# علم الصخور

**علم الصخور** هو العلم المختص بدراسة الصخور من حيث أصلها ونشأتها، مكوناتها وعلاقاتها بالعمليات الجيولوجية المختلفة في الأرض والتغيرات الناشئة عليها. كما يدل علي ذلك مصطلح (Petrology) وهو كلمة يونانية الأصل تتكون من مقطعين (Petro) ومعناها صخر و(Logy) والتى تعنى علم او معرفة.

## التركيب الصخري للقشرة الارضية

الصخور الى جانب المعادن هى مكونات القشرة الارضية او ذلك الغلاف اليابس الذى يحيط بالارض Lithosphere وقد يتركب الصخر من معدن واحد او يكون خليط من عدة معادن ، وتشترك فى بناء جزء اساسى من القشرة الارضية. وتوجد ايضا صخور تتكون من اصل عضوى (ليس معدنى) مثل صخور الفحم او الصخور المتكونة من تكدس بقايا الهياكل العظمية للكائنات الحية. تختلف الصخور اختلافا واضحا يتوقف على نوع المعادن المكونة لها وعلى نسبة هذه المعادن وكذلك على كيفية نشأتها Mode of origin وطريقة تكوينها وتواجدها Mode of occurrence . **ويمكن حصر جميع انواع الصخور المعروفة فى ثلاثة انواع رئيسية هى الصخور النارية والصخور الرسوبية والصخور المتحولة**.

**الصخر Rock:** يعرف الصخر بأنه مادة صلبة تتكون من معدن واحد أو مجموعة من المعادن تكونت فى مكان واحد نتيجة ظروف تكوين معينة، والصخر هو وحدة تركيب سطح القشرة الأرضية

## تصنيف الصخور

تختلف الصخور اختلافاً بيناً يتوقف علي التركيب المعدني لها، كيفية نشأتها وطرق تكونها وتواجدها. هنالك **مجموعة من الأسس التي تقوم عليها تصنيف الصخور منها:**

**١) التركيب الكيميائي**

**٢) المكونات المعدنية**

**٣) أصل التكوين وبيئة النشأة (مكان التصلد وطريقة الظهور)**

**٤) ماتحتويها الصخور من أنسجة وتراكيب.**

# أولا الصخور النارية

وهى تتكون نتجة لبرود الصهير وتصلبها اما على السطح او على اعماق مختلفة منه. والصهير هو الخليط السائل او اللزج لمجموعة المعادن المصهورة التى توجد اصلا فى جوف الارض ، والصهير عبارة عن خليط من المواد الطيارة Volatiles او الغازية Gaseous مثل ثانى اكسيد الكربون وبخار الماء ، ومواد غير طيارة Non -volatiles مثال اكاسيد السيلكون والألومنيوم والحديد والمغنسيوم وغيرها . وفى اثناء صعود الصهير من باطن الارض تجاه سطح الارض يقل الضغط كما تقل درجة الحرارة تدريجيا ، والنقص فى الضغط يمكن الغازات المجودة فى الصهير من الهروب او التسلل فى الصخور المجاورة ، بينما يؤدى انخفاض درجة الحرارة الى تبلور المواد الغير طيارة. وكلما كان نقص درجة الحرارة او عملية التبريد

بطيئة كلما ظل الصهير فى حالة سائلة اكبر وقت ممكن وهذا يسمح للجزيئات الدقيقة ان ترتب نفسها فى اشكال منتظمة وبالتالى تعطى الفرصة لتكون البلورات الكبيرة . و نجد ان التبريد السريع جدا الذى يحدث عندما يصعد الصهير على هيئة طفوح بركانية الى سطح الأرض وينتج عنه نسيج صخرى ذو حبيبات دقيقة Fine grained او نسيج زجاجى.

**تتميز الصخور النارية بالخصائص الآتية:**

١-توجد في الطبيعة غالبا على هيئة كتل ضخمة ، ولا توجد على هيئة طبقات متتابعة بعضها فوق بعض .

٢- تخلو من الحفريات ( بقايا المخلوقات النباتية و الحيوانية )

٣- غالبا ما تكون في حالة متبلورة ويختلف حجم بلورتها باختلاف سرعة تبريد الصهارة الذي تكونت منه ، لذا نجد الصخور التي تكونت في باطن الأرض جوفية ذات بلورات كبيرة الحجم لأنها بردت ببطء .

٤- تتكون من معادن اولية نارية (Pyrogenetic minerals)

٥- لا يوجد مسامات أو فراغات بين حبيباتها ، فهي تعد صخورا صماء غير مسامية .

٦- تحتوي علي أنسجة (Textures) وتراكيب (Structures) أولية دالة علي العمليات النارية

## الصهير او الماجما Magma

يعتبر الصهير او الماجما Magma وهى كلمة يونانية تعني الجسم اللدن وهو الأصل الذى تكونت منه الصخورالنارية

**ويعرف الصهيرعلي أنه محلول معقد غليظ القوام من مادة صخرية مصهورة يتواجد علي مستويات مختلفة من الأرض وفي درجات حرارة عالية جداً وضغط كبير. ويكون تركيبه من نظام سائلى متعدد المكونات (Multi component system) من حالات المادة الثلاث .**

**يتميز الصهير بالخواص الطبيعية التالية:**

١) **يوجد الصهير في درجات حرارة عالية** جداً

٢) **الصهير سائل غليظ القوام شديد اللزوجة** الاّ أن له المقدرة علي الحركة والإنسياب.

٣) الصهير القاعدى أقل لزوجة من الصهير الحمضي لذا نجد أن الحمم القاعدية تنساب الي مسافات بعيدة مقارنة بالحمضية ويعزي هذاالفرق في اللزوجة بين الصهير القاعدي والحمضي الي إرتفاع نسبة السليكا في الأخير.

**تبلور وتطور الصهير وتكوين المعادن بالصخور النارية:-**

فعندما يندفع الصهير من جوف الأرض الي أعلي فإنه يتبلور ويتصلد بفقدان الحرارة في داخل القشرة الأرضية او علي سطحها وخلال هذه العملية يمر الصهير بمراحل مختلفة تتم فيها مجموعة من العمليات الكيميائية والفيزيائية المعقدة (Igneous processes) تعرف قي مجملها بتطور الصهير والتى

تقود الي تكوين ما يعرف بالصخور النارية (Igneous rocks). واهم هذه العمليات هو التبلورالتجزيئي Fractional Crystallization

تسمي عملية تعرض الصهير الي إنخفاض في درجة الحرارة والضغط ومن ثم تصلده بعملية التبلور، والتى تنبني عليها إنفصال بلورات معدنية من الصهير بصورة متكررة فيما يعرف بعملية **التبلور التجزيئي للصهير (Fractional crystallization).**

وضع العالم بوين (N. L. Bowen) قاعدة تسمي قاعدة بوين للتتابع التفاعلي ( Bowen reaction principle) اعتبرت النموذج المثالي لشرح **عملية التبلور التجزيئي من الصهير القاعدي**

## تصنيف وتقسيم الصخور النارية

**هناك عدة طرق لتصنيف الصخور النارية يعتمد كل منها على صفات أو خصائص معينة أهمها ما يلي :**

**١ ـ كيفية التواجد ( مكان التصلب ) ٢ ـ التركيب الكيميائي و المعدني**

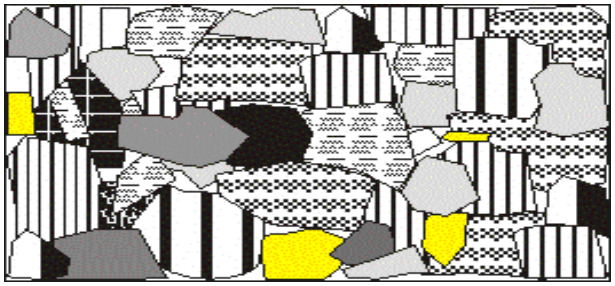
**٣ ـ النسيج ٤ ـ اللون**

### ١ـ كيفية التواجد ( مكان التصلب ) للصخور النارية

من الصخور النارية ما يتكون تحت سطح الأرض خلال الشقوق والفجوات وتسمى الصخور المتداخلة Intrusive rocks ، ومنها ما يصعد حتى سطح الأرض وتعرف بالصخور السطحية Extrusive rocks او البركانية Volcanic rocks ، وكذلك يمكن تقسيم الصخور المتداخلة الى نوعين حسب العمق هما الصخور الجوفية Plutonic rocks والصخور تحت سطحية Hypa byssal rocks وفيما يلى وصف لهم:

#### أ ـ الصخور الجوفية Plutonic rocks

تتكون الصخور الجوفية على أعماق بعيدة فى جوف الأرض حيث تسمح عوامل الحرارة والضغط بعملية تبلور تام لمكونات الصهير ، نتيجة التبريد البطئ والضغط المستقر نسبيا ، ولذلك توجد المكونات المعدنية للصخور الجوفية فى هيئة بلورات كبيرة الحجم ومتساوية فيما بينها فى النمو وفى ترتيب أفرادها ، وتوصف المعادن فى هذه الحالة بأنها كاملة التبلور Holocrystalline. وتعرف الهيئة الناتجة عن الحجم النسبى وشكل وطريقة ترتيب بلورات المعادن المكونة لصخر ما بالنسيج Texture. وتتميز الصخور الجوفية بنسيج كامل التبلور أى ذات بلورات واضحة المعالم "نموذجية الشكل" Idiomorphic (شكل ٢).



***شكل ٢ ـ يبين النسيج كامل التبلور***

ويوصف النسيج فى هذه الحالة بأنه كبير الحبيبات Coarse grained texture أو جرانيتى Granitoid. وتتواجد الصخور الجوفية فى هيئة كتل ذات حجم ضخم ، تغطى مساحات شاسعة تبلغ مئات الكيلومترات ، وتتزايد مساحتها تدريجيا فى اتجاه قاعدتها على أعماق كبيرة جدا تحت سلاسل الجبال ، وعادة ما تكون أسقفها مخروطية الشكل وجدرانها شديدة الانحدار وغير متوافقة مع صخور مكانها وتعرف هذه الكتل الضخمة من الصخور النارية "باثوليث" Batholith ، وتسمى الأحجام الصغيرة منها "بوس" Boss أو "ستوك" Stock .

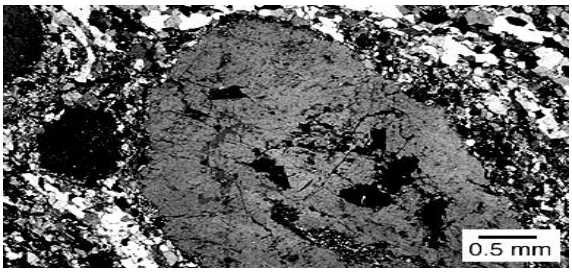
**ب ـ الصخور تحت السطحية (المتداخلة)**

يصعد الصهير أحيانا تحت ظروف اضطرارية داخل القشرة الأرضية ويتسرب إلى مناطق الضعف فى صخور المكان وخاصة الرسوبية منها وينتج عن ذلك تقوس الطبقات الموجودة فوق الصهير المتداخل فتتخذ هيئة قبو ذو قاعدة مستوية إلى حد ما ، وبذلك يوجد شبه توافق من نوع ما بين السطح العلوى لهذه الكتلة المتداخلة وطبقات الصخور الرسوبية المحيطة بها. وتسمى مثل هذه الكتل النارية المتداخلة ، التى قد تصل مساحتها عدة كيلومترات باسم لاكوليث Laccolith أو كتل جرسية.

وأحيانا يتداخل الصهير بين سطوح الطبقات الرسوبية حيث يتجمد فى هيئة جدد موازية sills ، وأحيانا أخرى يغزو الصهير الشقوق والفواصل أو الكسور التى غالبا ما تكون راسية أو مائلة فى صخور المكان ويتجمد مكونا كتلا نارية تعرف بالجدد القاطعة أو الراسية Dikes.

وتتميز الصخور تحت السطحية بنسيج بورفيرى ويتكون من بلورات كبيرة الحجم تسمى Phenocrystal منتشرة فى وسط من البلورات الدقيقة أو المجهرية Microcrystals أو فى وسط زجاجى ينعدم فيه التبلور نهائيا (شكل ٣). وينشأ النسيج اليورفيرى نتيجة تغير الظروف المحيطة بالصهير المتداخل أثناء تصلده ، فتتكون البلورات الكبيرة الحجم النموذجية الشكل أثناء وجود الصهير فى أعماق بعيدة نسبيا من سطح الأرض نتيجة التبريد البطئ ، فإذا ما تداخل الصهير بعد ذلك فى الطبقات القريبة من سطح الأرض حيث التبريد المفاجئ فإنه يتصلد حينئذ فى بلورات دقيقة الحجم أو مجهرية تملا وتتشكل بشكل الفراغات الموجودة بين البلورات النموذجية الشكل السابق تكوينها. وأحيانا أخرى يتعرض الصهير المتداخل إلى انخفاض شديد مفاجئ فى درجة الحرارة والضغط فيتصلد فى هيئة مادة خفية التبلور (لا يمكن تمييزها

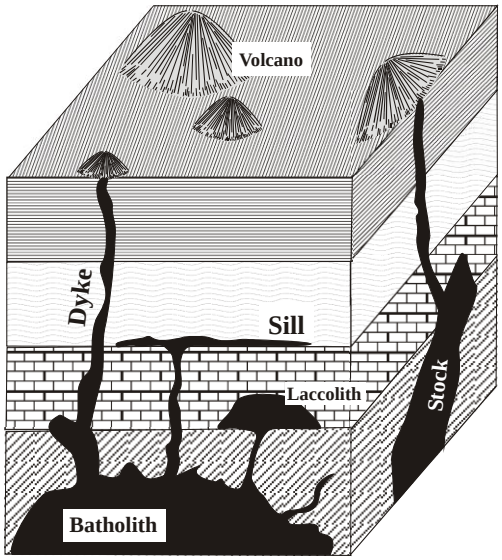
بعدسة مبكرة أو مجهر عادى) ، أو يتجمد فى هيئة مادة زجاجية عديمة التبلور ، لتكون الوسط الذى يحيط بالبلورات اللكبيرة الحجم.




*شكل ٣ ـ يبين النسيج البورفيرى فى الصخور النارية*

**ج ـ الصخور السطحية أو البركانية**

تتكون هذه الصخور نتيجة تدفق الحمم أو اللافا من أفواه البراكين الثائرة ، أو من الشقوق والفواصل التى قد تصادف الصهير المتصاعد فى صخور المكان إلى سطح الأرض ، وتتصلد الحمم حينئذ بسرعة فائقة لا تسمح لمكوناتها بأن تتخذ الأشكال البلورية الخاصة بها فتكون مادة زجاجية عديمة التبلور ، وأحيانا تتجمد الحمم فى كتل سميكة ، فتتكون الطبقة الخارجية منها فى نسيج زجاجى نتيجة تعرضها المباشر للجو حيث تفقد حرارتها بسرعة هائلة ، بينما تتمتع الأجزاء الداخلية منها بتبريد بطئ نسبيا فتتجمد فى نسيج دقيق أو حتى التبلور ، وغالبا ما تحتوى الحمم على غازات وأبخرة متعددة على هيئة فقاقيع كبيرة ، سرعان ما تتطاير بمجرد تعرضها للجو تاركة خلفها فراغات فقاعية فى الصخور النارية السطحية فتكون نسيجا فقاعيا. وقد تمتلئ هذه الفراغات الفقاعية فيما بعد بمعادن ثانوية لاحقة مختلفة الأصل وتظهر فى شكل لوزى ، ويوصف النسيج الناتج بأنه لوزى أو ميجدالى. وأحيانا تتجمع الغازات البركانية فى الحمم على هيئة فقاقيع صغيرة جدا كثيرة الانتشار ، وبمجرد تطايرها تترك الصخر البركانى على هيئة نسيج إسفنجى كما فى الحجر الخفاف.




***شكل ٤ : يبين اهم الاشكال التى تكون عليها الصخور النارية الجوفية والمتداخلة والبركانية***

وتظهر الصخور البركانية فى الطبيعة فى أشكال مختلفة تتوقف على التركيب الكيميائى للحمم ودرجة حرارتها ودرجة لزوجتها ، فالحمم الحامضية التركيب تظل لزجة لوقت طويل وخاصة فى درجات الحرارة العالية فتسيل إلى مسافات قصيرة غير بعيدة عن مصدرها ، فى حين أن الحمم القاعدية التركيب قليلة اللزوجة أو مائية Mobile وتتحرك بسهولة فتصل إلى مسافات بعيدة نسبيا عن مصدرها. وتقذف البراكين قطع الحمم إلى ارتفاعات مختلفة فى هيئة كتل بركانية ، أو هيئة بيضاوية تعرف بالقنابل البركانية Volcanic bombs ، او قطع صغيرة الحجم ، أو تتطاير فى هيئة فتات أو حبيبات صغيرة تعرف بالغبار البركانى Volcanic dust. ثم تتساقط هذه القذائف البركانية وتكون الرواسب الفتاتية البركانية ، ومنها البريشيا البركانية (تتكون من قطع صخرية بركانية حادة الحواف). أما اللافا فإنها تسيل على جوانب البراكين الثائرة ، وعندما تبرد هذه الحمم المتدفقة فإنها تتخذ أشكالا حبلية ، عادة ما توازى السطح الذى تسيل عليه ، وغالبا ما تتبلور مكونات الجزء الداخلى لهذه الحمم المتحركة وتترتب موازية لبعضها فى اتجاه التحرك فينتج ما يسمى بنية الانسياب Flow structure . وقد تبرد اللافا متجمدة على هيئة وسائد متجمعة فوق بعضها فى بنية وسادية pillow structure ، وأحيانا تتجمد الحمم فى شكل أعمدة رأسية متلاصقة ذات مقطع سداسى منتظم يشبه خلايا النحل يعرف بالبنية العمدانية Columnar structure . وتنشأ هذه البنية عن الإنكماش المنتظم لسطح الحمم نتيجة التبريد وتنفصل فى أشكال منتظمة سداسية المقطع ، وتمتد الفواصل متعمقة إلى أسفل بازدياد التبريد والانكماش فتتكون أعمدة طولية متوازية متجاورة منفصلة عن بعضها.

## ٢ـ التركيب المعدنى للصخور النارية

تتكون الصخور النارية من تصلد مادة الصهير أو الحمم. وقد سبق الإشارة إلى أن تجمد الصهير يؤدى إلى تكون معادن السيليكات بالتبلور فى نظام وتتابع معين هو التبلور النوعى أو التبلور التجزيئى. ونتيجة لهذا فإن الصخور النارية تختلف اختلافا بينا فيما بينها فى تركيبها المعدنى وبالتالى فى تركيبها الكميائى. ولا يتوقف نوع الصخور النارية على مجرد خاصية التبلور النوعى فحسب ، بل يتوقف كذلك إلى حد كبير على التركيب الكميائى لمادة الصهير نفسه ، فالصهير الغنى أصلا بالسيليكا والألومينا والقلويات يتصلد مكونا معادن الفلزات القلوية والميكا البيضاء (ماسكوفيت) والكوارتز ، بينما تتكون المعادن الحديدوماغنيسية مثل الأوليفين ، الأوجيت ، الهورنبلند والميكا السوداء (بايوتيت) من الصهير الغنى بالجير والماغنيسيا وأكسيد الحديد. وأما الصهير الغنى بالقلويات (الصوديوم والبوتاسيوم) فإنه يتصلد مكونا المعادن الفلسباثية مثل النيفيلين .

**ويمكن تصنيف الصخور النارية على أساس التركيب المعدنى ، أى حسب نسبة السيليكا التى يحتويها الصخر إلى أقسام رئيسية هى :**

### ١- صخور حامضية Acidic rocks

تحتوى على أكثر من ٦٦% سيليكا ونسبة صغيرة من الحديد والماغنسيوم ولذلك فإن لونها غالبا ما يكون فاتحا ، وأهم المعادن التى تكون هذه الصخور هى الكوارتز والفلسبارات مثل أرثوكليز وميكروكلين وقليل من الفلسبارات البلاجيوكلازية الحامضية مثل ألبيت وأوليجوكليز ، والميكا البيضاء وقليل من الميكا السوداء.

**ومن أمثلة هذه الصخور:**

**الجرانيت** ((صخر حامضى يتكون من المعادن الأساسية مثل كوارتز والفلسبار البوتاسى مثل أرثوكليز أو ميكروكلين ، والميكا البيضاء (ماسكوفيت) أو السوداء (بيوتيت) وهذه معادن سائدة. وقد توجد بعض المعادن الأساسية الأخرى ولكن بنسبة أقل من المعادن السائدة ، فمثلا قد يوجد قليل من الهونبلند. **الجرانودايوريت** (يتشابه إلى حد ما مع الجرانيت فى تركيبه المعدنى إلا أن نسبة الفلسبار البوتاسى تقل بكثير فى الجرانودايوريت ، وتزيد نسبة معدن البلاجيوكليز الصودى جيث تحت محل الأرثوكليز. ويتغير لون الجرانودايوريت بين فاتح وداكن حسب إزدياد البلاجيوكلاز والمعادن الحديدوماغنسية القاتمة مثل الهورنبلند. الرايوليت (صخر سطحى ذو نسيج دقيق الحبيبات ، حامضى ذو لون فاتح يقابل الجرانيت فى تركيبه المعدنى ، إذ يتكون أساسا من الكوارتز وأرثوكليز وقليل من الميكا وأحيانا الهورنبلند ، ويوجد صخر الرايوليت فى الطفوح البركانية حيث يتميز بنسيج دقيق أو خفى التبلور ، ويوجد أحيانا فى الصخور تحت السطحية المتداخلة.

### ٢- صخور متوسطة Intermediate rocks

تنحصر فيها نسبة السيليكا بين ٦٥% الى ٥٢% وتزداد بها نسبة الحديد والماغنسيوم عن النوع السابق ، وهى لذلك ذات لون متوسط ولكنه أقتم من الصخور الحامضية. ومن أهم المعادن المكونة لها : الفلسبارات البلاجيوكليزية المتوسطة التركيب مثل أنديزين ومعادن الأمفيبولات مثل الهورنبلد ، وقليل من الفلسبارات البوتاسية والميكا السوداء.

**ومن أمثلة هذه الصخور**

**الأنديزيت والدايوريت** (صخر متوسط التركيب المعدنى ومكوناته الأساسية السائدة هى البلاجيوكليز والهورنبلند وتوجد بكميات متوسطة ، والميكا السوداء بنسبة أقل من الهورنبلند ، وكذلك بعض معادن البيروكسينات بكميات قليلة. ويوجد الأرثوكليز بنسبة ضئيلة جدا).

### ٣- صخور قاعدية Basic rocks

تحتوى على نسبة ٥٢% الى ٤٥% من السيليكا وتكثر فيها نسبة المعادن الحديدوماغنسية مثل الأوليفين والبيروكسينات وكذلك الفلسبارات البلاجيوكليزية القاعدية مثل أنورثيت ويندر وجود معدن الكوارتز فى هذه الصخور. ولون هذه الصخور عادة قاتم يميل إلى السواد ومن أمثلتها صخر البازلت وصخر **الجابرو**

(صخر قاعدى شائع الوجود يتكون أساسا من البلاجيوكليز والبيروكسينات وتوجد معادن أخرى غير سائدة مثل الهورنبلند والأوليفين) .

**٤- صخور فوق قاعدية Ultra-basic rocks**

تقل فيها نسبة السيليكا عن ٤٥% من تركيبها ، وتتكون أساسا من المعادن التى تحتوى على نسبة عالية جدا من الحديد والماغنسيوم مثل الأوليفين. ومن أمثلتها صخر **بريدوتيت ، دونيت** ويتكونان أساسا من من معادن الأوليفين ، وصخر بيروكسينيت ومعظمه من معادن البروكسينات ، وكذلك صخر هورنبلنديت ويتكون من الهورنبلند.

## ٣-أنسجة الصخور النارية

**يقصد بالنسيج الصخرى حجم وشكل البلورات الصخرية وكيفية ترتيبها داخل الصخر ، وحجم الفراغات البينية.**

يُعرف النسيج الصخرى للصخور النارية بأنه وصف المظهر الكلى للصخر حسب حجم وشكل ونظام ترتيب حبيباته أو بللوراته المتماسكة. ويعتبر النسيج من أهم الخصائص المميزة للصخور لأنه يوضح الكثير عن البيئة التى نشأ فيها الصخر، ويمكن للباحث عن طريق فحص هذه الخواص أن يستنتج أسلوب نشأة الصخر بمجرد ملاحظة أنسجتها، إذ يمكن تحديد العمق الذى تبلرت عنده الصخور النارية بمجرد فحص أحجام بللوراتها، فمعدل برودة الصهير من أهم العوامل التى تؤثر فى اختلاف أنسجة الصخورالنارية، فالتبريد السريع ينتج بللورات دقيقة الحجم، ومن البديهى أن يكون معدل التبريد بطيئاً فى غرف الصهير الواقعة فى أعماق القشرة الأرضية وبذلك تنتج بللورات خشنة الحبيبات، بينما تتصلب طبقة رقيقة من لافا مائعة فى غضون ساعات فوق سطح الأرض، وبذلك لا تتمكن من تكوين أية بللورات ولذلك تبدو تحت المجهر عديمة البللورات مثل الزجاج الطبيعى.

و **يتم وصف أنسجة الصخور النارية من النواحي التالية:**

**١) درجة التبلور**

**٢) – حجم البلورات**

**٣) – شكل البلورات.**

**اولا- درجة التبلور:**

درجة التبلور في الصخر هي كمية البلورات مقابل الزجاج في ذلك الصخر. درجة التبلور تعتمد على عدة عوامل:

- التبريد السريع جدا يعتبر عاملا مهما في تكون الزجاج البركاني بينما التبريد البطئ تحت درجة حرارة التبلور يؤدي إلى تكون البلورات ونموها.
- اللزوجة العالية في الصهارات الغنية بالسيليكا (مثل الصهاره الرايوليتيه) تعيق تحرك الأيونات إلى مواقع التبلور وبذلك تعيق تكون البلورات.

ويتم توصف درجة التبلور كالتالي:

**زجاج كلي holohyaline.**

**خليط من زجاج وبلورات hypocrystalline.**

**بلورات كليه Holocrystalline**.

**ثانيا - حجم البلورات:**

حجم البلورات في الصخور النارية يعتمد على سرعة التبريد في الصهير، لكن في الصخور الجوفيه يلعب محتوى الأبخره في الصهير دورا أكثر أهمية. هناك عوامل أخرى تؤثر في حجم البلورات مثل لزوجة الصهير وعدد نواة البلورات. الصخور دقيقة البلورات جدا والتي لا ترى بالعين المجردة تسمى Aphanitic.

و تقسم الصخور النارية حسب حجم بلورتها إلى:

**١- دقيقة التحبب fine grained (أقل من ١ مم)**

**٢- متوسطة التحبب medium grained ( ١-٥ مم)**

**٣- خشنة التحبب coarse grained ( ٥-١٠ مم)**

**٤- شديدة الخشونة (بجماتيتي) very coarse grained (أكثر من ١٠مم)**

اسباب تكون البلورات الخشنة في الصخور النارية :-

١- التبريد البطئ بحيث يكون هناك وقت كافي لتجميع مزيد من الأيونات لتلتصق حول البلورات النامية.

٢- الزوجة المنخفضة للصهير تسمح بتسرب سريع للأيونات في اتجاه البلورات النامية.

٣- عندما يكون عدد انواية البلورات قليلا يسمح بنمو البلورات دون أي إعاقة من البلورات المجاورة.

٤- البلورات الخشنة جدا في الصخور البجماتيتيه تعتمد على المحتوى العالي من المتبخرات والذي يتركز في المراحل الأخيرة من التبلور.

٥- ارتفاع نسبة الماء والأبخرة بالصهير تزيد من سرعة نمو البلورات، وذلك بتخفيض درجة اللزوجه للصهير وبالتالي تزداد سرعة تحرك الأيونات إلى مراكز الأنوية القليله فتصبح بلورات كبيرة.

**ثالثا- شكل البلورات:**

توصف أشكال البلورات فى الصخور النارية كالاتى:

**كاملة الأوجه euhedral.**

**ناقصة الأوجه subhedral.**

**عديمة الأوجه anhedral**.

وتوصف ايضا أشكال البلورات فى الصخور النارية كالاتى::

إذا كانت البلورات **متساوية الأبعاد** تسمى equant.

إذا كانت البلورات **صفائحية** تسمى tabular.

إذا كانت البلورات **منشوريه أو مستطيله** تسمى prismatic.

إذا كانت البلورات **إبريه الشكل تسمى** acicular.

## كيفية وجود الصخور النارية

## Modes of Occurrence of Igneous intrusions

قبل أن نتم الحديث عن التراكيب المختلفة التى توجد فى القشرة الأرضية يجب أن نشير إلى كيفية وجود الصخور النارية أى إلى التراكيب المختلفة التى تكونها هذه الأنواع المختلفة من الصخور النارية اثناء صعودها على هيئة مواد منصهرة من جوف الأرض خلال الطبقات المختلفة للقشرة الأرضية وتصلبها على أبعاد مختلفة من السطح.

وقد ثبت أن الصخور النارية الجوفية Plutonic Rocks هى الأهم فى هذه الدراسة إذ أنها توجد على هيئة تراكيب مختلفة داخل القشرة الأرضية. وفى بعض الأحيان نجد هذه الصخور مكشوفة على سطح الأرض نتيجة لعوامل التعرية المختلفة التى أزالت ما كان يغطيها من طبقات ، أما الصخور البركانية وهى الصخور النارية السطحية فهى تعتبر قليلة الأهمية بالنسبة للصخور الجوفية فيما يختص بما تكون من تراكيب ، إذ أنها توجد على هيئة طفوح بركانية فى الغالب Lava flows وتكون عادة متصلة بالصخور الجوفية بواسطة صخور متوسطة بين النوعين.

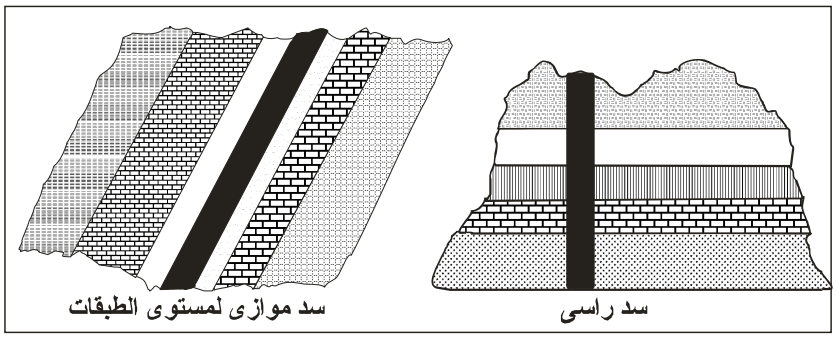
**(أ) أهم الأشكال أو التراكيب التى توجد عليها الصخور الجوفيه والمتدخلة :**

**١- السدود القاطعة أو الرأسية Dykes**

وهى ما يحدث عندما تصعد المجما أو المواد المنصهرة فى شقوق رأسية تقريبا وهكذا فإنها عندما تبرد تكون كتل رأسية من الصخور ذات جوانب متوازية تقريبا وتكون فى وضع عمودى أو قريب من العمودى على مستوى الطبقات وتختلف هذه السدود فى السمك من أقل من البوصة إلى مئات من الأقدام كما قد تصل فى الطول إلى عدة أميال. ويكون نسيج الصخر النارى فى هذه الحالة ذا حبيبات متوسطة أو دقيقة أو يكون نسيجا زجاجيا.

**٢ – السدود الموازية لمستوى الطبقات Sills**

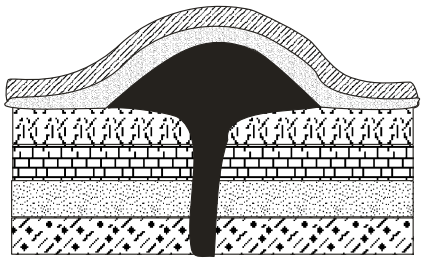
وفى بعض الأحوال تجد المجما طريقا لها على مستوى أحدى الطبقات ، وعادة تكون الطبقات فى هذه الحالة أفقية أو قريبة من الأفقية.




***شكل: يبين سد راسى Dyke و سد موازى لمستوى الطبقات Sill***

**٣ – <u>صخور نارية توجد على هيئة قباب</u>**

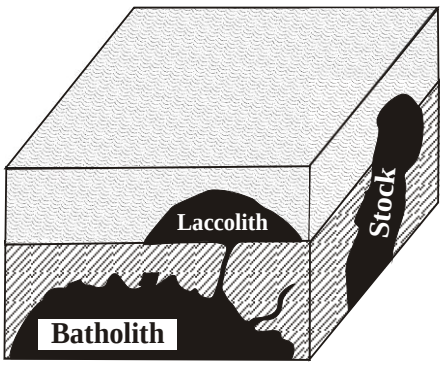
ومنها شكل أو تركيب يسمى لاكوليت ويتكون عندما تصعد المجما بين الطبقات خلال فتحة ضيقة وتكون على درجة كبيرة من اللزوجة very viscous وبدلا من أن تنتشر أفقيا فإنها تضغط الطبقات التى فوقها فى بعض الأحيان فتسبب تقوسها على شكل قبة وتكون قاعدتها أفقية (شكل٢٧ ). ويختلف هذا النوع من التراكيب فى السمك بين بضع مئات من الأقدام إلى ميل فى المنتصف ، أما قطره فيتراوح بين عدة مئات من الأقدام إلى عدة أميال. وعكس هذه الحالة تحدث فى بعض الأحيان مكونة قبة مقلوبة أو كتلة من الصخور النارية على شكل طبق أو حوض ويسمى هذا التركيب Lapolith .



***شكل: يبين صخر نارى متداخل على هيئة قبة***

**٤ – <u>كتلة ضخمة من الصخور الجوفية</u>**

إذا كانت هذه الكتل من الصخور النارية صغيرة نسبيا بحيث يصل قطرها إلى عدة أميال فقط فإنها نسمى Stocks. وتكون مستديرة أو بيضاوية الشكل ، وقد تكون كتل الصخور النارية كبيرة جدا بحيث تنتشر على مساحات تقدر بمئات أو آلاف الأميال المربعة ، وعادة تكون أسقف هذه الكتل غير منتظمة الاستدارة وتكون حوائطها غائرة إلى أسفل إلى أعماق بعيدة ، وتعرف هذه الكتل الضخمة باسم Batholiths (شكل ٢٨) ، وتوجد دائما فى قلب سلاسل الجبال ذات الأعمار الجيولوجية المختلفة كجبال الألب والهيمالايا وجبال الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء ، ولا تظهر على السطح إلا نتيجة لتعرية ما يغطيها من الصخور بواسطة العوامل المختلفة.




***شكل ٢٨ : يبين بعض الاشكال التى تتواجد عليها الصخور النارية***

ويختلف التركيب الكيماوى للصخور المكونة لهذا النوع من التراكيب فمنها الجرانيت والجرانوديوريت والسيانيت والجابرو أى أنه يتكون من صخور حامضية وأخرى قاعدية. ويحيط عادة بهذه الكتل مساحات من الصخور المتحولة التى تحولت بفعل الحرارة المتصاعدة من المواد المنصهرة قبل برودها وتجمدها وكذلك بفعل الضغط الناشئ نتيجة للحركة الأرضية التى ساعدت على تكوين مثل هذا التركيب.

### ٥ – أعناق البراكين Volcanic Necks

وهى عبارة عن اللافا المتجمدة فى أعناق البراكين ويكون شكلها أسطوانيا تقريبا ويتراوح قطرها بين بضع مئات من الأقدام إلى ميل أو أكثر ، وفى بعض الأحيان يتآكل ما حولها من صخور أو رواسب فيظهر جزء منها على شكل أسطوانة من الصخر النارى.

## (ب) الأشكال التى تظهر عليها الصخور البركانية أو السطحية

### ١ – الطفوح البركانية Lva flows

وهى عبارة عن المواد المنصهرة أو اللافا التى صعدت إلى سطح الأرض عن طريق فوهات البراكين أو الشقوق وانتشرت على السطح ثم بردت بسرعة لملامستها للهواء / وهكذا فإن نسيجها يكون زجاجيا أى غير متبلور. والطفوح البركانية قد تتراكم حتى تبلغ مئات أو آلاف من الأقدام فى السمك ، وقد تنتشر فى مساحة تقدر بعدة أميال.

### ٢ – المواد المفتتة Fragmental Materials

وتتكون هذه المواد المفتتة نتيجة لثورات البراكين ، ومنها ما يعرف باسم البريشيا البركانية Volcanic Breccia ، وتنتج من تكسير مواد الأعناق البركانية عند ثورة البركان وتفتيتها إلى قطع صخرية حادة تنتشر حول البركان حيث تتراكم على هيئة رواسب من أصل نارى مكونة من هذه القطع الصخرية الحادة ، فى قاعدة أو أرضية من تراب بركانى دقيق.

ومن هذه المواد المفتتة أيضا ما هو فى حجم الذرات الدقيقة وتعرف باسم الرماد البركانى Volcanic Ash ، ويترسب هذا الرماد حول البركان أو تحمله الرياح بعيدا لترسبه فوق أسطح البحار أو فى أى مكان على سطح الأرض. وقد يتكون المخروط البركانى من الطفوح البركانية والمواد المفتتة.

وقد يحدث أن تنثنى الصخور البركانية بعد تكوينها أو تنكسر أو يحدث بها فواصل تماما كالصخور الرسوبية ، كما قد يحدث هذا فى بعض أنواع الصخور الجوفية ، ولكن الكتل الضخمة مثل الـ Batholiths لا تنثنى

فى العادة نتيجة لصلابتها الشديدة ولكنها قد تنكسر وقد تقطعها بعض السدود الرأسية Dykes نتيجة لدخول المواد المصهورة فى الفواصل أو الشقوق التى حدثت بعد تبريدها.

# ثانيا الصخور الرسوبية

تتكون الصخور الرسوبية نتيجة تفتت صخور أخرى سبق تكوينها ، ثم ترسب المواد الناتجة فى مكان جديد تحت ظروف عادية من الضغط والحرارة. ويتم ذلك بواسطة عوامل التعرية ، فتؤدى التجوية Weathering إلى تكسير الصخور الأصلية وتفتيتها تحت تأثير النشاط الميكانيكى أو الكيميائى للأمطار والرياح والجليد والصقيع أو الاختلاف الدورى فى درجة الحرارة ، ثم نقل المواد الناتجة من عمليات التجوية أما فى حالة صلبة على هيئة حبيبات صغيرة أو مواد دقيقة غير قابلة للذوبان ، أو فى حالة سائلة على هيئة محاليل من مكانها الأصلى بواسطة عوامل النقل مثل المياه الجارية أو الرياح إلى حيث تتجمع فى هيئة رواسب صخرية. وعادة ما تتكون هذه الرواسب فى هيئة طبقات متعاقبة – الأحدث فوق الأقدم منها – وتختلف فيما بينها فى سمكها وتكوينها وحجم الحبيبات المكونة لها وألوانها وجميع صفاتها الأخرى ، وبذلك يمكن تمييز مستويات أو سطوح فاصلة لكل من هذه الطبقات. ثم يأتى بعد ذلك دور تماسك أو تصلد هذه الرواسب الصخرية وذلك بالتحام مكوناتها مع بعضها تحت تأثير الضغط الناشئ من ثقل الرواسب الأخرى التى تعلوها ؛ أو قد يتم التصلد بواسطة مادة لاصقة أو مادة مادة لحامة مثل كربونات الكالسيوم أو السيليكا أو أكاسيد الحديد ، التى قد تتواجد بين مكونات هذه الرواسب. وتتكون الصخور الرسوبية من خليط مواد مختلفة ذات أصل متعدد وتركيب كيميائى أو معدنى متباين ، تحت ظروف متنوعة وبيئات مختلفة ، وذلك مما يؤدى إلى تعدد أنواعها. وتصنف الصخور الرسوبية حسب طريقة تكوينها وظروف نشأتها إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

## ١- صخور رسوبية ميكانيكية النشأة

تشمل هذه المجموعة كل الصخور الرسوبية التى تتكون من قطع وفتات الصخور السابقة التكوين التى يتم نقلها - بواسطة المياه أو الرياح أو الثلاجات أو بفعل الجاذبية الأرضية – دون أن يطرأ عليها أى تغير كميائى إلى حيث تترسب بطريقة آلية ، ثم تتماسك وتتصلد. يمكن تمييز الصخور الرسوبية الميكانيكية فى ثلاثة أنواع رئيسية تتوقف على حجم الحبيبات المكونة لها كما يلى :

### أ– صخور رسوبية ميكانيكية كبيرة الحبيبات

تتكون من حبيبات كبيرة الحجم – ذات قطر لا يقل عن ٢ سم ، قد يصل أحيانا إلى بضعة سنتمترات – تعرف عامة بالحصاء Gravel أو "الحصى" Pebbles وأهم هذه الصخور هى : كونجلومرات Conglomerats وهى تتكون من قطع صخرية مختلفة الأصل ، ذات حواف مستديرة بسبب تقلبها واحتكاكها ببعضها أثناء نقلها عن طريق مياه الأنهار التى تحملها لترسبها عند مصابها بالقرب من شواطئ البحار. وتتصلد مكونات هذا الصخر من حصاء وحصى وأحيانا حبيبات رمل خشن مع بعضها بواسطة مواد لاحمة مختلفة مثل اللحام الجيرى أو السيليكى أو حديدى. ومن الصخور الرسوبية الميكانيكية ايضا صخر البريشيا Berccia تختلف البريشيا عن صخر الكونجلومرات فى شكل الحبيبات المكونة لها ، إذ هى ذات حواف حادة الزوايا وليست مستديرة كما فى

الكونجلومرات ، وذلك لأن البريشيا تتكون عادة فى البحيرات والخلجان المقفولة بعيدا عن تأثير التيارات البحرية القوية حيث لا تتعرض حبيباتها للاحتكاك ومن ثم عدم التآكل والاستدارة.

**ب – صخور رسوبية ميكانيكية متوسطة الحبيبات**

يختلف حجم الحبيبات المكونة لهذه الصخور ، فيتراوح قطرها ما بين ٢ و ١/١٦ مم ، وتعرف هذه الصخور عامة بالصخور الرملية حيث أنها تتكون من حبيبات معدنية يسودها الكوارتز (أو الرمل) الذى يصعب تأثره بعوامل التعرية ، وتوجد حبيبات قليلة من معادن أخرى مثل الفلسبار والميكا ، وأحيانا الماجنيتيت. وقد تحتوى كذلك على بعض أجزاء مفتتة من قشور أو هياكل الكائنات الحية. وأهم هذه الصخور الحجر الرملى Sandstone : يتكون من الرمل الذى تسوده حبيبات الكوارتز المتوسطة أو الدقيقة الحجم ذات الحواف المستديرة . وتتماسك هذه الحبيبات مع بعضها بواسطة مادة لاحمة قد تختلف من صخر لآخر. وتتميز أنواع الحجر الرملى حسب المادة اللاحمة.

**ج – صخور رسوبية ميكانيكية دقيقة الحبيبات**

تتكون هذه الصخور من حبيبات دقيقة لا يزيد قطرها عن ١/١٦ مم ، تنتج عن تحلل وتفتت معادن السيليكات وخاصة سيليكات الألومينا المائية (المعادن الطينية Clay minerals). وقد تحتوى الصخور الطينية على بعض البقايا العضوية المتحللة أو يقايا نباتية متفحمة ، وذلك مما يكسب بعضها الألوان القاتمة أو السوداء. وهناك بعض الصخور الطينية التى يشوبها اللون الأحمر أو الأصفر أو الأخضر نتيجة احتوائها على بعض المواد الملونة مثل أكاسيد الحديد أو المنجنيز. وأهم الصخور الطينية : الطين (صلصال) Clay : يتكون نتيجة تماسك حبيبات طينية دقيقة جدا ، ويحتوى على نسبة كبيرة من الماء (لا تتجاوز ١٥%) كافية لأن تكسبه خاصية اللدانة "قابلية التشكل" Plasticity. الحجر الطينى Mudstone : يتحول الطين إلى حجر طينى عندما يفقد الجزء الأكبر من محتوياته المائية نتيجة للجفاف أو زيادة الضغط الواقع عليه بحيث يفقد لدانته. الطفل (الحجر الطينى الصفحى) Shales : ينتج هذا الصخر عن الحجر الطينى نتيجة لزيادة الضغط الذى يفقده كل محتوياته المائية وكسبه خاصية الترتيب الصفحى أو الترتيب الورقى "التورق" Lamination. ولذلك يتميز صخر الطفل بظاهرة التفسخ الصخرى Fissility حيث يمكن فصله أو تقشره هيئة وريقات ، وترجع هذه الخاصية إلى إحتواء صخر الطفل على بعض قشور دقيقة من المعادن الصفائحية مثل الميكا ، وقد تحتوى بعض صخور الطفل على شوائب عضوية فحمية أو بترولية فتكسبها اللون القاتم أو الأسود.

## ٢- صخور رسوبية كيميائية النشأة

تتكون هذه الصخور نتيجة ترسيها من محاليل تحتوى على مواد مذابة عندما ترتفع درجة تركيزها تحت تأثير الظروف الطبيعية المحيطة بها. أو قد تتكون الرواسب نتيجة تفاعل كيميائى بين مكونات هذه المحاليل. يمكن تمييز الأنواع الآتية من الصخور الرسوبية الكيميائية على أساس تركيبها:

**أ- صخور رسوبية جيرية**

تتكون نتيجة ترسب كربونات الكالسيوم من المحاليل الجيرية المحتوية على بيكربونات كالسيوم ذائبة وأهم أنواعها : *الحجر الجيرى* (غير عضوى): وهو صخر أبيض أو رمادى اللون إذا كان نقيا ، ولكنه غالبا ما يحتوى على شوائب

تكسبه ألوانا مختلفة. *الحجر الجيرى البطروخى* Oclitic limestone : ويتكون من حبيبات كروية صغيرة جدا نتيجة تفاعل كيميائى بين محاليل الأملاح فى مياه البحار والبحيرات ، يؤدى إلى ترسيب كربونات الكالسيوم فى طبقات رقيقة حول نواة دقيقة (مثل حبيبة رمل أو فتات صدفة حيوان) فى هيئة كريات صغيرة تتماسك مع بعضها بأية مادة لاصقة لاحمة غالبا ما تكون جيرية.

**ب- صخور رسوبية سيليكية**

تتكون من ترسب السيليكا مثل فلينت (صوان) Flint : صخر قاتم ، أسود أو رمادى اللون يتكون من خليط من السيليكا المتبلورة فى هيئة عقد أو درنات مختلفة الحجم ، ويحتوى عادة على بعض الشوائب الملونة مثل أكاسيد الحديد أو الماغنسيوم. وأحيانا يتكون الفلينيت من حبيبات أو كربونات صغيرة جدا فى هيئة طبقات رقيقة بين طبقات الصخور الرسوبية الأخرى. صخر الشيرت Chert : وهو نوع من الصخور السيليكية غير النقية التى تحتوى على نسبة عالية من الجير. ويتكون عادة من حبيبات دقيقة جدا من السيليكا غير متبلورة فى هيئة طبقات رقيقة من الصخور الجيرية.

**ج- صخور رسوبية ملحية**

يؤدى تبخر مياه البحيرات والبحار المقفولة إلى تركيز المحاليل الملحية الموجودة بها ثم ترسبها فى هيئة طبقات متعاقبة ، تبدأ بطبقات الأملاح القليلة الذوبان فى الماء. وتوجد الرواسب الملحية فى مناطق متعددة فى مصر فيكثر صخر الجبس فى الصحراء الشرقية وعلى ساحل البحر الأحمر ، ورواسب ملح الطعام فى ملاحات إدكو ورشيد والمكس ورواسب النطرون (كربونات الصوديوم المائية) مع أملاح أخرى بوادى النطرون.

## ٣- صخور رسوبية عضوية النشأة

تنشأ الصخور الرسوبية العضوية نتيجة تراكم بقايا الكائنات الحية ، الحيوانية منها والنباتية فى طبقات سميكة ، وتحللها بواسطة الفطريات والبكتريا خلال أزمنة طويلة ، ثم تتماسك مع بعضها فى هيئة صخور ، وذلك إما لمجرد الضغط الواقع عليها من الطبقات التى تعلوها ، أو نتيجة عملية اختزال أو تفحم (فى البقايا النباتية) تؤدى إلى تماسكها وتصلدها. ومن امثلة الصخور العضوية :

**ا- الحجر الجيرى العضوى**

وهو أهم الصخور الجيرية وأكثرها انتشارا ، ويتكون من تراكم وتحلل قشور وهياكل الحيوانات البحرية بعد موتها. وغالبا ما تتكون الهياكل العظمية لهذه الحيوانات من كربونات الكالسيوم ، كربونات الماغنسيوم ، ثانى أكسيد السيليكون وكذلك فوسفات الكالسيوم. ويتكون الحجر الجيرى العضوى بصفة أساسية من البقايا الجيرية للحيوانات فى هيئة حبيبات غاية فى الصغر متماسكة مع بعضها فى كتل أو طبقات. وقد تحتوى الصخور الجيرية على نسبة كبيرة من كربونات الماغنسيوم وتعرف حينئذ بالدولوميت.

**ب- صخر الفوسفات**

يتكون من فوسفات الكالسيوم مع مواد أخرى مثل الجير فى هيئة طبقات أو درنات أو تكاوين عدسية فى طبقات الحجر الجيرى أو الرملى. وينتج صخر الفوسفات عن ترسب عظام الأسماك والزواحف وتحللها. ثم حدوث

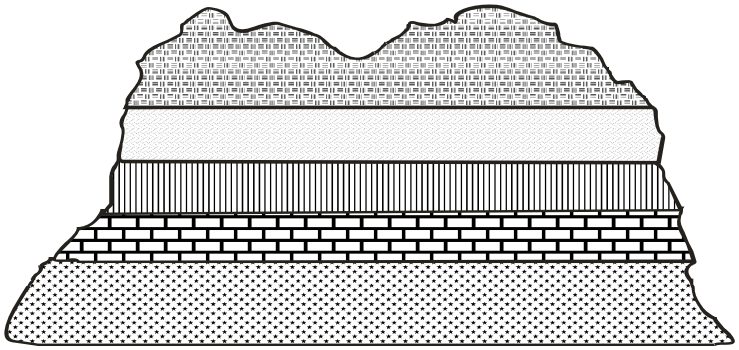
تفاعل كيميائى بين الأملاح الموجودة فى مياه البحار والمواد الفوسفورية الناتجة من هذا التحلل. وتوجد طبقات الرواسب الفوسفاتية فى مناطق الواحات الخارجة والداخلة بالصحراء الغربية.

# كيفية وجود الصخور الرسوبية فى القشرة الأرضية

## التطابق Bedding

أن من أهم الصفات المميزة للصخور الرسوبية هى تكوينها فى طبقات متتابعة ويستدل على هذا التطابق بوجود اختلاف فى التركيب والنسيج والصلابة ودرجة التماسك واللون ويعرف المستوى الفاصل بيم طبقتين بالمستوى الطبقى (شكل ١٢).

والطبقة الواحدة نجد بها مستويين طبقين ويختلف سمكها من عدة أقدام إلى جزء من البوصة وعندما يكون سمك الطبقات رفيع جدا يطلق عليها صفيحات Laminae وفى هذه الحالة يكون التركيب صفحى نتيجة لترسيب معادن دقيقة صفحية مثل الميكا كما أنه قد تكون نتيجة لضغط مصدره هو الحمل الذى يعلو الطبقات والذى يسبب دوران بلورات المعادن العمودية والصفيحة الدقيقة إلى وضع تكون عموديا لاتجاه الضغط. وترتيب المعادن المكونة للطبقة بهذا النظام ينتج عنه الانشقاق ، وهى قابلية بعض الصخور الرسوبية للانفصال على هيئة صفائح موازية لمستويات التطابق ، وعندما تظهر صفة الانشقاق فى الصخور الخشنة تكون غالبا نتيجة لوجود طبقات رقيقة من الطفل أو معادن صفحية كالميكا بين طبقات الصخر الرسوبى الخشنة ، وعندما تكون المستويات فى الطبقة متوازية تقريبا تسمى هذه الظاهرة بالتطابق المتوافق.



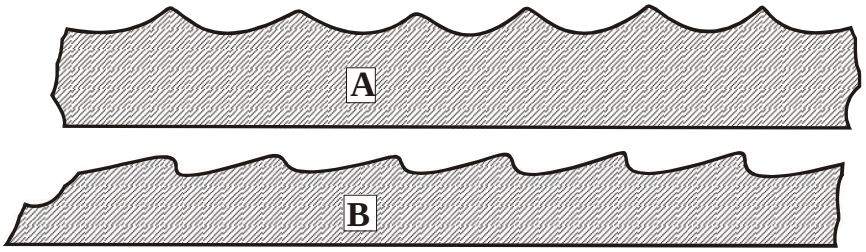
***شكل١٢ ــ يبين الصخور الرسوبية الموجودة فى صورة طبقات افقية متتابعة***

غير أنه فى بعض الأحوال تظهر طبقة بها تطابق ثانوى تميل مستوياته بالنسبة للمستويات الرئيسية للتطابق ويعرف هذا النوع باسم التطابق المائل أو المتقاطع أو التيارى current bedding or cross bedding ، الذى يظهر على هيئة طبقات ذات مستويات مائلة تحدها طبقات متوافقة. ويدل هذا التطابق التيارى على التغيير السريع فى اتجاه وشدة مياه الأنهار الحاملة للمواد الرسوبية فى جانبى النهر أو الدلتا.

## علامات التماوج Ripple marks

كثيرا ما يشاهد على سطح بعض الصخور الرسوبية كالرمال مثلا تموجات منتظمة تعرف باسم علامات التماوج ، وهذه التموجات توجد على أسطح الترسيب الحالية للشواطئ نتيجة لفعل التيارات البحرية أثناء عملية الجزر كما أنها تتكون أيضا على المسطحات الرملية الصحراوية نتيجة لفعل التيارات الهوائية ، غير أن شكل

علامات التماوج يختلف باختلاف ظروف تكوينها ، وتكون علامات التماوج غير متماثلة الجوانب إذا كانت ناشئة عن تيارات مائية أو هوائية بينما تكون متماثلة الجوانب فى حالة تكوينها بفعل الأمواج على الشواطئ ( شكل١٣ ).




***شكل ١٣ ــ قطاعات تبين اشكال علامات التموج : A تكونت بفعل الامواج ، B تكونت بفعل التيرات الهوائية***

ومن أشكال هذه التموجات يمكن استنباط الظروف الطبيعية لترسيب الصخور الرسوبية وكذلك التعرف على الأسطح العلوية والسفلية لها.

## الطبقات المتوافقة وغير المتوافقة

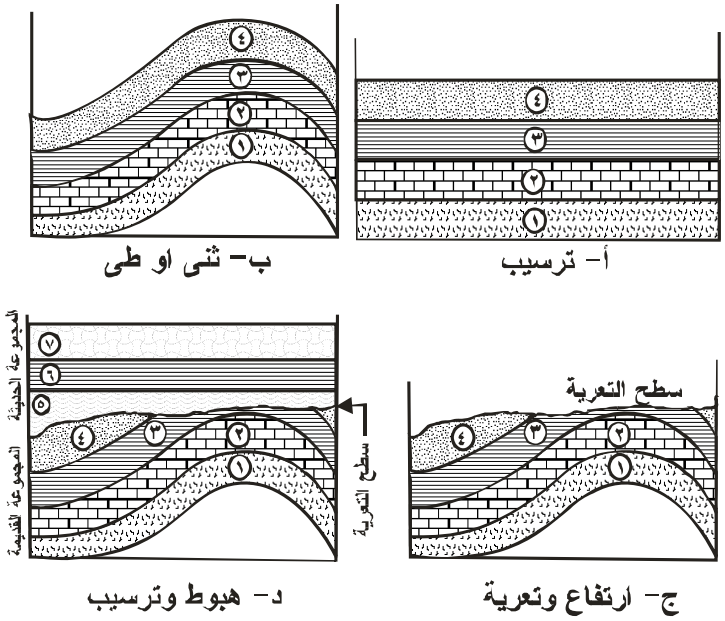
ومن هذه الأمثلة أيضا ما يحدث للرواسب البحرية حيث تتكون على هيئة طبقات أفقية بادئ الأمر ، ولكن تتابع هذه الطبقات فى مجموعها لا يكون متوافقا conformable فى كل الأحوال ، إذ كثيرا ما تكون مجموعات هذه الطبقات غير متوافقة unconformable ، حتى ولو كانت متوازية الأسطح ، نتيجة لعوامل كثيرة.

ويعتبر عدم التوافق ظاهرة تركيبية بحتة ، مع أنه يتضمن فى الأصل عمليات كثيرة كالترسيب والتعرية بالإضافة إلى تأثير التحركات الأرضية بأنواعها. وعلى ذلك يمكن اعتبار عدم التوافق عموما سطح تعرية Surface of Erosion أو سطح توقف عن الترسيب ، وبفعل هذا السطح ما بين مجموعتين من الطبقات أحداهما أقدم من الأخرى.

ويمكن تمييز سطح التعرية فى كثير من الأحيان بوجود الكونجلوميرات إذ أن وجوده يعتبر دليلا على أن المنطقة كانت فى وقت من الأوقات جزءا من الشاطئ ، ويسمى عادة بالكونجلوميرات القاعدى Basal Conglomerate لأنه يكون قاعدة المجموع العليا من الطبقات فوق سطح التعرية.

ويتم عدم التوافق فى العادة على عدة مراحل تبدأ بترسيب المجموعة القديمة من الطبقات تحت سطح البحر فى نظام أفقى حسب قانون تعاقب الطبقات الذى ينص على أن كل طبقة تتكون بحيث تكون أحدث من الطبقة التى تحتها ولكن قد يحدث أن يتعرض قاع البحر الذى ترسب عليه هذه الطبقات لنوع من الحركات الأرضية الرأسية بسبب ارتفاع وانحسار مياه البحر عنه وتعرضه بالتالى لعوامل التعرية المختلفة. وقد تقع هذه الطبقات قبل أو أثناء ارتفاعها إلى فوق سطح البحر تحت تأثير نوع آخر من الحركات الأرضية الأفقية مما يتسبب عنه أثناء هذه الطبقات وتظل هذه المجموعة من الطبقات معرضة للجو ، واقعة تحت تأثير العوامل المختلفة التى تحاول جاهدة إزالة أكبر جزء منها ، حتى تتعرض نفس المنطقة من جديد إلى حركة أرضية أخرى تهبط بها من جديد تاركة للبحر فرصة أخرى للتقدم عليها حيث يبدأ فى ترسيب مجموعة أخرى من الطبقات فى نظام أفقى فوق سطح التعرية. وتكون النتيجة مجموعتان غير متوافقتان من الطبقات بمعنى أن ترسيبها لم يكن متصلا ، بل أن هناك فترة انقطع فيها الترسيب وهى الفترة التى تعرضت فيها الطبقات للجو وأزيل منها جزء كبير بفعل عوامل التعرية ، مما يدل على وجود فجوة بين المجموعتين غير المتوافقتين يمثلها سطح التعرية.

وعادة يكون التعرف على ظاهرة عدم توافق الطبقات صعبا للغاية إذا ما كانت طبقات المجموعتين متوازية وهذا يعرف باسم Disconformity (شكل ١٤) ، ولكن الاستعانة بدراسة الحفريات وتطورها تسهل هذه العملية وتمكن من تحديد الطبقات الناقصة وأعمارها بالضبط.




**شكل ١٤ : *يبين المراحل المختلفة لتكوين مجموعتين غير متوافقتين***

**التشققات الطينية أو الشمسية Mud cracks:** وتشاهد هذه التشققات على اسطح الصخور الرسوبية الدقيقة كالطين وهى تظهر على شكل شقوق تتخلل الصخور وتحصر فيما بينها مساحات متعددة الأركان. وقد يحتفظ الصخر بهذا المظهر طويلا إذا مست هذه الشقوق بالرمال أو بأنواع أخرى من الطين. وتنشأ هذه الظاهرة عن تعرض الرواسب الطينية للجو لمدة طويلة.

## بعض الصفات للصخور الرسوبية

### أولا – مسامية الصخور

الصخر المسامى Porous rock هو ذلك الصخر الذى يحوى فتحات صغيرة دقيقة بين حبيباته تسمى المسام.

**وتقدر مسامية الصخر كنسبة مئوية لحجم الفراغ إلى الحجم الكلى للصخر.**

$$\text{مسامية الصخر} = \frac{\text{حجم الفراغ الموجود فى الصخر} \times ١٠٠}{\text{حجم الصخر كله}}$$

وبهذه النسبة يمكننا مقارنة مسامية الصخور بعضها ببعض فقد وجد أن مسامية : الطين قد تبلغ٥٠% والصخر الطباشيرى Chalk ٥٠% والرمل والحصى الغير متماسك٢٠ – ٤٧% والصخر الرملى المتماسك ٥ – ١٥% والصخر الجيرى ٥ – ٢٠% والجرانيت والصخور النارية الأخرى أقل من ١%

ومن هذا يظهر أن الطين والصخور الطباشيرية Chalk أكثر مسامية من الصخر الرملى. ومع ذلك فإن الماء يمر بسهولة خلال الثلاث ولا يمر خلال الأولين. والسبب فى ذلك راجع إلى خاصية أخرى تسمى الإنفاذ.

**ثانيا – <u>النفاذية</u>**

الإنفاذ هو السهولة التى تسمح الصخور بها لمرور الماء بين حبيباتها. فالطين مثلا صخر غير منفذ بينما الرمل منفذ جيد والسبب فى ذلك أن حبيبات الطين صغيرة جدا ولذلك فإن الحبيبات متقاربة من بعضها جدا والمسام التى بينها صغيرة جدا ولذلك فإن الماء يمسك فى هذه المسام بواسطة الخاصية الشعرية ، وعلى ذلك لا يسمح الطين بمرور الماء فيه بل يمتصه ويبقيه فيه أما الرمل فإن حبيباته كبيرة نسبيا ومتباعدة بعضها عن الآخر فيمر بينها الماء بسهولة ويسر.

**ثالثا – <u>الإمرار</u>**

هناك صخور تسمح بمرور الماء فيها بالرغم من أنه ليس بها مسام البتة ، فالجرانيت مثلا مساميته ضئيلة جدا وكذلك الصخر الد ولوميتى ولكنها غالبا ما تسمح بمرور الماء فيها وذلك لوجود شقوق وفواصل تعمل كأنابيب تسمح بمرور الماء. فالماء هناك لا يمر خلال الصخر نفسه بين حبيباته بل يمر خلال هذه الشقوق والفواصل ونسمى هذه صخور ممررة Pervious لنميزها عن الصخور المنفذة Permeable التى ذكرناها آنفا. ومن هذا نرى أنه يمكننا تقسيم الصخور بالنسبة لدراسة المياه الأرضية إلى أربعة أنواع هى :

(١) صخور مسامية منفذة Porous & permeable.

(٢) صخور مسامية غير منفذة Porous & impermeable.

(٣) صخور غير مسامية ممررة Non-porous & pervious.

(٤) صخور غير مسامية وغير ممررة Non-porous & Non-pervious.

فصخور النوع الأول والثالث هى التى تسمح بحرية تحرك المياه فيها وتكون ما يسمى بالصخر الخازن للمياه التحت سطحية .وعموما فإن أحسن الصخور الخازنة للمياه هى الصخور الرملية والصخور الجيرية (إذ أن هذه الأخيرة تنفصل – يتكون بها فواصل – بسرعة).

**العوامل اليى تتوقف عليها *مسامية الصخور:***

**أولا : <u>درجة التقارب بين أحجام الحبيبات المكونة للصخر</u>**

فالرمال التى تكون حبيباتها متساوية أو متقاربة فى الحجم أكثر مسامية من الرمال المكونة من حبيبات مختلفة فى الحجم ، إذ تملأ الحبيبات الصغيرة فى هذه الحالة الفجوات التى بين الحبيبات الكبيرة وبذلك تقلل من مسامية الصخر (شكل ١٠ – ٢,١).

**ثانيا : <u>شكل الحبيبات المكون للصخر Shape of the grains</u>**

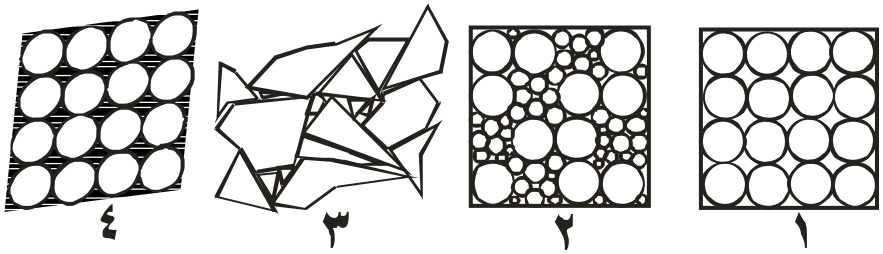
فمن الواضح أنه إذا كانت الحبيبات حادة Angular (شكل ١٠ – ٣) فإن الزوايا تدخل فى الفجوات بين الحبيبات الأخرى وتقلل المسامية.

**ثالثا : <u>طريقة ترتيب (أى رص) الحبيبات Manner of packing</u>**

وطريقة رص الحبيبات (أى ترتيبها بالنسبة لبعضها) متوقف غالبا على مقدار الضغط الذى وقع على الراسب بعد ترسيبه نتيجة لتراكم الطبقات فوقه Degree of compaction أى إنه توجد علاقة مباشرة بين مسامية الصخر والعمق الذى يوجد فيه تحت سطح الأرض.

**رابعا : <u>درجة تماسك الصخر Cementation</u>**

إذا ترسبت رواسب كيميائية بين حبيبات الصخر أدى ذلك إلى تقليل مساميته ، فالصخر الرملى إذا ترسبت بين حبيباته أكاسيد الحديد أو أكسيد السيليكون (السيليكا) أدى ذلك إلى تماسكه وفقدانه الجزء الأكبر من مساميته (شكل ١٠ – ٤).




***شكل ١٠ : يبين طريقة رص الحبيبات فى الرواسب المختلفة***

# ثالثا – الصخور المتحولة

يعرف التحول بأنه التغير الذى يطرأ على صخور سابقة التكوين (نارية أو رسوبية) وإعادة بنائها نتيجة تغير للظروف الطبيعية مثل درجة الحرارة أو الضغط أو كليهما معا.

تتميز مجموعة الصخور المتحولة بالخصائص الآتية:

أ) تتكون بواسطة العمليات التحولية Metamorphic processes، وتحدث هذه عمليات في درجات حرارة مرتفعة جداً وضغط مرتفع جداً.

ب) تتكون من معادن تم إعادة تبلورها و/ أو معادن تحولية جديدة نتجت من المعادن الموجودة في الصخر الأصلي

ج) تتواجد دائماً علي شكل سهول Plains وجبال منخفضة نسبياً ممتدة لمسافات شاسعة.

د) تحتوي علي أنسجة Textures وتراكيب Structures تحولية واضحة دالة علي العمليات التحولية.

هـ) قد تحتوى علي أجزاء من الصخور الأصلية Xenoliths.

**تعريف التحول**

يحدث التحول في أعماق الأرض وهو التغيرات النسيجية والمعدنية والتركيبية التي تطرأ على صخور نارية أو رسوبية أو متحولة قديما وهي في حالتها الصلبة. تتمثل هذه التغيرات في بنية الصخرة و نسيجها و تركيبها المعدني الناجم عن تغير الشروط الفيزيائية (كالضغط و الحرارة) و الكيميائية للوسط الصخري. تنتج هذه التغيرات والتي تحدث خلال عملية التحول، عند إعادة التوازن مع الظروف الجديدة التي أخضعت إليها الصخرة الأم فتؤدي إلى تكوين صخور أخرى مختلفة عن الأولى في تركيبها المعدني و نسيجها و بنيتها و تصبح تسمى صخور متحولة يمكن أن تتم التحولات في ظروف كيميائية ثابتة أي أن التركيب الكيميائي للصخرة الأولية لا يتغير خلال التحول ما عدا حركات في بعض المكونات الطيارة مثل الماء ($\mathbf{H_2O}$) و ثاني أكسيد الكربون ($\mathbf{CO_2}$).

و يمكن كذلك أن تحدث خلال التحول حركات لبعض المكونات على مسافات قد تصل إلى أمتار عديدة فينتج عن هذا صخور متحولة ذات تركيب كيميائي مختلف عن الصخرة الأصلية قبل التحول.

والجدير بالذكر أن عمليات التحول تحدث في الحالة الصلبة خلافا للصخور النارية التي تنتج عن تصلب الصهير.

**٢- حدود التحول**

**أ- حدود التحول العليا**

بما أن التحول يحدث في الحالة الصلبة، تعتبر حدود التحول العليا عند حد انصهار الصخور الأولية الأصلية الذي يؤدي في البداية إلى تكوين نوع من الصخور الذي يسمى بالميجماتيت (**migmatite**) و هو عبارة عن مزيج من السليكات المنصهرة و المعادن غير المنصهرة. تتأثر الحدود العليا للتحول بالتركيب الكيميائي للصخرة الأولية الأصلية حيث أن درجات انصهارها تقع بين ٧٠٠ و ٩٠٠° م.

**ب- حدود التحول الدنيا**

تكون ظروف التحول الدنيا أكبر من ظروف التراص (compaction) و التصخر (diagenèse) التي تطرأ على الصخور الرسوبية و تتراوح، حينئذ، درجات الحرارة بين٥٠ و ١٠٠° م. تكون ظروف التحول الدنيا بدرجات حرارة و ضغط أعلى من ظروف الصخور الرسوبية و تتم ظروف التحول العام في الأعماق تحت نطاق الظروف السطحية و فوق نطاق الانصهار.

**٣-العوامل المؤثرة على التحول**

تتأثر ظاهرة التحول بعدة عوامل أهمها الحرارة و الضغط و المحاليل الكيميائية. قد تعمل هذه العوامل مجتمعة أو منفردة. و حسب شدة تأثيرها، تنتج صخور مختلفة عن بعضها البعض من ناحية تركيبها المعدني، النسيج...

كلما اتجهنا نحو باطن الأرض كلما ارتفعت الحرارة و كذلك الضغط. إذن، كلما انغمرت الصخور في الأعماق تبدأ تتأثر بعوامل التراص ثم تدريجيا، مع ارتفاع الحرارة و الضغط، تبدأ تتغير بنيتها و نسيجها...هنا تبدأ عملية التحول.

**١.٣- الحرارة : (Temperature)**

من العوامل الرئيسية و المؤثرة في تحول الصخور، الحرارة التي تتسبب في التفاعلات المختلفة بين المعادن نتيجة عدم استقرارها في الظروف الجديدة المرافقة لعملية التحول حيث تظهر عملية إعادة التبلور (Recrystallization) للصخور الأولية الأصلية منتقلة إلى صخور متحولة.

يمكن ذكر عدة مصادر للحرارة المؤدية إلى تحول الصخور و أهمها:

- الحرارة الصادرة من جسم صهاري جوفي أو سطحي (بركاني) عندما يخترق الصهير أو يلامس الصخور المجاورة.
- المحاليل حارة المنتقلة من خلال شقوق داخل الصخور.
- الحرارة الناتجة عن احتكاك الطبقات خلال الحركات التكتونية
- الحرارة الناتجة من باطن الأرض خلال دفن القشرة في الأعماق

**٢.٣- الضغط**

العامل الرئيسي الثاني الذي يدخل ضمن عمليات التحول هو الضغط. و يتولد الضغط نتيجة مجموع القوى الموجودة داخل القشرة الأرضية و الناتجة أساسا

- من ثقل الصخور حسب العمق
- او المحاليل المتحركة داخل الصخور (ضغط المحاليل )
- او تشوهات الصخور داخل القشرة نتيجة الحركات التكتونية البانية للجبال و المسببة للضغط الموجه.

ويؤدى الضغط المرتفع غير المصحوب بتغير كبير فى درجة الحرارة فى مناطق التكسر أو التفلق إلى تغيير أو تحول طفيف نسبيا فى الصخور "الموضعية" الواقعة على جانبى هذه الفوالق ، ويعرف هذا النوع بالتحول الموضعى أو التحول بتغير الأوضاع.

أما الضغط المرتفع المصحوب بحرارة عالية والناتج من تحركات القشرة الأرضية التى تشمل مناطق شاسعة (الحركات البانية للجبال) فإنه يؤدى إلى تحول واسع النطاق يمتد فى أقاليم كبيرة ومساحات واسعة ولذلك يعرف بالتحول الإقليمى Regional metamorphism ، ويوصف أحيانا بالتحول الديناميكى إذ أنه ينتج عن حركة. وحدة قياس الضغط في أغلب الحالات هي الكيلوبار (Kilo bar )

**٣.٣- المحاليل : (Solutions)**

إضافة إلى دور العاملان الفيزيائيان، الضغط و الحرارة، تلعب المحاليل دورا كيميائيا أساسا؛ حيث يمكن أن تكون لها أهمية كبيرة في بعض الحالات. فوجود الماء، مثلا، يساعد كثيرا في التفاعلات الكيميائية بين و مع المعادن المكونة للصخر الأولي الأم لتنتج بعد ذلك معادن جديدة مستقرة في الظروف المرافقة لعملية التحول من ارتفاع في الضغط و الحرارة. تلعب المحاليل دورا هاما في نقل الأيونات أو بعض المركبات الكيميائية التي تساهم في التفاعلات الكيميائية.

# انواع التحول

## التحول الحرارى (التماسى)

يحدث التحول الحرارى فى الصخور التى تتداخل فيها مادة الصهير – عادة ما تكون مصحوبة بأبخرة ومحاليل شديدة الحرارة – ويكون التأثير الحرارى لهذه المواد المتداخلة على أشده فى المناطق المجاورة لها ، ويقل تدريجيا بعيدا عن منطقة التماس التى قد يتراوح اتساعها بين عدة أمتار ومئات الأمتار. ويتوقف ذلك على شدة الحرارة الناتجة عن تداخل الصهير ، أى على كتلة مادة الصهير نفسها ودرجة حرارتها وكذلك على نوع صخور المكان المحيطة بها ، فبينما يكون التحول الناشئ من تداخل الجدد الصغيرة طفيفا ، قد يؤدى التأثير الحرارى لجدد الكبيرة وكتل اللاكوليت إلى تحول واضح يمتد أثره إلى مسافات بعيدة فى صخور المكان.

ويتوقف نوع الصخور المتحولة بالحرارة ، أى نوع المعادن الجديدة التكون فى حلقة التحول ، على نوع صخور المكان الأصلية أى التركيب المعدنى لها ، وكذلك على التركيب الكيميائى للمادة المصهورة المتداخلة : فمثلا يتحول الحجر الرملى إلى نوع آخر أصلب وأشد تماسكا ، ويعرف هذا الصخر باسم كوارتويت Quartzite ، بينما تتحول الصخور الطينية ذات الحبيبات الدقيقة إلى صخور أشد صلادة تسمى هورنفلس وتحتوى على معادن حديدية ومميزة هى معادن سيليكات الألومنيوم مثل سيليمانيت. وأما الصخور الجيرية فإنها تتحول إلى رخام Marble: حيث

تتحول الصخور الجيرية النقية إلى رخام أبيض اللون ذو نسيج موازيكى منتظم ، يتكون من حبيبات دقيقة أو متوسطة الحجم من معدن الكالسيت بصفة أساسية. والمعروف أن الصخور الجيرية نادرا ما تكون نقية ، وتحتوى فى معظم الأحيان على كربونات الماغنسيوم (ماجنيزيت) بالإضافة إلى شوائب أخرى مثل أكاسيد الحديد ومكونات طينية وكربونية ، ولهذا فغالبا ما يكون الرخام مختلف الألوان فمنه الأحمر أو الأخضر أو يكون مخططا أو منقوشا بهذه الألوان أو باللون الأسود الناتج من بعض الشوائب الكربونية مثل الجرافيت.

## التحول الإقليمى

ينشأ التحول الإقليمى نتيجة تغير صخور سابقة التكوين فى مناطق إقليمية شاسعة تحت تأثير الضغط العالى المصحوب بارتفاع درجة الحرارة والناتج من حركات القشرة الأرضية. وغالبا ما يؤدى هذا النوع من التحول إلى ترتيب المعادن المكونة للصخور الأصلية (رسوبية أو نارية) فى نظام يناسب الظروف الجديدة. وقد تشتد وطأة التحول إلى درجة تزول فيها معالم الصخر الأصلى تماما ، فقد تنكسر أو تتفتت بعض المكونات المعدنية وأحيانا قد تنصهر أو تذوب ثم تستعيد كيانها من جديد ، متبلورة ومصفوفة بحيث تشغل أقل حيز ممكن تحت تأثير الضغط الواقع عليها ، وذلك بأن تترتب المعادن الجديدة بحيث يكون الاتجاه الطولى لبلوراتها متعامدا على اتجاه الضغط. وينتج عن هذا الترتيب تجمع المعادن فى هيئة طبقات رقيقة أو شرائط Bands ، ورقات Folia ، رقائق أو صفحات Laminae ، متوازية ومتعامدة على اتجاه الضغط. ويوصف النسيج حينئذ بأنه شريطى Banded texture ، ورقى Foliate ، صفحى Laminate أو شيستوزى Schistose. وهذا النسيج مميز لهذه الصخور ، وتوجد فيه بلورات المعدن الواحد مرتبة فى صفوف أو صفائح بلورات المعادن الأخرى.

ومن امثلة الصخور المتحولة اقليميا صخر النيس Gneiss :وهو صخر متحول إما عن صخر نارى أو عن أصل رسوبى. ويتكون من حبيبات كبيرة متبلورة مرتبة ومصفوفة فى هيئة شرائط سميكة إلى حد ما ، قد تكون متقطعة أى عدسية الشكل ، وغالبا ما تتكون من معدن واحد وتترتب متوازية ومتبادلة مع بعضها. ويختلف لون النيس تبعا للمعادن المكونة له ، ويعرف صخر النيس باسم الصخر الأصلى له مثل نيس جرانيتى Granitic gneiss : وهو الناشئ عن تحول صخر الجرانيت ، نيس دايوريتى Dioriuc gneiss وهو دايوريت متحول بالضغط والحرارة.

اما صخر شيست Schist : صخر متحول يتكون من صفائح رقيقة متشابهة فى تركيبها ، ومتصلة أى غير متقطعة كما فى صخر النيس. وتتكون هذه الصفائح غالبا من معادن قشرية مثل الميكا والكلوريت والتالك ، أو أليافية مثل هورنبلند. وتترتب الصفائح متوازية ، وتحصر بينها حبيبات دقيقة متبلورة من المعادن الأخرى مثل الكوارتز الذى يعتبر كمعدن أساسى. وينتج عن هذا الترتيب الصفائحى النسيج الشيستوزى المميز لصخور الشيست.