جامعة الموصل/
كلية العلوم البيئية/
المرحلة الاولى

د. حازم جمعة محمود
المحاضرة السابعة

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 وبوجود 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 وأكثر 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 أكبر لحدوث عملية التحول. كما تختفي المتحجرات من الصخور الرسوبية اذا ما تحولت الى صخور متحولة، مما يجعل تقدير اعمارها اكثر صعوبة ولذلك يظطر 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 إيران.

العوامل الواجب توفرها لحدوث عملية التحول:

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 كيلو بار (كل 1 بار = تقريبا 1 ضغط جوي).

- الضغط الحاصر Confined Pressure: وهو ما يسمى احيانا بالضغط غير الاتجاهي، فهو الضغط المسلط على الصخرة بشكل متساوي من جميع الاتجاهات، وهو ضغط منتظم وعلى أعماق كبيرة تحت سطح الارض، وقد يصل في قيمته الى حد 10 كيلو بار في ظروف التحول المعروفة.

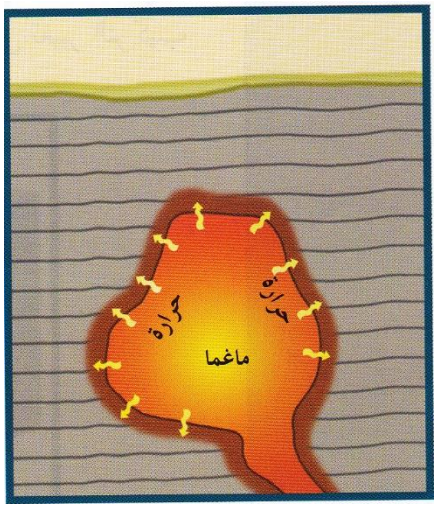
3- المحاليل الكيميائية Chemical solutions: وهي محاليل حارة او حرمائية Hydrothermal solutions، ولها دور مهم اما كوسيط لانتقال الايونات من مكان الى اخر في وسط الصخرة الام التي تخترقها عبر شقوقها، او كوسيط للتبادل الايوني بين مكونات الصخرة الام من جهة وبين مايحيط بها من جهة اخرى.

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 (الضغط ثانوي)، ويحصل قرب او 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 قرب السطح.

2- التحول الاقليمي Regional Metamorphism:

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

3- التحول الديناميكي Dynamic Metamorphism:

ويحدث بفعل عامل الضغط فقط (بدون حرارة) ونوع الضغط فيه اتجاهي. تتكسر فيه الصخور الام وتتجه معادنها مع اتجاه الضغط. وتكون ملازمة لتكون الصدوع خاصة العميقة منها .

عندما تكون هذه التصدعات عميقة داخل جوف الأرض تتحرك الصخور بصورة مرنة مطاطية ضمن نطاق التصدع مما يؤدي إلى استطالة الحبيبات أو البلورات المكونة للصخور وينشأ عنها نسيج متصفح يعرف بالنسيج المايلونايتي والصخور التي تحويه تعرف بصخور المايلونايت (Mylonite)

التركيب المعدني للصخور المتحولة:

بشكل عام فان التركيب المعدني للصخور المتحولة يكون مشابه للتركيب المعدني للصخور الاصلية (النارية، الرسوبية، المتحولة) التي تكونت منها الصخور المتحولة، مع بعض الفوارق الناتجة عن تأثير الحرارة والضغط او نتيجة لحركة وانتقال بعض السوائل التي تكون محملة ببعض الايونات 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 والزويسايت Zoisite والكارنيت Garnet والستورولايت Staurolite والتالك Talc السيرسايت Sericite والكلورايت Chlorite.

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

- في حين يدل وجود الكارنيت (Garnet) والستورولايت (Staurolite) 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:

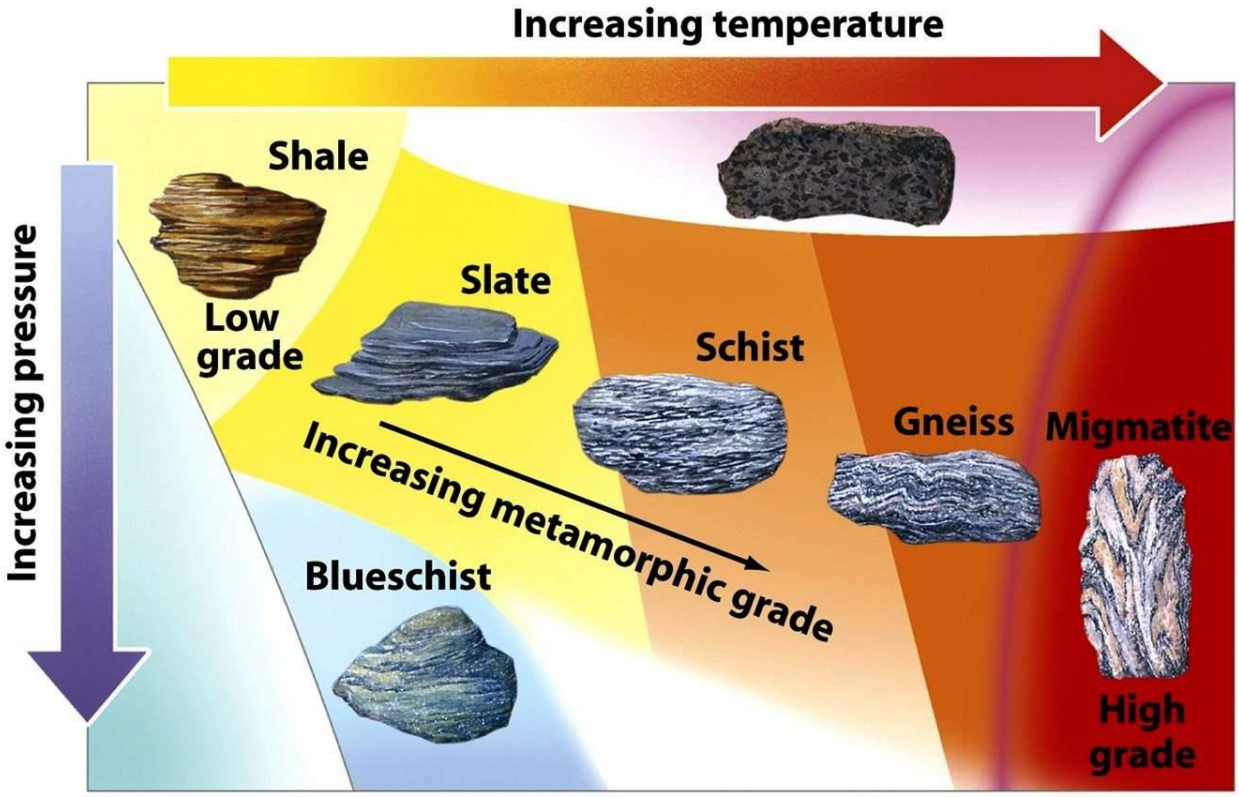
تتكون نتيجة للتحول الاقليمي (حرارة + ضغط) او التحول الديناميكي (ضغط فقط) وهي تتميز بظاهرة التصفح (او التورق foliation) الذي يعزى الى الضغط الاتجاهي المسلط عليها، حيث تتواجد على شكل طبقات رقيقة متوازية من المعادن تتجمع وتنتظم وتميل باتجاه واحد، بحيث يمكن ان تنقسم وتتشقق وتنفصل في مستويات متوازية، ويمكن 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 لتي تفصلها تكون أكبر 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). ينعدم 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 بدون تأثير حراري مما يتسبب الضغط في سحق Crushing اوطحن Pulverizing الصخور الام، وهي صخور غير متورقة ايضا الا اذا كان التحول الديناميكي مصحوبا بالحرارة. تضم الصخور الكاتاكلاستيكية صخور المايلونايت Mylonite.