج لوماتر. وكان اسمها في بداياتها "الذرة البدائية". و لكن في عام 1950 اطلق اسم الانفجارالعظيم او الـ Big Bang من قبل فراد هويل، عالم الكونيات الإنجليزي وأحد مؤسسي نظرية أخرى للكون تسمى نظرية الحالة. وكان هويل أبرز المشككين في نظرية الانفجار العظيم، لذلك أطلق عليها في تصريح إذاعي سنة 1950 اسم الـ"بيغ بانغ" أو الانفجار العظيم استهزاء بها، وهو الاسم الذي اشتهرت به فيما بعد.

وحسب هذه النظرية، فقد نشأ الكون قبل حوالي 13.8 مليار سنة. في تلك اللحظة كان الكون "نقطة تفرد" ذات كثافة عالية جدا وحرارة تفوق الخيال، وهي ظروف لا تنطبق فيها قوانين الفيزياء. ويعود ذلك إلى أن القوى الطبيعية الأساسية الأربعة المعروفة -وهي قوى: الجاذبية والكهرومغناطيسية والنووية الكبرى والنووية الصغرى- كانت كلها متحدة ضمن قوة أساسية واحدة.

وتقول النظرية إنه بعد عدة ثواني انخفضت الحرارة بانخفاض كثافة الطاقة إلى درجة مكنت قوة الجاذبية من الانفصال عن بقية القوى. وبداية من هذه اللحظة أصبح بإمكان الفيزياء أن تقدم تفسيرا للأحداث المتعاقبة التي تلت اللحظة الصفر بالاعتماد على نظرية النسبية العامة بالنسبة للجاذبية، وعلى الفيزياء الكمية بالنسبة لبقية القوى التي ما زالت متحدة. وفي هذه المرحلة المبكرة لم يحتو الكون على المادة المعروفة بل كانت مكوناته

عبارة عن جسيمات وجسيمات مضادة تنشأ من الفراغ وتندثر بسرعة. وبعد تواصل انخفاض الحرارة ووصولها لمستوى مكن من انفصال قوة أساسية أخرى وهي القوة النووية الكبرى، رافق ذلك تدفق هائل للطاقة بدأت معها مرحلة التضخم، اذ تمدد الكون خلالها بسرعة فائقة. وقد مكنت هذه الطاقة التي امتصتها الجسيمات المضادة من تغيير شكل هذه الأخيرة -دون أن تندثر- إلى أشكال معروفة من المادة كالإلكترون والنوترينو والكوارك.

وبعد جزء من المليون جزء من الثانية اتحدت الكواركات مع بعضها بفعل القوة النووية الكبرى في شكل مجموعات من كواركين أو ثلاثة مكونة البروتونات والنيترونات .وبعد أقل من مائة ثانية بدأ التخليق النووي الابتدائي لتتشكل نوى العناصر الخفيفة كالهيليوم والليثيوم. غير أن أولى الذرات لم تتكون إلا بعد 380 ألف سنة من عمر الكون عندما نزلت درجة الحرارة إلى 3000 كلفن. بدى الكون في أولى مراحل نشأته مليئا بسحابات الهيدروجين والهيليوم الموزعة في أرجائه الواسعة والتي نشأت منه المجرات فيما بعد، ثم تكونت النجوم والكواكب (من خلال قيام قوة الجاذبية بإحداث اضطرابات على هذه السحب مما ادى الى تفتيتها إلى شظايا صغيرة، لتنهار حول بعضها مكونة أجساما أكبر شيئا فشيئا، لتشكل أولى النجوم و الكواكب بعد حوالي 100 مليون سنة من بداية الكون). ومنذ ذلك الحين كان الكون وما زال في حالة تمدد وتوسع، وبذلك فان الانفجار العظيم أدى ليس فقط إلى ظهور جزيئات ذرية جديدة بل إلى وجود مفهومي الزمان والمكان اللذين كان يستحيل الحديث عنهما قبل المادة.

الدلائل الداعمة لهذه النظرية

هناك ظاهرتان اساسيتان تشيران الى صحة هذه النظرية:

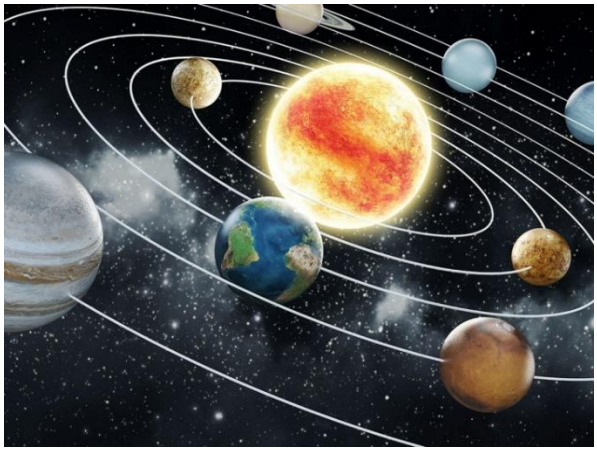
الاولى: الاتساع المستمر للكون، ففي كل مكان من الكون هناك مجرات Galaxies تتباعد عن بعضها و بسرعات هائلة، وبامكان العلماء حساب الفترة الزمنية الماضية التي كانت فيها هذه المجرات متحدة في نقطة واحدة.

الثانية: الخلفية الاشعاعية Background Radiation، التي تنتشر في الكون برمته، اذ يعتقد انها الوميض الخافت الذي اعقب الانفجار العظيم.

مجرة درب اللبانة و نظامنا الشمسي (Milky Way and our Solar System):

عندما بلغ الكون خمس حجمه الحالي تشكلت المجرات الفتية (Galaxies Young). وعندما بلغ الكون نصف حجمه الحالي تكونت المجاميع الشمسية (Solar Systems) التي تتكون من نجم يدور حوله عدد من الكواكب في مدارات خاصة بكل كوكب، أما مجرتنا المسماة بدرب اللبانة (Milky Way) فقد تكونت بعد (10 بليون) سنة من حدوث الانفجار العظيم، عندما كان حجم الكون ثلثي حجمه الحالي، وهي عبارة عن قرص مفلطح من النجوم والغاز والغبار الكوني ولها ذراعين حلزونيين، تحتوي مجرة درب التبانة على (100000) مليون نجمة مختلفة الحجم والبريق، واحدة من هذه النجوم هي الشمس التي هي عبارة عن نجم متوسط الحجم ومعتدلة البريق. اما فيما يخص مجموعتنا الشمسية فتقع في حافة مجرة درب اللبانة، التي تتكون من الشمس و(8) كواكب (Planets) و(61) قمر (Moons) وأكثر من (1500) كويكب (Planetoid) وعدد لا يحصى من المذنبات (Comets) والنيازك (Meteorites).

كواكب المجموعة الشمسية:



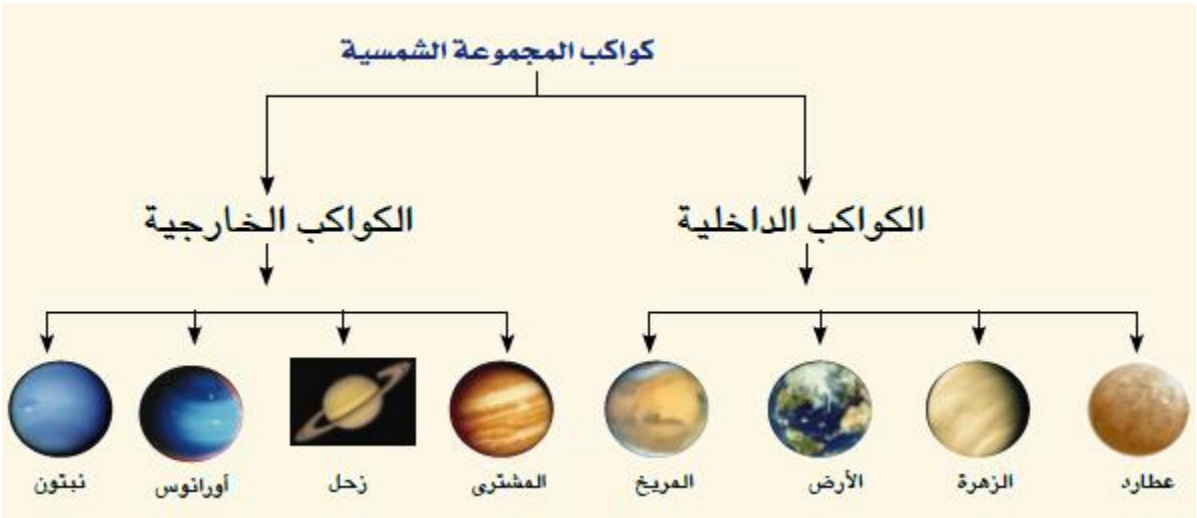
تقسم الكواكب في مجموعتنا الشمسية الى مجموعتين اساسيتين حسب بعدها او قربها من الشمس، وهي مجموعة الكواكب الداخلية ومجموعة الكواكب الخارجية:

اولا: الكواكب الداخلية (Inner Planets)

وهي الكواكب القريبة من الشمس، والتي تكون صغيرة وذات معدل كثافة عالية ومكونة غالباً من عنصري السليكا والحديد، أي أنها مكونة من مواد صخرية. تمتاز هذه الكواكب بوجود نشاط حراري داخلي والذي يؤدي بدوره إلى حدوث نشاط تكتوني (حركي) على سطحها يتمثل بتكون الجبال والبراكين والزلازل. وهي متمثلة بعطارد (Mercury) والزهرة (Venus) والمريخ (Mars) والأرض.(Earth)

ثانيا: الكواكب الخارجية (Outer Planets)

وهي الكواكب البعيدة عن الشمس، والتي تكون أما كبيرة وذات معدل كثافة واطئ ومكونة غالباً من غازات الهيدروجين والهليوم والأوكسجين بالاضافة الى مركبات متجمدة كالامونيا والميثان. تمتاز هذه الكواكب بعدم وجود نشاط حراري داخلي وبالتالي فان سطحها يكون خالياً من النشاطات الحركية. وهي متمثلة بالمشتري (Jupiter) وزحل(Saturn) ويورانوس (Uranus) ونبتون (Neptune) وبلوتو (Pluto).



شكل يوضح تقسيمات كواكب المجموعة الشمسية حسب قربها وبعدها من الشمس

تشكل الارض والقمر/

حسب النظريات فان الأرض تكونت في بداية تشكل المجموعة الشمسية قبل 4.6 مليار سنة ، كانت الأرض عبارة عن حمم بركانية ملتهبة وكتل صخرية، و لم تكن تمتلك قمرا يدور في مجال جاذبيتها اصطدم فيها فيما بعد كوكب أولي يسمى ثيا بحجم المريخ قاذفا كتل صخرية بكميات كبيرة بعيدا عن الأرض منها ما خرج من مجال جذبها لتسبح في الفضاء ومنها ما بقي في مجال جذبها ليشكل القمر فيما بعد سابحا في مدار الأرض. هذا الاصطدام أدى كذلك إلى ميل محور دوران الأرض بزاية قدرها 23.5 درجة، وهذا الميل يساهم بدوره بتشكيل الفصول الأربعة على سطح الأرض. ومن اهم الادلة على ان القمر هو جزء من الارض هو أن نسبة نظائر الأكسجين على القمر مطابقة لنسب نظائر الأكسجين على الأرض جوهريًا. بعدها مرت الارض و على مدى ملايين السنيين من تاريخها بسلسلة من التغيرات الداخلية والخارجية والتي ادت بالنهاية الى تشكل الارض بشكلها الحالي و المميز باغلفته الداخلية والخارجية.

اغلفة الارض الخارجية/

بعد تشكل الارض بدأت مكوناتها المختلفة بالبرودة التدريجية كما ساعدت عملية دوران كوكب الأرض حول محوره على ترتيب المواد المكونة لها في صورة نطاقات أو أغلفة ، وهكذا اتجهت المواد الثقيلة الوزن ذات الكثافة العالية نحو مركز الأرض، بينما تمركزت المواد الخفيفة الوزن ذات الكثافة العالية في الأجزاء العليا من الكرة الأرضية وهكذا، إضافة إلى عمليات البرودة التدريجية والمؤثرات الخارجية مما ادى إلى تشكيل الأرض في صورة أغلفة كبرى يتألف منها كوكب الأرض.

شكل يوضح اغلفة الارض الاساسية الغلاف الجوي والغلاف الغازي والغلاف الصخري والغلاف الحيوي

اولا: الغلاف الصخري: Lithosphere

وهي الجزء الرقيق من طبقات الأرض، وتبلغ سماكتها تحت اليابسة من 35 إلى 40 كم تقريبا، وتحت قمم الجبال العالية مثل جبال الهملايا والألب والأنديز تبلغ سماكة تقريبية حوالي 70 كم، وتحت المحيطات تبلغ سماكة القشرة الأرضية حوالي 5 كم على الاكثر، ويغطي القشرة المحيطية طبقة من ماء المحيط يبلغ متوسط عمقها حوالي 4 كم. وتنقسم القشرة إلى قسمين هما القشرة المحيطية والقشرة القارية .

ثانيا: الغلاف المائي: Hydrosphere

ويتكون من مياه البحار والانهار والمحيطات والكتل الجليدية و المياه الجوفية، ومن المعروف ان المسطحات المائية تمثل (70.8%) من المساحة الإجمالية لسطح الكرة الأرضية، في حين لا تزيد مساحة اليابسة عن (29.2%) من مساحة الأرض والتي تقدر بـ (510) مليون كم2. ويختلف نوع المياه من مكان لآخر، وذلك تبعاً لكمية الأملاح المذابة، فغالبية مياه الأنهار عذبة، بينما مياه البحار والمحيطات تكون مالحة.

ثالثا: الغلاف الحيوي Biosphere

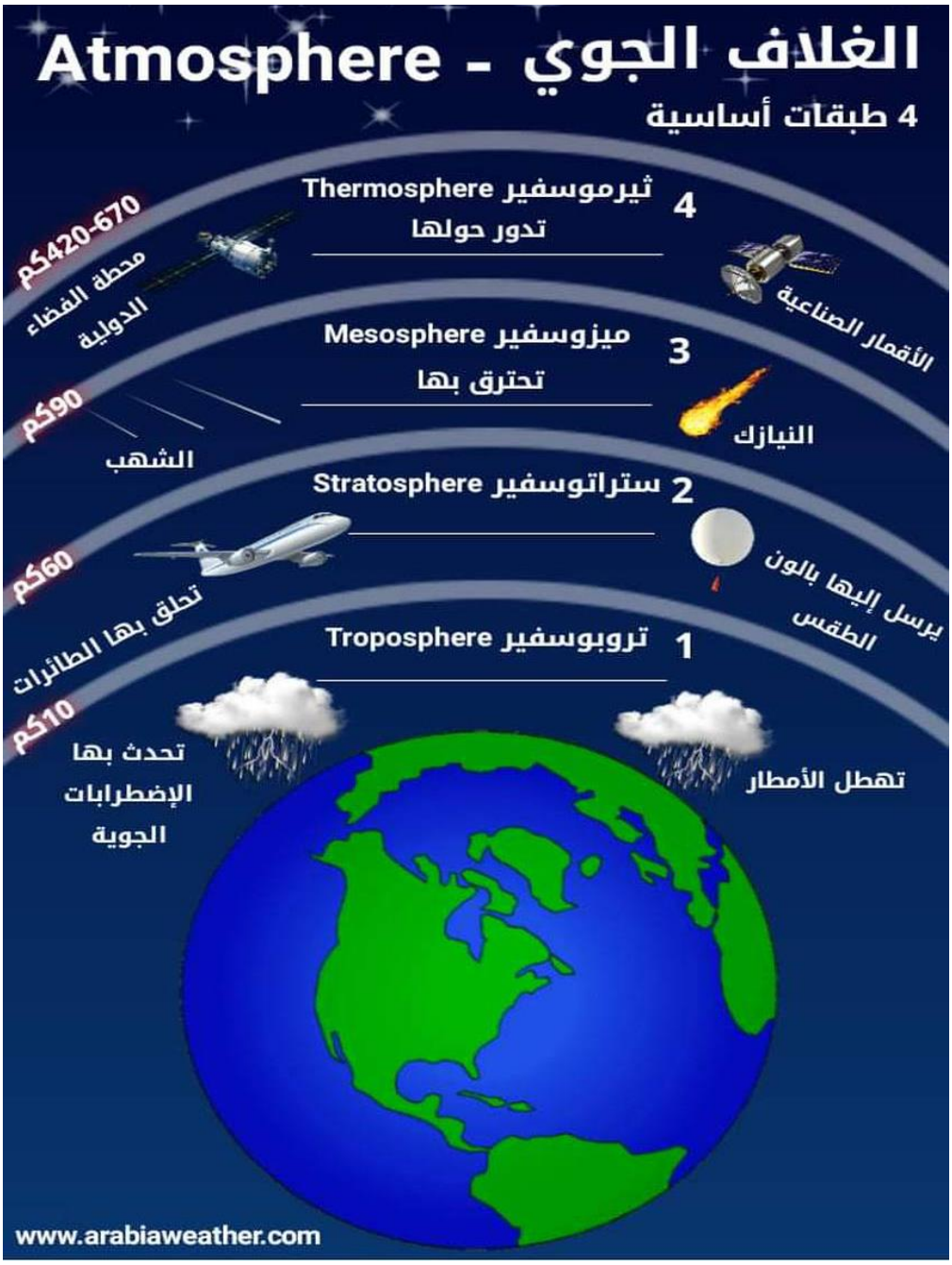
يشمل هذا الغلاف العدد الهائل من مجموعة الكائنات الحية من حيوانات ونباتات والتي تغطي مساحات شاسعة من اليابسة، كما توجد داخل المياه كالاعشاب البحرية و الاحياء المايكروسكوبية وكذلك في الهواء وهي تلعب دورا مهما في بعض العمليات الجيولوجية كدورها في تكوين بعض انواع الصخور الرسوبية بالاضافة لدورها في عملية التعرية.

رابعا: الغلاف الغازي او الجوي: Atmosphere

يتكون من خليط من غازات تحيط بالكرة الأرضية مجذوبة إليها بفعل الجاذبية الأرضية. ويحتوي على 78.09% من غاز النيتروجين (N_2) و20.95% أوكسجين (O_2) و0.93% آرغون (Argon) و 0.04% من كل من ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) وبخار الماء، والهيدروجين (H)، والهيليوم (Helium)، و الكربتون (Krypton) ونيون (Neon)، وزينون (Xenon). ويحمي الغلاف الجوي الأرض من امتصاص الأشعة فوق البنفسجية ويعمل على اعتدال درجات الحرارة على سطح الكوكب.

يعتبر الغلاف الجوي مستودعاً كبيراً للمياه يستخدم لنقل الماء حول الأرض، إذ يصل حجم الماء الموجود في الغلاف الجوي إلى حوالي 12.900 كيلومتر مكعب يتساقط معظمها على شكل أمطار في المحيطات والبحار حيث أنه إذا حدث وسقطت كل المياه الموجودة في الغلاف الجوي في آن واحد كأمطار فإنها ستغطي الكرة الأرضية بعمق يصل إلى 2.5 سم. ويقدر ثقل السحب التي يحتويها بآلاف المليارات من الأطنان.

يتكون الغلاف الجوي للارض من اربعة طبقات اساسية هي التروبوسفير والستراتوسفير والميزوسفير والثيرموسفير



شكل يوضح طبقات الغلاف الجوي الاساسية الاربعة

جامعة الموصل/
كلية علوم البيئة وتقناتها/
قسم علوم البيئة

الجيولوجيا العامة
General Geology
المرحلة الاولى

د. محمد وليد

Earth's Interior باطن الارض

درس العلماء التركيب الداخلي للارض من السطح الى المركز وقاموا برسم نموذج لباطن الارض من خلال المعلومات التي حصلو عليها من مشاريع الحفر العلمية، وحفر ابار النفط العميقة، الا ان هذه الابار لم تصل الى عمق مركز الارض البالغ حوالي 6371 كم، اذ ان اعمق الابار المحفورة لا يتجاوز عمقها الـ 19 كيلومتر، لذا لجأ العلماء الى استخدام الطرق الزلزالية التي قام بها علماء الجيوفيزياء من خلال احداث هزات ارضية ينتج عنها امواجا صوتية زلزالية قد تصل الى عمق 700 كم داخل الارض. تتغير سرعة هذه الامواج واتجاه حركتها اثناء مرورها بمواد مختلفة في نوعها ومن خلال حساب الفرق في سرعة انعكاس هذه الامواج استدل العلماء على التقسيمات الباطنية للارض و هي: **القشرة (Crust) والجبة او الوشاح (Mantle) واللب (Core).**

اولاً: القشرة Crust

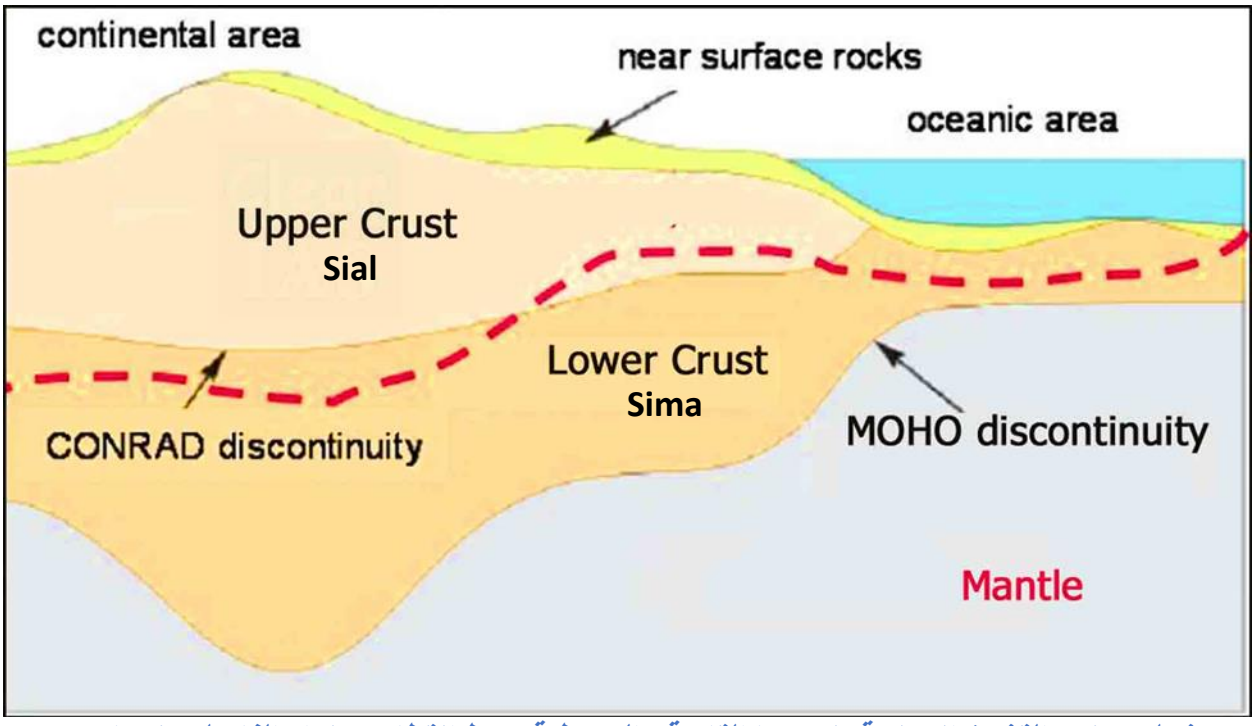
تمتد من السطح الى خط انقطاع موهو او لا استمرارية موهو (Moho discontinuity) الفاصل بين القشرة و الوشاح على عمق متفاوت بمعدلات 30 – 50 كم تحت المناطق القارية و حوالي 10 – 12 كم تحت المناطق المحيطية. لذلك تقسم القشرة الى نوعين: قارية و محيطية.

1- القشرة القارية Continental Crust

تلي الصخور الرسوبية وتتكون من طبقتين العليا تتالف من الصخور الكرانيتية الحامضبة و تسمى بطبقة السيال (Sial) وهي مختصر للعنصرين الاساسين الذين يكونان صخور الكرانيت وهما السيليكون والالمنيوم، وتمتد الى عمق 10 – 15 كم، تليها الطبقة السفلى المكونة من الصخور البازلتية القاعدية تسمى سيما (Sima) و هي مختصر للعنصرين الاساسين اللذين يكونان صخرة البازالت و هما السيليكون والمغنيسيوم، تمتد الى عمق 30 – 50 كم تحت سطح الارض. و هي ذات وزن نوعي اعلى من الطبقة الاولى، ويفصل بين طبقتي السيال و السيما خط انقطاع كونراد (Conrad discontinuity).

2- القشرة المحيطية Oceanic Crust

تتكون من طبقة رقيقة وحديثة من الصخور الرسوبية تليها طبقة من صخور البازالت اي انها تتكون من الطبقة السفلى فقط (طبقة السيما) وتنعدم فيها طبقة السيال.



شكل يوضح القشرة الارضية بنوعيها القارية والمحيطية وخط انقطاع كونراد الفاصل بينهما علاوة عن خط انقطاع موهو الفاصل بين القشرة والوشاح

ثانياً: الجبة او الوشاح Mantle

تمتد من اسفل القشرة اي تحت خط انقطاع موهو والى خط انقطاع الجبة/اللب على عمق 2900 كم ويبلغ سمكا حولي 2850 كم. يتكون الوشاح بصورة رئيسية من سليكات الحديد والمغنيسيوم ويقسم الوشاح لى ثلاثة اقسام:

1- الوشاح العلوي Upper Mantle

تقع تحت القشرة مباشرة و تمتد الى عمق 400 كم تحت سطح الارض

2- النطاق الانتقالي Transition Zone

يقع بين الوشاح الاعلى والوشاح الاسفل بين 400 – 660 كم.

3- الوشاح السفلي Lower Mantle

تمتد بين عمق 660 – 2900 كم، الى خط انقطاع الوشاح / اللب اي الحد الفاصل بين الوشاح واللب.

ثالثا: اللب Core

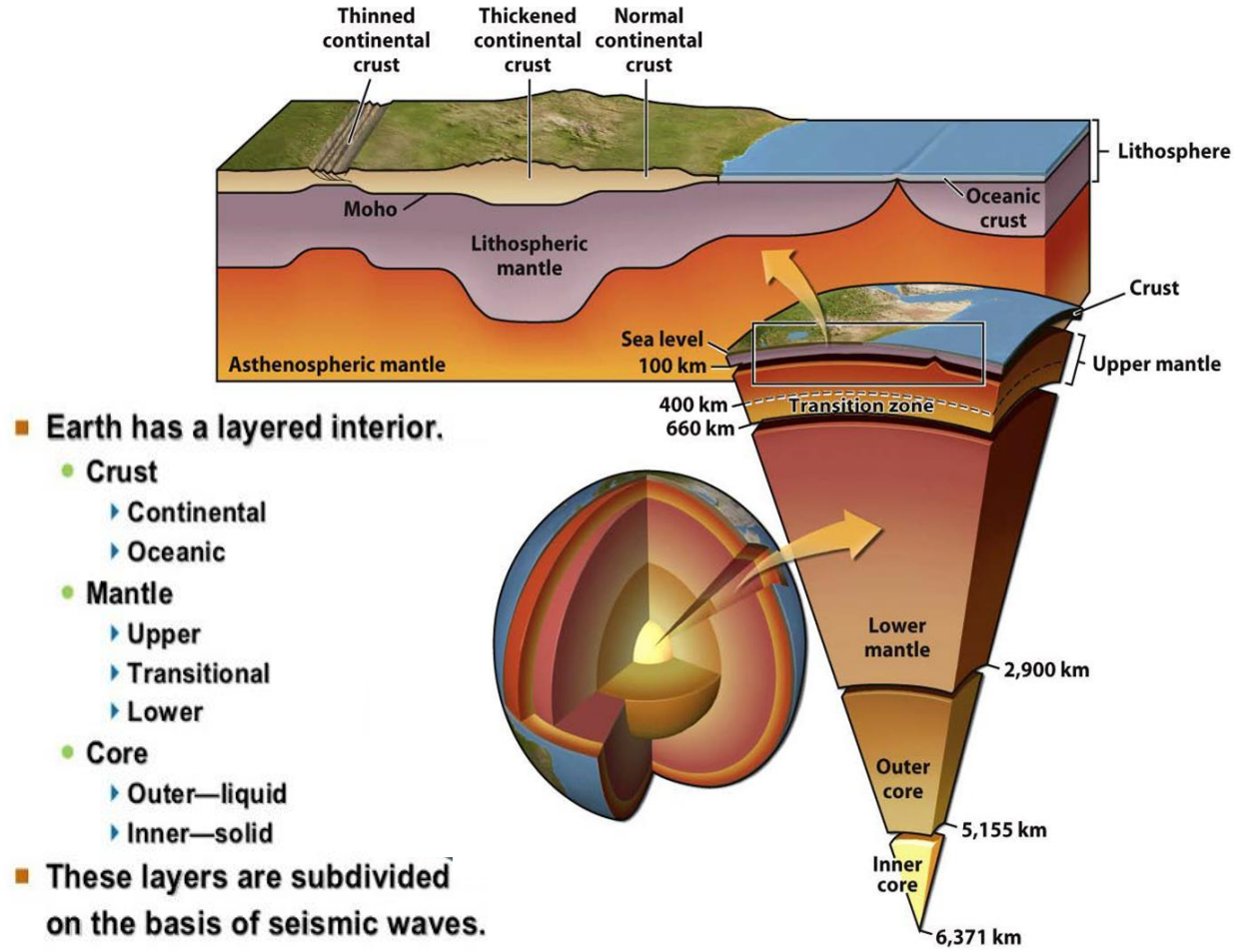
يمتد من اسفل الوشاح الى مركز الكرة الارضية عند عمق 6371 كم. ويبلغ نصف قطر الكرة التي تمثل اللب 3471 كم، و تقدر درجة حرارة اللب بحوالي 4000 درجة سيليزية. و يقسم اللب الى قسمين:

1- اللب الخارجي Outer Core

يمتاز بكونه في حالة سائلة و يتكون من فلزي الحديدي والنيكل مع الكبريت. ويمتد بين 2900 كم و 5155 كم.

2- اللب الداخلي Inner Core

يمتاز بكونه في حالة صلبة ويتكون من فلزي الحديدي والنيكل، ويمتد بين 5155 كم و 6371 كم.



شكل يوضح التركيب الداخلي لباطن الارض (طبقات الارض)

مكونات القشرة الارضية

القشرة عموما عبارة عن طبقة رقيقة خارجية تحيط بالكرة الارضية كغطاء من المواد الرسوبية مع طبقات صخرية اخرى تقع الى الاسفل منها، عند تفحص قشرة الارض التي نقف عليها فان اكثر المواد التي نجدها هي الصخور، اما التربة والرمال والحصى والنباتات وغيرها فانها لا تشكل سوى غطاء رقيق قياسا بقطر الارض البالغ 12742 كم. يتكون الجزء الخارجي من الارض من صخور نارية متحولة بنسبة عالية جدا (95%) مع غطاء رقيق من الصخور الرسوبية بنسبة (5%) يتالف من الصخور الطينية من نوع الطفل (Shale) نسبة (4%)، و حجر الرمل (Sandstone) نسبة (0.75%) والباقي (0.25%) من الحجر الجيري (Limestone)

العناصر الكيميائية المكونة للقشرة الارضية

تتكون قشرة الارض من 8 عناصر كيميائية اساسية هي الاوكسجين و السيليكون والالمنيوم والحديد والكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم. وتشكل بمجموعها (98.5%) وزنا تقريبيا بينما العناصر الباقية الاقل تركيزا وهي عناصر ثانوية تشكل بمجموعها (1.5%) كما موضح بالجدول:

Element	Wt%	Element	Wt%
O	46.6	K	2.6
Si	27.7	Mg	2
Al	8.13	Sum	98.5
Fe	5		
Ca	3.6	Others	1.5
Na	2.8	Total	100

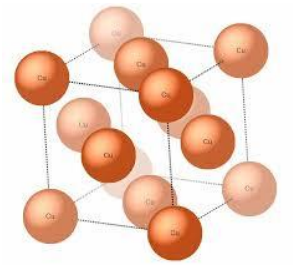
بسبب خاصية السالبية الكهربائية (Electronegativity) العالية للاوكسجين فضلا عن نسبته العالية في مكونات القشرة لذا فان الاوكسجين هو العنصر السالب الاكثر ميلا او الفة للاتحاد مع بقية العناصر الموجبة المذكورة لتكوين الاكاسيد (Oxides) وعلى هذا الاساس نفضل كتابة مكونات المعادن والصخور عند تحليلها كيميائيا لدى الجبولوبين على شكل اكاسيد. وعند ذلك فان كتابة مكونات القشرة على شكل اكاسيد ستعطي صورة اوضح خاصة اذا ما علمنا ان الاكاسيد تمثل وحدة بناء المعادن كما سيتم توضيحه لاحقا في فصل المعادن والجدول التالي يبين نسب الاكاسيد الرئيسية المكونة للقشرة الارضية:

Oxides	Wt%	Oxides	Wt%
SiO_2	59.07	**H_2O**	1.30
Al_2O_3	15.22	**CO_2**	0.35
Fe_2O_3	3.10	**TiO_2**	1.03
FeO	3.71	**P_2O5**	0.30
MgO	3.45	**MnO**	0.11
CaO	5.10	**Others**	0.44
Na_2O	3.71		
K_2O	3.11	**Total**	100

جامعة الموصل/
كلية علوم البيئة وتقناتها/
قسم علوم البيئة

الجيولوجيا العامة
General Geology
المرحلة الاولى

د. محمد وليد



البلورات Crystals

تعريف البلورة Crystal: هي جسم هندسي صلب تترتب ذراته الداخلية بشكل منتظم وتحده من الخارج اسطح مستوية ذات اشكال هندسية منتظمة تعرف بالاوجه البلورية.

يرجع تاريخ تسمية مصطلح البلورة الى قدماء الاغريق، عندما لاحظوا وجود معدن يعرف حاليا بالكوارتز محاطا باوجه مسطحة وشفافة فاعتقدوا بانه قطعة متجمدة من الماء بدرجة حرارة واطئة جدا فاطلقوا عليه بلغتهم اسم (Kristallos) وتعني باليونانية الثلج الصافي او الشفاف (Clear Ice) ثم تطور المصطلح لاحقا الى (Crystal).

وتنشأ البلورات من تصلب (تبلور) المعدن من الحالة الغازية او السائلة في حالة كون المعدن ناري المصدر او نتيجة للترسيب الكيميائي من المحاليل المائية في حال كون المعدن رسوبي المصدر. وعادة يكون لكل معدن شكل بلوري خاص به ويميزه، ولكن في بعض الاحيان تتميز بعض المعادن بانها ثنائية التشكل (Dimorphous) اي ان لها شكلين بلورين او انها متعددة الاشكال (Polymorphous) مع ان تركيبها الكيميائي واحد، وذلك لاختلاف ظروف التبلور.

مثال:

Calcite	$CaCO_3$	النظام السداي
Aragonite	$CaCO_3$	النظام معيني قائم
Graphite	C	النظام السداسي
Diamond	C	النظام المكعب
Pyrite	Fes_2	النظام المكعب
Marcasite	Fes_2	النظام المعيني القائم

شبيه المعدن Mineraloid: هي مواد تمتلك معظم صفات المعادن ولكن ليس لها تركيب ذري داخلي منتظم اي انها غير متبلورة (Amorphous) مثل معدن الاوبال (Opal $SiO_2 . nH_2O$).
اي انه الى جانب المعادن التي تمتلك شكل بلوري معين او اكثر من شكل بلوري، يوجد هناك مواد غير متبلورة.

اجزاء البلورة:

يمكن تقسيم البلورة الى **اجزاء حقيقية (Real Parts)** اجزاء ملموسة اي يمكن رؤيتها وقياسها واخرى **وهمية (Imaginary Parts)** وهي اجزاء غير حقيقية، خيالية يفترضها المختصون في علم البلورات لتساعدهم في دراسة و تحديد الانظمة البلورية المختلفة.

و تشتمل الاجزاء الحقيقية على:

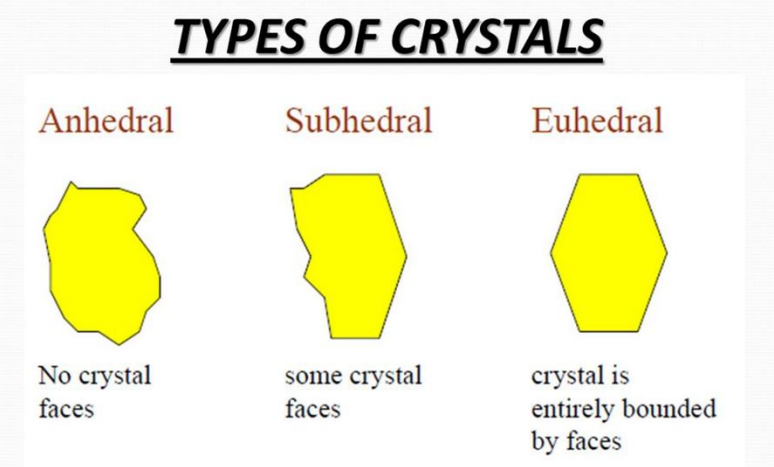
1- الاوجه البلورية Crystal Faces:

هي المستويات او السطوح التي تحد البلورة من الخارج و تعين شكلها الخارجي الهندسي المنتظم، وهي تعكس حالة الترتيب الداخلي المنتظم لمكونات البلورة. وقد تكون هذه الاوجه متشابهة او غير متشابهة، و تكون عادة مستوية. وبناءا على درجة تكون هذه الاوجه يصنف المعدن بانه:

أ- بلورة عديمة الاوجه Anhedral Crystal: لاتتكون فيها اوجه بلورية اذا لم تتوفر ظروف للتبلور

ب- بلورة ناقصة الاوجه Subhedral Crystal: تحوي قسم من الاوجه فقط.

ج- بلورة كاملة الاوجه Euhedral Crestal: تحوي جميع الاوجه.



2- الشكل البلوري Crystal Shape:

هو الشكل او الهيئة التي تبدو فيها البلورة والتي تحدد بعدد الاوجه البلورية المرتبة بصيغة معينة والتي تعطي بدورها في النهاية شكلا معينا كالنظام المكعب الذي يحتوي على ستة اوجه بلورية. قد يكون الشكل البلوري بسيطا Simple form يتالف من اوجه بلورية متشابه، او قد يكون مركبا Combined form اذا تالف من اوجه بلورية غير متشابه.

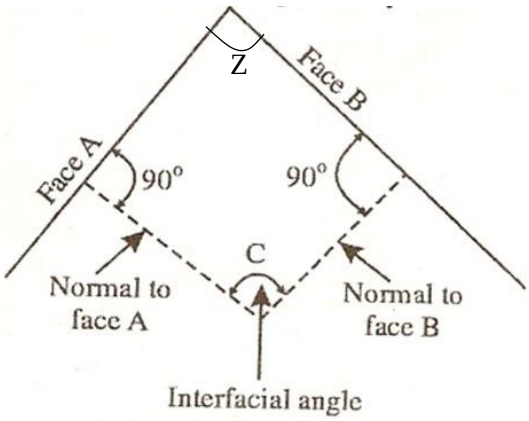
3- الحافات البلورية Crystal Edges:

هي الحافات او الخطوط المستقيمة الناتجة من التقاء وجهين بلورين متجاورين. فعلى سبيل المثال هناك 12 حافة بلورية في النظام المكعب.

4- الزاوية الصلبة او الصماء Solid angle:

هي الزاوية الناتجة من تقاطع او التقاء ثلاثة اوجه بلورية او اكثر. فمثلا نظام المكعب لديه 8 زوايا صلبة.

5- الزاوية بين الوجهين Interfacial angle:

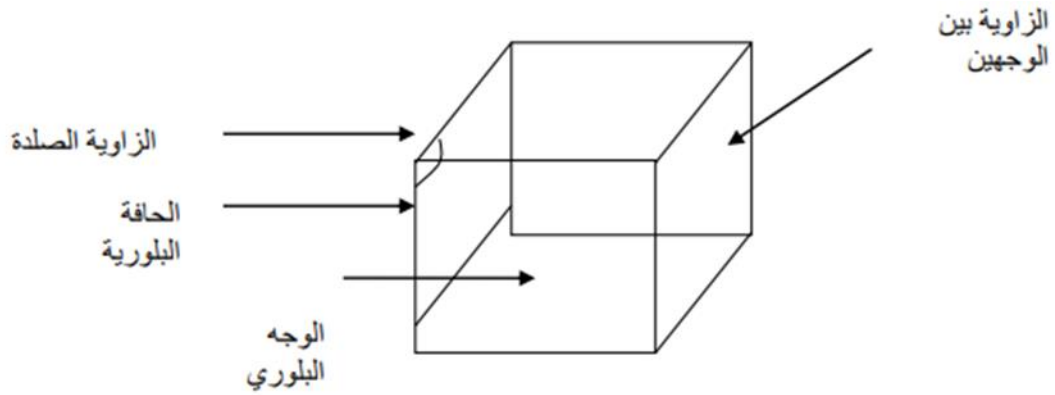


وتقاس هذه الزاوية بين اي مستقيمين عموديين على اي وجهين بلورين متجاورين مشتركين بحافة بلورية. والمخطط الجانبي يوضح طريقة حساب قيمة الزاوية بين الوجهين

$C = 180 - Z$

Z = الزاوية المحصورة بين اي وجهين متجاورين وتقاس عادة باستخدام منقلة التماس.

C = الزاوية بين الوجهين.

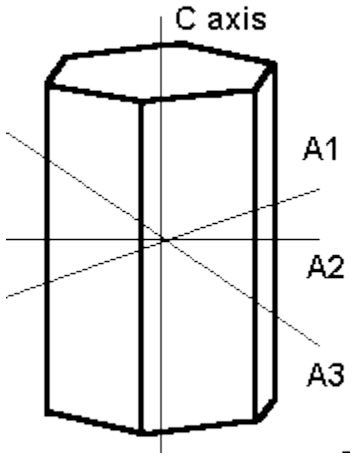


مخطط يوضح العلاقة بين الاجزاء الحقيقية في البلورة

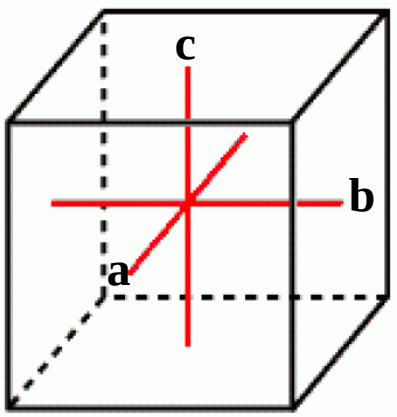
اما الاجزاء الوهمية للبلورة فتشمل:

1- المحاور البلورية Crystallographic Axes:

هي خطوط وهمية تمر بمنتصف كل وجهين متقابلين مرورا بمركز البلورة. و تضم جميع الانظمة البلورية ثلاثة محاور بلورية (Three-axes crystals) يرمز لها بالرموز (a, b, c)، فالمحور (a) يمر بين منتصفات الوجهين الامامي و الخلفي، والمحور (b) يمر بين منتصفات الوجهين الجانبيين، في حين يمر المحور الثالث (c) بين الوجهين العلوي والسفلي. باستثناء النظام السداسي اذ يضم اربعة محاور بلورية (Four-axes crystals) ثلاثة محاور منها متساوية الطول تقع في مستوى افقي واحد ويرمز لها بالرموز (a1, a2, a3) و محور رابع عمودي على المحاور الثلاثة السابقة ويرمز له بالرمز (c).

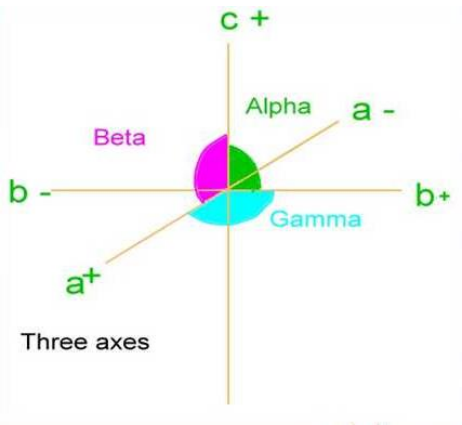


مثال عن النظام السداسي ذات المحاور الاربعة



مثال عن الانظمة البلورية ذات المحاور الثلاثة

2- الزوايا المحورية او البلورية Interaxial angles:



هي زوايا وهمية تقع بين المحاور البلورية، وهي ثلاثة زوايا:

- الفا Alpha: هي الزاويا المحصورة بين المحورين c و b.
- بيتا Beta: هي الزاويا المحصورة بين المحورين c و a.
- كاما Gamma: هي الزاويا المحصورة بين المحورين a و b.

الانظمة البلورية Crystal Systems:

استنادا الى اطوال المحاور البلورية و علاقة الزوايا المحصورة بينها تصنف البلورات الى ستة انظمة بلورية هي:

1- النظام المكعبي او متساوي الابعاد Cubic or Isometric system

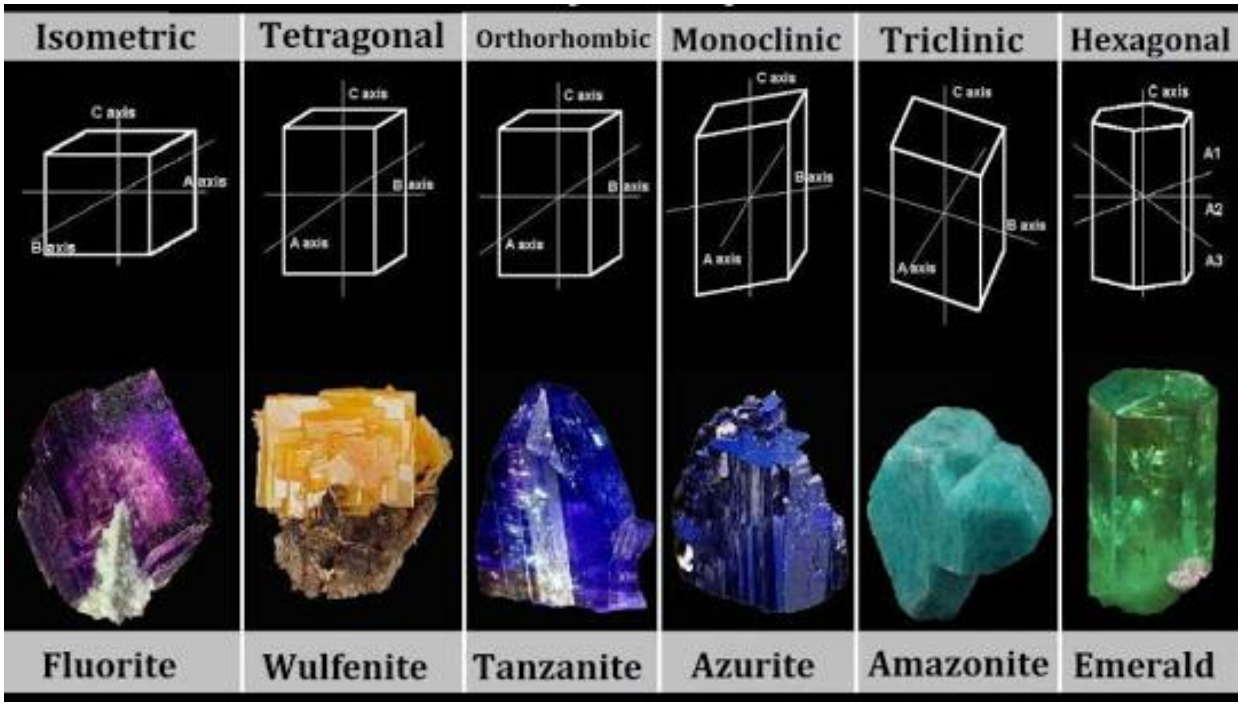
2- النظام الرباعي Tetragonal system

3- النظام المعيني القائم Orthorhombic system

4- النظام احادي الميل Monoclinic system

5- النظام ثلاثي الميل Triclinic system

6- النظام السداسي Hexagonal system


Isometric
Tetragonal
Orthorhombic
Monoclinic
Triclinic
Hexagonal
C axis
A axis
B axis
A1
A2
A3
Fluorite
Wulfenite
Tanzanite
Azurite
Amazonite
Emerald

جامعة الموصل/
كلية علوم البيئة وتقناتها/
قسم علوم البيئة

الجيولوجيا العامة
General Geology
المرحلة الاولى

د. محمد وليد

المعادن Minerals

تعريف المعدن Mineral: هي مواد غير عضوية تتكون بصورة طبيعة، لها تركيب كيميائي محدد وشكل بلوري منتظم وخواص فيزيائية ثابتة.

يفهم من التعريف ان اي مادة غير طبيعية (مصنعة) هي ليست معدن، مثل الزجاج و البورسلين و المواد البلاستيكية المصنعة. كذلك فان اي مادة عضوية هي ليست معدن، مثل الخشب و الصمغ الجاف وبشكل عام فان اي مادة لا يتوفر فيها احد الصفات المذكورة في تعريف المعدن هي ليست بمعدن.

قد تتكون المعادن من عنصر واحد فقط مثل الذهب و الماس و الكرافايت، او قد تتكون من مركبات كيميائية ناتجة عن اتحاد عنصرين او اكثر وهي الصيغة الاكثر انتشارا في الطبيعة مثل معدن الكوارتز SiO_2 و الكالسايت $CaCo_3$ ... الخ.

شبيه المعدن Mineraloid: هي مواد تمتلك معظم صفات المعادن ولكن ليس لها تركيب ذري داخلي منتظم اي انها غير متبلورة (Amorphous) مثل معدن الاوبال ($SiO_2. nH_2O$ Opal).

نشأة المعادن Mineral Genesis:

قد تتكون المعادن في الطبيعة باحدى الطرق التالية:

1- تكون المعادن من الصهارة Magma:

عن طريق التبلور المباشر و الانفصال من الصهارة عند التبريد و التصلب مثل معدن الفلدسبار (Ca, Na, $AlSi_3,O_8$) او ($KAlSi_3O_8$) و الاوليفين SiO_4 (Fe, Mg) و الكوارتز (SiO_2) و المغنيتايت (Fe_2O_3).

2- تكون المعادن من المحاليل Solutions:

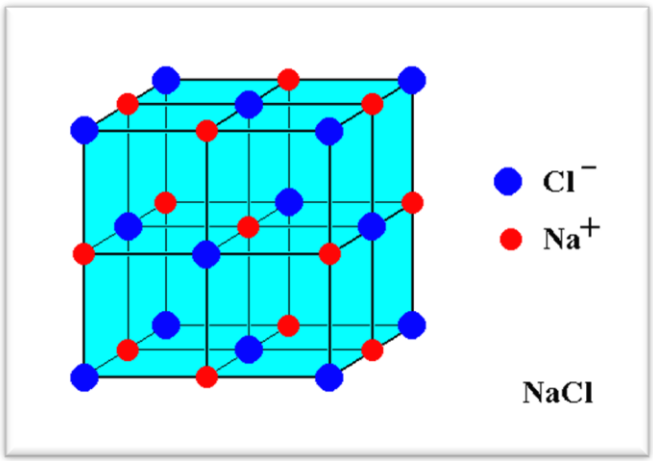
عن طريق محاليل المياه الحارة بعد برودتها مثل الكالينا (PbS) و الكالسايت ($CaCO_3$) و السنابار (HgS) و الاوبال (SiO_2)، او عن طريق التبخر مثل الهالايت (ملح الطعام) (NaCl) او خروج الغاز من السائل مثل بيكاربونات الصوديوم او الكالسيوم $Ca(HCO_3)_2$ ان هذه الحالات تتم لتركيز المادة في السائل ومن ثم ترسيبها بشكل معدن. بالاضافة الى طرق تكون اخرى اما بالاحلال كثل احلال SiO_2 في الخشب او تبادل المحاليل مثل تكوين حجر الكلس $CaCO_3$ من اتحاد محاليل كاربونات الصوديوم مع كلوريد الكالسيوم، او عن طريق الكائنات الحية مثل استخلاص $CaCO_3$ لتكوين صدفة الاحياء و استخلاص SiO_2 لبناء هياكل الراديولاريا.

3- تكوين المعادن من الغازات Gasses:

مثل تفاعل فلوريد الهايدروجين HF مع الصخور الجيرية $CaCO_3$ لتكوين معدن الفلورايد CaF_2.

التركيب البلوري للمعادن: Structure of Minerals

سبق وان ناقشنا في محاضرة البلورات ان البلورة هي انعكاس لترتيب ئري داخلي، و بما ان المعادن لها اشكال بلورية لذا فان المعادن تتكون من وحدات بناء صغيرة جدا تعرف بالوحدة البنائية (Unit Cell) والتي تمثل ايونات مركبة بصورة منتظمة و متماسكة فيما بينها بواسطة قوى كهربائية تعبرعن بنائها الذري الداخلي.



ولفهم ذلك بصورة مفصلة نذكر على سبيل المثال ابسط انواع هذه الوحدات لمعدن الهالايت (NaCl) المعروف ايضا بملح الطعام، اذ ترتبط اربعة ايونات من الكلور (Cl) مع اربعة ايونات من الصوديوم (Na^+) باواصر ايونية كما مبين في الشكل الجانبي.

فعند تراص 8 وحدات بنائية في شكل منتظم وفقا للترتيب المذكور اعلاه فاننا نحصل على بلورة مكعبة الشكل صغيرة جدا في الحجم لتمثل الاساس في بناء بلورة مكعبة كبيرة الحجم، وقد وجد ان هذه البلورة الكبيرة تتكون من عدد ضخم جدا من الوحدات البنائية يصل الى 56×10^{17} وحدة بنائية.

صفات المعادن: Minerals Properties

فضلا عن الصفة البلورية للمعادن فان المعادن لها صفات كيميائية وفيزيائية .

اولا/ الصفات الكيميائية: Chemical Properties

تتكون بعض المعادن من عنصر واحد من العناصر الـ 92 الموجودة في الطبيعة. وهذا النوع اما ان يكون فلزيا (Metallic) كالذهب (Au) والفضة (Ag) والنحاس (Cu)، او لا فلزيا (non-Metallic) كالرافيت (C) والكبريت (S) والبعض الاخر من المعادن مكون من اتحاد عنصرين اثنين مثل الكوارتز (SiO_2) والمغنيتايت (Fe_3O_4). في حين تتكون معظم المعادن في الطبيعة من اتحاد ثلاثة عناصر او اكثر مثل الكالسايت (CaCo3) و الاوليفين $(MgFe)_2SiO_4$.

وكما اسلفنا سابقا في حديثنا عن المكونات الكيميائية للقشرة الارضية سبب افضلية اتحاد الاوكسجين السالب الشحنة مع باقي العناصر الموجبة الاخرى لتكوين الاكاسيد. وبما ان التحليلات الكيميائية لمئات الالالف من النماذج الصخرية اظهرت ان ايون السيليكون هو الاكثر نسبة، يليه بنسبة اقل ايون الكاربون ثم الكبريت ثم الفسفور واخيرا النيتروجين، لذا فانه من الطبيعي ان تكون المعادن السيليكاتية والاكاسيد هي الاكثر شيوعا في الطبيعة تليها معادن الكاربونات ثم الكبريتات والكبريتيدات ثم الفوسفات واخيرا النترات. وعلى هذا الاساس تصنف المعادن كيميائيا الى المجاميع التالية:

1- المعادن الحرة او العنصرية: Native Elements

هذه المجموعة من المعادن تمثل الحالة العنصرية للمعدن الحر الذي لا يتحد مع غيره من العناصر، المعدن اما ان يكون فلزيا او لا فلزيا كما ذكرنا سابقا.

2- الاكاسيد: Oxides

تشمل هذه المجموعة معادن كثيرة ذات قيمة اقتصادية كمجموعة الكوارتز SiO_2 والهيماتايت Fe_2O_3 والمغنيتايت Fe_3O_4 والكاستيرايت SnO_2 والروتايل TiO_2.

3- السيليكات: Silicates

تضم عدد كبير جدا من المعادن يقدر بحوالي 25% من جميع المعادن المعروفة او تكون حوالي 90% من معادن القشرة الارضية، وتشمل معادن مهمة مثل معادن الفلدسبار التي تقسم الى مجموعتين هي مجموعة الاورثوكليز Orthoclase ($KAlSi_3O_8$) او مجموعة البلاجيوكليز Plagioclase (سليكات الصوديوم والكالسيوم والالمنيوم) ومن الامثلة على هذه المجموعة ايضا معدني الاولفين $(Mg,Fe)_2SiO_4$ التالك Talc (سليكات المغتيسيوم المائية).

4- الكبريتيدات: Sulfides

تعتبر هذه المجموعة من اهم المجموعات المعدنية اذا انها تضم اغلب الخامات المعدنية. مثل معدن البايرايت FeS_2 والكالينا PbS و السفاليرايت ZnS.

5- الكبريتات: Sulphates

تتكون هذه المجموعة من اتحاد مجموعة الكبريتات $SO4^{-2}$ مع العناصر الاخرى مثل معدن الجبس $CaSO_4.2H_2O$ و الانهايدرايت $CaSO_4$ و البايرايت $BaSO_4$.

6- الهاليدات: Halides

تتميز هذه المجموعة بسيادة ايونات الهالوجينات ذات الشحنة السالبة (CL, I, F, Br) مثل معدن الهالايت NaCl وهو ملح الطعام والفلورايد CaF_2.

7- الكاربونات: Carbonates

تتكون من اتحاد مجموعة الكاربونات CO_3^{-2} مع العناصر الاخرى مثل معدن الكالسايت $CaCO_3$ والدولومايت $CaMg(CO_3)_2$ و السيديرايت $FeCO_3$.

8- الفوسفات: Phosphates

تحتوي هذه المجموعة على ايون الفوسفات PO_4^{-2} كوحدة بناء اساسية مثل معدن الاباتايت $Ca_5FCl(PO_4)_3$.

ثانيا/ الصفات الفيزيائية: Physical Properties

ان من اهم صفات المعادن المظهر الخارجي الذي تحدده الصفات الفيزيائية للمعدن. ويمكن الاستعانة بهذه الصفات للتعرف على الكثير من المعادن وخاصة تلك التي تكون حبيباتها كبيرة ومميزة بالعين المجردة.
ويمكن حصر الصفات الفيزيائية للمعادن باربعة خواص هي:

1- الشكل البلوري للمعدن: وهذا قد تم شرحه ودراسته سابقا.

2- الصفات الفيزيائية التي تعتمد على الضوء.

3- الصفات الفيزيائية التي تعتمد على تماسك المعدن.

4- صفات اخرى خاصة ومميزة.

وفيما يلي شرح مفصل لكل صفة من هذه الصفات الفيزيائية:

1- الصفات الفيزيائية المعتمدة على الضوء:

1-1- اللون Color:

تمتلك بعض المعادن الوان خاصة مميزة يمكن التعرف بواسطتها على نوع المعدن. مثلا لون معدن الكبريت اصفر فاقع ولون معدن المغنيتايت اسود ومعدن البايرايت اصفر ذهبي والاورثوكليز ذو لون لحمي و الاولفين زيتوني ومعدن المالاخايت اخضر ساطع.
وقد تظهر بعض المعادن بالوان مختلفة بسبب احتوائها على شوائب مختلفة مثل معدن الكوارتز هو معدن عديم اللون، ولكنه يكون ذو لون وردي في بعض الاحيان بسبب احتوائه على شوائب من اكاسيد الحديد الحمراء وقد يظهر باللون الرمادي او الاسود اذا ما احتوى على بعض الشوائب العضوية.

1-2- المخدش Streak:

مخدش المعدن هو اللون الذي يظهر به مسحوق ذلك المعدن عند خدشه او حكه على سطح قطعة خاصة من الخزف البلوري تسمى لوحة المخدش (Streak Plate).

ان معظم المعادن ذات اللون الابيض او عديمة اللون تعطي مخدشا ابيض اللون وقد يختلف لون المخدش عن لون المعدن نفسه، وتعتبر هذه الصفة من اهم الصفات المميزة لبعض المعادن، مثل معدن البايرايت لونه اصفر ذهبي ولكن مخدشه اسود مخضر، ومعدن المغنيتايت لونه اسود ومخدشه اسود في حين ان معدن الهيماتايت لونه اسود ومخدشه بني محمر (وتعد هذه الصفة مهمة في التمييز بين هذين المعدنين).

1-3- البريق Luster:

يمثل مقدار ونوع الضوء المنعكس من سطح المعدن تعتمد شدة البريق على شدة الضوء المنعكس وهذه تعتمد بدورها على معامل الانكسار وكلما زاد معامل الانكسار زادت شدة الانعكاس وشدة البريق وهو على نوعين **بريق فلزي (Metallic luster)** يشبه البريق الذي تعطيه الفلزات المصقولة او بريق المرأة وهو صفة مميزة للمعادن المعتمة التي لايخترقها الضوء ولها معامل انكسار عالي تتجاوز قيمته 3. وتتميز بهذا البريق سطوح المعادن العنصرية كالذهب والفضة وكذلك المعادن الكبريتيدية مثل البايرايت والكالينا.

وبريق لا فلزي (non-Metallic luster) تمتاز به المعادن غير المعتمة ولها معامل انكسار اقل من 2.6 وهو على انواع:

- بريق زجاجي Glassy luster/ مثل معادن الكالسايت والكوارتز والهالايت
- بريق ماسي Diamond luster/ مثل معدني الماس والزركون
- بريق صمغي Resinous luster/ مثل معدني الكبريت و الرهج الاصفر Orpiment
- بريق لؤلؤي Pearly luster/ مثل معدني التالك والمسكوفايت (المايكا)
- بريق حريري Silky luster/ مثل معدن الجبس الليفي
- بريق ترابي Dull luster/ مثل معادن الكاؤلينايت وبقية المعادن الطينية

4-1- الشفافية Transparency:

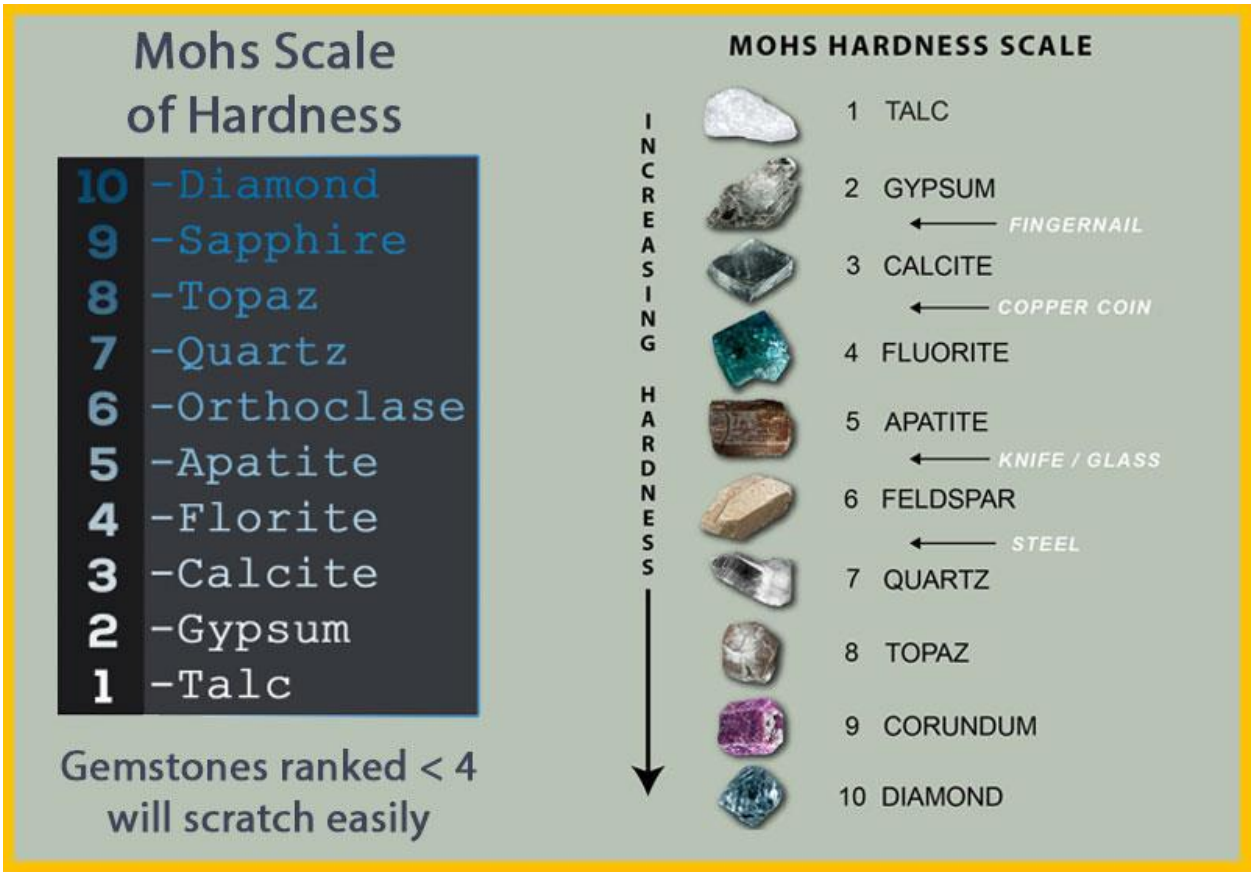
هي قدرة المعدن على تمرير الضوء من خلاله والمعادن اما ان تكون:

- شفافة Transparent/ مثل معادن الكوارتز والكالسايت والهالايت.
- نصف شفافة Translucent/ مثل معدن الاوبال.
- معتمة Opaque/ مثل معادن الكالينا و الكرافايت والهيماتايت.

2- الصفات الفيزيائية المعتمدة على تماسك المعدن:

2-1- الصلادة Hardness:

ويقصد بها مقاومة سطح المعدن لعملية الخدش فالمعدن الذي يخدش الاخر يعتبر اصلد من المعدن المخدوش. ويمكن تحديد صلادة اي معدن باستخدام مقياس خاص يعرف بمقياس موهس للصلادة (Mohs Scale of hardness)، وقد ثبتت ضمن هذا المقياس عشرة معادن ورتبت ترتيبا تصاعديا حسب درجة صلادتها النسبية.



2-2- الانفصام Cleavage:

ويقصد بها قابلية المعادن على التشقق والانقسام الى اجزاء في اتجاهات معينة ومنتظمة اذا ما طرقت طرقا خفيفا، بحيث تكون هذه الاتجاهات موازية او على امتداد سطوح ملساء تمثل اوجه البلورات، وتسمى هذه المستويات مستويات الانفصام او مستويات الضعف. وبناءا على ذلك يوصف المعدن بانه:

- كامل الانفصام (واضح)/ حينما يسهل شطر المعدن الى رقائق ذات سطوح موازية، كما هو الحال في معادن المايكا.
- غير كامل (غير واضح)/ مثال ذلك معدن الكبريت.

2-3- المكسر Fracture:

ويقصد به شكل سطح المعدن الذي ينكسر عليه اذا ما ضرب بقوة باستخدام الة حادة، ويكون على عدة انواع:

- سطح مستوي/ مثل معدني الكالسايت و الهالايت.
- سطح غير مستوي/ مثل معدني الاوليفين و الكبريت.
- سطح مسنن/ مثل معدن النحاس.
- سطح محاري Conchoidal/ يشبه الشكل الداخلي لصدفة المحار، مثل المكسر الناتج عن كسر قطعة سميكة من الزجاج. وهذه صفة مميزة لمعدن الكوارتز.
- سطح ترابي/ يميز مكسر المعادن الطينية مثل معدت الكاؤلينايت.

2-4- الوزن النوعي:

يمثل نسبة كثافة المعدن الى كثافة الماء. وعليه يصنف المعدن بانه خفيف اذا كان وزنه النوعي اقل من (2.5)، ومتوسط اذا تراوح بين (2.5 – 4.0)، وثقيل اذا زاد عن (4.0).

3- الصفات الخاصة او المميزة Special Properties:

تتمتع بعض المعادن بصفات خاصة ومميزة كالخاصية المغناطيسية والخواص الحسية وغيرها من الخواص التي يمكن الاستعانة بها لتمييز المعادن بسهولة وكما موضح ادناه:

- معادن الكاربونات/ مثل الكالسايت والدولومايت تتفاعل مع حامض الهايدروكلوريك (HCL).
- معدن الكالسايت يمتاز بظاهرة الانكسار المزدوج اذ كانت البلورة نقية.
- معدن المغنيتايت/ يمتاز بصفته المغناطيسية.
- معدن الكبريت/ يمتاز بلونه الاصفر الفاقع ورائحته المميزة.
- معدن الاورثوكليز/ يمتاز بلونه اللحمي.
- معدن الاوليفين/ يمتاز بلونه الزيتوني
- معدن الهالايت/ يمتاز بطعمه المالح
- معدن المالاخايت/ يمتاز بلونه الاخضر الساطع

جامعة الموصل/
كلية علوم البيئة وتقناتها/
قسم علوم البيئة

الجيولوجيا العامة
General Geology
المرحلة الاولى

د. محمد وليد

الصخور ودورتها في الطبيعة

Rocks and their cycle in nature

تعريف علم الصخور: هو العلم الذي يهتم بدراسة الصخور الموجودة في الطبيعة من حيث تكوينها و تواجدها و انتشارها و اهميتها.

الصخور Rocks: هي الوحدات الاساسية المكونة للقشرة الارضية وهي مكونة من خليط طبيعي من المعادن المرتبطة مع بعضها بقوة بواسطة قوى التماسك. اي ان المعادن هي الوحدات الاساسية في بناء الصخرة. وقد تتكون الصخرة من معدن واحد فقط Monomineralic او من عدة معادن Polymineralic.

فعلى سبيل المثال تتكون صخرة الجبس Gypsum من معدن واحد فقط هو معدن الجبس، في حين تتشكل صخرة الكرانيت Granite من مجموعة من المعادن مثل الكوارتز والاورثوكليس والمايكا.

العمليات المسؤولة عن تكوين الصخور:

لغرض فهم التقسيمات او الاصناف الرئيسة للصخور يجب فهم العمليات المسؤولة عن تكوينها. ان هذه العمليات تسمى ايضا تصنيف الاصل او المنشأ Genetic classification، وهي:

1- العمليات النارية Igneous processes:

وتشمل باختصار عمليات التبلور Crystallization للمعادن من منصهرات المواد السيليكاتية Silicate melt ذات الدرجات الحرارية العالية والتي تعرف بالصهائر Magmas ومفردها صهير Magma.

2- العمليات التحولية Metamorphic processes:

وتشمل عمليات اعادة التبلور Recrystallization للمعادن والتفاعل فيما بينها في الصخور الاصلية وهي في حالة صلبة في ظروف درجة حرارة وضغط عاليين بشرط عدم حدوث انصهار Melting.

3- العمليات الترسيبية Sedimentary processes:

وهي عمليات تحدث على الصخور اي كان نوعها (نارية او رسوبية او متحولة) بالتعاقب بدءاً بعملية التجوية Weathering التي ينتج عنها الرواسب Sediments مرورا بعملية النقل Transportation للرواسب (نواتج التجوية) ومن ثم عملية الترسيب Sedimentation or Deposition وثم اخيرا التصخر او التصلب Lithification. وعلى هذا الاساس، تتكون ثلاثة اصناف من الصخور المكونة للارض كنتيجة طبيعية للعمليات المذكورة، و هذه الاصناف الرئيسية الثلاثة هي:

اولا: الصخور النارية Igneous Rocks: وتسمى بالصخور الاولية او الصخور الام.

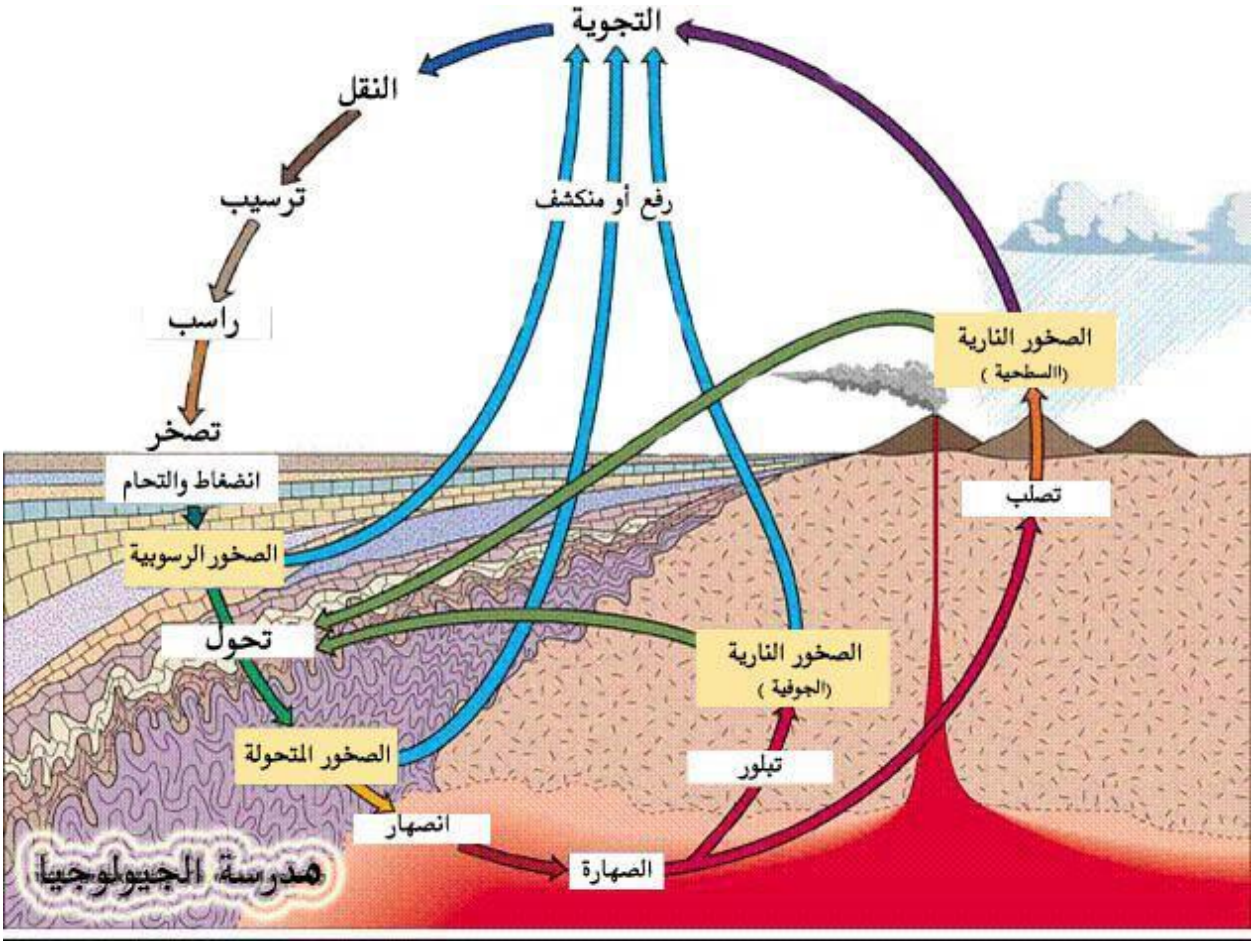
ثانيا: الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks: وتسمى بالصخور الثانوية.

ثالثا الصخور المتحولة Metamorphic Rocks:

دورة الصخور في الطبيعة Rock cycle:

يعد العالم الاسكتلندي جيمس هاتون 1785 هو اول من ربط بين انواع الصخور الرئيسية الثلاثة على سطح الارض وتاثير الغلافين الجوي والمائي وما يحدث بينهما من عمليات جيولوجية تؤدي الى تغير احد الانواع الصخرية الى نوع اخر في دورة واحدة تعرف بدورة الصخور في الطبيعة.

من الممكن تصور دورة مبسطة توضح العلاقة بين انواع الصخور الرئيسية الثلاثة فيما بينها (النارية والرسوبية والمتحولة). لنبدأ من باطن الارض على اعماق تبلغ عشرات الكيلومترات (حوالي 60 – 100 كم) حيث ظروف الضغط والحرارة العاليين والتي تعمل بدورها على انصهار الصخور الموجودة في تلك الاعماق اياً كان نوعها مكونة بذلك مادة منصهرة تدعى بالصهير Magma داخل حجرات تعرف بالحجرات الصهيرية Magmatic chambers والتي تبحث لها عن منفذ الى الاعلى لانها تمتلك طاقة عالية تحاول من خلال هذا المنفذ ان تتحرر عبر شقوق في القشرة الارضية تمثل نقاط الضعف التي تكونت بفعل حركات ارضية. عند ذاك يخرج الصهير من حجرته عبر تلك المنافذ الى اعلى ليتصلب تحت السطح او في جوف الارض ليعطي صخورا نارية جوفية او ليتدفق بسرعة الى الاعلى ليصل الى سطح الارض عبر فوهات البراكين مكوناً صخورا نارية بركانية، وتعتمد سرعة تدفق الصهير على عوامل عديدة اهمها درجة لزوجة الصهير. وبفعل عوامل التجوية او التعرية تتفتت هذه الصخور النارية (الجوفية منها اوالبركانية) بعد انكشافها على سطح الارض وتنتقل بواسطة المياه احيانا او الهواء احيانا اخرى اما على شكل فتات (مواد عالقة محمولة) او ذائبة (بشكل ايونات) لتترسب تحت ظروف ملائمة في بيئات ترسيب معينة مكونة الصخور الرسوبية. وقد تغور الصخور الرسوبية بفعل الحركات الارضية الى الاعماق لتنصهر من جديد، لتعطي بعد ذلك صخورا نارية جديدة، او ان الصخور الرسوبية نفسها قد تتعرض الى عوامل حرارة وضغط وحاليل حرمائية Hydrothermal لتتغير الى صخور متحولة. وكذلك قد تتعرض الصخور النارية الى نفس عوامل التحول مكونة صخورا متحولة. والصخور المتحولة بدورها قد تتعرض الى عوامل التعرية او التجوية والنقل والترسيب، اذا ما انكشفت على السطح بفعل الحركات الارضية لتعطي صخورا رسوبية. وقد تغور الصخور المتحولة ايضا الى الاعماق لتنصهر من جديد مكونة صخورا نارية جديدة. وهكذا تدور هذه العمليات في فترات زمنية طويلة تبلغ ملايين السنين، وتتكرر تباعاً. وهذا ما نسميه بدورة الصخور في الطبيعة. والشكل ادناه يوضح هذه الدورة بشكل مبسط.


التجوية
النقل
ترسيب
راسب
تصخر
رفع أو منكشف
الصخور النارية
(السطحية)
انضغاط والتحام
الصخور الرسوبية
تحول
الصخور النارية
(الجوفية)
الصخور المتحولة
تبلور
انصهار
الصهارة
تصلب
مدرسة الجيولوجيا

جامعة الموصل/
كلية علوم البيئة وتقناتها/
قسم علوم البيئة

الجيولوجيا العامة
General Geology
المرحلة الاولى

د. محمد وليد

الصخور النارية Igneous Rocks

تعريف الصخور النارية: هي الصخور التي تنشأ من تصلب (تبلور) المادة الصخرية المنصهرة الموجودة في اعماق مختلفة في باطن الارض والتي تعرف بالصهير (Magma). وهي تتواجد عادة في المناطق غير المستقرة (الحركية) في القشرة الارضية مثال ذلك، صخور الكرانيت و الكابور والدايورايت.

الصهير Magma: هي مادة الصخور السائلة التي ترتفع من اعماق كبيرة داخل الارض، خاصة الجزء الاعلى من الجبة، وهي مكونة اساساً من صهير المعادن السيليكية (مثل الكوارتز والفلدسبار) ومعادن السيليكات الفيرومغنيسية Ferromagnesian مثل الاوليفين والبايروكسين والامفيبول والتي تمثل عناصر المكونات الثابتة للقشرة الارضية (O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K) اضافة الى كميات صغيرة من الابخرة والغازات (F, Cl, CO_2, SO_2, H_2S) وجميع هذه المكونات تكون تحت حرارة عالية وضغط كبير جدا، وعلى اعماق تتفاوت بين عشرات الكيلومترات وبضع مئات من الكيلومترات تحت سطح القشرة الارضية. وتتراوح درجة حرارة الصهير فوق سطح الارض (الطفح البركاني Lava flow) بين 700 – 1200 درجة مئوية. وبشكل عام يكون الصهير بحالته السائلة بحدود 2000 درجة مئوية ويبدا بالتصلب (التبلور) بحدود 1400 درجة مئوية ليكون المعادن والصخور المختلفة.

النسيج Texture: هو الحجم النسبي لبلورات المعادن في الصخور النارية اضافة الى شكلها وطريقة ترتيبها. وهو يعكس عملية تبريد الصهير عند تكون المعادن والصخور، وهناك عدة انواع من الانسجة:

1- النسيج الخشن Coarse-grained:

يتواجد في الصخور الجوفية التي تتكون في الاعماق الكبيرة حيث ان الصهير يفقد حرارته ببطئ بحيث يكون هناك وقت كافي لترتيب ذرات العناصر الكيميائية وتكوين بلورات كبيرة الحجم بحيث يمكن تمييز المعادن بالعين المجردة. كما هي الحال في صخور الكرانيت والكابرو والدايورايت.

2- النسيج البورفيري Porphyritic texture:

يميز الصخور الوسطية (واحيانا السطحية). ويتكون من بلورات كبيرة الحجم موزعة في وسط من البلورات الدقيقة او وسط غير متبلور. وهو ينشأ من انتقال البلورات الكبيرة المتكونة في الاعماق مع الصهير حيث تتكون هناك بلورات دقيقة الحجم تحيط بالبلورات الكبيرة اي ان هذا النوع من النسيج يمثل مرحلتين او طورين من اطوار التبلور. مثال ذلك في صخور البولفيرايت Porphyrite والفلسايت Felsite والانديسايت Andesite.

3- النسيج الناعم Fine-grained:

يميز الصخور السطحية، حيث يبرد الصهير بسرعة ويكون بلورات ناعمة. مثل صخور الرايولايت Rhyolite او البازلت Basalt.

4- النسيج الزجاجي Glassy texture:

يتكون عن طريق التبريد السريع جداً على السطح بحيث لا يسمح للمعدن ان يتبلور بشكله المعين، ولكن فقط بشكل زجاج يطلق عليه الزجاج الطبيعي او الاوبسيديان Obsidian.

5- النسيج الفقاعي Vesicular texture:

يتكون من خلال هروب الغازات من الصهير او الطفح البركاني، فتترك فراغات في محلها. مثل صخرة البيومس Pumice والبازلت الفقاعي Vesicular Basalt. وعندما تمتلئ لاحقا هذه الفراغات ببعض المعادن الفاتحة اللون تشكل ما يعرف بالنسيج اللوزي مثل البازلت اللوزي Amygdaloidal Basalt.

اشكال الصخور النارية:

تمتاز الصخور النارية بتعدد اشكالها وفقا لتموضعها او اماكن تشكلها سواءا كانت صخور بركانية (قريبة من السطح) او متوسطة العمق او صخور جوفية:

اولا: اشكال الصخور البركانية/ تتواحد بعدة اشكال منها:

- **الطفوح البركانية Lava flow:** توجد على شكل طبقات سميكة من البازلت وتتكون نتيجة تصلب الحمم المتدفقة من البراكين.

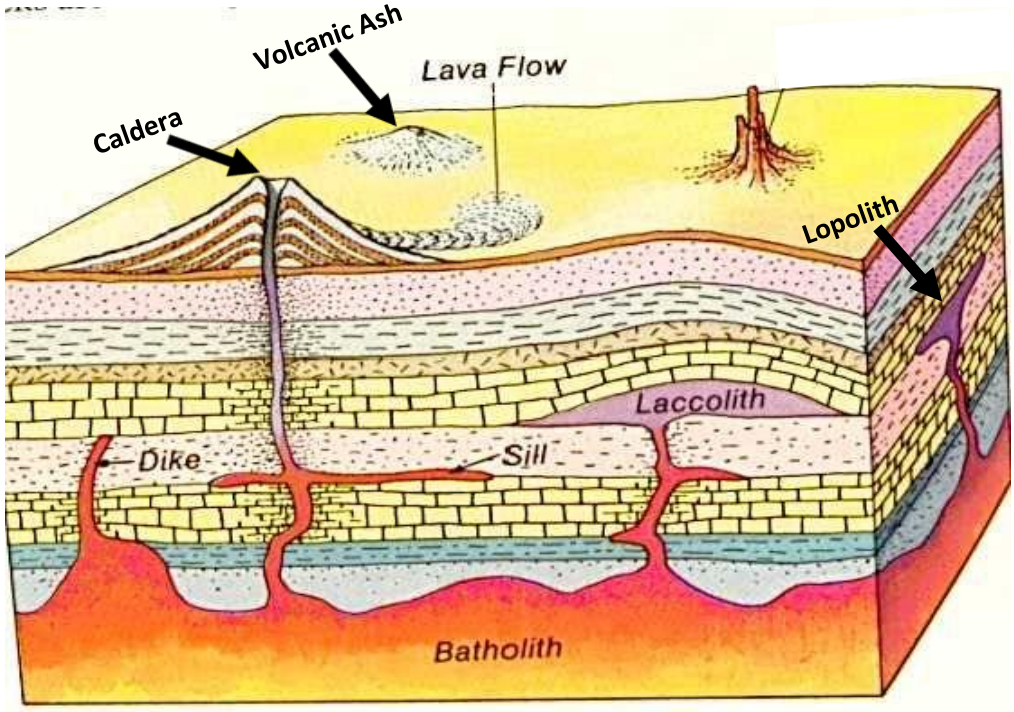
- **الرماد البركاني Volcanic Ash:** تتكون من مواد دقيقة مفككة او متماسكة وتكون مختلطة بالأبخرة والغازات الخارجة من البراكين.

- **المنخفضات البركانية Calderas:** وهي عبارة عن فوهة البركان وتكون مخروطية الشكل وتمتلئ عادة بالمياه مكونة بحيرات في اعالي الجبال.

ثانيا: اشكال الصخور المتوسطة/ وهي تتداخل في الصخور وبين طبقات القشرة الارضية على هيئة:

- **السدود الموازية Sills:** تتغلغل بين طبقات الصخور وتكون موازية لها
- **السدود القاطعة Dykes:** تنتج من تغلغل الماكما في الشقوق والكسور القاطعة للطبقات حيث تتصلب هناك.
- **على شكل ناقوس Laccolith:** قاعدته مستوية وسطحه الاعلى محدب حيث ان الصهير يضغط على الطبقات العليا التي تكون اقل صلابة فتنثني الى الاعلى.
- **على شكل طبق Lopolith:** يكون انحناء الطبقات السفلى نحو الاسفل لانها اقل صلابة.
- **على شكل سرج Phacolith:** وهي اجسام كبيرة نسبيا عدسية الشكل يكون سطحها الاعلى والاسفل محدب نحو الاعلى.

ثالثا: اشكال الصخور الجوفية/ تتواجد على شكل باثوليث Batholith وتكون كبيرة الحجم تغطي مئات الكيلومترات المربعة، وتتسع قاعدتها نحو الاسفل وتتكون عادة من الصخور الحامضية مثل الكرانيت.



تصنيف الصخور النارية/

اولا: حسب اماكن (اعماق) تكونها:

1- الصخور الجوفية Plutonic Rocks:

تتكون تحت اعماق كبيرة في باطن الارض تحت ظروف ضغط وحرارة عالية جدا، بحيث يكون تبريد الصهير بطيئ جدا، ولذلك تتبلور المعادن المكونة لها على شكل بلورات كبيرة، اي يكون نسيجها خشن مثال ذلك: صخور الكرانيت Granite والدايورايت Diorite والكابرو Gabbro.

2- الصخور الوسطية Hypabyssal:

توجد في اعماق متوسطة من سطح القشرة الارضية حيث يتصلب الصهير بسرعة اكبر من الصخور الجوفية، وتتكون بذلك بلورات دقيقة او متوسطة الحجم، او قد تتميز بنسيجها البورفيري. مثال ذلك صخور الفيلسايت Felsite والدوليرايت Dolerite.

3- الصخور البركانية (السطحية) Volcanic Rocks:

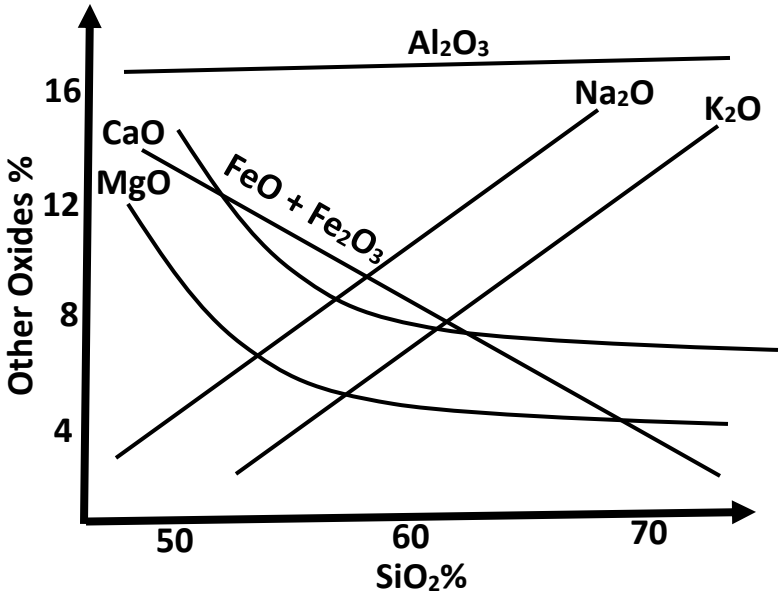
هي الصخور التي تتصلب على سطح الارض. او بالقرب منه بعد خروجها من فوهات البراكين والشقوق. ولان عملية التبريد تكون سريعة جدا فانها تكون بلورات صغيرة جدا. مثال ذلك: صخور البازلت Basalt والرايولايت Rhyolite والانديسايت Andesite.

ثانيا: التصنيف الكيميائي والمعدني:

يضم التركيب الكيميائي للصخور النارية اكاسيد العناصر الشائعة:

SiO_2, Al_2O_3, MgO, CaO, Fe_2O_3, FeO, Na_2O, K_2O

وقد لوحظ وجود علاقة معينة بين نسبة اوكسيد السيليكون Silica والاكاسيد الاخرى بحيث انه كلما ازدادت نسبة السيليكا تقل نسبة اكاسيد الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد، بينما تزداد نسبة اكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم. وليس هنالك اتجاه واضح لاوكسيد الالمنيوم.



وحسب اغناء وافتقار العناصر الكيميائية التي يوضحها الرسم يمكن تمييز نوعين من المعادن التي تتكون في الصخور:

- **المعادن الفاتحة Felsic Minerals** (الجانب الايمن من الرسم):

تكون غنية بالسليكا والالمنيوم والصوديوم والبوتاسيوم، و فقيرة بالكالسيوم والمغنيسيوم والحديد، وذو الوان فاتحة ووزن (كثافة) خفيف، مثل معادن الكوارتز SiO_2 و الاورثوكليس $KAlSi_3O_8$ والبلاجيوكليس الغني بالصوديوم (الالبايت) $NaAlSi_3O_8$ والمايكا البيضاء (الماسكوفايت).
وهذه المعادن تكون صخور مثل الكرانيت والرايولايت والاوبسيديان والبيومس.

- **المعادن الداكنة Mafic Minerals** (الجانب الايسر من الرسم):

تكون فقيرة بالسيليكا والصوديوم والبوتاسيوم، وغنية بالكالسيوم والمغنيسيوم والحديد، ذات لون داكن ووزن ثقيل مثل معادن الاوليفين و البايروكسين و الامفيبول (المعادن الفيرومغنيسية) و البلاجيوكليس الغني بالكالسيوم (الانورثايت Anorthite $CaAl_2Si_2O_5$)، وهذه المعادن تكون صخور مثل الكابرو Gabbro و البازلت Basalt و البيريدوتايت Peridotite.

<u>وبناءا على هذا التركيب الكيميائي والمعدني تصنف الصخور النارية الى المجاميع التالية:</u>

1- الصخور الحامضية Acidic Rocks:

تكون غنية بالسيليكا (اكثر من 66%)، والالمنيوم والصوديوم والبوتاسيوم (فقيرة بالكالسيوم والحديد والمغنيسيوم)، وتكون الوانها فاتحة لاحتوائها على نسبة عالية من المعادن الفاتحة، مثل صخور Granite و Rhyolite و Obsidian و Pumice.

2- الصخور المتوسطة Intermediate Rocks:

تتراوح نسبة السيليكا فيها ما بين (52% – 66%) وتكون متوسطة بين الصخور القاعدية والحامضية وتشمل مزيج من المعادن التي تكونهما مثل صخور Diorite و Andesite.

3- الصخور القاعدية Basic Rocks:

تحتوي على نسبة سيليكا تتراوح بين (45% – 52%)، غنية بالكالسيوم والمغنيسيوم والحديد والالمنيوم، وفقيرة بالبوتاسيوم والصوديوم. ذات الوان داكنة عادة ووزنها ثقيل لاحتوائها على نسبة عالية من المعادن الداكنة مثل صخور Gabbro و Basalt.

4- الصخور فوق القاعدية Ultrabasic Rocks:

تكون فقيرة بالسيليكا نسبياً (اقل من 45%)، وتتكون من المعادن الفيرومغنيسية الداكنة بشكل كامل.
مثل صخور Peridotite و Dunite

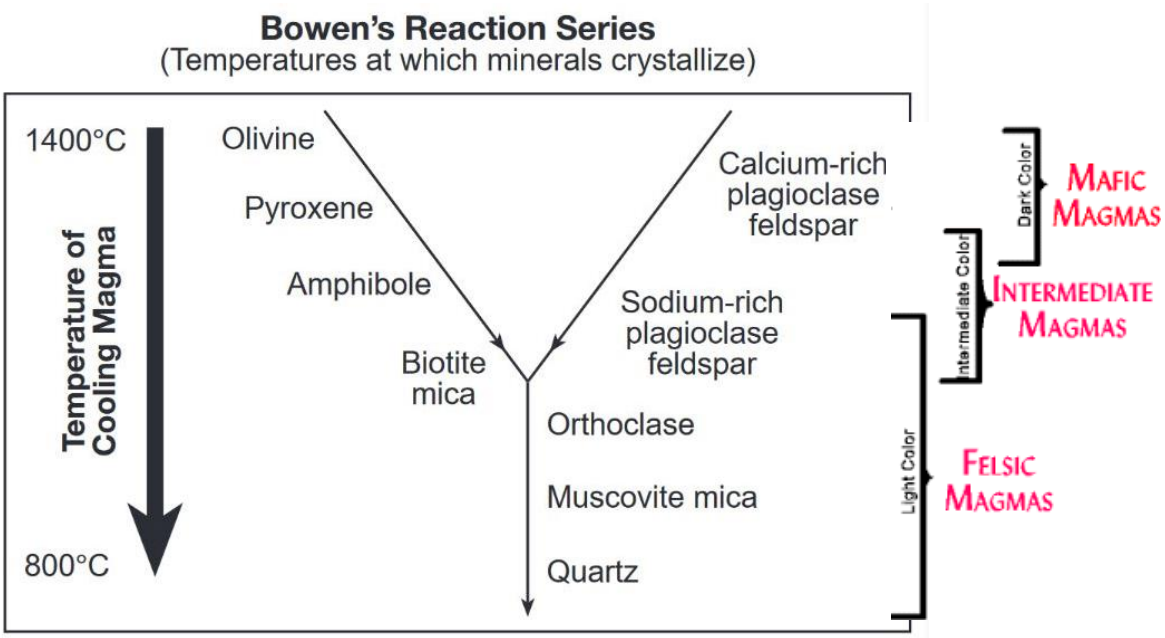
سلسة تفاعل بوين لتبلور المعادن من الصهير Bowen Reaction Series

اعطى العالم بوين هذه السلسة بعد اجرائه تجارب مختبرية عديدة في مجال علم الجيولوجيا التجريبية Experimental Geology في العشرينيات من القرن العشرين، حيث قام بتكوين المعادن المكونة للصخور في مختبراته حسب ظروف التكوين من ضغط ودرجة حرارة ومكونات كيميائية واستدل على درجات حرارة التكوين للمعادن المتبلورة من الصهير. ورتب العالم بوين هذه المعادن في سلسلتين مستمرة Continuous series وغير مستمرة Discontinuous series. ففي السلسة الغير مستمرة تم ترتيب المعادن حسب اولوية تكوينها من الصهير في درجات حرارة عالية (حوالي 1400 درجة سيليزية) بدءا بالاوليفين يعقبه البايروكسين ..... وهكذا وصولا الى الكوارتز المتكون في درجات حرارة اقل نسبيا (حوالي 800 درجة سيليزية). وهذا يعني ان المعادن وحسب هذا الترتيب تدل على انخفاض درجات الحرارة من الاوليفين الى الكوارتز. وبالمقابل فان السلسة المستمرة التي تشمل معادن مجموعة البلاجيوكليس تبدأ بالانورثايت (البلاجيوكليس الغني بالكالسيوم) في درجات الحرارة العالية وتنتهي بالالبايت (البلاجيوكليس الغني بالصوديوم) في درجات حرارة اقل نسبيا، اي بانخفاض درجات الحرارة من الانورثايت باتجاه الالبايت. ومن المعروف ان معادن مجموعة البلاجيوكليس تتكون او تتغير في تركيبها الكيميائي نتيجة الاحلال الايوني Ionic substitution الحاصل فيها، حيث يحل عنصر الصوديوم محل الكالسيوم وبنسب محددة وكما ياتي:

1- Anorthite (100 – 90% Ca, 0 – 10% Na)
2- Bytownite (90 – 70% Ca)
3- Labradorite (70 – 50% Ca)
4- Andesine (50 – 30% Ca)
5- Oligoclase (30 – 10 Ca)
6- Albite (10 – 0% Ca, 90 – 100% Na)

ويذكر ان عملية تبلور المعادن من الصهير تدعى بعملية التفاضل الصهيري Magmatic Differentiation او التبلور الصهيري Magmatic Crystallization.

تساعد سلسة تفاعلات بوين في فهم تسمية الصخور النارية، وتكمن هذه الاهمية او الفائدة من هذه السلسة في معرفة المكونات المعدنية لكل نوع من انواع الصخور النارية واهم نقطة هي ان المعادن المكونة لاي صخرة نارية يجب ان تكون في مدى محدد من الدرجات الحرارية، فمثلا نجد ان الصخور فوق القاعدية بشكل عام تحتوي على معدني الاوليفين والبايروكسين بشكل رئيسي اي في درجات حرارة عالية جدا، ومن الخطأ ان نقول انها تحتوي على الكوارتز مثلا لان الكوارتز يتكون في درجات حرارة واطئة فكيف يمكن ان يحدث ذلك ؟ اي كيف نوفر نوعين متفاوتين من درجات الحرارة في ان واحد ؟ منطقياً لايجوز ذلك بتاتاً.


Bowen's Reaction Series
(Temperatures at which minerals crystallize)
1400°C
Temperature of Cooling Magma
800°C
Olivine
Pyroxene
Amphibole
Biotite mica
Calcium-rich plagioclase feldspar
Sodium-rich plagioclase feldspar
Orthoclase
Muscovite mica
Quartz
Dark Color
Mafic Magmas
Intermediate Color
Intermediate Magmas
Light Color
Felsic Magmas

جامعة الموصل/ كلية علوم البيئة وتقناتها/ قسم علوم البيئة
الجيولوجيا العامة
General Geology
المرحلة الاولى
د. محمد وليد

الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks

الصخور الرسوبية:

هي الصخور المتكونة نتيجة تفتت وتكسر صخور سابقة ثم اعادة ترسيبيها من جديد وتماسكها بفعل الضغط والمواد اللاحمة (Cementation)، مثل الحجر الرملي Sandstone. او من تراكم مواد كيميائية ذائبة مثل الحجر الجيري Limestone. او من تراكم مواد عضوية حيوانية او نباتية ثم تماسكها بعد ذلك، مثل صخر الفوسفات Phosphate.

تغطي الصخور الرسوبية حوالي 75% من سطح الارض، لكنها تمثل 5% فقط من صخور القشرة الارضية. وتسمى بالصخور الثانوية اذ انها تاتي بالمرتبة الثانية بعد الصخور الاولية (الصخور النارية). وتعد اكثر الصخور انتشاراً في العراق (باستثناء مناطق محدودة جدا عند الحدود الشمالية والتي تحتوي على الصخور النارية، وبدرجة اقل الصخور المتحولة). وتضم الصخور الرسوبية احتياطي وخزين العراق من النفط والغاز الطبيعي، والمياه الجوفية والخامات الاخرى كالفوسفات والكبريت والحديد والمعادن الطبيعية ورمل الزجاج.

الراسب Sediment:

يمثل اي مادة صلبة كانت في الاصل معلقة او ذائبة في سائل، ثم ترسبت وتراكمت في القاع بعد اعطائها الوقت الكافي لذلك، مثل الاملاح التي تتركها المياه بعد تبخرها. والاطيان التي تترسب في قيعان الاحواض، والرمال التي تحملها الرياح ثم تترسب على الارض، وبقايا وافرازات الحيوانات والنباتات بعد تراكمها.

طرق تكون الصخور الرسوبية:

تمر الصخور الرسوبية باربعة مراحل اساسية اثناء فترة نشوئها او تكونها وهي بالتسلسل تبدأ بعملية التجوية ثم النقل ثم الترسيب واخيرا التصخر، وفيما يلي شرح مبسط لكل مرحلة منها:

اولا: التجوية Weathering

تُعرف عملية التجوية بأنّها العملية التي تتكوّن فيها الرواسب التي تُشكّل الصخور الرسوبية، حيث يتمّ من خلالها تحويل صخور الأساس الصلبة إلى دقائق وجُسيمات أصغر حجماً، وهي المرحلة الأولى من مراحل تشكّل الصخور الرسوبية، وتُقسم عملية التجوية إلى نوعين كالآتي:

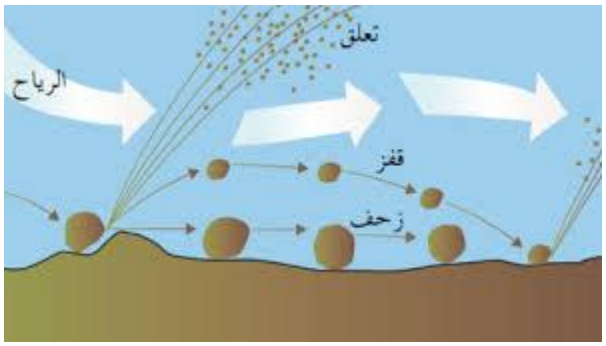
- **التجوية الميكانيكية Mechanical Weathering:** تتضمّن عدة آليات منها تجمّد المياه داخل شقوقها، أو ترسّب الأملاح داخلها، أو تكسير جذور النباتات لها، وجميع هذه العمليات تتسبّب في تمدد الصخور وتهشمها، كما أنّها تعتمد على العديد من العوامل، مثل: الضغط والحرارة ودورة التجمّد والإذابة للمياه ونشاط الكائنات الحية من نباتات وحيوانات.

- **التجوية الكيميائية Chemical Weathering:** تتضمّن هذه العملية تفكيك المعادن الموجودة في الصخور بطرق كيميائية من خلال عمليات متعددة، مثل: الأكسدة أو الإذابة أو التحلل المائي بوجود مواد

مساعدة مثل: الماء والأوكسجين وحامض الكربونيك وبعض المواد المُتفاعلة الأخرى، فتؤدّي هذه العمليات إلى تحويل مكونات الصخور المعدنية إلى أيونات تذوب في الماء وتُنقل من خلاله، وتسود التجوية الكيميائية في المناطق الدافئة والرطبة.

- التجوية العضوية Organic Weathering: تتضمن العمليات او الفعاليات التي تقوم بها الاحياء الدقيقة كالديدان والبكتريا والاشنات من خلال عمليات الحفر والنخر التي تقوم بها داخل الصخور.

ثانيا: النقل Transportation:

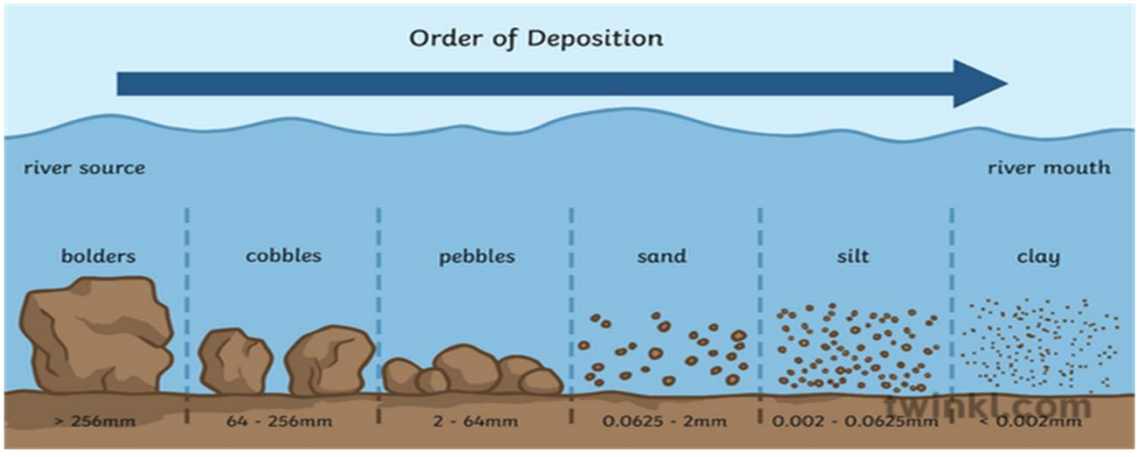


تحدث بواسطة عدّة عوامل من أهمّها الماء في البيئات او المناطق التي تحتوي على الانهار والجداول المائية، او الرياح في البيئات الصحراوية، ويتم نقل المواد الناعمة والصغيرة الحجم كمواد عالقة داخل المياه او الرياح وتعرف باسم الحمولة العالقة Suspension. اما المواد المتوسطة الحجم فتنقل بواسطة القفز Saltation. في حين تنقل المواد والصخور الكبيرة الحجم بواسطة الزحف او الدحرجة Rolling. وكلما زادت مسافة النقل زاد تاكل الكتل الصخرية وصغر حجمها وزيادة تكورها واستدارتها.

ثالثا: الترسيب Deposition:

تترسب المواد المنقولة اما عندما تصل طاقة وسرعة وسائل النقل كالرياح اوالتيارات المائية اوالجليد، المُحمّلة بالحصى والرمال والجسيمات الطينية والمواد المذابة في الماء، إلى درجة مُنخفضة بحيث لا يمكنها مواصلة عملية النقل، مما يؤدي الى ترسيب هذه المواد بفعل الجاذبية الأرضية.

تعكس الرواسب النهائية طاقة الوسط التي نُقلت من خلاله، وتتغير طاقة الوسط تبعاً لتغيّر سرعته ممّا يُساعد على فرز الرواسب، حيث يبدأ ترسيب القطع الصخرية من الأكبر حجماً والأثقل وزناً إلى القطع الأصغر حجماً والأخف وزناً، أمّا الأملاح فهي تترسب بعد ذلك بفعل بعض الأنشطة الحيوية على شكل أصداف بحرية على سبيل المثال، أو من خلال عملية التبخر.

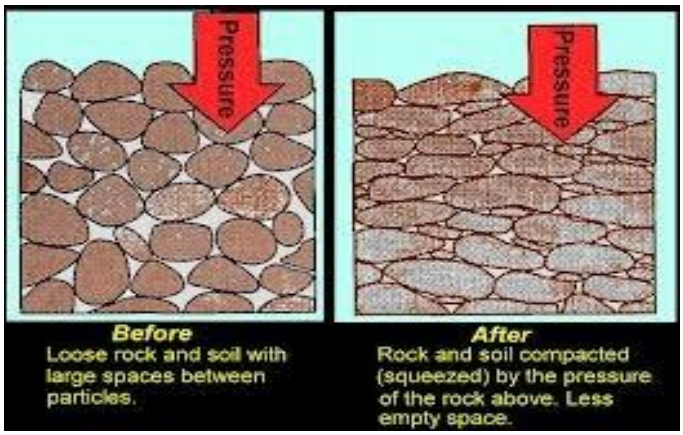


رابعاً: التصخر Lithification:

هي العملية التي تتصلّب فيها الرواسب المتفكّكة بعد أنّ تتجمّع مع بعضها البعض، حيث تتحوّل إلى صخور يصعب نقلها وتحريكها من مكانها، وهي الخطوة الأخيرة في مراحل تشكّل الصخور الرسوبية، وتتمّ هذه العملية بعدّة طرق، اما من خلال:

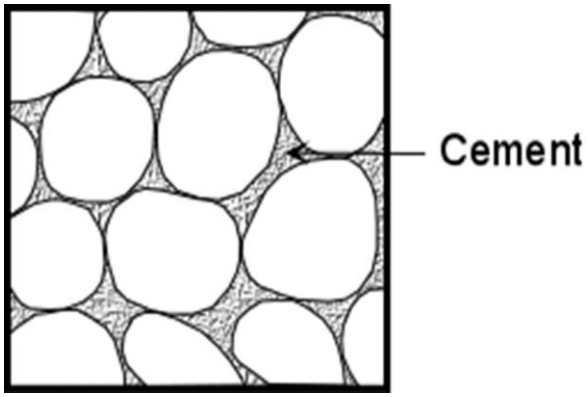
الانضغاط Compaction

(تُرصّ الرواسب نتيجة زيادة وزن الطبقات فوقها ممّا يُقلّل حجم الفراغات بينها ويطرد المياه التي كانت موجودةً في تلك الفراغات فتُصبح الرواسب كتلةً واحدة).



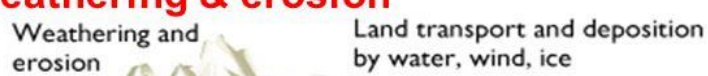
اعادة التبلور Recrystallization (يتم في هذه الطريقة إعادة تبلور بعض المعادن المكوّنة للصخور، وتكون الصخور الجيرية والصخور الرسوبية الكيميائية الأخرى الأكثر عُرضةً لهذا النوع من التحجّر، نظراً إلى سهولة تعديل معادنها في العديد من البيئات السطحية).

السمنتة Cementation (تُعتبر هذه العملية الأكثر شيوعاً لتحجّر الرواسب، حيث تترسّب الدقائق متقاربةً من بعضها مع وجود فراغات ومساحات فيما بينها، ويتمّ في عملية السمنتة ملىء هذه الفراغات بالمياه الجارية التي تحوي أيونات مذابة، ثمّ تتبلور هذه الأيونات لتتحوّل إلى معادن جديدة بين الحُبيبات، وتتشابك وتتداخل هذه البلورات فيما بينها، ممّا يُنتج كتلاً صخريةً أخرى أكثر تماسُكاً).



Sedimentary Processes

1) Weathering & erosion



خصائص الصخور الرسوبية

تتميز الصخور الرسوبية بصفات خاصة تميزها عن باقي انواع الصخور من اهمها:

1- وجودها في هيئة طبقات، وتتميز هذه الطبقات عن بعضها البعض باللون والسمك والنسيج، وقد تكون الطبقات أفقية أو مائلة أومجعدة.

2- احتوائها على الحفريات Fossils، والتي قد تكون كبيرة يمكن رؤيتها بالعين المجردة كعظام و اثار الدايناصورات أو قد تكون مجهرية لا يمكن رؤيتها الا باستخدام المجهر.

3- احتوائها على بعض المعادن والخامات كالبترول والغاز الطبيعي والفوسفات والفحم.

4- احتواء بعضها على المسامات، ولهذه المسامات أهمية كبيرة في حركة السوائل كالبترول والمياه الجوفية، والمحاليل المشبعة بالمواد المعدنية، وكذلك في تخزين الغازات الطبيعية التي توجد تحت سطح الأرض.

تصنيف الصخور الرسوبية Sedimentary rocks classification

تصنف الصخور الرسوبية وفقا لطريقة نشاتها او تكونها الى ثلاثة انواع رئيسة هي:

اولا: الصخور الفتاتية او الميكانيكية Clastic Rocks:

والتي تنشأ بالطرق الفيزيائية او الميكانيكية.

ثانيا: الصخور الكيميائية او غير الميكانيكية Non-Clastic Rocks:

والتي تنشأ بالطرق الكيميائية.

ثالثا: الصخور العضوية Organic Rocks:

عادة ما تكون ذات اصل عضوي.

اولا: الصخور الفتاتية Clastic Rocks:

تتدرج جزيئات هذه الصخور بالحجم، فمنها الكبيرة المتمثلة بالحصى الخشن ومنها الصغيرة التي لاترى الا باستخدام المجهر، ويمكن تقسيمها حسب مقياس وينتورث الى الصخور التالية:

اسم الحبيبات او الجزيئات	الحجم (ملم)	اسم الصخرة
الجلاميد الكبيرة Boulders	اكبر من 256	المتكتلات Conglomerate Breccia
الجلاميد الصغيرة Cobbles	256 - 64	
الحصى Pebbles	64 - 2	
الرمل Sand	2 – 1/16	الحجر الرملي Sandstone
الغرين Silt	1/16 – 1/256	الحجر الغريني Siltstone
الطين Clay	اقل من 1/256	الحجر الطيني Claystone

1 – الكونجلوميرات Conglomerates

وهى صخور رسوبية ميكانيكية تتكون من قطع صخرية كروية يزيد قطرها عن 2 مم، وتكون حوافها الخارجية دائرية بسبب نقلها لمسافات بعيدة بواسطة التيارات المائية مثل الأنهار، وتلتحم بفعل كربونات الكالسيوم أو السيليكا، أو أكاسيد الحديد.

2- البريشيا Breccia

مشابها للكونجلوميرت الا ان حافات حبيباتها تكون غير دائرية أى تكون حادة الحواف، ويدل ذلك على أنها لم تنقل لمسافات بعيدة بواسطة التيارات المائية النهرية، أى ترسبت فى المكان الذى نشأت فيه أو قريبا منه، وتوجد عادة قرب ينابيع الأنهار أو عند سفوح الجبال، أو على جوانب الهضاب.

3- الحجر الرملي Sandstone

يتكون من حبيبات معدنية فتاتية، تتكون من معادن الكوارتز والفلدسبار والمايكا، تلتحم معاً بواسطة كربونات الكالسيوم أو السيليكا، أو أكاسيد الحديد، ويتراوح حجم حبيبات الحجر الرملى بين 1/16– 2 ملم.

4- الحجر الغريني Siltstone

شبيه بالحجر الرملي من ناحية المكونات الا انه ذو حجم حبيبي اقل من حجم الرمل اذ يتراوح بين 1/16 – 1/256.

5- الحجر الطينى Claystone

تتكون من رواسب ناعمة دقيقة، ترسبها الأنهار فى مياه عميقة أو تتراكم على قيعان البحيرات العذبة، وقد تتماسك حبيباتها بعد ذلك نتيجة لجفافها وفقدانها كل ما تحمله من مياه، وترجع عملية التجفيف إلى الضغط الذي يقع على تلك الرواسب بسبب تراكم طبقات من الرواسب الأحدث فوقها، وقد توجد الصخور الطينية نقية خالية من الشوائب مثل الكاولين. أما إذا دخلت في تكوين الصخور الطينية بعض مركبات الجير فتعرف حينئذ بالمارل أو الطين الجيرى marl.

ثانيا: الصخور الغير فتاتية (الكيميائية) Non-Clastic rocks:

تتكون نتيجة تبخر المحاليل المالحة، حيث تترسب اولا المعادن الاقل ذوبانا، اما المعادن الاكثر ذوبانا فتترسب في النهاية كما مبين في المخطط ادناه.

(الاحدث)	الهالايت
	الانهيدريت
	الجبس
(الاقدم)	الحجر الجيري

ومن اهم انواعها:

1- الحجر الملحي (Halite) Salt Rock

يوجد على شكل طبقات سميكة مكونة من بلورات واضحة من معدن الهالايت NaCl. وهو يترسب بعد الحجر الجيري والجبس والانهيدرايت من محلول مياه البحر، ولذلك عادة ما يكون الطبقة العليا للتكاوين الجيولوجية الحاوية على هذه الصخور.

2- صخرة الجبس Gypsum

تتكون من معدن الجبس $CaSO_4.2H_2O$. ولها انواع مختلفة من النسيج في الطبيعة.

3- الانهيدريت Anhydrite

تتكون من معدن الانهيدريت $CaSO_4$ وتلي الجبس في الترسيب كما سبق ذكره، وغالبا ما تتواجد هاتان الصخرتان معا.

4- الحجر الجيري Limestone

تتكون من معدن الكالسايت عادة، ولها انواع عديدة:

- صخور الترافرتين Travertine التي تترسب من ينابيع المياه المعدنية.

- الهوابط Stalactite والصواعد Stalagmite وهي الاعمدة الهابطة من سقوف الكهوف او الاعمدة المتكونة على ارضية هذه الكهوف والتي تتكون من المياه الجوفية الغنية بمادة كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$.

- الحجر الجيري السرئي Oolitic limestone يتكون من حبيات صغيرة حلقية متحدة المركز مكونة من مادة كاربونات الكالسيوم وتتكون تحت ظروف خاصة.

5- صخرة الدولومايت Dolomite

تتكون من معدن الدولومايت $CaMg(CO_3)_2$ وهي تشبه الحجر الجيري ولكن يدخل عنصر المغنيسيوم في تركيبها، وتتميز بانها اثقل واصلب من الحجر الجيري كما انها تتفاعل ببطئ مع حامض الهايدروكلوريك المخفف.

6- حجر الصوان Chert

تتكون من ثنائي اوكسيد السيليكون وهي على نوعين:

- اما انها تتواجد على شكل عقد في طبقات الحجر الجيري، حيث تترسب كيميائيا من المياه الجوفية.
- او على شكل طبقات يعتقد انها من اصل عضوي، مكونة من الاصداف الغنية بالسيليكا.

ثالثا: الصخور العضوية Organic Rocks

تتكون من ترسبات اصداف وافرازات بعض الحيوانات البحرية، او ترسبات نباتية، ومن اهم انواعها:

1- الحجر الجيري العضوي Organic limestone

يتكون من ترسيب الاجزاء الصلبة الغنية بكاربونات الكالسيوم لبعض الكائنات الحية التي تعيش في البحار مثل الحجر الجيري الصدفي Shelly limestone، والحجر الجيري المرجاني Coral limestone، والحجر الجيري الفورامنيفيري Foraminiferal limestone.

2- الحجر الطباشيري Chalk

تتميز ببياضها الناصع وقلة صلادتها. اذ تتكون من اصداف حيوانية دقيقة جدا كالطحالب البحرية الـ Coccoliths.

3- صخر الفوسفات Phosphate

يتكون من فوسفات الكالسيوم ومواد اخرى كمعدن الاباتايت $Ca5(F,Cl)(PO4)3$. يتكون من تراكم عظام الحيوانات البحرية (تحتوي تقريبا على 60% تقريبا من فوسفات الكالسيوم). توجد منه احتياطيات كبيرة في الصحراء الغربية في العراق وفي الاردن وسوريا ومصر والمغرب وتونس والجزائر. اذ يستخدم كمادة للسماد وقد وجد بانه يحتوي على كميات ضئيلة من مركبات اليورانيوم.

4- الفحم الحجري Coal

يمثل تراكم النباتات في الغابات والمستنقعات خلال العصور الجيولوجية. وهو يمر بعدة مراحل اثناء تطوره فمادة الخث Peat هي مادة بنية اللون رطبة لاتتجاوز نسبة الكاربون فيها 60%. اما مادة الليجينت Lignite والتي يطلق عليها الفحم الكاذب فهي مادة سمراء اللون تحتوب على 75% - 60% كاربون، وتتواجد مع الطبقات الجيولوجية الحديثة. اما الفحم الحجري المعروف باسم الانثراسايت Anthracite فهو اجود انواع الفحم، وهو صخر صلد حالك السواد يحتوي على 75% - 90% كاربون، حيث انه يحترق بسهولة ويعطي لهيب صافي.

جامعة الموصل/
كلية علوم البيئة وتقناتها/
قسم علوم البيئة

الجيولوجيا العامة
General Geology
المرحلة الاولى

د. محمد وليد

الصخور المتحولة

Metamorphic Rocks

الصخور المتحولة Metamorphic Rocks: هي الصخور التي تنشأ من تحول الصخور سواءا كانت نارية او رسوبية او متحولة تحت حرارة عالية و / او ضغط كبير جدا في باطن الارض، مما يؤدي الى حدوث تغيير في صفاتها الاصلية واكتسابها صفات جديدة قد تشمل التركيب الكيميائي والمعدني والنسيجي.

عملية التحول Metamorphism: هي عملية التغير المعدني والتركيبي والنسيجي التي تطرأ على صخور القشرة الارضية (رسوبية او نارية او متحولة) نتيجة تعرضها لدرجات حرارة وضغط عاليين و بوجود المحاليل الكيميائية احيانا، بشرط ان لاتصل درجات الحرارة والضغط الى حد انصهار الصخرة، اي ان التحول يحدث والصخرة في الحالة الصلبة دون ان تنصهر.

- ان تحول الصخور النارية يؤدي الى تغيرها من صخور ذات بلورات مبعثرة الى صخور ذات بلورات مرتبة في صفوف منتظمة ومتوازية تقريبا.

- اما الصخور الرسوبية فانها تصبح اشد صلابة واكثر تبلورا خلال عملية التحول ويساعد وجود السوائل فيها على الاسراع في التفاعلات الكيميائية، على عكس الصخور النارية التي تحتوي على القليل من الماء ولهذا فانها تحتاج الى حرارة وضغط اكبر لحدوث عملية التحول. كما تختفي المتحجرات من الصخور الرسوبية اذا ما تحولت الى صخور متحولة، مما يجعل تقدير اعمارها اكثر صعوبة ولذلك يضطر العلماء الى اللجوء الى طرق اخرى لتحديد اعمارها.

- يذكر ان الصخور المتحولة موجودة في العراق ضمن نفس الشريط الذي تتواجد فيه الصخور النارية في اقصى الشمال الشرقي قرب الحدود مع ايران.

العوامل الواجب توفرها لحدوث عملية التحول هي:

1- الحرارة العالية Temperature: يجب ان تتراوح درجة الحرارة المطلوبة لحدوث عملية التحول ما بين الـ 200 درجة سيليزية (وهي درجة تكون الصخور الرسوبية) والـ 750 درجة سيليزية (درجة حرارة الانصهار).

2- الضغط Pressure: يكون على نوعين:

- الضغط الاتجاهي او ضغط الاجهاد Directed or Stress pressure: ينتج هذا النوع من الضغط عادة بفعل الحركات الارضية، ويكون موجها باتجاه واحد فقط هو نفس اتجاه الحركات الارضية ويكون قريبا من سطح الارض، وقد تصل قيمته الى حد 3 كيلوبار (كل 1 بار = تقريبا 1 ضغط جوي).

- الضغط الهيدروستاتيكي Hydrostatic pressure: وهو ما يسمى احيانا بالضغط غير الاتجاهي، فهو الضغط المسلط على الصخرة بشكل متساوي من جميع الاتجاهات، وهو ضغط منتظم وعلى اعماق اكبر تحت سطح الارض، وقد يصل في قيمته الى حد 10 كيلوبار في ظروف التحول المعروفة.

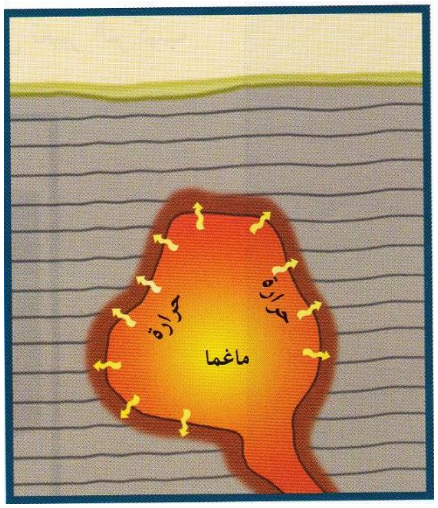
3- المحاليل الكيميائية Chemical solutions: وهي محاليل حارة او حرمائية Hydrothermal solutions، ولها دور مهم اما كوسيط لانتقال الايونات من مكان الى اخر في وسط الصخرة الام التي تخترقها عبر شقوقها، او كوسيط للتبادل الايوني بين مكونات الصخرة الام من جهة وبين مايحيط بها من جهة اخرى.

4- عامل الزمن Time: يلعب الزمن دورا محوريا واساسيا لحدوث عملية التحول، فعملية التحول تحتاج الى فترة زمنية لكي تتم.

انواع التحول Types of Metamorphism

استنادا الى عوامل التحول المذكورة توجد 3 انواع من التحول وهي:

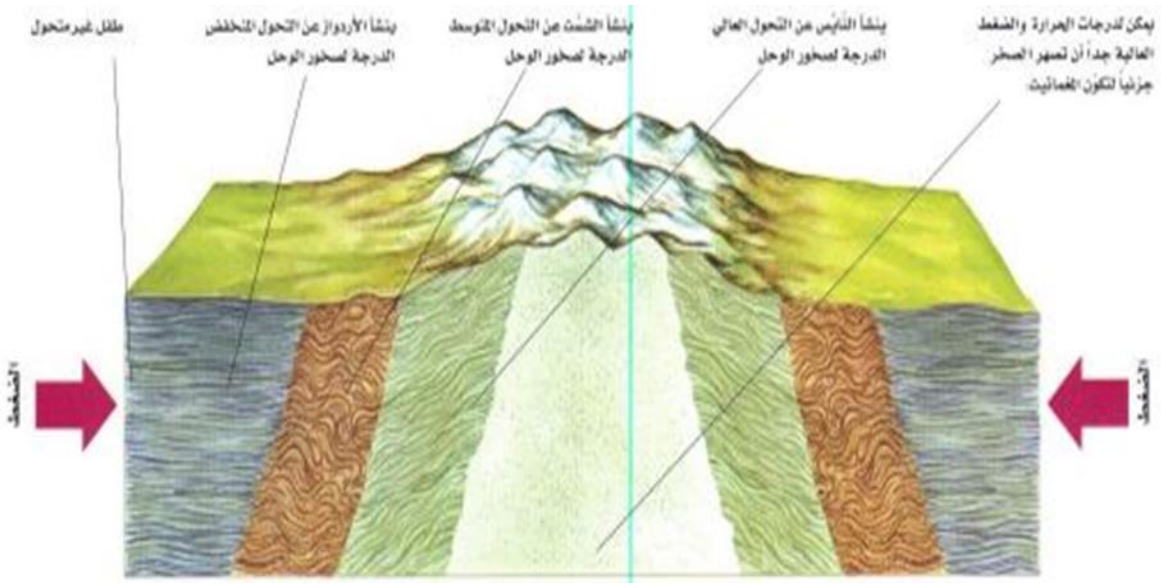
1- التحول الحراري او التماسي Thermal or Contact Metamorphism:



وهو التحول الناتج بفعل الحرارة العالية فقط (بدون ضغط)، ويحصل عند تماس الصخور الام مع جسم ناري بلوتوني او صهير، ولهذا سمي بالتحول التماسي، وفيه تنتقل الحرارة من الجسم الناري الى الصخور المتماسة المحيطة به فتحولها الى صخور متحولة تحولا حراريا او تماسيا.

2- التحول الاقليمي Regional Metamorphism:

يحدث تحت اعماق كبيرة بفعل عاملي الضغط والحرارة. وبما ان هذا التحول يشمل مساحات واسعة فانه سمي بالتحول الاقليمي الذي يكون فيه الضغط اما اتجاهي او هيدروستاتيكي.



3- التحول الديناميكي Dynamic Metamorphism:

ويحدث بفعل عامل الضغط فقط (بدون حرارة) ونوع الضغط فيه اتجاهي. تتكسر فيه الصخور الام ويعاد ترتيب معادنها مع اتجاه الضغط.

التركيب المعدني للصخور المتحولة:

هو مشابه بشكل عام لتركيب الصخور النارية والرسوبية، مع بعض الفوارق الناتجة عن تاثير الحرارة والضغط او الذي يؤدي الى ازاحة وطرد الماء منها مصحوبا بهروب بعض العناصر الكيميائية مثل الصوديوم Na والكالسيوم Ca والتي تدخل في تركيب الكثير من المعادن، مما يؤدي الى ظهور معادن جديدة تميز الصخور المتحولة مثل:

الكاياناية Kyanite و الزويسايت Zoisite والكارنيت Garnet والستورولايت Staurolite والتالك Talc السيرسايت Sericite والكلورايت Chlorite.

- ويعد وجود معدني الكلورايت والسيرسايت في الصخرة المتحولة دليلا على التحول الواطئ (حرارة وضغط منخفضين).

- في حين يدل وجود الكرانيت والستورولايت على التحول العالي

تصنيف الصخور المتحولة Classification of Metamorphic Rocks

تصنف الصخور المتحولة وفقا لنسيجها الى صنفين اساسيين هما:

اولا: الصخور المتحولة الصفائحية (المتورقة) Foliated Rocks:

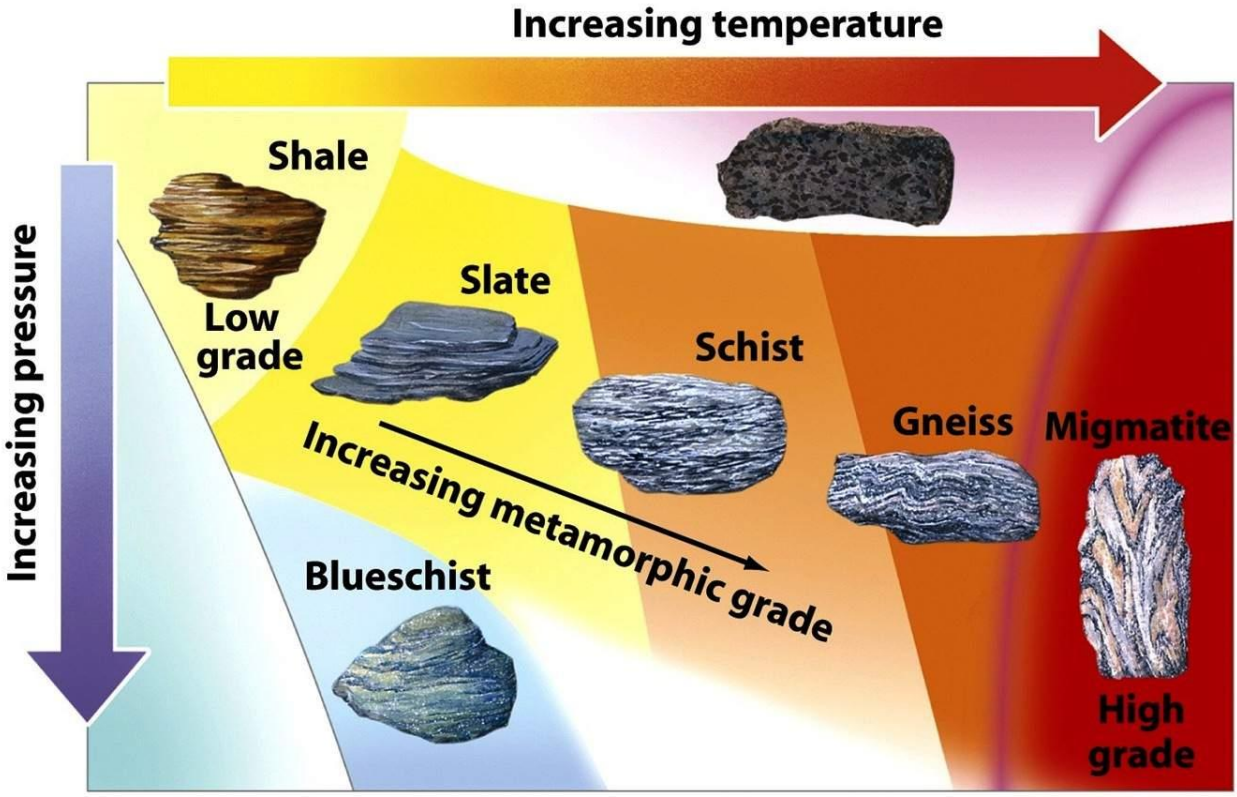
تتكون نتيجة للتحول الاقليمي (حرارة + ضغط) او التحول الديناميكي (ضغط فقط) وهي تتميز بظاهرة التصفح (او التورق foliation) الذي يعزى الى الضغط الاتجاهي المسلط عليها، حيث تتواجد على شكل طبقات رقيقة متوازية من المعادن تتجمع وتنتظم وتميل باتجاه واحد، بحيث يمكن ان تنقسم وتتشقق وتنفصل في مستويات متوازية، ويمكن تقسيمها نسبة الى سمك الصفائح الى:

- **صخور الاردواز Slate:** تتكون من صفائح رقيقة ملساء تفصلها مستويات رقيقة جدا مجهرية. وهي تنتج من تحول الصخور الطينية.

- **صخور الشست Schist:** حجم بلورات المعادن فيها وكذلك الشقوق التي تفصلها تكون اكبر حجما من الصخور السابقة بحيث يمكن رؤيتها بالعين المجردة. واحيانا يمكن فصل المستويات عن بعضها نظرا لاحتوائها على معادن المايكا التي تتراص على شكل طبقات تمتد لمسافات طويلة تفصلها عن بعضها طبقات من بلورات الكوارتز الدقيقة.

- **صخور النايس Gneiss:** تتشكل المعادن فيها في طبقات سميكة تفصلها شقوق واسعة تميزها عن صخرة الشست، كما ان طبقاتها تكون متقطعة وغير متصلة بحيث لايمكن فصلها عن بعضها. وهي تمثل صخور كاملة التحول لها تركيب معدني مماثل لصخرة الكرانيت النارية (فلدسبار – اورثوكليس – كوارتز – مايكا). وينعدم معدن الفلدسبار عادة في صخور الشست

ان الصخور الثلاثة السابقة الذكر قد تنشأ (احيانا) من نفس الصخرة وهي صخرة الحجر الطيني (Shale) الرسوبية، ولكنها تمثل مراحل مختلفة من عملية التحول، وكما موضح في الشكل ادناه:



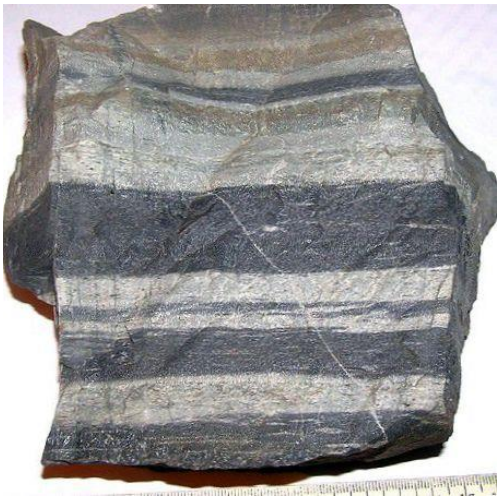
ثانيا: الصخور المتحولة غير الصفائحية Non-foliated Rocks:

هي صخور تتكون نتيجة للتحول الحراري الموضعي (حرارة فقط)، لذا فانها لاتحتوي على الصفائح (التورق) اي ان نسيجها غير صفائحي، اذ ان بلورات المعادن لاتنتظم في اتجاه واحد بل تتوزع في اتجاهات مختلفة. مثال ذلك:

- حجر الكوارتزايت Quartzite: تتكون من بلورات معدن الكوارتز Sio_2 المتماسكة مع بعضها بحيث لا تكون سطوح ملساء عند كسرها. وهي تتكون من تحول صخرة الحجر الرملي الرسوبية Sandstone.

- المرمر Marble: يتكون من تحول الحجر الجيري Limestone ($CaCO_3$) او حجر الدولومايت $CaMg(CO_3)_2$ بفعل الحرارة (واحيانا الضغط) (في الحقيقة ان وجود عامل الحرارة لوحده يؤدي الى تفكك معدن الكالسايت $CaCO_3$ الى اوكسيد الكالسيوم وثاني اوكسيد الكاربون، لهذا يصبح عامل الضغط ضروري لمنع عملية التحلل هذه).

ثالثا: الصخور الكاتاكلاستيكية Cataclastic Rocks:



وهي صخور تتكون نتيجة للتحول الديناميكي فقط اي بدون تأثير حراري، لذا يتسبب الضغط في سحق Crushing اوطحن Pulverizing الصخور الام، وقد تحتوي او لاتحتوي على ظاهرة التورق. وتضم الصخور الكاتاكلاستيكية صخور المايلونايت Mylonite.