



قسم الجيولوجيا

**مقرر جيولوجيا 2**  
**صخور- بلورات ومعادن- ثروات اقتصادية**  
**الفرقة الثانية تربية شعبة العلوم البيولوجية والجيولوجية**  
**العام الدراسي**  
**2024**

مدرسو المقرر  
د. كارم محمد مبارك  
د. رأفت محمود حسن  
د. عبدالرحيم معوض

## البلورات والخواص البلورية للمعادن

### Crystallography

#### تعريف

علم البلورات هو ذلك العلم الذي يختص بدراسة البلورات والمواد المتبلورة. والمعروف أن المواد المتبلورة توجد في الطبيعة إما في حالة حبيبات منفردة أو مجموعات. ويمكن تعريف البلورة بأنها عبارة عن جسم صلب متجانس يحده أسطح مستوية تكونت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف مناسبة من الضغط والحرارة. والأسطح المستوية التي تحدد البلورة تعرف باسم أوجه البلورات.

والأوجه البلورية في الحقيقة هي تعبير وإظهار للترتيب الذري الداخلي للمادة المتبلورة. والعملية التي تنتج لنا بلورات تعرف باسم عملية التبلور ، وهي عملية تحدث أمام أعيننا إذا تبخر ماء البحر أو المحاليل المشبعة ، أو برد مصهور ببطء أو تكثف غاز إلى الحالة الصلبة مباشرة. وفي البلاد الباردة يتجمد ماء المطر بسبب انخفاض درجة الحرارة وتتكون بلورات الثلج سداسية الشكل.

فإذا فحصنا أي بلورة منفردة من هذه البلورات الناتج نجد أن التي نمت بحرية دون عائق يحد من حريتها في النمو ، لها أسطح مستوية أو أوجه ، تكونت طبيعياً أثناء نمو البلورة. أم الأسطح التي نراها مصقولة على قطعة من الزجاج ، ومرتبطة في شكل هندسي جميل ، وتباع كجواهر مقلدة ، فإنها لا نسمي أوجهها بلورية كما أن الزجاج نفسه لا يسمى بلورة ، فبالإضافة إلى أن هذه الأسطح المستوية صناعية التكوين ، فإن المادة نفسها وهي الزجاج ينقصها البناء الذري الداخلي المرتب.

ويستخدم علم البلورات الآن باستمرار وباطراد مستمر في حل كثير من المشاكل الكيميائية والفيزيائية وفي دراسات وأبحاث التعدين والمواد الحرارية والادوية والدراسات البيولوجية (الحيوية).

ويمكن تقسيم البلورات حسب إستكمال الأوجه البلورية إلى ثلاثة أقسام:

1- بلورات كاملة الأوجه وذلك حينما تكون جميع الأوجه البلورية موجودة.

2- ناقصة الأوجه ، وذلك حينما يكون جزء من الأوجه متكون فقط والباقي غير موجود.

3- عديمة الأوجه ، وفي هذه الحالة يكون المادة المتبلورة عبارة عن حبيبات لا يحدها أوجه بلورية ، وغالبا ما توجد هذه الحبيبات في هيئة مجموعات.

وتتشترك هذه الأنواع الثلاثة (كاملة الأوجه – ناقصة الأوجه – عديمة الأوجه) ، في أن لها بناء ذريا داخليا منتظما. أو بمعنى آخر أن المواد المكونة لها سواء أكانت ذرات أم أيونات .. توجد مرتبة في نظام هندسي. وعلى هذا الأساس يتبين لنا أنه ليس من الضروري بتاتا ان نجد الأوجه البلورية تحداً المادة المتبلورة ، إذ أن تكون هذه الأوجه رهن بالظروف المحيطة بالمادة المتبلورة أثناء عملية التبلور. وعلى ذلك فإننا نعرف كل مادة صلبة ذات بناء ذري داخل يمتظم باسم مادة متبلورة ، فإذا كانت هذه المادة المتبلورة ذات أوجه طبيعية مرتبة في نظام هندسي ، ويمكن رؤية هذه الأوجه بواسطة العين المجردة ، أو عدسة مكبرة ، سميت باسم بلورة.

أما إذا كانت المادة ينقصها البناء الذري الداخلي المنتظم فتوصف بأنها مادة غير متبلورة ، وتكون المعادن غير المتبلورة في المملكة المعدنية قلة (وتعتبر استثناء وليست قاعدة إذا التزمنا بالتعريف الحرفي للمعدن الذي يتضمن أن المعدة مادة متبلورة) ، ومن أمثل

المعادن غير المتبلورة الأوبال (Opal (SiO<sub>2</sub>. nH<sub>2</sub>O) ، والكريزوكولا (Chrysocolla سليكات النحاس المائية). ولما كان البناء الذري في مثل هذه المواد غير المنتظم فإننا نجد أن تركيبها الكيميائي غير ثابت. وبالتالي لا يعبر عنه بقانون كيميائي. فمثلا تتراوح نسبة الماء في معدن الأوبال ما بين ٦ ، ٩ بالمائة وقد تصل إلى ٢٠ بالمائة من وزن المعدن. أما في معدن الكريزوكولا ، فإن تركيبه الكيميائي متغير في مدى كبير حيث نجد أن كميات النحاس والماء متغيرة وليست ثابتة. ومن هذا يتضح لنا أن الفرق بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة يكون في البناء الداخلي وإذا كانت الذرات مرتبة في نظام معين فالمادة متبلورة ، أما إذا لم تكن كذلك ، أي أن الذرات غير مرتبة ، فالمادة اذن غير متبلورة. وعندما لا توجد أوجه بلورية ، فإنه لا يمكن التفرقة بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة إلا بواسطة استعمال الميكروسكوب المستقطب وفي بعض الأحياء الأشعة السينية.

ولكن إذا كانت الأوجه البلورية موجودة ، كلها أو بعضها ، فإن دراستها تساعدنا كثيرا في التعرف على المعدن ، لأن الأوجه البلورية ، ما هي إلا تعبير عن البناء الذري الداخلي المميز للمعدن. و"موروفوروجيا البلورات" هو ذلك الفرع من علم البلورات الذي يختص بدراسة الخواص الخارجية للبلورات.

وقبل أن نصف المظهر الخارجي للبلورات بشئ من التفصيل ، يجدر بنا أن نشير إشارة سريعة إلى بعض الخواص الهندسية للبناء الذري الداخلي المنتظم للبلورات.

### البناء الداخلي للبلورات

تتميز المواد المتبلورة بحقيقة أساسية هي الترتيب المنتظم للذرات والأيونات التي تتكون منها. وعلى ها الأساس يجب أن نتصور البلورة كبنيان يتكون من وحدات غاية

في الدقة تتكرر بانتظام في الأبعاد الثلاثة. وأساس البناء البلوري هو التكرار ، الذي يمكن تشبيهه بتكرار رسم معين على ورق الزينة الذي يلصق على الحائط (ولكن مع فارق أنه في هذه الحالة الأخيرة يتكرر في بعدين فقط).

وتترتب هذه الوحدات المتشابهة عن نقاط منتظمة في الأبعاد الثلاثة بطريقة تجعل كل نقطة لها نفس الظروف المحيطة بالنقاط الأخرى ، وبتحديد هذا الترتيب بواسطة اتجاهاته الثلاثة والمسافات التي تتكرر عندها النقاط في هذه الاتجاهات. وقد أوضحت المحاولات التي قام بها برافيه عام ١٨٤٨ أن هناك ١٤ نمطا فقط لهذه الترتيبات ممكنة هندسيا . وتعرف هذه الترتيبات الفراغية باسم الترتيبات الفراغية الأربعة عشر لبرافيه

#### The 14 Bravais space lattices.

وأبسط وحدات الترتيب الفراغي مجسم متوازي السطوح ويعرف باسم الوحدات الثنائية ، ويلاحظ أن بعض هذه الترتيبات الفراغية أو الوحدات الفراغية البدائية تحتوي الواحدة منها على نقطة واحدة (وتفسير ذلك أنه بالغرم من وجود نقاط عند الأركان الثمانية للوحدة البنائية في الترتيب الفراغي البدائي. إلا أنه نظرا لأن كل نقطة من هذه النقاط تكون مشتركة بين ثماني وحدات بنائية متجاورة. فإن ثمن نقطة يتبع الوحدة البنائية الواحدة ، وبالتالي تسهم النقاط عند الأركان الثمانية بما يساوي نقطة واحدة بالنسبة للوحدة البنائية الواحدة). وتختلف هذه الوحدات البنائية البدائية عن بعضها البعض في أطوال حدودها (حوافها) والزوايا المحصورة بين هذه الحدود  $(\alpha, \beta, \gamma)$  ، أما بقية الوحدات البنائية ، فلها نقاط إضافية إما عند مراكز جميع الأوجه . وتعرف باسم مركز الأوجه أو عند وجهين متقابلين أو مركزية في الداخل. وفي جميع هذه الحالات تكون الوحدة البنائية مضاعفة أي تحتوي على أكثر من نقطة (٤ نقاط في حالة

F، نقطتان في كل من حالتها. C , I)

وتكون الوحدات البنائية المرصوصة في ترتيب الهيكل الجرافي – ترتيب فراغي بدائي Pترتيب فراغي ممرکز في الدخّل ١ – البلورات التي نمسكها بين أيدينا ونجري عليها الاختبارات ومها هذه الوحدات في الحقيقة إلى ذرات أو مجموعات من الذرات. ففي البلورة كما في المعادن العنصرية (أي التي تتكون من عنصر واحد) ، نجد الذرات غير مشحونة ، ولكن في معظم الحالات تحمل الذرات شحنات كهربية ، وتعرف حينئذ باسم أيونات (تعرف الموجبة منها باسم كاتيونات بينما تعرف السالبة باسم أنيونات). وتتكون معظم المعادن من أيونات أو حشود من الأيونات يضمها إلى بعضها البعض روابط كهربائية نائية عن الشحنات المضادة ونقصد بكلمة بناء البلورة ترتيب الأيونات والمجموعات الأيونية في الفراغ وطبيعة الروابط الكهربائية التي تضم هذه الأيونات إلى بعضها البعض ، ومدى قوة هذه الروابط. ويمكن تشبيه الوحدات البنائية (الذرات والأيونات والحشود الأيونية) ، بقالب الطوب في بنيان حائط بينما تشبه الروابط الكهربائية بين هذه الوحدات البنائية ، بالمونة التي تضم القوالب بعضها إلى بعض.

### الخواص الخارجية للبلورات

#### الأوجه البلورية

قلنا أن البلورة تتميز عن المادة المتبلورة في أنه لها أسطحاً مستوية خارجية تعرف بالأوجه البلورية. ومنجد أن الأوجه البلورية لها علاقة بالنظام الذري الداخلي. هذه العلاقة نائية من أن هذه الأوجه البلورية تكونت نتيجة لهذا النظام الذري الداخلي ، والملاحظ أنه عندما ترتب الذرات نفسها في أي نظام – أثناء نمو المادة المتبلورة. قد يكون هناك عدد معين من السطوح المحتمل تكونها لتحد البلورة الناتجة وهذا العدد يكون عادة قليلاً ، وذلك لأن المستويات التي تشمل أكبر عدد من الذرات هي التي

تحدد أمكنة الأوجه البلورية. أي أن الأوجه البلورية المحتمل تكونها (وفي المادة هي التي تتكون فعلا) ، هي التي تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات.

ولما كان البناء الذري الداخلي للمادة المتبلورة ثابت ، وأن الأوجه البلورية – كما أسلفنا – لها ارتباط وثيق بنظام ثابتة بالنظام الذري الداخلي ، فإنه ينتج عن ذلك أن الأوجه البلورية الخارجية لا بد وأن تكون ذات عرقنة ثابتة مع بعضها البعض. هذه العلاقة الثابتة بين الأوجه البلورية توجد في الزوايا التي تكونها الأوجه. وهذه الحقيقة تعرف باسم قانون ثبات الزوايا بين الوجهية Law of constancy of interfacial angles.

وينص هذا القانون على أن زاوية الميل بين وجهين بلورين (زاوية بين وجهية) ثابتة في بلورات المادة الواحدة (عند درجة الحرارة الواحدة). فنجد في الشكل السابق (١١) أن الوجه أ ح يعمل زاوية مقدارها ٤٥ مع الوجع أب ب في جميع البلورات في هذه المادة ذات النظام الذري المبيّن (المسافات متساوية بين الذرات في جميع الاتجاهات) ، أما الوجه أ د فإنه يعمل زاوية مقدارها ٤١ ٣٣ درجة مع الوجع أب ، ويعمل الوجه أ ه زاوية مقدارها ٣٤ ٢٦ درجة مع الوجع أب ، أم الوجع أ و فيعمل زاوية مقدارها ٢٦ ١٨ مع الوجع أب.

وهذا القانون أساسي ومهم جدا في علم البلورات ، فبواسطته يمكن التعرف على كثير من المعادن ، وذلك إذا قسنا الزوايا بين الوجهين بدقة (بواسطة جهاز يعرف باسم الجونيومتر) إذ أن هذه الزوايا مميزة لكل معدن. ومن أبسط أنواع الجونيومتر النوع الذي يعرف باسم جونيومتر التماس ، شكل (١١) الذي يستعمل في قياس الزوايا بين الوجهية على البلورات الكبيرة ونتائجه دقيقة إلى حد ما.

ويمكن التعرف على طريقة استعماله بملاحظة الشكل (١٢) ويجب مراعات أن يكون مستوى ذراعي الجيونيومتر متعامدا تماما على حرفي البلورة اللذين يحصران بينهما الزاوية بين الوجهية.

كما يجب ألا يغيب عن الذهن أن الزوايا المكملة (الزوايا الداخلة) هي التي تقاس عادة وتدون كقيمة للزوايا بين الوجهية عند دراسة البلور. ففي شكل (١٣) تسجل الزاوية التي مقدارها ٤٠ درجة وليست الزاوية التي مقدارها ١٤٠ درجة.

وأول من لاحظ ثبات الزوايا بين الوجهية هو العالم الدنماركي استينوهام ١٦٦٩. فعندما قطع مقاطع أفقية في عدد كبير من بلورات الكوارتز شكل (١٣)، وجد أن الزاوية بين أي وجهين، ولكيونا م ١، م ٢ مثلا، مقدارها ثابت بين جميع الأوجه التي تناظر م ١، م ٢ في المقاطع الأخرى. هذه الزاوية مقدارها ١٢- درجة مهما اختلفت البلورات في الشكل الخارجي أو الحجم، ومن أي مكان جمعت البلورة.

وتختلف بلورة المعدن الواحد في الطبيعة من ناحية مظهرها. فمنها الصغير ومنها الكبير، ومنها المفطح ومنها الطويل، إيريا كان أو منشوريا. ولكننا نجد أنه مهما اختلف المظهر فإن الزوايا بين الوجهية ثابتة. فبلورة مكعبة الشكل شكل (١٤) قد توجد متساوية الأبعاد أو مفلطحة أو منشورية، أو ابرية لاشكل ولكن في جميع الحالات تبقى الزاوية بين أي وجهين متناظرين ثابتة ومقدارها في هذه الحالة ٩٠ درجة.

والسبب في ذلك أن المظهر الخارجي للبلورة المكعبة هو الذي تغير، أما البناء الداخلي وترتيب الذرات فلم يتغير - فالوحدات البنائية التي يتكون منها المكعب شكل (١٤ ب) ثابتة في جميع المظاهر الخارجية للبلورة. فهي وحدات متساوية الأبعاد، والذي حدث هو أنه أثناء عملية نمو البلورة، تؤثر الظروف المحيطة على النمو، فقد تجعل



الوحدات البنائية تضاف بنسب متساوية في الأبعاد الثلاثة فينتج المكعب. أو تضاف بسرعة كبيرة في بعدين فقط وبسرعة بطيئة في بعد واحد فتنتج بلورة مفلطحة (نضدية) ، (أقصى اليمين في شكل - ١٤) ، أو تضاف الوحدات البنائية بسرعة كبيرة نسبيا في بعد واحد فقط فتنتج بلورة منشورية ، أو بسرعة كبيرة جدا في بعد واحد أيضا فتنتج بلورة إبرية (أقصى اليسار في شكل - ١٤).

ونلاحظ بصفة عامة أن الأوجه البلورية في البلورات الطبيعية (الموجودة في الطبيعة) غير متساوية التكوين. فنجد مثلا أن الأوجه البلورية الثمانية للشكل البلوري المعروف بالسهم ثماني الأوجه ، (شكل - ١٥) لا تكون متساوية في شكل مثلثات متساوية الأضلاع (كما هو الحال في البلورة النموذجية شكل (١٥ - ١)) ولكن نجد أن هذه الأوجه غير متساوية التكوين ، شكل (١٥ - ب ، ج) ، ولكن بالرغم من عدم تساوي الأوجه فإن الزوايا بين الوجوه ثابتة ، شكل (١٥ - د ، هـ ، و).

ويعرف عدم تساوي الأوجه البلورية للشكل البلوري الواحد باسم اختلاف الأوجه البلورية أو النشوء ، وتعرف البلورة في هذه الحالة باسم مختلفة الأوجه البلورية أو مشوهة. والنشوء لا يشير من قيمة الزوايا بن الوجوه بالمرّة. وهذا ناتج من أن الأوجه البلورية نفسها ثابتة الميل والاتجاه. لأنها هي الأخرى نتيجة وتعبير للبناء الذري الداخلي المنظم للبلورة شكل (١١) ، إذ تكون الأوجه البلورية موازية للمستويات التي تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات. وبما أن الترتيب الذري الداخلي ثابت في جميع بلورات المادة الواحدة ، لذلك كانت الأوجه البلورية المتكونة على جميع هذه البلورات ثابتة الإتجاه أيضا ، وبالتالي تكون الزوايا بينهما ثابتة.

## عناصر التماثل Element of Symmetry

من الظواهر الملحوظة على كثير من البلورات ظاهرة التوزيع المنظم والمرتب للأوجه البلورية. فإننا نجد أن جميع الأوجه البلورية وكذلك الذرات والأيونات المكونة للمادة مرتبة حسب نظام خاص وتنسيق معين يخضع لقواعد معينة معروفة باسم عناصر التماثل. وجوهر التماثل هو التكرار. فنلاحظ أن وجه البلورة مثلا أو أحد أحرفها يتكرر عدة مرات – أي يوجد في أماكن متماثلة عددا من المرات – طبقا لقانون ثابت. ويعتبر التماثل أساسا في دراسة البلورات.

ويمكن تعريف التماثل في بلورة ما بأنه عبارة عن العمليات التي ينتج عنها أن تأخذ مجموعة معينة من الأوجه البلورية نفس المكان الذي تشغله إحداها. والعمليات التماثلية المعروفة هي:

1- دوران حول محور (محور التماثل الدوراني).

2- انعكاس خلال مستوى (مستوى التماثل).

3- انقلاب حول مركز (مركز التماثل).

4- دوران حول محور مصحوبا بانقلاب (محور التماثل الانقلابي).

ويعرف المحور والمستوى باسم عناصر التماثل.

## محور التماثل الدوراني Rotation axis of symmetry

وهو عبارة عن الخط الذي يمر بمركز البلورة والذي تدور أو تلف حوله البلورة وينتج عن هذا أن يتكرر وضع البلورة. أي ظهور وجه أو حرف ما مرتين أو أكثر ومتخذا في

كل مرة وضعها مشابها للموضع الاول خلال دورة كاملة (أي ٣٦٠ درجة) ، أشكل  
(١٦ ، ١٧ ، ١٨ ، ١٩).

ويطلق على المحور اسم ثنائي التماثل أو ثلاثي التماثل أو رباعي التماثل أو سداسي التماثل ، حسب عدد المرات التي يظهر فيها الوجه على البلورة في الدورة الكاملة. ففي حالة المحور ثنائي التماثل ، شكل (١٦) يظهر الوجه كل ١٨٠ درجة. ويتكرر وضع البلورة مرتين في ٣٦٠ درجة. وفي حالة المحور ثلاثي التماثل ، شكل (١٧) يظهر الوجه كل ١٢٠ درجة ، ويتكرر وضع شكل (١٨) ، فإن الوجه يظهر كل ٩٠ درجة ، ويتكرر وضع البلورة أربع مرات خلال ٣٦٠ درجة. وفي حالة المحور سداسي التماثل ، شكل (١٩) ، يظهر الوجه مرة كل ٦٠ درجة ، ويتكرر وضع البلورة ست مرات في الدورة الكاملة. ويرمز للمحاور التماثلية بالرموز الآتية: ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٦ ، كما تبين الأشكال بالصور التالي: (يوجد رموز مرسومة).

وقد يتساءل سائل لماذا لا يوجد محور خماسي التماثل أو سباعي التماثل أو أكبر من ذلك؟ والإجابة على ذلك بسيطة إذا علمنا أن الوحدة البنائية ذات التماثل البلوري يجب أن تكون قادرة على التكرار في الفراغ دون أن تترك أي فجوات أو مسافات. فالأشكال الثنائية التماثل وكذلك الثلاثية والرباعية والسداسية تتكرر لمتلاً الفراغ دون أن تترك أي فجوات أو مسافة بينية ، شكل (٢٠- أ ، ب ، ج ، د ، و) ، بينما تترك الأشكال الخماسية والسباعية والثمانية التماثل شكل (٢٠- هـ ، ر ، ع) مسافات وفجوات (مظلمة على الرسم) ، وهذا لا يتفق مع الترتيب المنتظم في الفراغ للوحدات البنائية في الأبعاد الثلاثة.

## 2- مستوى التماثل Plan of symmetry

وهو المستوى الذي يقسم البلورة إلى نصفين متشابهين بحيث إذا وضعنا أحد النصفين أمام مرآة فإن الصورة الناتجة تنطبق تماما على النصف الآخر للبلورة ورمز لمستوى التماثل برمز "م" ( من كلمة مرآة) شكل (٢١).

## 3- مركز التماثل Center of symmetry

تحتوي البلورة على مركز تماثل اذا قابل الخط المار بالمركز من أي نقطة على سطح البلورة نقطة مشابهة لها تماما على الجزء المقابل . أو بمعنى آخر إذا وجد لكل وجه بلوري أو حرف في ناحية من مركز البلورة وجه بلوري مشابه أو حرف في الناحية المقابلة الأخرى من مركز البلورة وعلى مسافة مساوية ، فإن هذه البلورة تحتوي على مركز تماثل شكل (٢٢). ويرمز لمركز التماثل بالرمو "ن" ، (نقطة لاتماثل الداخلية) . والبلورة إما أن تحتوي على مركز تماثل واحد فقط أو لا تحتوي على مركز تماثل بالمرّة.

## 4- محور التماثل الانقلابي Inversion axis symmetry

يجمع هذا العنصر التماثلي بين محور التماثل الدوراني والانقلابي عبر مركز البلورة. ويجب اتمام العمليتين قبل الحصول على موقع التكرار الجديد. فإذا كان يوجد بالبلورة مركز تماثل فإنه يرمز له عادة برمز محور الانقلاب أحادي التماثل (أ) ، إذ أ، هذا يكافئ دوران نقطة على البلورة دوة كاملة (٣٦٠ درجة) ثم تكرارها بإنقلابها عبر المركز في الجهة المقابلة لهذه لانتقطة على البلورة. وهناك أيضا محاور انقلابية ثنائية وثلاثية ، ورباعية وسداسية التماثل. والآن لنتقهم كيف يعمل محور التماثل الانقلابي ، وليكن مثلا محور انقلابي رباعي التماثل. في حالة محور الدوران الراعي التماثل

(شكل-١٨) ، نلاحظ أن تكرار أربع نقاط (أو أركان) – تبعد الواحدة منها عن الأخرى ٩٠ درجة – يحدث جميعه إما على الجزء الأعلى من البلورة أو على الجزء الأسفل للبلورة . أما في عملية المحور الانقلابي الرباعي التماثل ، فإن النقاط (أو الأركان الأربعة سوف تتكرر أيضا كل ٩٠ درجة ، ولكن اثنتين منها توجد أعلى البلورة ، بينما توجد النقطتان الأخرتان أسفل البلورة ، شكل (٢٣). إن عمل مثل هذا المحور الانقلابي التماثل يشمل أربعة دورانات كل ٩٠ درجة ، ويلى ذلك إذا كانت النقطة الأولى في الجزء الأعلى من البلورة ، كانت النقطة الثانية في الجزء الأسفل للبلورة ، والثالثة في الجزء الأعلى والرابعة في الجزء الأسفل. ويرمز للمحاور الانقلابية أحادية ، وثنائية ، وثلاثية ، ورباعية وسداسية التماثل بالرموز التالية على التوالي: ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٦

وإذا فحصنا الأشكال السابقة ، (١٦) إلى (١٩) ، شكل (٢١) بشئ من الدقة والتفصيل ، فإننا نلاحظ أن كلا من هذه البلورات المرسومة تحتوي أكثر من عنصر التماثل المبين في الشكل. فالبلورة المبينة في شكل (١٦) مثلا تحتوي على محورين آخرين ثنائي التماثل ، كما تحتوي على ثلاثة مستويات تماثلية وتحتوي أيضا على مركز تماثل ، بينما البلورة المبينة في شكل (٢١) تحتوي على محور ثنائي التماثل عمودي على مستوى التماثل الموضح ، وكذلك تحتوي على مركز تماثل. أما البلورة المبينة في شكل (٢٢) ، فإنها لا تحتوي سوى مركز التماثل المبين بها. وأكبر عدد من عناصر التماثل يمكن أن يوجد في بلورة واحدة هو ٢٣ ، كما سنرى بعد ، أما أقل عدد ، فهناك بلورات لا تحتوي على عناصر تماثل بالمره.

### قانون التماثل Symmetry formula

يمكن كتابة عناصر التماثل في البلورة في هيئة قانون يعرف باسم قانون التماثل الكامل Complete Symmetry formula ، وذلك باستعمال الرموز التماثلية وهي: ٢ ، ٣

٤ ، ٦ ، للمحاول الدورانية الثنائية والثلاثية والرباعية والسداسية التماثل على التوالي و ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٦ للمحاور الانقلابية الأحادية والثنائية والثلاثية والرباعية والسداسية التماثل على التوالي ن م لمستوى التماثل ، ن لمركز التماثل. فاذا وجد محور دوران تماثلي عموديا على مستوى تماثل فإن القانون يكتب هكذا  $2/m$  أو  $3/m$  ، الخ ... حسب درجة المحور التماثل ، ويقراً اثنين على ميم ، وثلاثة على ميم ، الخ .. أما إذا كان المحور التماثلي يمر في المستوى التماثلي وليس عموديا عليه ، فإن القانون يكتب  $2/m$  أو  $3/m$  الخ .. حسب درجة المحور التماثلي. أما في حالة وجود مستويان تماثليان أحدهما عمودي على المحور التماثلي والآخر يمر بالمحور فإن القانون يكتب  $2/m$  م أو  $3/m$  م ، الخ. وفي حالة وجود أكثر من محور تماثل واحد أو مستوى تماثل واحد فإن عدد المحاور أو المستويات يكتب في لاركب الأعلى الشمالي لرمز المحور أو المستوى هكذا ٣٢ ، م٣ ، ٤/٣ أي ثلاثة محاور ثنائية التماثل ، ثلاث مستويات تماثلية ، ثلاثة محاور رباعية التماثل عمودية على ثلاث مستويات تماثلية ، على التوالي ( لاحظ أن القانون الأخير لا يعني ثلاثة محاور رباعية التماثل عمودية على مستوى تماثل واحد ، إذ أن  $4/m$  تدل على مجموعة غير مجزأة).

الفصائل والمحاور البلورية

### Crystallographic systems الفصائل البلورية

تتبع البلورات سبعة أقسام تعرف باسم الفصائل البلورية السبعة ، يمكن التعرف عليها على أساس المحاول التماثلية الموجودة كما يلي:

١ – فصيلة المكعب (أو متساوي الأطوال) وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على أربعة محاور ثلاثية التماثل.

2- فصيلة السداسي ، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد سداسي التماثل فقط.

3- فصيلة الرباعي ، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور رباعي التماثل فقط.

4- فصيلة الثلاثي ، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد ثلاثي التماثل فقط.

5 – فصيلة المعيني القائم ، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على ثلاثة محاور ثنائية التماثل.

6- فصيلة الميل الواحد ، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد ثنائي التماثل فقط.

7- فصيلة الميول الثلاثة ، وبلوراتها لا تحتوي على أية محاور تماثلية.

وتضم كل فصيلة من هذه الفصائل السبعة عددا من المجموعات التماثلية ، أو ما يعرف باسم النظم البلورية (اثنين في فصيلة الميول الثلاثة ، وثلاثة في كل من فصيلتي الميل الواحد والمعيني القائم ، خمسة في كل من فصيلتي الثلاثي والمكعب ، سبعة في كل من فصيلتي الرباعي والسداسي) وتحتوي على المميزات التماثلية للفصيلة التي تتبعها ، فمثلا ، قد تحتوي بلورة تابعة لفصيلة الثلاثي على محور دوران ثلاثي التماثل فقط ، أو على محور انقلابي ثلاثي التماثل ، أو على مجموعة من محور واحد ثلاثي التماثل ، وثلاثة محاور ثنائية التماثل ، أو ثلاثة مستويات تماثل ، أو كليهما. معنى ذلك أن فصيلة الثلاثي تضم خمسة نظم بلورية. وعلى هذا الأساس وجد أن الفصائل البلورية لاسبعة

تضم ٣٢ نظاما بلوريا ، وفي كل فصيلة يوجد نظام واحد يحتوي على أعلى تماثل بين النظم التابعة لهذه الفصيلة. ويعرف هذا النظام باسم النظام الكامل التماثل.

وسوف نكتفي في مناقشاتنا الحالية بدراسة النظام الكامل التماثل في كل فصيلة بالتفصيل ، أما النظم الأقل تماثلا في كل فصيلة فسوف نشير إليها في أول الحديث عن الفصيلة. ويجدر بنا أن نشير في هذا المقام إلى أن بعض المؤلفين في بعض الدول يعتبرون فصيلة الثلاثي قسما تابعا لفصيلة السداسي ، وهذا يعني ستة فصائل بلورية فقط ، ولكن العدد الكلي لمجموعات التماثل المختلفة (النظم البلورية) موزعة على هذه الفصائل الستة بعينة نفس العدد (٣٢) الذي يضمه التصنيف إلى سبعة فصائل.

### المحاور البلورية Crystallographic axes

المحاور البلورية هي عبارة عن ثلاثة خطوط تصورية أو خيالية ، شكل (٢٤) ، (أربعة في فصيلتي السداسي والثلاثي) والتي يمكن رسمها داخل البلورة بحيث تتقاطع في مركز البلورة (مركز النقل) ، وتعمل كخطوط ترجع إليها كلما أردنا وصف مواضع الأوجه البلورية (كل وجه لابد أن يقطع واحدا أو أكثر من هذه المحاور البلورية على مسافة معينة من المراكز).

واتجاهات المحاور البلورية محددة على البلورة بواسطة العناصر التماثلية الموجودة ، إذ غالبا ما يكون محور التماثل محورا بلوريا وخصوصا بالنسبة للمحور البلوري الرأسية (ج) الذي يمثل في غالبية الأحوال المحور الأكثر تماثلا. وينتج عن تقاطع المحاور البلورية ما يسمى بالمتقاطع البمحوري Axial cross ، ويرمز إلى وحدات المحاور البلورية إذا كانت متساوية بالرموز ١١١. أما إذا كانت الوحدات التماثلية مختلفة الأطوال فإنه يرمز إليها بالرموز أ ، ب ، ج ، حيث أ هو المحور الممتد من



الأمام إلى الخلف (الاجاه س) ، ب المحور المتد من اليمين إلى اليسار (الاتجاه ص) ،  
ج هو المحور الممتد رأسيا (الاجاه ع). ونفرق أطوال هذه الحاول بواسطة استعمال  
الاشارات الموجبة (+) ، والسالبة (-) ، شكل (٢٤).

وينتج عن تقاطع هذه المحاول الثلاثة زوايا تعرف باسم الزوايا المحورية ، وهي زاوية  
ألفا ( $\alpha$ ) بين بن ، ج ، وزاوية بيتا ( $\beta$ ) بين أ ، ج ، وزاوية جاما ( $\delta$ ) بين أن ، ب.

وعلى أساس أطوال وحدات المحاور البلورية ، والزوايا بين هذه المحاول ، يمكننا  
لتمييز بين الفصائل البلورية السبعة كما هو مبين في الجدود: اسم الفصيلة الزوايا بين  
المحاور طول الوحدة في الاتجاهات  $\delta$   $\beta$   $\alpha$  س ص ط (ع طول الواحد المكعب 90  
90 90 أ أ أ السداسي 120 90 90 أ أ أ ج الطولين الرباعي 90 90 90 أ أ ج الثلاثي  
 $\alpha = \beta = \delta \neq 90$  أ أ ج الأطوال الثلاثة المعيني القائم 90 90 90 أ ب ب ج الميل  
الواحد 90 90  $90 > 90$  أ ب ب ج الميول الثلاثية 90 90  $90 > 90$  أ ب ب ج

جدول (٢) الفصائل البلورية وخواصها

وتبين الأشكال (٢٥) إلى (٣١) ، المحاور البلورية المميزة لكل فصيلة بلورية ،  
ومثالات من بلورات المعادن التي تنتمي إليها هذه الفصيلة. والوحدة البنائية لهذه  
الفصيلة.

ويجدر بنا الإشارة في هذا المكان إلى أن المحور البلوري ج هو دائما محور سداسي  
التمائل في فصيلة لاسداسي ، ورباعي التماثل في فصيلة الرباعي ، وثلاثي التماثل في  
فصيلة الثلاثي . وتختلف فصيلة الثلاثي عن السداسي ، بجانب الاختلافات السابقة ، في  
أن فصيلة الثلاثي لا تحتوي بلوراتها على مستوى تماثلي أفقي.

تعليمات بشأن اختيار المحاور البلورية : (في النظم الكاملة التماثل)

فصيلة المكعب: المحاور الرباعية التماثل هي المحاور البلورية.

فصيلة السداسي: المحور السداسي التماثل هو المحور ج ، وأطول ثلاثة محاور ثنائية التماثل هي المحاور ١ ١ ، ٢ ١ ، ٣ ١ .

فصيلة الرباعي: المحور الرباعي التماثل هو المحور ج ، وأطول محورين ثنائي التماثل هما ، المحورات ١ أ ، ٢ أ .

فصيلة الثلاثي: المحور الثلاثي التماثل هو المحور ج ، وأطول ثلاثة محاور ثنائية التماثل هي المحاور ١ أ ، ٢ أ ، ٣ أ .

فصيلة المعيني القائم: الثلاثة محاور الثنائية التماثل هي المحاور البلورية ، وفي العادة يختار ج أطول من ب ، وب أطول من أ .

فصيلة الميل الواحد : المحور الثنائي التماثل هو المحور ب ، يختار بعد ذلك المحور ج موازيا لحروف أربعة أوجه متشابهة تماما والتي تعتبر مكونة للشكل المنشوري ، وبعد ذلك يختار المحور أ موازيا للسطحين الذين يقطعان أوجه المنشور بزوايا تقرب من القائمة.

فصيلة الميول الثلاثة: ابحت عن ثلاثة أزواج من السطوح المتوازية التي تتقاطع مع بعضها بزوايا تقرب من القائمة والتي تحد الفراغ كعلبة كبريت مشوهة ، وتختار المحاور البلورية موازية لهذه الأسطح (كل محور موازي لمجموعتين من هذه المجموعات الثلاث) (كل مجموعة تتكون من سطحين). غالبا يكون ج>ب>أ.

الأوجه البلورية ، التقاطعات ، الاحداثيات ، الأدلة

عندما نريد وصف الأوجه البلورية فإنه يكون لزاما علينا أن نحدد مواضع هذه الأوجه بالنسبة للمحاور البلورية. فالذي يهمنا في الدراسات البلورية هو اتجاه ميل الوجه وليس شكله أو حجمه ، وكما سبق أن قلنا إنه ينتج من الاتجاهات الثابتة للأوجه زوايا ثابتة مميزة. تعرف باسم الزوايا بين الوجهية ، فكذاك ينتج من اتجاه ميل وجه البلورة أن الوجه قد يقطع المحاور البلورية الثلاثة ، أو يقطع محورين ويوزاي الثالث ، أو يقطع محورا واحدا ويوزاي الاثنى الآخرين. ويظهر كل تقاطع – بين الوجه والمحور البلوري – على مسافة معينة من مركز البلورة ، شكل (٣٢). وتعرف هذه المسافة التي يمكن قياسها بالمليمترات أو السنتمترات باسم تقاطع الوجه بالمحور اللوري. وعلى هذا نجد أن في البلورات الكبيرة يكون التقاطع أكبر منه في البلورات الصغيرة. لأن قيمة التقاطع في هذه الحالة تتوقف على فرصة البلورة في النمو وعلى ذلك نجد أنه من المستحب ومن الأفضل أن نلجأ إلى طريقة لوصف الأوجه البلورية لا تعتمد بالمرّة على حجم البلورة الذي توجد عليه في الطبيعة مثل هذه الطريقة موجودة ، وفيها لا نستعمل المسافة المطلقة من المركز إلى الوجه وإنما المستعمل المسافة النسبية التي تقاس بالنسبة إلى طول الوحدة على كل محور بلوري. هذا يعني أننا لا بد أن نختار أولا وجهها بلوريا يقطع جميع المحاور الثلاثة ويحدد ذلك طول اوحدة على كل من هذه المحاور ، ويعرف هذا الوجه باسم وجه الوحدة ، وبعد ذلك يمكننا أن نعبر عن تقاطعات جميع الأوجه البلورية الأخرى في هيئة نسبة إلى تقاطعات وجه الوحدة.

مثلا في بلورة لمعدن التوباز ، فلوروسليكات الألومنيوم ، نجد أن تقاطعات وجه الوحدة ، أ ، ب ، ج شكل (٣٢) ، هي ١.٣٥٤ مم ، ٢.٥٦٢ مم ، ١.٢٤٢ مم على المحاول أ ، ب ، ج على التوالي. ولما كانت هذه الوحدات – مقاسة على هذا النحو بالمليمترات – تدل على الحجم ، وتتغير تبعا لتغيره ، فإننا نتجنب استعمال مثل هذه الوحدات الحجمية.

وذلك بأن نقسم كل قيمة من قيم هذه التقاطعات على قيمة التقاطع على المحور ب ،  
وينتج عن ذلك تقاطعات قيمة (بالنسبة إلى ب) بدلا من التقاطعات المطلقة ، هكذا

$$٠.٤٧٧ = ٢.٥٦٢ / ١.٢٤٢ ، ١.٠٠ = ٢.٥٦٢ / ٢.٥٦٢ ، ٠.٥٢٨ = ٢.٥٦٢ / ١.٣٥٤$$

وعلى ذلك يمكننا تعريف التقاطعات النسبية بأنها عبارة عن التقاطعات الناتجة من  
قسمة كل تقاطع على ب. وفي المثال المذكور تكون التقاطعات النسبية هي  
٠.٤٧٧ : ١ : ٠.٥٢٨ . ولما كانت هذه النسبة هي نسبة طول الوحدات على المحاور  
البلورية كما حددها وجه الوحدة.

فإنها تعرف أيضا باسم النسبة المحورية (أي نسبة أ:ب: ج = ٠.٤٧٧ : ١ : ٠.٥٢٨).  
وهي نسبة غير متساوية ، أي أن بلورة التوباز تتبع إحدى الفصائل التالية ، المعيني  
القائم ، أو الميل الواحد ، أو الميول الثلاثة. ولكن لما كانت الزوايا المحورية الثلاثة  
قائمة ، فالبلورة إذن تتبع فصيلة المعيني القائم. ونلاحظ في هذه الحالة أن المسافات  
السابق قياسها للتقاطعات (بالمليمترات) قد تفاديناها باستعمالنا للنسبة التي يكون فيها  
تقاطع ب يساوي دائما ١ (واحد) (لأننا نقسم دائما المسافات المطلقة على مسافة ب  
لنتنتج هذه النسبة).

أما احداثيات الوجه البلوري (البارامترات) ، فهي عبارة عن رموز تدل على  
التقاطعات النسبية لهذا الوجه مع المحاور البلورية ، أي نسبة التقاطعات النسبية لهذا  
الوجه إلى التقاطعات النسبية لوجه آخر.

احداثيات الوجه = التقاطعات النسبية لهذا الوجه / التقاطعات النسبية لوجه آخر.

ولما كان وجه الوحدة قد أختير ليقطع المحاور البلورية عند أطوال الوحدة إن احداثياته  
تكون أ:ب:ج (مفهوم أن الرقم ١ يسبق كل من هذه الحروف لأننا لا نكتب أ:ب:١ ج).

في شكل (٣٢) تقاطعات وجه الوحدة أ ، ب ، ج . ولنأخذ وجهها آخر وليكن هـ ، ب ، و موجودا على بلورة التوباز أيضا. هذا الوجه له التقاطعات الآتية ٠.٦٧٦ مم ، ٢.٥٦٢ مم ، ٢.٤٤٤ مم على المحاور أ ، ب ، ج على التوالي ، فإذا قسمنا هذه التقاطعات على تقاطع ب فإنه ينتج عن ذلك التقاطعات النسبية الآتية: ٠.٥٦٢/١.٦٧٦ : ٢.٥٦٢/٢.٥٦٢ : ٢.٤٤٤/٢.٥٦٢ ، أي ١:٢.٦٤:٠.٩٥٤ . ثم إذا قسمنا هذه الأرقام (التقاطعات النسبية للوجه) على التقاطعات النسبية لوجه الوحدة فإنه ينتج عندنا النسبة الآتية: ٠.٥٢٨/٠.٢٦٤ = ٠.٥ = ١.٠٠٠/١.٠٠٠ = ١ : ٠.٩٥٤/٠.٤٧٧ = ٢

هذه الأرقام الأخيرة ١.٥ : ١ب:٢ج هي احداثيات الوجه الثاني هـ ، ب ، و ، وعندما يكون الوجه البلوري موازيا لأحد المحاور البلورية ، أي أنه لا يقطعه فإن الرمز ∞ (مالا نهائية) يستعمل في احداثياته.

ومن ذلك نرة أن الوجه البلوري إما أن يقطع المحور على مسافة معينة ، أو يكون موازيا له. وينتج عن ذلك أن الاحداثيات الممكنة في جميع الفصائل البلورية لا تتعدى سبعة احداثيات أساسية هي أ: ب : ج ، ∞: ب : ج ، أ: ∞: ب : ج ، ∞: ج : ∞ ، ∞: ب : ج ، ∞: ج : ∞ ، ∞: ب : ج ، ∞: ج : ∞ .

وفي شكل (٣٣) نشاهد وجه الوحدة له الاحداثيات أ: ١ب: ١ج. أما في شكل (٣٤) فنشاهد بلورة بها وجه الوحدة أ: ١ب: ١ج يقطع المحاور البلورية في مسافات الوحدة ، ووجه آخر له الاحداثيات أ: ١ب: ∞ج ، موازي للمحور الرأسي ج.

ويسمى كل من هذه الاحداثيات تبعا للفصيلة البلورية أو حسب عدد الأوجه التي يتطلبها التماثل في هذه الفصيلة ، فمثلا يعرف أ: ب : ∞ج في جميع الفصائل البلورية باستثناء

المكعب ، باسم منشور ويوصف كمنشور رباعي أو منشوري معيني قائم ، شكل (٣٤) ،  
تبعاً للتماثل والفصيلة البلورية التي تنتمي إليها البلورة.

### الأدلة ( Indices ) جمع دليل:

وهذه عبارة عن تعبيرات أو رموز مختصرة ومبسطة اشتقت من احداثيات الشكل البلوري ، وتستعمل عادة بدلا من الاحداثيات لتعبر عن علاقة الوجه او الشكل البلوري (مجموعة أوجه متشابهة) بالمحاور البلورية. وهناك أكثر من نوع من الأدلة ، وسوف نستعمل في دراستنا البلورية أدلة ميلر Miller indices ، لأنها الأكثر استعمالا. وتشتق أدلة ميلر من احداثيات الشكل البلوري بأن نأخذ مقلوب الاحداثيات ثم نتخلص من الكسور إن وجدت. فنجد أن دليل وجه الوحدة (أو احداثياته أ:ب:ج). هو ٥:٥:٥:٥:٥:٥ ج أو (١١١) ، سواء أكانت البلورة مكعبا أو ميول ثلاثة: وسواء أكانت التقاطعات التي يعملها الوجه على المحاور متساوية أم غير متساوية.

وفي البلورة السابق التحدث عنها ، وهي بلورة التوباز نجد أن:

احداثيات الوجه هـ ، ب ، و ، هي ٥:٥:٥:٥:٥:٥ ج

الدليل (مقلوب الاحداثيات) هو ٥:٥:٥:٥:٥:٥ ج

ويعطي التخلص من الكسور ٤:٥:٥:٥:٥:٥ ج

وعلى ذلك يكون دليل هذا الوجه والشكل التابع له هو ٤:٥:٥:٥:٥:٥ ج ، وعادة تحذف الحروف الدالة على المحاور البلورية المختلفة ، ويكتب الدليل مبسطا هكذا ١٢٤ ، وينطق أربعة اثنين واحد ، ويكون دائما بالترتيب أ ثم ب ثم ج.

والتعبير العام للدليل أي شكل بلوري هو (هـ ك ل) ، مع ملاحظة أن هـ تشير دائما إلى المحور س (الوحدة أ) ، ك تشير إلى المحور ص (اغلوحدة ب) ، ل تشير إلى المحور ع (الوحدة ج). وتبين لنا الأمثلة التالية العلاقات بين الاحداثيات والأدلة:

$$\begin{aligned} \text{الأحداثيات الأدلة } ٠.٥:٠.٥:١ = \text{ب:ج:أ} = 2:1:1 = \text{أ:ب:ج} = 1:1:1 \\ = 2:2:1 = \text{ب:ج:أ} = ٠.٥:٠.٥:١ = \text{ب:ج:أ} = 1:1:1 \end{aligned}$$

ويتضح من هذه الأمثلة أن الأدلة عبارة عن أعداد صحيحة ، وعادة صغيرة ، كما أ، النسب بين تقاطعات الأوجه المختلفة على المحور الواحد في البلورة نسب عددية بسيطة. أي كنسبة ١ : ١ : ٢ ، ١ ، ٢ ، ٣. ولكن لا يمكن أن تكون ١ :  $\sqrt{2}$ . وتعرف هذه العلاقة باسم قانون الأدلة النسبية.

والسبب في هذا التحديد هو الترتيب والنظام في بناء البلورة. فكما أن الأوجه البلورية تعتمد اعتمادا مباشرا على الترتيب الذرات داخل بناء البلورة ، فكذلك تتكون مواضعها الممكنة على البلورة محددة تماما. وعليه فإن تقاطعات أي وجه على المحاور البلورية يمكن التعبير عنها بواسطة مضاعفات عددية بسيطة لطول الوحدات المحورية الأساسية (أي ثلاثة أمثال أو أربعة أمثال ، أو نصف ، الخ ، ولكن لا يمكن أن تكون  $\sqrt{2}$  لأن قيمة الجذر غير ثابتة ، فقد تساوي ١.٤ أو ١.٤١ أو ١.٤١٤ ، وهذا يتنافى مع البناء المنظم للبلورة وثبات المسافات بين الذرات في أي اتجاه.)

وفي فصيلتي الثلاثي ولأسداسي ، التي لبلوراتها ٣ محاور بلورية ، يتحول التعبير العام إلى (هـ ك و ل) وفيه تشير إلى الطرف السالب للمحور ط (الوحدة أ٣) وتساوي قيمة و قيمة هـ + ك أي أن و = هـ + ك.

## الشكل البلوري Crystal form

ويتكون من مجموعة الأوجه البلورية المتشابهة (شكلا وحجما) الموجودة على نموذج البلورة. فمثلا البلورة المبينة في شكك (٣٣) يوجد بها شكل بلوري واحد فقط ، أم البلورة المبينة في شكل (٣٤) فيوجد بها شكلان بلوريان ، أما على البلورة الطبيعية (حيث الاوجه مشوهة) فيتكون الشكل البلوري من جميع الأوجه البلورية التي لها رمز واحد (مجموة الأحداثيات أو الدليل). وفي هذه الحالة يجب أن ندخل عناصر التماثل في اعتبارانا. أو بعبارة أخرى يتكون الشكل البلوري من مجموعة من الأوجه التي يستلزم وجودها عناصر التماثل في البلورة وذلك إذا وجد على البلورة وجه واحد من هذه الأوجه ، فمثلا في بعض الفصائل البلورية ذات التماثل العالي نجد أن (١١١) ، (١١١) يتبعان شكلا بلوريا واحدا ، وفي فصائل أخرى ذات تماثل منخفض نجد أن (١١١) ، (١١١) لا يتبعان شكلا بلوريا واحدا. ولكن يتبعان شكلين مستقلين . والسبب في ذلك أنه في الحالة الاولى يوجد مستوى تماثل أفقي يعكس الوجه (١١١) ، (١١١) ، أما في الحالة الثانية فلا يوجد مستوى تماثل أفقي وبذلك لا يرتبط الوجه (١١١) بالوجه (١١١) بأية رابطة ، ويتبع الوجهان شكلين إثنين.

## رمز الشكل: Form symbol

وهو عبارة عن دليل أحد أوجه الشكل البلوري الذي له أبسط علاقة مع المحاور البلورية. ويكتب رمز الوجه بين قوسين صغيرين هكذا ( ) مثل (٣٢١) ، أما رمز الشكل فيكتب بين قوسي كبيرين هكذا { } ، مثل {٣٢١}.



الشكل الكامل الأوجه: **bolobedral form** هو المجموعة الكاملة لجميع الأوجه الممكنة على البلورة التي لها نفس الأحداثيات والتي لها أوضاع هندسية متشابهة بالنسبة للمحاور البلورية ، شكل (٢٥-ب).

أما شكل نصف الأوجه: **Bemibedral form** فيتكون من نصف الأوجه التي يتطلبها التماثل التام ، ويشترك من الشكل الكامل بأن يترك الأوجه المتبادلة ، شكل (٣٥) - أ ، ج).

الشكل المفتوح: **Open form** هو الشكل البلوري الذي لا تقفل الأوجه المكونة له الفراغ بمفردها. ومن أمثله الأوجه الأربعة لشكل المنشور. شكل (٣٦).

أما الشكل المقفول: **closed form** فهو الشكل البلوري الذي تقفل الأوجه المكونة له الفراغ بمفردها. ومن أمثلة الأوجه الستة المكونة لشكل المكعب ، شكل (٣٧).

### مجموعات الأشكال: **Combinations of form**

في كثير من الحالات نجد أن الأوجه التي تظهر على البلورة لا تنتمي إلى شكل بلوري واحد ، بل إلى عدة أشكال ، شكل (٣٤). أي أن هذه الأشكال تتكون مرة واحدة على البلورة ، وفي هذه الحالة ينتج ما يعرف باسم مجموعات الأشكال.

### فصيلة المكعب أو متساوي الطول **Cubic or Isometric System**

#### المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاث محاور بلورية متساوية ومتعامدة ، تمسك البلورة بحيث يكون أحد المحاور الثلاثة عموديا والثاني يمتد من اليمين إلى

اليسار والثالث يمتد من اليمين إلى اليسار والثالث يمتد من الأمام إلى الخلف ولما كانت هذه المحاور الثلاثة متساوية في طول وحداتها متعامدة فإنه لا يمكن تمييز إحداها عن الآخر ، ولذلك يرمز لها بالرمز أ ، (شكل ٣٨).

وتضم فصيلة المكعب خمسة نظم بلورية موضحة في جدول (٤).

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن سداسي الثماني الأوجه/34 م ٣ ٤ ٢ ٦ /م  
 ن فلوريت  $CaF_2$  الأربعة وعشرون وجها خمسا -- 6 2 4 3 3 4 سداسي الرباعي  
 الأوجه 4 3 3 4 م ٦ سفاليريت ZnS الإثنا عشر وجها مزدوجا/ 3 2 م ٣ ٤ ن  
 بيريت  $FeS_2$  رباعي الأوجه ذو الإثنى عشر وجها خمسا 4 3 2 2 كربالتيت  
 CoAsS

جدول (٤): النظم البلورية في فصيلة المكعب

النظام العادي أو سداسي الثماني الأوجه Norma of Hexoctahedral

التماثل

قانون التماثل الكامل: ٤ ٣ /م ٣ ٤ ٢ ٦ /م ن

المحاور التماثلية: لبلورات هذا النظام ١٣ محورا تماثليا ، أشكال (٣٩ ، ٤٠ ، ٤١)  
 بيانها كالتالي: ثلاثة محاور رباعية التماثل ، وهذه تنطبق على المحاور البلورية شكل  
 (٣٩).

أربعة محاور ثلاثية التماثل ، وهي تميل على المحاور البلورية ، شكل (٤٠).

سنة محاور ثنائية التماثل موجودة في المستويات التماثلية المحورية (المستويات التي  
 تشمل المحاور البلورية) ومنصفة الزوايا التي بين المحاور البلورية ، شكل (٤١).

المستويات التماثلية : توجد في هذا النظام تسعة مستويات تماثلية. ثلاثة منها موازية لمستويات المحاور البلورية بالتالي تكون متعامدة على هذه المحاور ، شكل (٤٢). هذه المستويات التماثلية المحورية ، وهي تقسم الفراغ إلى ثمانية أجزاء متساوية يعرف كل جزء منها بالثمن. أما المستويات الستة الأخرى فإن كلا منها يوجد موازيا ل أحد المحاور البلورية ومنصفا للزاوية التي بين المحورين الآخرين ، شكل (٤٣) ، وعلى ذلك فهي تقسم الفراغ إلى ٢٤ جزءا متساويا ، وتقسم المستويات التماثلية التسعة مكتملة الفراغ إلى ٤٨ جزءا متساويا.

مركز التماثل: يوجد في هذا النظام مركز تماثلي ، وينتج عن ذلك أن يكون لكل وجه بلوري وجه مقابل موازي له.

#### الأشكال البلورية:

تسمى الأشكال المكعبة بأسماء خاصة حسب عدد الأوجه التي تكون كل شكل.

ثمانية الأوجه: يتكون هذا الشكل البلوري – كما يدل عليه اسمه – من ثمانية أوجه ، كل وجه يميل ميلا متساويا على المحاور البلورية الثلاثة ، وعلى ذلك تكون احداثياته هي ١:١:١ والدليل {١١١}. وكل وجه عبارة عن مثلث متساوي الأضلاع.

الإثنا عشر وجهها معينا : شكل (٤٥): يتكون من إثني عشر وجهها ، يقطع كل وجهه إثني عشر من المحاور البلورية على نفس المسافة ، ويمتد موازيا للمحور الثالث ، وعلى ذلك تكون الاحداثيات أ:أ:∞ ، والدليل هو {٠١١}. وعندما يكون هذا الشكل نموذجيا نجد أن كل وجه عبارة عن معين متساوي الأضلاع ، وتتم المحاور البلورية بالزوايا المكونة من أربعة أوجه ، أما المحاور الثلاثية فتتم بالزوايا الناتجة من تقابل ثلاثة أوجه ، تصل المحاور ثمانية التماثل بين مراكز الأوجه المتقابلة.

سداسي الأوجه أو المكعب: شكل (٤٦): تقطع أوجه هذا الشكل محورا بلوريا واحدا وتوازي المحورين الآخرين ، وعلى ذلك تكون الأحداثيات أ:∞:∞ والدليل هو {٠٠١} ، ويكون شكل الوجه على بلورة نموذجية مربعا حيث تمر المحاور البلورية بمراكز هذه الأوجه أم المحاور الثلاثية التماثل الإثنى عشر حرفا بين هذه الأوجه حيث يصل كل محور بين منتصف حرفين.

ثلاثي الثماني الأوجه ، شكل (٤٨) ، تقطع أوجه هذا الشكل اثنين من المحاور البلورية على مسافتين متساويتين. أما تقاطع المحور الثالث فعلى مسافة أطول ، تكون الأحداثيات إذا أ:أ:مأ ، حيث م عبارة عن عدد نسبي أكبر من الواحد ولكن أقل من مالا نهاية.

(1) >∞ م). (1) وينتج عن ذلك أنت يكون الدليل {هـ هـ ل} حيث هـ > ل مثل {١٢٢} ، ويتكون الشكل من أربعة وعشرين وجها ، كل وجه منها عبارة عن مثلث متساوي الساقين.

الأربعة وعشرون وجها: (شبه المنحرف المكعبي) ، شكل (٤٩): يتكون هذا الشكل من أربعة وعشرين وجها ، كل وجه عبارة عن شبه منحرف يقطع أحد المحاور البلورية على مسافة تساوي الوحدة ويقطع المحورين الآخرين على مسافتين متساويتين أكبر من الوحدة "م أ" حيث >∞ م > ١ ، الأحداثيات هي ١: ١: م ١ ، والدليل هو {هـ ل ل} حيث هـ > ل مثل {١١٢} ، وتصل المحاور البلورية بين الزوايا المكونة من ثلاثة أوجه ، أما المحاور ثنائية التماثل فإنها تميل بين المحاور البلورية.

رباعي السداسي الأوجه ، شكل (٤٧): نجد في هذا الشكل البلوري أن كل وجه يقطع محورا بلوريا على مسافة تساوي الوحدة ، والثاني على مسافة أكبر مقدارها م ١ حيث

$m > 1$  ، ويوازي المحور الثالث. وتكون الأحداثيات إذا  $1 : m : 100$  ، والدليل هو { هـ ل } مثل { ١٢٠ } . ويتكون الشكل من أربعة وعشرين وجها ، موزعة بحيث تحل كل أربعة أوجه محل وجه في شكل سداسي الأوجه ، ويكون كل وجه منها عبارة عن مثلث متساوي الساقين. وتصل المحاور البلورية في هذا لاشكل بين الزوايا الست الناتجة من تلاقي أربعة أوجه لكل منها ، بينما تصل المحاور ثلاثية التماثل بين الزوايا المكونة من ستة أوجه ، أما المحاور ثنائية التماثل فإنها تصف الأحرف الطويلة.

سداسي الثماني الأوجه ، شكل (٥٠) ، يتكون هذا الشكل من ٤٨ وجها ، كل ستة أوجه تكونت مكان وجه من أوجه شكل الثماني الأوجه ، ويقطع كل وجه أحد المحاور البلورية على مسافة مقدارها الوحدة ، والمحورين الآخرين على مسافتين غير متساويتين نأ ، مأ على التوالي ، حيث ن أصغر من م ، وحيث  $\infty > m > 1$  ، إذا الأحداثيات هي ( أ : ن : أ : مأ ) ، والدليل هو { هـ ك ل } ، حيث هـ  $> ك > ل$  مثل { ١٢٣ } أو { ١٣٥ } . وتمر المحاور البلورية بالزوايا الناتجة من تلاقي ثماني الأوجه ، وكل وجه في هذا الشكل عبارة عن مثلث غير متساوي الأضلاع.

#### =مجموعات الأشكال Combinations of forms

في كثير من الأحوال توجد الأشكال البسيطة سالفة لاذكر مجتمعة مع بعضها البعض على البلورة الواحدة ، فقد يجتمع شكلان أو ثلاثة أو أربعة أو أكثر من ذلك على البلورة الواحدة ، ونتيجة لهذا التجمع قد يختلف شكل الوجه في المجموعة عنه إذا كان منفردا ، ومن أمثلة مجموعات الأشكال في هذا النظام مايلي:

ثماني الأوجه والإثنا عشر وجها معينا ، شكل ( ٥١ ).

ثماني الأوجه والمكعب ، شكل ( ٥٢ ، ٥٣ ، ٥٤ ).

مكعب ورباعي السداسي الأوجه ، شكل (٥٥).

ثمانى الأوجه والإثنا عشر وجها معينا والمكعب ، شكل (٥٦).

الإثنا عشر وجها معينا والأربعة وعشرون وجها منحرفا ، شكل (٥٧).

الإثنا عشر وجها معينا وثلاثى الثمانى الأوجه ، شكل (٥٨).

أمثلة من المعادن

ماجنتيت (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Magnetite ، شكل (٥١) ، فرانكلينيت Franklinite  
 (Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ، جالينا Galena (PbS) ، شكل (٥٢ ، ٥٣ ، ٥٤) ، فلوريت Fluorite  
 ، هاليت Halite (NaCl) ، جارنت Garnet (Fe<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) ،  
 يورانينيت Uraninite (UO<sub>2</sub>) ، النحاس (Cu) ، أرجنتيت Argentite (Ag<sub>2</sub>S)  
 ، أنالسيت Analcite (NaAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) ، لوسيت Leucite (KAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) ويلاحظ  
 بصفة عامة أن شكل المكعب يغلب تواجدة على بلورات الهاليت والفلوريت بينما يغلب  
 شكل ثمانى الأوجه على بلورات الماجنتيت والفرانكلينيت. أما شكل الإثنى عشر وجها  
 معينا فيغلب تواجدة على بلورات الجارنت ، بينما يغلب وجود شكل الأربعة وعشرون  
 وجها منحرفا على بلورات اللوسيت والأنالسيت والجارنت.

مميزات البلورات المكعبية

تتميز البلورات المكعبية غير المشوكة بتساوي أبعادها في اتجاهات ثلاثة متعامدة على  
 بعضها البعض ، وهذه الاتجاهات الثلاثة هي المحاور البلورية. وكذلك تتميز البلورات  
 المكعبية جميعها بوجود أربعة محاور ثلاثية التماثل. وتظهر البلورات بعدد كبير من  
 الأوجه المتشابهة إذ أن أقل عدد من الأوجه يتبع شكلا واحدا هو ستة في نظام سداسى

الثماني الأوجه. وكل شكل بلوري يمكن أن يكون بلورة بمفرده ، أي أنه عبارة عن شكل مقبول.

### فصيلة السداسي Hexagonal System

#### المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها أربعة محاور بلورية ، ثلاثة منها متساوية في الطول وتقع في مستوى فقي وتتقاطع بزوايا قدرها ١٢٠ درجة ، أما المحور الرابع فمختلف عنها في الطول (إما أن يكون أطول أو أقصر) ، ويمتد رأسيا (أي متعامدا على المحاور الأفقية) ، ويرمز إلى المحاور الأفقية بالرموز ١ ، ٢ ، ٣ ، أما المحور الرأسي فهو المحور ج ، شكل (٥٩).

ولما كانت فصيلة الثلاثي لها نفس العدد من المحاور البلورية ، فإن بعض المؤلفين يضم البلورات الثلاثية والسداسية في فصيلة واحدة هي فصيلة لاسداسي ، ولكن نظرا للفارق الأساسي في البناء الضري ، وهو أن المحور الأساسي للتماثل هو سداسي في بلورات السداسي وثلاثي في بلورات الثلاثي ، وأن بلورات الثلاثي لا تحتوي على مستوى تماثل أفقي بالمرّة ، فإننا نجد أنه من الأكثر صوابا أن ندرس البلورات السداسية كفصيلة بذاتها ، مستقلة عن فصيلة الثلاثي التي تشمل البلورات الثلاثية.

وتعرف نسبة طول الوحدات على المحور ج إلى أ بالنسبة المحورية ج:أ ، وهي مميزة لكل بلورة سداسية . فمثلا بلورة معدن بيرل لها نسبة محورية ج:أ = ٠.٩٩٦ ، أما في معدن بيروتييت فنجد أن النسبة المحورية ج:أ = ١.٦٥٠ .

وتمسك البلورة السداسية بحيث يكون المحور الرأسي ج دائما محورا سداسي التماثل (دوراني أو انقلابي). ويمتد المحور أ موازيا لماسك البلورة من اليمين (+) إلى

اليسار (-). أما المحور ١ ، فيمتد من الأمام ناحية اليسار (+) إلى الخلف ناحية اليمين (-). أما الطرف الموجب من المحور ٣ فيقع في الخلف إلى اليسار بينما طرفه السالب يقع في الأمام إلى اليمين. شكل (٥٩).

جدول رقم (٥) النظم البلورية في فصيلة السداسي

النظام	قانون التماثل الكامل	مثال من المعدن
الهرم المنعكس السداسي المزدوج	6/ ٢ ٦/ م ن	بيريل $Be_3Al_2Si_6O_{18}$
شبه المنحرف الأوجه السداسي	6 2 3 2 3	كوارتز عالي الحرارة
الهرم المنعكس الثلاثي المزدوج	٣ 6 2 3	بنيتويت $BaTiSi_8O_9$
الهرم السداسي المزدوج	6/ م ن	زنكيت $ZnO$
الهرم المنعكس السداسي	3	أباتيت
الهرم المنعكس الثلاثي	6	--
الهرم السداسي		نيفيلين



النظام العددي أو نظام الهرم المنعكس السداسي المزدوج Dihexagonal  
Bipyramidal Class

التمائل

قانون التماثل الكامل:  $6/2$  م  $2/3$  م  $2/3$  م ن ، شكل (٦٠).

المحاول التماثلية: المحور ج هو محور سداسي التماثل . وتوجد ثلاثة محاور أفقية ثنائية التماثل تنطبق على المحاور البلورية أ. وكذلك توجد ثلاثة محاور أخرى ثنائية التماثل تنصف الزوايا بين المحاور البلورية أ ، أ١ ، أ٢ ، شكل (٦٠).

المستويات التماثلية: يوجد في هذا النظام سبعة مستويات تماثلية بينها كالاتي ، شكل (٦):

مستوى تماثل أفقي يشمل المحاور البلورية الثلاثة مستويات تماثلية رأسية يشمل كل منها المحور الرأسي ج وأحد المحاور البلورية الأفقية. ثلاثة مستويات تماثلية رأسية تنصف الزوايا بين المستويات الرأسية السابقة (المستويات التماثلية المحورية).

مركز التماثل: يوجد مركز تماثل في بلورات هذا النظام ويتطلب أن يكون لكل وجه وجه آخر مقابل له.

الأشكال البلورية

ملاحظة: سوف نستعمل كلمة مزدوج di ، مثل سداسي dihexagonal ، لوصف الأشكال التي تتكرر أوجهها اثنين اثنين حول المحور التماثلي ، أما الأشكال التي تتكرر

أوجهها بالنسبة للمستوى التماثلي فسوف نصفها بكلمة منعكس bi ، مثل هرم منعكس bipyramid ، نسبة إلى الانعكاس خلال مستوى التماثل الأفقي.

الأهرامات المنعكسة bipyramids ، وهي عبارة عن أشكال مقفولة تقطع أوجهها المحور ج بصفة أساسية وبعض أو كل المحاور الأفقية. توجد ثلاثة أنواع من الأهرامات المنعكسة السداسية.

هرم منعكس سداسي من الرتبة الأول (أو هرم منعكس وتري ، شكل (٦١) ، يتكون هذا الشكل من ١٢ وجها لها الأحداثيات (أ: ∞ أ : أ: م ج). أو بمعنى آخر تقطع محورين متجاورين أ (تصل بينهما مثل الوتر) شكل (٦٥) ، وتمتد موازية للمحور الأفقي الثالث وتقطع المحور الرأسي ج فإذا كان التقاطع على المحور ج مساويا لطول الوحدة فإن الدليل يكون في هذه الحالة {١١٠١} ، وهذا هو هرم الوحدة Unit pyramid. أما الدليل العام لهذا الشكل فهو {هـ هـ ل}.

هرم منعكس سداسي من الرتبة الثانية ، شكل (٦٣) ، ويختلف هذا الشكل عن الهرم المنعكس السداسي من الرتبة الأولى في أنه عندما تمسك البلورة في القراءة الصحيحة (المحور ٢ دائما موازي لماسك البلورة) ، فإنه يوجد في مواجهتك حرف وليس وجه بلوري ، وهذا يعني أن المحاور البلورية الأفقية عمودية منصفة للأحرف الأفقية (ويسمى لهذا السبب بالهرم المنعكس المتعامد) شكل (٦٦) ، ونجد كما في الشكل (٦٦) ، أن كل وجه بلوري في هذا الشكل يقطع أحد المحاور البلورية الأفقية في مسافة الوحدة ويقطع المحورين الآخرين على مسافتين أطول ، ولكن متساويتين ، وتكون الأحداثيات إذن (ن : ن : أ : أ : م ج) والدليل هو {هـ هـ ٢ هـ ل} ، ويتكون هذا الشكل من ١٢ وجها في هيئة مثلثات متساوية الساقين تقفل الفراغ.

هرم منعكس سداسي مزدوج ، شكل (٦٧) ، تقطع أوجه هذا الشكل المحاور الأفقية الثلاثة أ<sup>١</sup> ، أ<sup>٢</sup> ، أ<sup>٣</sup> في مسافات غير متساوية ، وتكون الأحداثيات إذن هي (ن : أ : ط : أ : م : ج) ، شكل (٦٩) ، والدليل هو (هـ ك و ل). ويتكون هذا الشكل من ٢٤ وجها ، كل وجه منها في الحالة النموذجية يكون في هيئة مثلث غير متساوي الأضلاع ، ولكن المثلثات كلها متشابهة. في أحداثيات هذا لاشكل نجد أن  $ط = ١/ن - ن$ .

المنشورات Prisms ، وهذه عبارة عن أشكال مفتوحة يوازي الوجه فيها المحور ج ويقطع بعض أو كل المحاور الأفقية أ<sup>١</sup> ، أ<sup>٢</sup> ، أ<sup>٣</sup>. وهناك ثلاثة أنواع من المنشورات تقابل الأنواع الثلاثة من الأهرامات سألفة لاذكر.

منشور سداسي من الرتبة الأولى (منشور سداسي ولري) ، شكل (٦٢) ، يمكن الحصول على أوجه هذا الشكل من أوجه الهرم المنعكس الذي له نفس الرتبة (الأولى في هذه الحالة) إذا جعلنا التقاطعات على المحور ج تأخذ أكبر قيمة لها ، أي قيمة مالانهاية. وينتج عن ذلك أن نختزل أوجه الهرم المنعكس الاثنتا عشر إلى ستة أوجه فقط ، يقطع كل وجه منها محورين أفقيين في مسافة تساوي الوحدة ويمتد موازيا للمحور الأفقي الثالث ، ، يوازي المحور ج ، (المنشور بحكم تعريفه يوازي المحور ج). ويكون هذا المنشور شكلا مفتوحا وفيه تصل المحاور الأفقية أ<sup>١</sup> بين منتصف الحروف المتقابلة ، وينتج عن ذلك أن يكون في مواجهة ماسك البلورة وجها بلوريا. الأحداثيات (أ : ∞ : أ : ∞ : ج) ، والدليل { ٠ ١ ٠ ١ }.

منشور سداسي من الرتبة الثانية (منشور سداسي متعامد) ، شكل (٦٤) ، نجد في هذا الشكل البلوري أن المحاور البلورية الأفقية أ<sup>١</sup> ، أ<sup>٢</sup> ، أ<sup>٣</sup> تصل بين مراكز الأوجه المتقابلة ، ويكون في مواجهة ماسك البلورة نتيجة لذلك حرفا. الأحداثيات هي ( أ<sup>٢</sup> : أ<sup>٢</sup> :

١: ∞ ج) والدليل هو {٠٢١١}. يتكون هذا الشكل من ستة أوجه لا تقفل الفراغ (شكل مفتوح).

منشور سداسي مزدوج ، شكل (٦٨) ، شكل مفتوح ، ويتكون من ١٢ وجهاً يتساوى كل وجهين متبادلين فيه (أي واحد بعد واحد) في الزوايا والحروف. الأحداثيات (ن أ: ط أ: أ: ∞ ج) ، والدليل هو {هـ ك و} ، ويقابل هذا الشكل الهرم المنعكس السداسي المزدوج.

المسطوح القاعدي: وهو عبارة عن شكل مفتوح مكون من وجهين ، كل وجه يقطع المحور ج ويوزاي المحاور الأفقية أ. والأحداثيات (∞ أ: ∞ أ: ∞ أ: ج) والدليل هو {١٠٠٠}. يرى المسطوح القاعدي في الأشكال (٦٢ ، ٦٤ ، ٦٨) مجموعات مع المنشورات.

مجموعات الأشكال:

توجد على بعض البلورات مجموعة من الأشكال البلورية المختلفة فمثلاً في بلورة بيريل Beryl ، شكل (٧٠) ، توجد مجموعة من هرم منعكس سداسي من الرتبة الأولى وآخر من الرتبة الثانية ، ومنشور سداسي من الرتبة الأولى وآخر من الرتبة الثانية ، ومسطوح قاعدي. وفي شكل (٧١) نلاحظ مجموعة أخرى من الأشكال على بلورة أخرى لمعدن البريل.

أمثلة من المعادن: يتبلون معدن بيريل Beryl ( $Be_3Al_2Si_6O_{16}$ ) ، شكل (٧٠) ، (٧١) في هذا النظام الكامل التماثل. كذلك يتبلور في هذا النظام معادن موليبدينيت

Pyrobotite ( $FeS$ )، بيروتيت، Molybdenite ( $MoS_2$ )

مميزات البلورات السداسية:

تتميز جميع البلورات السداسية غير المشوهة في النظام كامل التماثل وفي معظم النظم الأقل تماثلاً بالمظهر السداسي حيث يكون المحور الرأسي محورا دورانيا سداسي التماثل. ولكن في نظامين فقط قد تبدو البلورات ثلاثية المظهر حيث يكون المحور الرأسي محورا انقلابيا سداسي التماثل ، وفي هذين النظامين يكون هناك دائما مستوى تماثل أفقي يعكس (أو يكرر) الأشكال البلورية العليا إلى أشكال بلورية سفى (في النصف الأسفل للبلورة) [المعروف أن المحور الانقلابي السداسي يعادل محور دوراني ثلاثي متعامد على مستوى تماثل]. كما تتميز البلورات بأن أوجه الأشكال البلورية (باستثناء المسطوح القاعدي) ، تتكون عموما من ستة أوجه أو مضاعفات العدد ستة.

### فصيلة الرباعي Tetragonal System

المحاور البلورية: تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور بلورية متعامدة ، إثنان منها متساويان في الطول ويقعان في مستوى أفقي والثالث مختلف عنها في الطول (إما أقصر أو أطول) وعمودي عليهما. ويرمز إلى المحورين المتساويين بالرمز أ ، أ ، ٢ ، أما المحور الرأسي فيرمز إليه بالرمز ج ، شكل (٧٢).

وتعرف نسبة طول الوحدة على المحور ج إلى طول الوحدة على المحور أ بالنسبة المحورية ج:أ ، وهي مميزة لكل بلورة رباعية. فمثلا بلورة معدن كاسيتريت Vassitetite ( $\text{SnO}_2$ ) ، لها نسبة محورية ج:أ = ٠.٦٧٢ (أي ج أقصر من أ) ، وفي الزركون Zircon ( $\text{ZrSiO}_4$ ) ، ج:أ = ٠.٨٩١ ، أما في معدن أناتيز Anatase ( $\text{TiO}_2$ ) ، فنجد أن نسبة ج:أ = ١.٧٧٧ (أي ج أطول من أ). وتمسك البلورة الرباعية بحيث يكون المحور الرأسي ج دائما محور رباعي التماثل (دوراني أو انقلابي).

وتشمل فصيلة الرباعي سبعة نظم بلورية (مثل فصيلة السداسي) ، كما يلي في جدول (٦):

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن الهرم المنعكس الرباعي/4 م ٢ ٤/م ن  
الزركون  $ZrSiO_4$  شبه منحرف الأوجه الرباعي 2 2 2 2 4 فوسجينيت  
 $(PbO)_2CCl_2O$  الوتد المنعكس الرباعي 2 2 2 2 4 كالكوبيرت  $CuFeS_2$  الهرم  
الرباعي المزدوج 4 م ٢ م ٢ ديابولييت  $PhCuCl_2(OH)_4$  الهرم المنعكس الرباعي  
4/م ن شيليت  $CaWO_4$  الوتد الرباعي 4 كاهنيت الهرم الرباعي 4 ولفينيت  
 $PbMoO_4$

جدول (٦) النظم البلورية في فصيلة الرباعي

النظام العادي أو نظام الهرم المنعكس الرباعي المزدوج

التماثل

قانون التماثل الكامل: ٤/م ٢ ٢/م ٢ ٢/م ن أو ٤/م ٢ ٤/م ن ، شكل (٧٣).

المحاور التماثلية: يوجد محور واحد رباعي التماثل منطبق على المحور البلوري ج ،  
وأربعة محاور ثنائية التماثل ، إثنان منها ينطبقان على المحورين أ ، ٢ ، والإثناء  
الآخران ينصفان الزوايا بين المحورين أ ، ٢ .

المستويات التماثلية: يوجد مستوى تماثل أفقي يشمل المحاور الأفقية أ ، ٢ (وعمودي  
على المحور ج) وأربعة مستويات متماثلة رأسية تمر بالمحور ج ، إثنان يشملان  
المحوران أ ، ٢ (بالإضافة إلى ج) والإثنان الآخران ينصفان الزوايا بين هذه  
المحورين.

مركز التماثل: لبلورات هذا النظام مركز تماثل.

### الأشكال البلورية

الأهرامات المنعكسة: Bipyramids وهذه عبارة عن أشكال مقفولة تقطع أوجهها المحور ج ، وأحد المحورين الأفقيين أ ١ او أ ٢ ، أو كليهما. توجد ثلاثة أنواع من الأهرامات المنعكسة الرباعية مثل الثلاثة التي سبق أن ذكرناها في فصيلة السداسي.

هرم منعكس رباعي من الرتبة الأولى (أو عزم منعكس وتري) ، شكل (٧٤) ، ويمثل هذا الشكل شكل ثماني الأوجه في فصيلة المعكب ، ولكن نظرا لأن المحور ج يخالف في الطول المحورين الأفقيين أ ، فإن التقاطعات النسبية تكون أ: ج والتي تدل على أن وجه هذا الشكل يقطع المحاور البلورية الثلاثة في مسافات الوحدة. ويكون هذا الشكل إذن هو شكل الوحدة. ولما كان التقاطع على المحور ج قد يكون أقصر أو أطول من طول الوحدة ، لذلك تكون الأحداثيات أ: م ج ، والدليل {هـ هـ ل} ، حيث م هي قيمة عددية بين الصفر وما لا نهاية. يكون هذا النظام شكلا مقفولا من ثمانية أوجه ، كل وجه منها في هيئة مثلث متساوي الساقين ، (وليس متساوي الأضلاع مثل ثماني الأوجه).

هرم منعكس رباعي من الرتبة الثانية (أو هرم منعكس متعامد) ، شكل (٧٦) ، تقطع أوجه هذا الشكل المحور ج وأحد المحورين أ ، وتمتد موازية للمحور أ الآخر. وعلى ذلك تكون الأحداثيات (أ: ب: م ج) ، والدليل هو {هـ ، ل} ، يتكون الشكل من ثمانية أوجه تقفل الفراغ بمفردها.

(ملاحظة): يلاحظ أنه في حالة الهرم المنعكس الوتري يواجه ماسك البلورة حرف ، في حين يواجه الهرم المنعكس المتعامد ماسك البلورة بوجه).

هرم منعكس رباعي مزدوج ، (شكل ٧٨) ، تقطع أوجه هذا الشكل المحورين الأفقيين  
 ١١، ٢١ ، في مسافتين مختلفتين ، في حين يكون التقاطع على المحور ج إما مساويا  
 للوحدة أو أكبر من ذلك (م ج) ، الأحداثيات (أ: ن : أ: م ج) ، الدليل {هـ ك ل}. يتكون  
 هذا الشكل من ١٦ وجها ، كل منها في هيئة مثلث غير متساوي الأضلاع.

توجد ثلاثة أنواع من المنشورات الرباعية مثل الأنواع الثلاثة التي سبق أن ذكرناها في  
 فصيلة السداسي.

منشور رباعي من الرتبة الأولى (منشور رباعي وتري) ، شكل (٧٥) ، يتكون هذا  
 الشكل المفتوح من أربعة أوجه موازية للمحور ج ، ولكنها تقطع كلا من المحورين ١١  
 ، ٢١ ، الأحداثيات (أ: أ : ∞ ج) ، والدليل {٠١١}. ونجد أن المحورين ١١ ، ٢١ ،  
 يصلان بين منتصف الحروف المقابلة ، وعلى ذلك يكون هناك حرفا مواجهها لماسك  
 البلورة عندما يكون المحور ١١ متدا من الأمام إلى الخلف.

منشور رباعي من الرتبة الثانية (منشور رباعي متعامد) ، شكل (٧٧): يتكون هذا  
 الشكل المفتوح من أربعة أوجه موازية للمحور ج ، وكذلك موازية لأحد المحورين ١١  
 ، ٢١ ، الأحداثيات (أ: ∞ : ∞ ج) ، والدليل {٠٠١} ، في هذا الشكل نجد أن المحورين  
 البلورين ١١ ، ٢١ ، يصلان بين منتصف كل وجهين متقابلين.

منشور رباعي مزدوج ، شكل (٧٩): يتكون هذا الشكل المفتوح من ثمانية أوجه مرتبة  
 في هيئة أربعة أزواج حول محور التماثل الرباعي. الأحداثيات (أ: ن : أ: ∞ ج) والدليل  
 {هـ ك}. يوضح شكل (٨٠) ، وضع أشكال الرتبة الأولى والثانية والأشكال المزدوجة  
 بالنسبة للمحاور البلورية الأفقية ١١ ، ٢١.



المسطوح القاعدي ، ويعرف في بعض الأحيان اسم "قاعدة" ويتكون من وجهين موازيين لمستوى التماثل الأفقي الأحاديات (أ:أ:ج) والدليل {١٠٠}. وهذا الشكل ، مثل المنشورات ، شكل مفتوح لا يوجد بمفردهم وإنما يكون موجودا مع أشكال أخرى ، مثل المنشورات ، شكل (٧٥ ، ٧٧ ، ٧٩).

مجموعات الأشكال ، شكل (٨١ ، ٨٢)، تظهر مجموعات مختلفة من الأشكال الرباعية على كثير من بلورات المعادن. فمثلا يوجد على بلورة الزركون ، شكل (٨١) ، مجموعة من المنشور الوري {٠١١} ، والهرم المنعكس الوتري {١١١}. وقد تظهر بلورات أخرى من الزركون مجموعة من منشورات الرتبة الأولى والثانية مع الهرم المنعكس من الرتبة الأولى والهرم المنعكس الرباعي المزدوج ، شكل (٨٢).

أمثلة من المعادن: زركون ، شكل (٨١ ، ٨٢) ، بروتيل ، كاستيريت.

مميزات البلورة الرباعية:

تتميز البلورات الرباعية بوجود محور رباعي التماثل (دوراني أو انقلابي) ، ينطبق دائما مع المحور البلوري الرأسي (ج) ، ويكون طول البلورة في هذا الاتجاه إما أكبر أو أقل من البعدين الآخرين (أ ، أ). وفي معظم النظم التابعة لهذه الفصيلة البلورية يكون المقطع المستعرض العمودي على المحور الرأسي الرباعي في البلورات كاملة الأوجه غير المشوهة في شكل مربع كامل أو مربع تقطع زواياه القائمة أوجه الأشكال المختلفة.

## فصيلة الثلاثي Trigonal System

### المحاور البلورية

تتميز بلورات هذه الفصيلة بوجود محور ثلاثي التماثل وعدم وجود مستوى تماثل أفقي ، شكل (٨٣) . وقد سبق أن أشرنا عند بدء الحديث عن فصيلة السداسي إلى العلاقة بين فصيلتي السداسي والثلاثي واشتراكهما في وجود أربعة محاور بلورية في بلوراتها (١١، ٢١، ٣١، ج) ، حيث تتقاطع المحاور أ في زوايا مقدارها ١٢٠ درجة ، أما المحور ج فمتعامد عليها ، ومختلفة عنها في الطول (إما أطول أو أقصر).

ونتيجة لهذه العلاقة فإننا نجد أن بعض الأشكال البلورية السداسية (مثل المنشوريات السداسية من الرتبة الأولى والثانية) توجد في كل من هاتين الفصيلتين.

وتشمل فصيلة الثلاثي خمس نظم بلورية ، جدول (٧):

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن مثلثي الأوجه الثلاثي المزدوج/3 2 3 م كالسيت شبه منحرف الأوجه الثلاثي 3 2 3 كوارتز منخفض الحرارة الهرم الثلاثي المزدوج 3 م ٣ تورمالين معيني الأوجه 3 دوالميت  $C_2Mg(CO_3)_2$  الهرم الثلاثي 3 جراتونيت

جدول (٧): النظم البلورية في فصيلة الثلاثي

نظام المثلاثات الوجهية الثلاثية المزدوجة Ditrigonal Scalenobedral Class

التمائل

قانون التماثل الكامل

3/ 2 3 م ، شكل (٨٤) ، تتكون عناصر التماثل في هذا لانظام من محور واحد فقط ثلاثي التماثل انقلابي ينطبق على المحور البلوري ج ( $3 = 3 + ن$ ) ، وثلاثة محاور أفقية ثنائية التماثل عمودية على ثلاثة مستويات تماثلية رأسية.

وتنطبق المحاور ثنائية التماثل على المحاور البلورية أ١ ، أ٢ ، أ٣ ، شكل (٨٤).

### الأشكال البلورية

توجد الأشكال السداسية التالية في هذا النظام الثلاثي الكامل التماثل:

المسطوح القاعدي: {١٠٠٠} ، يتكون من وجهين.

المنشور السداسي من الرتبة الأولى ، {٠١٠١} ، يتكون من ستة أوجه.

المنشور السداسي المزدوج : {٠ و هـ} ، يتكون من اثني عشر وجهاً.

الهرم المنعكس السداسي من الرتبة الثانية: {هـ ٢ هـ ل} ، يتكون من ١٢ وجهاً.

والمعروف أن هذه الأشكال سألقة الذكر توجد في فصيلة السداسي أيضا (النظام الكامل التماثل) ، أي أن هذه الأشكال مشتركة بين الفصيلتين ، والسبب في ذلك ، كما أن سبق قلنا ، هو العلاقة البلورية بين الفصيلتين ، واشتراكهما في أربعة محاور بلورية.

أما الشكلان التاليان فلا يوجدان في فصيلة السداسي وإنما تنفرد بهما فصيلة الثلاثي. هذا الشكلان هما معيني الأوجه ، ومثلثي الأوجه الثلاثي المزدوج.

معيني الأوجه: معيني الأوجه شكل مقبول يحده ستة أوجه معينة ، شكل (٨٥ - أ ، ج) ، وفي هذا الشكل نجد أن الأوجه الثلاثة العليا ليست فوق الأوجه الثلاثة السفلى مباشرة ، أي أن هذا الشكل البلوري ليس هرما منعكسا ، ولكنه شكل معيني الأوجه. ويمكن أن

ننظر إلى معيني الأوجه على أنه مشتق من الهرم المنعكس السداسي ، شكل (٨٥-ب) ، وذلك باختيار الأوجه العليا والسفلى المتبادلة (أي وجه علوي ثم الوجه السفلي الذي يليه ثم الوجه العلوي الذي يليه وهكذا) ، ويصل المحور ج بين الزاويتين المتساويتين الثلاثية الأوجه (أي الزوايا التي تتكون نتيجة لتلاقي ثلاثة أوجه) ، وهذا المحور محور انقلابي ثلاثي التماثل ، أما المحاور الأفقية ، ١أ ، ٢أ ، ٣أ ، فإنها تصل بين منتصف الأحرف الوسطى المتقابلة.

ويتوقف حجم معيني الأوجه على نسبة أ: ج (يمكن اعتبار المكعب الممسوك بطريقة تجعل أحد محاوره الثلاثية التماثل يمتد رأسيا على أنه معيني الأوجه ذو أحرف وزوايا متساوية. وتحد أن نسبة أ: ج في هذه الحالة هي كنسبة ١: ١.٥٧ أو ١: ١.٢٢٤٥).

وعلى ذلك فإن الأشكال المعينية الأوجه التي توجد فيها قمية المحور ج بالنسبة إلى ١ أكبر من ١.٢٢٤٧ تكون لها زوايا قطبية (حيث يخرج المحور ج) أقل من ٩٠ درجة ، وينتج عن ذلك شكل معيني الأوجه حاد ، شكل (٨٦ ، ٨٧) ، أما إذا كانت قيمة النسبة أقل من ١.٢٢٤٧ ، فنجد أن الزوايا القطبية تكون أكبر من ٩٠ درجة ، وينتج عن ذلك شكل معيني الأوجه منفرج ، شكل (٨٨ ، ٨٩). واحداثيات معيني الأوجه هي: (أ: ١٠٠: أ: م ج) ، والدليل إما أن يكون {هـ هـ ل} أو {ك ك ل} ويطلق على الشكل {هـ هـ ل} ، أحيانا اسم معيني الأوجه الموجب ، أما {ك ك ل} فيطلق عليه اسم معيني الأوجه السالب. وعندما نمسك البلورة بحيث يكون المحور ج عموديا والمحور أ ٢١ يمتد موازيا لماسك البلورة فإننا نجد في حالة معيني الأوجه الموجب {هـ هـ ل} وجها علويا في حين يواجهنا معين الأوجه السالب {ك ك ل} بحرف في هذا الامكان.

مثلي الأوجه الثلاثي المزدوج ، شكل (٩٠) ، يتكون هذا الشكل من ستة أزواج من الأوجه المثلثية (غير متساوية الأضلاع) (المجموع اذن ١٢ وجها) ، وتقل هذه الأوجه

الفراغ. نلاحظ في هذا الشكل البلوري أن الثلاثة أزواج العليا من الأوجه ليست فوق الثلاثة أزواج السفلى مباشرة ، أي لا يوجد بين الاثنين مستوى تماثل أفقي ، وعلى ذلك فلا يكون هذا الشكل هرما منعكسا ثلاثيا مزدوجا ، ولكن يكون مثلثي الأوجه ثلاثي مزدوج. في هذا الشكل يصل المحور ج بين الزوايا السداسية الأوجه (تتكون من تلاقي ستة أوجه) ، أما المحاور الأفقية أ ، ب ، ج ، فإنها تصل بين منتصف الحروف الوسطى المتقابلة ، شكل ( ٩١ - أ ، ج ).

ويمكن أ ، ننظر إلى مثلثي الأوجه الثلاثي المزدوج على أنه مشتق من الهرم المنعكس السداسي المزدوج (النظام العادي لفصيطة السداسي) ، إذا اخترنا أزواجا متبادلة من الأوجه ششكل ( ٩١ - ب ). (زوج علوي ثم يليه زوج سفلي ثم زوج علوي وهكذا) ، ويمكننا إذن أن نحصل على مثلثي أوجه ثلاثي مزدوج موجب وآخر سالب ، شكل ( ٩١ - أ ، ج ) . والمثلثي الموجب يشغل موضعا مقابلا لموضع معين الأوجه الموجب ، أما المثلثي السالب فإن موضعه يقابل موضع معين الأوجه السالب. واحداثيات مثلثي الأوجه الثلاثي المزدوج هي  $\pm (ن : أ : ط : أ : م : ج)$  ، والدليل { هـ ك و ل } مثل { ١٣١٢ } ، حيث هـ > ك ، { ك هـ و ل } ، حيث ك > هـ .

#### مجموعات الأشكال

توجد مجموعات مختلفة من الأشكال البلورية الثلاثية على البلورات الطبيعية ، شكل ( ٩٢ ، ٩٣ ، ٩٤ ).

أمثلة من المعادن:

يتبلور في هذا النظام الثلاثي الكامل التماثل المعادن التالية: كالسيت ، سيديريت ، كوراندوم ، هيماتيت.

### مميزات البلورات الثلاثية:

تتميز البلورات الثلاثية (تعرف أيضا باسم البلورات معينة الأوجه) ، بوجود محور ثلاثي التماثل (دوراني أو انقلابي) ، يطبق دائما مع المحور الرأسي ج ، ويكون طول البلورة في هذا الاتجاه إما أكبر أو أصغر من الأبعاد الأفقية (أ ، ب ، ج) ، ويأخذ المقطع المستعرض العمودي على المحور الرأسي الثلاثي في البلورات كاملة التماثل غير المشوهة شكلا مثلثي السمة.

### فصيلة المعيني القائم Orthohombic System

#### المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور متعامدة وغير متساوية ، شكل (٩٥). ويمتد المحور ج راسيا ، بينما يمتد المحور ب من اليمين إلى اليسار ، أما المحور أ ، فإنه يتجه من الأمام إلى الخلف ، ولا يوجد محور أساسي في هذه الفصيلة ، بمعنى أن أي محور يمكن أن يختار ليكون المحور ج. وعادة نختار ج أطول من ب ، ب أطول من أ. وتتكون النسبة المحورية إذن من قيم ثلاث. فمثلا في بلورة الكبريت أ: ب: ج = ٠.٨١٣ : ١ : ٠.٩٠٣ ، أما في معدن سلسنتيت ، فنجد أن النسبة أ: ب: ج = ٠.٩ : ١ : ١.٢٨٠.

وتشمل هذه الفصيلة ثلاث نظم موضحة في جدول (٨):

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن الهرم المنعكس المعيني القائم/ 2 3 م ن  
باريت Barite BaSO4 الوند المعيني القائم 2 3 ابسوميت MgSO4 7H2O الهرم

المعيني القائم 2 م م هيميمورفيت Zo4(OH)2Si2O7H2O

جدول (٨): النظم البلورية في فصيلة المعيني القائم

نظام الهرم المنعكس المعيني القائم Orthorhombic Bipyramidal system

التمائل:

قانون التماثل:  $m/2$   $m/2$   $m/2$  ، أو  $2/3$   $m$   $n$  ، شكل (٩٦).

المحاور التماثلية: يوجد ثلاث مستويات تماثلية ، إثنان منها رأسيان والثالث أفقي ، ويشمل كل منها محورين بلوريين ، شكل (٩٦).

مركز التماثل: موجود أيضا في بلورات هذا النظام.

الأشكال البلورية:

هرم منعكس معيني قائم ، شكل (٩٧) ، يتكون هذا الهرم المنعكس من ثمانية أوجه مثلثية الشكل (المثلث غير متساوي الأضلاع) ، ومتشابهة ، وتقفل الفراغ. هرم الوحدة له الاحداثيات (أ: ب: ج) ، والدليل {١١١} ، أما الأهرامات الأخرى فلها - بصفة عامة - الاحداثيات (ن: أ: ب: م: ج) ، والدليل {هـ ك ل} ، حيث ك > هـ ، أو لها الاحداثيات (أ ن ب : م ج) ، والدليل {ك هـ ل} ، حيث هـ > ك ، (ن > 1) ، > 0 م > ∞).

المنشور ، شكل (٩٨) ، شكل مفتوح مكون من أربعة أوجه قاطعة للمحورين أ ، ب ، ولكنها تمتد موازية للمحور ج . دليل منشور الوحدة هو {٠١١} ، أما الأشكال الأخرى من المنشور فلها الدليل {هـ ك ٠} ، مثل {٠١٢} ، {٠٢٣} الخ.

المسقوف ، شكل (٩٩ ، ١٠٠) ، شكل مفتوح يشبه السقف المكون من سطحين في هيئة رقم ٨ ، يقابلها سطحين آخرين بالعكس ، أي في هيئة سبعة (٧) ، وتقطع أوجه المسقوف أحد المحورين الأفقيين والمحور الرأسي ج. يسمى المسقوف الذي يوازي المحور أ (يقطع ب ، ج) باسم الأحداثيات العامة (∞ أ: ب: م ج) ، والدليل {٠ك ل} ، مثل {١١٠} ، {١٢٠} ، ويتكون من أربعة أوجه.

أما المسقوف الذي تمتد أوجهه موازية للمحور ب ، فيعرف باسم مسقوف ب أو مسقوف أمامي ، شكل (١٠٠) ، الأحداثيات (أ: ∞ب: م ج) ، والدليل {هـ ، ل} مثل {١٠١} ، {١٠٢} ، ويتكون من أربعة أوجه.

يكون كلا الشكلين – المنشور والمسقوف – شكلا مفتوحا ، وعلى ذلك فلا يظهر أحدهما بمفرده ، بل فلابد أن يكون مجموعا مع شكل آخر.

المسطوح ، شكل (١٠١) ، وهو شكل مفتوح مكون من وجهين فقط موازيين لبعضها البعض ، ويقطع الوجه أحد المحاور البلورية ويوزاي المحورين الآخرين ، ويعرف المسطوح باسم المحور الذي يقطعه ، فإذا قطع المحور ج فإنه يعرف باسم مسطوح ج ، ويعرف باسم مسطوح ب إذا كان يقطع المحور ب ، أو مسطوح أ إذا كان يقطع المحور أ.

مسطوح أ أو مسطوح أمامي {٠٠١} ، وجهان

مجموعات الأشكال:

توجد الأشكال {٠١١} ، {٢٠١} ، {١١٠} ، {١٠٠} ، مجموعة على بلورة معدن باريت ، شكل (١٠٢) ، أما بلورة الأوليفين ، شكل (١٠٣) فيوجد عليها الأشكال



{111} ، {011} ، {021} ، {101} ، {120} ، {010} ، وفي بلورة الكبريت شكل (١٠٤) ، نشاهد الأشكال {111} ، {311} مجموعة:

أمثلة من المعادن:

يتبلور في هذا النظام المعيني القائم الكامل التماثل عدد كبير من المعادن نذكر منها:

الكبريت المعيني (شكل ١٠٤) ، باريت (BaSO<sub>4</sub>) ، توباز Al(F<sub>2</sub>OH)<sub>2</sub> ، أوليفين [(Mg<sub>2</sub>Fe)<sub>2</sub> SiO<sub>2</sub>] ، شكل (١٠٣).

مميزات البلورات المعينية القائمة:

تتميز البلورات المعينية القائمة في النظام كامل التماثل بوجود ثلاثة محاور ثنائية التماثل تنطبق على المحاور البلورية أ ، ب ، ج. ونظرا لأن المحور ج في هذه الفصيلة ليس مميزا ثماتليا عن المحورين الأفقيين فقد اتفق علماء البلورات على توجيه البلورة المعينية القائمة بحيث يكون ج > ب > أ ، ولو أنه في الماضي لم يكن هذا الإتفاق موجودا ، وعادة نجد في المراجع السالفة أن أيا من المحاور الثلاثة يتخذ اتجاهها للمحور ج ، وأطول الاثنين الآخرين هو المحور ب ، والأقصر هو المحور أ. ويبدو المقطع المستعرض العمودي على المحور الرأسي في البلورات كاملة الأوجه غير المشوهة في شكل ذي سمة مستطيلة أو معينية.

### فصيلة الميل الواحد Monoclinic System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور بلورية غير متساوية أ ، ب ، ج ، إثنان منها (أ ، ج) ، يتقاطعان في زاوية مائلة (لا تساوي ٩٠ درجة) ، هي زاوية

$\beta$  شكل (١٠٥). تمسك بلورة هذه الفصيلة بحيث يمتد الحور ب من اليمين إلى اليسار (مازيا لماسك البلورة) ، ويمتد المحور ج رأسيا ، أما المحور أ فيمتد مائلا إلى الأمام في اتجاه ماسك البلورة. وتعرف الزاوية  $\beta$  بيتا المنفرجة بالزاوية الموجبة أما الزاوية  $\beta$  الحادة فتعرف بالزاوية السالبة. وواضح أن الزاويتين الموجبة والسالبة متكاملتان (أي مجموعهما يساوي ١٨٠ درجة) ، ولما كانت الزاوية  $\beta$  تختف من معدن إلى آخر فإن تعيينها يساعد في التعرف على البلورة ، وبالتالي المعدن ، وذلك بالإضافة إلى تعيين النسبة المحورية أ: ب: ج ، وتعرف هذه العناصر (الزاوية  $\beta$  والنسبة المحورية) باسم عناصر التبلور ، فمثلا عناصر التبلور لمعدن الجيس ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ، يعبر عنها هكذا أ: ب: ج = ٠.٦٩٠ : ١ : ٠.٤١٢ ، لآ = ٨٠.٤٢ درجة.

ويلاحظ أن المحور ب \_ أفقي) هو المحور الأساسي في هذه الفصيلة ، وهو الذي يختار أولا عند توجيه البلورة والمحور ب قد يكون محورا ثنائي التماثل أو متعامدا على مستوى التماثل.

وتشمل هذه الفصيلة ثلاثة نظم موضحة في جدول (٩):

النظام قانون التماثل الكامل أمثلة من المعادن منشور الميل الواحد/2 م ن أرثوكليز  
KALS3O8 مسقوف الميل الواحد(=) 2 م (كلينوهديريت  $\text{H}_2\text{CaZnSiO}_5$  وتد الميل

الواحد 2 ناتروليت  $\text{Na}_2(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10})\text{H}_2\text{O}$

جدول (٩): النظم البلورية في فصيلة الميل الواحد

نظام المنشور المائل Monocline Prismatic Class

المائل قانون التماثل الكامل: ٢/م ن شكل (١٠٦) ، يوجد في هذا النظام محور واحد ثنائي التماثل ينطبق على المحور ب. وهذا المحور عمودي على مستوى تماثل (يشمل هذا المستوى المحورين أ ، ج) ، ويوجد بالإضافة إلى ذلك مركز التماثل.

### الأشكال البلورية

نصف الهرم المنعكس ، شكل (١٠٨ ، ١٠٩): نتيجة لوجود مستوى تماثل ومحور ثنائي التماثل فقط ، فإننا نجد أن الشكل البلوري الذي تقطع أوجهه المحاور البلورية في مسافات الوحدة ، أي ذو الأحداثيات أ: ب: ج يتكون من أربعة أوجه فقط. فالأوجه الأربعة التي تقفل الزاوية بيتا الموجبة  $[+\beta]$  المنفرجة ، شكل (١٠٨) ، تكون نصف هرم الوحدة المنعكس الموجب ، أما الأوجه التي تقفل الزاوية بيتا السالبة  $(-\beta)$  ، شكل (١٠٩) ، فإنها تكون نصف هرم الوحدة المنعكس السالب. ووضاح أن أوجه كل من الشكلين الموجب والسالب مختلفة ، فتللك الموجودة في الزاوية الموجبة أكبر. الدليل  $\{111\}$  للموجب ،  $\{1\bar{1}1\}$  للسالب. هذا بالنسبة لشكلي الوحدة (تقطع أوجههما المحاور البلورية في مسافات الوحدة) ، أما نصف الأهرامات المنعكسة التي تقطع المحاور البلورية في مسافات مختلفة عن الوحدة فإنها الادلة العام ،  $\{هـ هـ ل\}$  ،  $\{ك ل\}$  ،  $\{هـ ك ل\}$  ،  $\{ك هـ ل\}$  ،  $\{ك هـ ل\}$  -

المنشور ، شك (١١٠): عبارة عن شكل مفتوح مكون من أربعة أوجه كما هو الحال في فصيلة المعين القائمة. منشور الوحدة له الدليل  $\{011\}$  ، أما المنشوريات التي تقطع المحورين أ ، ب على مسافات مختلفة عن الوحدة فلها الدليل العام  $\{هـ ك ٠\}$  حيث  $هـ > ك$  ، مثل  $\{012\}$  ، أو  $\{ك هـ ٠\}$  حيث  $ك > هـ$  مثل  $\{021\}$ .

المسقوف:

المسقوف الجانبي أو مسقوف أ: مكون من أربعة أوجه موزاوية لمحور أ ، شكل (١١٢) ،  
الأحداثيات (∞ : ب : م ج) ، الدليل {٠ ك ل}.

نصف المسقوف الامامي أو نصف مسقوب ب: بما أن المحور أ مائل من جهين فقط ،  
وليس أربعة ، شكل (١١٤ ، ١١٥) ، ولذلك يعرف باسم نصف المسقوف ب. والشكل  
الذي يحصر الزاوية بيت الموجبة (المنفرجة) يعرف بنصف المسقوف ب الموجب  
ودليله {هـ ل} ، مثل {١٠١} ، شكل (١١٤) . أما نصف المسقوف ب السالب فهو  
الذي يحصر الزاوية بيتا السالبة ودليله {هـ ل} ، مثل {١٠١} ، شكل (١١٥).

المسطوحات ، شكل (١١١) ، توجد ثلاثة أنواع منها ، مثل سابقتها في فصيلة المعيني  
القائمة ، وهي:

المسطوح القاعدي أو مسطوح ج ، {١٠٠} : وجهان.

المسطوح الجانبي أو مسطوح ب ، {٠١٠} : وجهان.

المسطوح الأمامي أو مسطوح أ ، {٠٠١} : وجهان.

مجموعات الأشكال:

توجد أشكال بلورية كثيرة مجموعة على البلورات الطبيعية التي تمثل هذا النظام كما  
في شكل (١١٦ ، ١١٧ ، ١١٨ ، ١١٩).

أمثلة من المعادن:

يتبلور في هذا النظام الكامل التماثل لفصيلة الميل الواحد عدد كبير من المعادن ، من  
بينها معظم معادن السليكات المكونة للصخور النارية. نذكر منها:

أرثوكليز Orthoclase ( $KAlSi_3O_8$ ) ، شكل (١١٦ ، ١١٧).

أوجيت Augite ( $Ca Al Fe Mg Silicate$ ) ، شكل (١١٩).

هورنبلند Hornblende [ $Ca Al Fe Mg (OH) silicate$ ].

بيتوتيت Biotite [ $K Al Fe Mg (OH) Silicate$ ].

جبس Gypsum ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) ، شكل (١١٨).

مميزات بلورات الميل الواحد:

تتميز بلورات الميل الواحد بأن المحور البلوري ب هو المحور الوحيد ثنائي التماثل (متعامد على مستوى تماثلي هذا النظام كامل التماثل) الموجود في هذه البلورات. وفي هذا التوجيه يقع المحوران ج (رأسي) ، أ (مائل نحو ماسك البلورة) في مستوى التماثل الرأسي وهو المستوى الوحيد الموجود في هذه لابلورات. وفي معظم بلورات الميل الواحد يكون المحور ج هو محور استطالة البلورة ، ولكن في حالات قليلة ، مثل الأرثوكليز تستطيل البلورة في إتجاه المحور أ. وبعض المعادن مثل الأبيدوت تستطيل بلوراتها في إتجاه المحور ب. وفي كل بلورات الميل الواحد يلاحظ عموماً أن ميل الأوجه البلورية الموازية للمحور يكون ملحوظات. وفي حالات نادرة تصل الزاوية بين المحورين أ ، ج مقارباً جداً من ٩٠ درجة.

### فصيلة الميول الثلاثة Triclinic System

المحاور البلورية:

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور غير متساوية وغير متعامدة (أي أنها تتقاطع في زوايا مائلة) ، شكل (١٢٠) ، وتمسك البلورة بحيث يمتد المحور ج

رأسيا. ويمتد المحور ب من اليمين إلى اليسار. أما المحور أ فيمتد إلى الأمام تجاه ماسك البلورة.

وتتكون عناصر التبلور من النسبة المحورية أ: ب: ج ، والزوايا الثلاث : ألفا ، بيت ، جاما . فمثلا ، في بلورة رودينيت (MnASiO<sub>3</sub>) Rhodonite ، نجد أن عناصر التبلور هي ، أ: ب: ج = ١.٠٧٣ : ١ : ٠.٦١٣ ،  $\alpha = 108.44$  ،  $\beta = 108.44$  ،  $\delta = 81.39$ .

وتشمل فصيلة الميول الثلاثة نظامين بلوريين ، كما في جدول (١٠):

النظام قانون التماثل الكامل أمثلة من المعادن مسطوح الميول الثلاثة (=  $1^-$  ن )  
ولاستونيت CaSiO<sub>8</sub> سطح الميول الثلاثة 1 أكسينيت

جدول (١٠): النظم البلورية في فصيلة الميول الثلاثة

#### نظام مسطوح الميول الثلاثة

التماثل: تتكون عناصر التماثل ي هذا النظام من مركز تماثل فقط ، شكل (١٢١).  
وعلى ذلك فإن أي شكل بلوري تابع لهذا النظام يتكون من وجهين اثنين فقط ، وجه في ناحية من المركز ووجه آخر مواز له في الناحية المقابلة من المركز.

#### الأشكال البلورية:

ربع الهرم المنعكس ، شكل (١٢٢): بما أن المستويات التي تمر بالمحاور البلورية تقسم الفراغ البلوري إلى أربعة أواج من الأقسام غير المتشابهة ، كل قسم عبارة عن ثمن ٨/١ الفراغ ، فإنه ينتج على البلورة إذن أربعة أنواع من الأشكال الهرمية. يتكون

كل شكل هرمي من وجهين متقابلين فقط ، أو بمعنى آخر يتكون من ٤/١ عدد أوجه الهرم المنعكس. ولذلك فإن هذا لاشكل (الذي تقطع أوجهه جميع المحاور البلورية) ، يعرف باسم ربع الهرم المنعكس ، فإذا كانت الأوجه تقطع المحاور البلورية في مسافات الوحدة فإن الشكل يعرف بشكل الوحدة ، أما الأشكال الأخرى فإنه تقطع المحاور البلورية في مسافات مختلفة. وفي عبارة أخرى يمكننا أن نقول أن شكل الهرم المنعكس المعيني القائم قد تحول إلى أربعة أشكال هرمية منعكسة نتيجة لميل المحاور البلورية بالنسبة إلى بعضها البعض. وأدلة هذه الأشكال الأربعة هي: {١١١} ويعرف باسم الطوي اليميني ، { $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ } العلوي اليساري ، { $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ } السفلي اليمين ، { $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ } السفلي اليساري. ويتوقف الاسم في كل من هذه الحالات الأربعة على مكان الفراغ الأمامي ( والثمن ٨/١ ) ، الذي يقفله وجه الشكل.

نصف المنشور ، شكل (١٢٣): من الواضح الآن أن المنشورات في هذا لانظام الذي لا يحتوي سوى مركز تماثل فقط تتكون من وجهين اثنين فقط لكل منها ، ولذلك فإنها تعرف باسم نصف منشورات ، ويمكن تمييز نصف منشور يميني {٠١١} ، ونصف منشور يساري { $\bar{0}\bar{1}\bar{1}$ } . وهذه الأشكال مفتوحة. وتوجد في شكل (١٢٣) مجتمعة مع المسطوح القاعدي {١٠٠}.

نصف المسقوف: تتكون المسقوفات الآن من وجهين فقط. وعليه فإننا نتحدث عن نصف المسقوف أ اليمين {١١٠} ، واليساري { $\bar{1}\bar{1}\bar{0}$ } ، شكل (١٢٤) ، ونصف المسقوف ب العلوي {١٠١} ، والسفلي { $\bar{1}\bar{0}\bar{1}$ } ، شكل (١٢٥) ، والتي تشاهد مجتمعة مع المسطوح الأمامي والمسطوح الجانبيين في الشكلين على التوالي.

المسطوحات ، شكل (١٢٦): المسطوح الأمامي أو مسطوح  $\{001\}$  ، وجهان ،  
المسطوح الجانبي أو مسطوح ب  $\{010\}$  ، وجهان ، المسطوح القاعدي أو مسطوح ج  
 $\{100\}$  ، وجهان.

المجموعات الشكلية:

يوجد عدة أشكال بلورية مختلفة مجموعة على البلورات الطبيعية ، شكل (١٢٧).

أمثلة من المعادن:

يتبلور في هذا النظام معاد البلاجيزكليز وهي من المعادن الأساسية في تكوين الصخور  
النارية ، ومن أمثلتها ألبيت  $(\text{NaAlSi}_3\text{O}_8)$  ، أنورثيت Anorthite  
 $(\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8)$ ، شكل (١٢٧) ، كذلك تتبلور في هذا النظام معادن رودونتي  
ولاستونيت.

مميزات بلورات الميول الثلاثة:

تتميز بلورات الميول الثلاثة بأنها لا تحتوي أيا من المحاور التماثلية أو المستويات  
التماثلية. وباستثناء معادن الفلسبارات البلاجيوكليزية فإن قلة من المعادن تتبلور في  
فصيلة الميول الثلاثة ، وعادة ما تكون بلوراتها غير واضحة وغير كاملة الأوجه.  
أسماء وتوزيع وعلاقة الأشكال البلورية

في النظم الكاملة التماثل في الفصائل البلورية السبعة

يبين جدول (١١) ، فيما يلي أسماء وتوزيع ، وعلاقة الأشكال البلورية في النظم الكاملة  
التماثل في الفصائل البلورية السبعة التي درسناها:



الشكل/ الفصيلة 111 أو 11-11 أو 110 أو 11-10 أو 101 أو 11-10 أو 011 أو 11-11 أو 001 أو 01-01 أو 010 أو 01-10 أو 100 أو 1000 الميول الثلاثة ربع هرم منعكس نصف مسقوف أ نصف مسقوف ب نصف منشور مسطوح أ مسطوح ب مسطوح ج الميل الواحد نصف هرم منعكس مسقوف أ نصف مسقوب ب منشور مائل (( (( (( (( المعيني القائم هرم منعكس مسقوف أ مسقوف ب منشور معيني قائم (( (( (( الثلاثي هرم منعكس سداسي (٢) (معيني الأوجه معيني الأوجه منشور سداسي منشور سداسي (( السداسي هرم منعكس سداسي (٢) (هرم منعكس سداسي (١) (منشور سداسي (٢) (منشور سداسي (١) (الرباعي هرم منعكس رباعي (١) (هرم منعكس رباعي (٢) منشور رباعي (١) (منشور رباعي (٢) (( المكعب ثماني الأوجه الإثنا عشر وجهها معينا مكعب

عدد المواد المتبلورة في كل فصيلة ونظام بلوري وأهميته النسبية

يصل العدد الحالي للمواد المتبلورة المعروفة حوالي ٢٠.٠٠٠ ، من بينها ألفان توجد في الطبيعة كمعادن ، الكثير منها نادر الوجود ، ومن بين هذا العدد الضخم من المواد المتبلورة نجد أن:

50% تتبلور في فصيلة الميل الواحد.

25% تتبلور في فصيلة المعيني القائم.

15 % تتبلور في فصيلة الميول الثلاثة.

وفي عبارة أخرى إن هذه الفصائل الثلاثة (ذات التماثل الأقل بين الفصائل البلورية السبعة) تضم ٩٠% من مملكة البلورات ، تاركة نسبة بسيطة (١٠%) ، لبقية الفصائل البلورية الأربعة مجتمعة ، والتي يمكن ترتيبها ترتيبا تنازليا حسب الأهمية النسبية

لعدد البلورات التي تتبلور في كل منها كما يلي: المكعب ثم الرباعي ثم الثلاثي ثم السداسي. ويلاحظ أن العدد الأكبر من المواد المتبلورة داخل الفصيلة الواحدة ينتمي إلى النظام الكامل التماثل. ومن أجل تحقيق المواد المتبلورة والتعرف عليها يمكننا أن ننظر إلى مثل هذا التوزيع – وما يبدو من عدم أهمية الفصائل الأعلى تماثلاً – على أنه تيسير في صالح تحقيق المواد المتبلورة وليس تعسيراً للأمر. ففي جميع بلورات المواد المكعبية نجد أن الزاوية بين وجهين متقابلين (وجهان لهما نفس الدليلين) ثابتة. ومعنى ذلك أن تعيين الزوايا بين الوجوه في البلورات المكعبية لا يفيد في تحقيق هذه المواد. وكلما انخفض التماثل زاد عدد المتغيرات، حتى أننا في فصيلة الميول الثلاثة (أقل الفصائل تماثلاً)، نجد أن أقل عدد من الزوايا بين الوجوه (وهي متغيرة)، غير المرتبطة ببعضها ينبغي التعرف عليها من أجل تعيين الزوايا المحورية الثلاثة (ألفا، بيتا، جاما)، وكذلك النسبة المحورية (وبالتالي تحقيق المادة) هو خمسة.

### هيئة البلورة Crystal Habit

سبق أن ذكرنا أن المعدن يتميز بشكل بلوري ثابت، وعلى هذا يختلف معدن عن آخر في الزوايا بين الوجوه، وكذلك في تماثل الأشكال البلورية، أي في نظام توزيع الأوجه على البلورة حسب عناصر التماثل المميزة في البلورة. وتعتبر هذه الاختلافات (في الزوايا والتماثل) أساسية في التمييز بين بلورة وأخرى، كما أنها تمثل الفوارق الهامة بين الفصائل البلورية السبعة التي ذكرناها. أما الاختلافات الأخرى التي تظهر على البلورات فليست من الأهمية بمكان مثل هذه الاختلافات الجهرية. ونعني بالاختلافات الأخرى اختلاف حجم البلورات والاختلاف في التكوين النسبي للأوجه البلورية، وعددها، وكذلك نوع هذه الأوجه، أو الأشكال البلورية الموجودة على

البلورة ، وقد سبق أن عرفنا التكوين المختلف لأوجه الشكل البلورية الواحد باسم التشوه أو اختلاف الأوجه البلورية ، شكلا ( ١٤ ، ١٥ ) ، وتوصف البلورة في هذه الحالة بأنها مشوهة أو مختلفة الأوجه. ويجب ألا ننسى أن مثل هذا التشوه لا يؤثر على الزوايا بين الوجوهية ، لأ، هذه الزوايا ثابتة مادام ميل الأوجه البلورية ثابت ولا يهم بعد ذلك إذا كبر الوجه أو صغر.

وقد لوحظ أن بلورات المادة الواحدة تختلف عن بعضها البعض في حجم الأوجه ونسبة تكوينها ، وكذلك في عدد ونوع الأوجه والأشكال الموجودة على البلورات. ومن المشاهدات العامة أنه إذا نمت البلورة (كلورات الصوديوم مثلا) في محلول ، أثناء عملية التبلور داخل كأس مثلا ، وكان نموها على القاه ، فإنها لا تجد حرية في النمو إلى أسفل حيث تصطدم في قاع الكأس ، ولا يوجد محلول تنمو منه ولكنها تنمو إلى الجانبين وإلى أعلى بحرية. وتنتج لنا في هذه الحالة بلورة مسطحة أو مبططة ، أما إذا علقت هذه البلورة في المحلول فإنها تنمو بالتساوي في جميع الاتجاهات وتأخذ شكلا مكعبا. ويعرف الشكل الذي تظهره البلورة للعين باسم هيئة البلورة . ولا تتوقف هيئة البلورة على طبيعة المادة المكونة لها فحسب ، ولكنها تتوقف أيضا على الظروف التي أحاطت بالبلورة أثناء نموها. ومن ذلك يمكننا ان نقول أن هيئة البلورة تصف التكوين النسبي للأوجه أو الأشكال البلورية وكذلك عددها ونوعها. ويجب ألا يغيب عن ذهننا أبدا أن مثل هذا التغيير في هيئة البلورة يحدث دون أن يتبعه أي تغيير – حتى ولو كان طفيفا – في الزوايا بين الوجوهية.

ويمكن وصف الهيئة البلورية للمعادن إما بالنسبة للشكل الظاهري وما يشابهه ، كأن تكون ابرية أو عمدانية أو مسطحة .. الخ ، أو بالنسبة للشكل البلوري الغالب في تكوين

البلورة مثل هرمية أو منشورية أو مسطوحية .. الخ ونذكر فيما يلي الألفاظ الشائعة في وصف هيئة البلورة ، شكل (١٤).

متساوية أو متساوية الأبعاد ، وذلك عندما تكون جميع الأوجه البلورية متساوية في الحجم تقريبا ، مثل الجرننت.

مسطحة أو نضدية ، وذلك عندما يكون هناك زوج من الأوجه أكبر بكثير من الأوجه الأخرى وتبدو البلورة ، في هذه الحالة "مبططة".

صفائحية ، أو حتى ورقية ، وذلك عندما يصل "التبطين" ، إلى درجة كبيرة فتصبح البلورة في سمك الورقة.

عمدانية ، وذلك عندما نجد على البلورة ثلاثة أوجه أو أكثر موازية لاتجاه مشترك فيما بينها – قد أصبحت أكبر بكثير من أية أوجه أخرى ، أو بمعنى آخر عندما نجد البلورة طويلة ، أي أن النمو البلوري كان غالبا في اتجاه واحد ، مثل تورمالين.

ابرية أو أليافية ، وذلك عندما تبلغ استطالة البلورة نهايتها (وتشبه الإبرة ، مثل بعض أنواع هونبلند أو الألياف ، مثل أسبتوس). وإنما نجد أن بلورات أي فصيلة من الفصائل البلورية يمكن أن يكون لها أية هيئة من الهيئات المذكورة أعلاه ، أي قد تكون متساوية أو مسطحة أو صفائحية أو عمدانية أو ابرية ، ولكننا نلاحظ أن البلوريات المكعبية تكون غالليا ذات هيئة متساوية.

وتوصف هيئة البلورة أيضا بالنسبة إلى الأشكال البلورية التي توجد أوجهها كبيرة ظاهرة على البلورة ، وغالبية على بقية أوجه الأشكال الأخرى. فمثلا ، قد تكون البلورات المكعبة مكعبة الهيئة أو ثمانية الأوجه أو اثني عشر وجها معينا. وبلورات الرباعي قد تكون هرمية الهيئة أو منشورية أو مسطوحية. أما في فصيلتي السداسي

والثلاثي فقد تكون البلورات هرمية أو منشورية أو مسطوحية أو معينية الأوجه أو مثلثية الأوجه مزدوجة. وفي بلورات المعيني القائمة والميل الواحد والميول الثلاثة قد تكون الهيئة البلورية هرمية أو منشورية أو مسقوفية أو مسطوحية. وعندما تنتهي البلورة المنشورية بأوجه بلورية من ناحية واحدة فقط فإنها توصف بأنها ذات طرف واحد أن أما اذا انتهت البلورة المنشورية بأوجه بلورية من الناحيتين فإنها توصف بأنها ذات طرفين.

### مجموعات البلورات Groups of Crystals

توجد بعض المعادن في الطبيعة في هيئة بلورات مفردة أو وحيدة ، ولكن الغالبية العظمة من المعادن توجد بلوراتها مجتمعة في هيئة مجموعات ، قد تكون منظمة في ترتيبها أو غير منظمة. ومن دراستنا السابقة يمكن تعريف البلورة بأنها جسم عديد الأوجه ، فيه الزوايا بين الوجوه أقل من ١٨٠ درجة فإذا وجدنا على المادة المتبلورة زاوية داخلية ، شكل (١٢٩) ، (١٣٠) ، أي زاوية تكونها أوجه بلورية متجهة إلى الداخل ، فإن هذا يعتبر دليلا على وجود أكثر من بلورة واحدة مشتركة في هذه المادة المتبلورة. أي أن هذه المادة المتبلورة تتكون من مجموعة من البلورات ، وليست بلورة واحدة.

وتصنف مجموعات البلورات إلى قسمين حسب التركيب الكيميائي لأفرادها، فإذا كانت تتكون من بلورات ذات تركيب كيميائي واحد فإنها تعرف باسم مجموعة متجانسة ، أما إذا كانت مكونة من بلورات مختلفة التركيب الكيميائي (وبالتالي مختلفة المعادن) ، فإنها تعرف باسم مجموعة غير متجانسة.

مجموعة متجانسة (جميع بلوراتها مكونة من مادة واحدة):

تضم ثلاث أقسام حسب ترتيب البلورات والعلاقة الهندسية بينها ، وهي:

1- **مجموعات البلورات المتوازية**. وذلك عندما تكون البلورات موازية لبعضها البعض. ٢- بلورات توأمية أو توأم ، وذلك عندما تكون البلورات موازية جزئياً لبعضها البعض (أي بعض المحاور البلورية متوازية والبعض الآخر غير متوازي). ٣ - مجموعات البلورات غير المنتظمة وهذه ينقصها توازي أفرادها.

مجموعات غير متجانسة (بلوراتها مكونة من مواد مختلفة): ١ -مجموعات البلورات النطاقية ، هذه تتوازي أفرادها. ٢ -مجموعات البلورات المنتظمة ، عندما تتوازي الأفراد جزئياً. ٣- مجموعات البلورات غير المنتظمة ، وهذه ينقصها توازي أفرادها.

المجموعات البلورية المتجانسة (١) (مجموعات البلورات المتوازية: تتكون مثل هذه المجموعات عادة من عدة بلورات بدلاً من بلورتين اثنتين فقط. وفيها تجد أن البلورات توازي بعضها البعض ، ومن أمثلتها مجموعات البلورات المتوازية لمعدن الكوارتز (شكل ١٢٨) ، والكالسيت. وكذلك توجد هذه المجموعات المتوازية من البلورات كنشوات صغيرة على أوجه بعض البلورات ، وتعرف باسم أوجه ذات نتوءات ، كما يوجد في بلورات معدن فلوريت . (٢) (البلورات التوأمية أو التوائم: يطلق اسم توأم أو بلورات توأمية على بلورتي المادة الواحدة اللتين تكونان مجموعة وتظهران متوازيتين توازياً جزئياً. ويحتفظ كل جزء من التوأم باتجاهات محاوره البلورية الخاصة ، ولكن يرتبط كل من هذه الاتجاهين بلورياً باتجاه الآخر ، شكل (١٢٩ ، ١٣٠) . وهذا الارتباط يمكن فهمه بسهولة إذا نحن تصورنا أن أحد جزئي التوأم قد دار زاوية مقدرها ١٨٠ درجة حول محور أو اتجاه ما لينطبق اتجاه هذا الجزء من اتجاه الجزء الآخر ،

ونلاحظ أن هذا المحور أو الاتجاه يظل مشتركاً بين جزئي التوأم (هذا المحور عمودي على الوجه (٠٠١) في حالة البلورة شكل ١٢٩) ، ويعرف مثل هذا الاتجاه باسم المحور التوأمي . وعادة يكون هذا المحور التوأمي عبارة عن محور بلوري أو عمودي على أحد الأوجه البلورية. وعملية الدوران حول المحور التوأمي هي عملية تخيلية بحتة ، إذ يجب ألا يغيب عن ذهننا أن البلورة المركبة قد نمت على هذه الحالة التوأمية وتحدد فيها اتجاه كل من الجزأين منذ بدء العبدائية. ونلاحظ في شكل (١٢٩) أن هناك زوايا داخلية ، تميز هذه التوائم. أما البلورة المفردة فإنها تظهر زوايا خارجة (تطل إلى الخارج) فقط. وقد يرتبط اتجاه كل من جزئي التوأم بواسطة مستوى ينعكس خلاله أحد الجزئين لينتج الجزء الآخر (مثل مستوى التماثل) ، شكل (١٣٢) ، ويعرف هذا المستوى باسم المستوى التوأمي . أما مستوى التركيب فهو المستوى الذي يبدو فهي جزئي التوأم ملتصقان ، وهو ينطبق على المستوى التوأمي ولكن ليس هذا دائماً.

وتعرف التوأم دائماً بواسطة قانون يذكر فيه ما إذا كان هناك محور توأمي أو مستوى توأمي ، وكذلك الاتجاه البلوري لهذا المحور أو ذاك المستوى.

وهناك صفات مختلفة للتوائم ، فمثلاً إذا كانت بلورات التوأم ملتصقة بواسطة مستوى التركيب الذي يبدو سطحاً مستويًا فإن التوأم تعرف في هذه الحالة باسم توأم ملتصقة ، شكل (١٢٩ ، ١٣٢). أما إذا كان سطح الالتصاق سطحاً غير مستو ، أي تبدو بلورات التوأم متداخلة فإن التوأم في هذه الحالة تعرف باسم توأم متداخلة ، شكل (١٣٣) ، مثل توأم معدن فلوريت . والتوأم إذا تكون مفردة أو مضاعفة ، فالتوأم المفردة هي التي تتكون من جزئين اثنين فقط ، شكل (١٣٠) ، وهو يمثل توأم معدن الجبس ، أما التوائم المضاعفة فهي التي تتكون من أكثر من جزئين. والتوأم المضاعفة إما أن تكون عديدة التركيب ، شكل (١٣٤) ، توأم معدن البييت ، وذلك عندما تكون مستويات التركيب بين

أفرادها متوازية. وإما أن تكون مستويات التركيب بين أفرادها مائلة في هيئة دائرية شكل (١٣٥) ، توأم معدن أراجونيت – ذلك عندما تكون مستويات التركيب ستورليت ، ويمثل شكل (١٣٧) توأم في شكل "الركبة" لمعدن كاسيتريت. ( $\text{SnO}_2$ )

(3) مجموعات البلورات المتجانسة غير المنتظمة: وهذه كثيرة الانتشار في الطبيعة حيث تبدو البلورات في المجموعة غير منتظمة ، مثل بلورات الكوارتز التي تتواجد في العروق ، وقد تكون البلورات منظمة إلى حد قليل حتى لتبدو المجموعة في هيئة وردة صغيرة ، أو كرة صغيرة. وبجانب تواجد مثل المجموعات البلورية المتجانسة غير المنظمة في العروق فإنها توجد أيضا في اللوزات التي توجد مائلة للقفايع في الصخور البركانية.

#### (ب) مجموعات البلورات غير المتجانسة:

(1) مجموعات البلورات النطاقية: في هذه المجموعات تنمو بلورات المعادن المختلفة في تركيبها الكيميائي موازية لبعضها البعض ، وفي المادة تحيط البلورات بعضها ببعض أثناء النمو ، حتى أنها لتبدو في القطاع المستعرض كنطاقات أو أحزمة حول بعضها. وهناك شرطا أساسيا يجب توافره بين المعادن المختلفة لتكوين المجموعات المتوازية (البلورات النطاقية) وهو أنه لا بد أن تكون بلورات هذه المعادن متشابهة في أطوال محاورها البلورية ، وفي الزوايا بين الوجوهية ، أي لا بد أن تكون بلورات هذه المعادن أو المواد الكيميائية متشابهة البناء (لها نفس الترتيب الذري). فمثلا إذا علقنا بلورة من الشبة الكرومية (كبريتات الكروميوم والألومنيوم المائية) ذات اللون الاخضر الداكن في محلول مركز من الشبة البوتاسية (كبريتات البوتاسيوم والألومنيوم المائية)



ذات اللون الشفاف ، فإننا نشاهد البلورة الخضراء وقد أحيطت ببلورة شفافة من الشبة البوتاسية.

وقد يوجد أكثر من نطاقين في البلورة النطاقيّة . وفي جميع الحالات تتشابه المواد المختلفة الداخلة في تكوين البلورات النطاقيّة في بنائها الذري وشكلها البلوري الخارجي ، مثل هذه البلورات النطاقيّة كثيرة الظهور في الطبيعة . ومنتشرة بين المعادن المختلفة ذات خاصية التبلور المتداخل (أي تكوين بلورات متجانسة تحتوي على عناصر كثيرة ناتجة عن مقدرة بعض العناصر أن تحل مكان جزء أو كل من عناصر أخرى). ولا يحدث التبلور المتداخل إلا بين المواد المتشابهة البناء والمتشابهة الشكل ، ومن أمثلتها معادن البجيوكليز (إحلال الصوديوم محل الكالسيوم أو العكس) ، ومعادن البيروكسين (سليكات حديد ومغنسيوم وكالسيوم وألومنيوم وصوديوم .. الخ) ، ومعادن الأμφيبول والتورمالين.

(2) **مجموعات البلورات المنتظمة:** وفي هذه المجموعات نجد توازيا جزئيا بين اتجاهات البلورات المختلفة ، بمعنى أن بعض المحاور البلورية متوازي والبعض الآخر غير متوازي. فمثلا قد توجد بلورات من معدن الروتيل محاطة ببلورة معدن ميكا بحيث يكون اتجاه المحور ج في الروتيل موازي لاتجاه المحاور الأفقية في الميكا.

(3) **مجموعات البلورات غير المنتظمة:** وهذه المجموعات تضم بلورات معادن مختلفة وذات اتجاهات مختلفة أيضا. وهذا النوع أكثر الأنواع انتشارا وشيوعا بين مجموعات البلورات المختلفة ، فهو الذي يوجد مكونا لكثير من الصخور.

## مجموعات المعادن المتبلورة Crystalline aggregates

توجد كتل المعادن في الطبيعة في هيئة مجموعات لوحات (حبيبات) لها بناء ذري منتظم ولكن ينقصها الأوجه البلورية ، وعلى ذلك فإن هذه الكتل هي مجموعات معدنية متبلورة ، وتأخذ هذه المجموعات في الطبيعة أشكالاً مختلفة (ولو أن الحبيبات المكونة ليس لها أي شكل بلوري خارجي). ومن أمثلة هذه الأشكال ما يأتي ، شكل (١٣٨):

1- أليافية ، إبرية ، عمدانية ، عندما تكون حبيبات المعدن مجموعة في هيئة ألياف (اسبستوس) أو ابر (جيس) أو أعمدة (تورمالين). ٢ - صفائحية : عندما تكون حبيبات المعدن مجموعة في هيئة صفائح. ٣ - ميكائية: بلورات المعدن مرصوفة في هيئة ألواح رقيقة جدا ، مثل معادن الميكا. ٤ - كروية: مجموعات حبيبات المعدن في شكل كرات صغيرة. ٥ - بطروخية: عندما تكون كتلة المعدن مكونة من حبيبات مستديرة صغيرة تشبه البطارخ (بيض السمك) ، مثل بعض أنواع الهيماتيت. ٦ - باسلاتنية: عندما تكون في هيئة حبيبات البسلة. ٧ - حبيبية: عندما تكون حبيبات المعدن في شكل حبيبات مستديرة كبيرة كانت أو صغيرة. ٨ - نتوائية: عندما يغطي سطح المعدن بلورات دقيقة بارزة أو ناتئة عليه. ٩ - عنقودية: مجموعة مكونة من كرات صغيرة ملتصقة ببعضها البعض وتشبه عنقود العنب ، مثل بعض أنواع الكالسيدوني. (SiO<sub>2</sub>)

10- كلوية: كتل مستديرة من المعدن ملتصقة ببعضها البعض ، كل واحدة منها تشبه الكلية ، مثل بعض أنواع الهيماتيت. ١١ - شجرية: عندما تصبح المجموعة في شكل شجرة متفرعة ، مثل بعض أنواع البيروولوسيت -12. (MnO<sub>2</sub>) مجمية أو شعاعية: عندما تكون الوحدات المعدنية المكونة للمجموعة في هيئة أشعة دائرية ، مثل وفيليت

13- [Al<sub>8</sub>(OH)<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2.5</sub>H<sub>2</sub>O]. نصلية: مجموعة من وحدات مبطة في شكل

نصل السكين ، مثل كيانيت -14.  $(Al_2SiO_5)$  استلاكيئية: كتل في هيئة مخروط أو اسطوانة ، مثل بعض أنواع الكالسيت. ١٥ -كتلية: المادة المكونة للمعدن في هذه الحالة مضغوطة أو مكبوسة في هيئة كتلة ليس لها شكل معين. ١٦ -درنية: عندما تتجمع حبيبات المعدن بالترسيب حول نواة لتكون كتل كروية الشكل تقريبا. ١٧ -نرجيلات: عندما تبطن حبيبات المعدن إحدى الفجوات الكروية تقريبا من الداخل ، فإنه يطلق على هذه الكرة المفرغة من الداخل اسم نرجيلة. وغالبا المعدن مصفوفا في صفوف نتيجة لتعاقب ترسيبها. ١٨ -لوزية: كتلة في شكل اللوزة ، كما في معادن الزيوليت عندما تملأ حبيباتها الفجوات اللوزية الشكل (النتيجة من هروب الغازات والأبخرة) في الطفوح البركانية. ١٩ -عدسية: عندما تكون المجموعة في هيئة عدسة. ٢٠ -خيطية: عندما تتكون المجموعة من أسلاك رفيعة ، عادة ماتكون منحنية أو منثنية ، مثل الفضة. ٢١ -شعرية: عندما تتكون المجموعة من بلورات رفيعة جدا مثل الشعر. ٢٢ -معرقية أو شبكية: عندما تتكون المجموعة من ألياف متشابكة في هيئة شبكة ، مثل الفضة

## علم المعادن

## Mineralogy

يختص علم المعادن Mineralogy بدراسة تلك المواد المتجانسة التي توجد في الطبيعة وتتكون بواسطتها مثل الماس والذهب ، والتي نعرفها بإسم المعادن Minerals . لقد إسترعت المعادن انتباه الإنسان منذ قديم الزمن حيث ساهمت في بناء حضارته المتطورة بصورة أو بأخرى. إن صخور الجبال ورمال الشواطئ والترربة الزراعية يتكون معظمها أو جزء كبير منها من المعادن. كذلك فإن جميع المنتجات التجارية غير العضوية التي نتناولها في حياتنا اليومية إما أن تكون عبارة عن معادن أو صنعت من مواد معدنية ، فمواد البناء - على سبيل المثال لا الحصر - كالأسمنت والحديد والزجاج نحصل عليها من المعادن.

يعرف المعدن بأنه مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية وله تركيب كيميائي محدد وترتيب ذرى داخلى منتظم و تركيب بلورى مميز.

ويتبين من التعريف أن المادة يجب أن توجد فى الطبيعة لكى تسمى "معدن" فمثلا: كبريتات الكالسيوم إذا وجدت فى الطبيعة أصبحت معدن، أما التى نحضرها فى المعمل فلا يطلق عليها هذا الإسم بل تصبح مركب كيميائى. والتركيب الكيميائى المميز أساس ضرورى أيضا لتسمية المعدن ولكن بعض المعادن تكون مجموعات متقاربة يتبادل فيها عنصر بآخر تبادلاً تدريجياً بحيث يصبح طرفا المجموعة متصلين بعدد من الأنواع الإنتقالية ذات التركيب المتوسط وعندئذ يعرف طرفا المجموعة بإسمى معدنين ثابتين، وقد تميز بعض الأنواع الإنتقالية فى المجموعة أيضا بأسماء معدنية ثابتة. ولكن التركيب الكيميائى المميز للمعدن ليس كافيا لتحديد شخصية المعدن فقد يتفق معدنان فى التركيب الكيميائى ولكنهما يختلفان فى كثير من الصفات الطبيعية كاللون والصلابة والكثافة وذلك لأن ذرات المعدنين تكون مرتبة ترتيبا مختلفا ، ولهذا نص فى تعريف المعدن أن يكون له تركيب بلورى خاص الذى قد يظهر على السطح تحت ظروف ملائمة فى شكل بلورى مميز ولمعظم المعادن تركيب كيميائى غير عضوى وهى إما

عناصر أو مركبات كيميائية ولكن غالباً ما تعتبر بعض المواد العضوية التركيب مثل الفحم والعنبر والبتروول والأسفلت ضمن المواد المعدنية .

### الدراسات المعدنية :

يشمل علم المعادن الدراسات الفرعية الآتية :

أولاً : الدراسة الطبيعية للمعادن Physical Mineralogy : وهى تشمل دراسة خواصها الطبيعية مثل اللون ، المخدش ، البريق ، الصلادة ، الوزن النوعى ، والصفات المغناطيسية والحرارية والكهربية ..... الخ .

ثانياً : الدراسة الكيميائية للمعادن Chemical Mineralogy : تبحث هذه الدراسة فى التركيب الكيميائى للمعادن المختلفة وخواصها الكيميائية والعلاقة بين هذه الخواص والتركيب البلورى وكذلك البحث فى أصل المعادن Origin of Minerals وكيفية تكونها .

ثالثاً : دراسة الرواسب المعدنية Mineral Deposits : وتبحث فى التكوينات أو الرواسب المعدنية لمعرفة مكوناتها وأصلها ونشأتها وأماكن وجودها ، وهذه الدراسة أساسية لعلم المناجم Mining الذى يختص باستخراج وإستغلال الرواسب المعدنية وتجهيزها للصناعة.

رابعاً : الدراسة الوصفية للمعادن Descriptive Mineralogy : ويختص هذا الفرع بوصف المعادن - وخاصة المعادن ذات الأهمية - من حيث صفاتها الطبيعية والكيميائية ، وأصلها وكيفية تكونها وأماكن وجودها وفوائدها .

خامساً : الدراسة البصرية للمعادن Optical Mineralogy : وهى دراسة تكميلية وتأكيدية للتحقق من صحة تحديد شخصية المعادن المختلفة ، وذلك باستخدام الطرق البصرية بواسطة مجهر خاص (ميكروسكوب مستقطب).

أولاً - الدراسة الطبيعية للمعادن

### **الخواص الطبيعية للمعادن Physical properties of minerals**

تتوقف الخواص الطبيعية للمعدن على تركيبه الكيميائي وتركيبه الذرى الداخلى إذا كان متبلوراً ، ولذلك فمعظمها مميز للمعادن المختلفة حيث أنها غالباً ما تكون ثابتة للمعدن الواحد ، وتساعد كثيراً على التعرف على شخصية المعدن بصفة مبدئية وتميزه عن المعادن الأخرى . وأهم الخواص الطبيعية للمعادن هى :

- (١) **خواص ضوئية ( أو بصرية ) Optical properties**: تعتمد على الضوء مثل اللون ، المخدش ، البريق ، الشفافية والتضوء (تفسر وتقلر) ... الخ .
- (٢) **خواص حواسية Sense properties**: تعتمد على بعض الحواس مثل الطعم والرائحة واللمس .
- (٣) **خواص تماسكية Cohesive properties**: تتوقف على حالة تماسك المعدن مثل الصلادة ، الإنقسام والمكسر وقابليته للسحب والطرق.
- (٤) **الوزن النوعى ( الثقل النوعى ) Specific gravity** .
- (٥) **الخواص الحرارية (Thermal) والمغناطيسية (Magnetic) والكهربائية (Electric) والإشعاعية (Radioactivity)** .

### الخواص الضوئية (Optical properties)

#### اللون (Colour):

ينتج لون المعدن عن قدرته على عكس نوع معين من الموجات الضوئية الملونة وإمتصاص الموجات الأخرى التى تكون أشعة الضوء الأبيض العادى ، فيبدو لون المعدن أحمر إذا كان يعكس الموجات الحمراء ويمتص جميع الموجات الأخرى المكونة للضوء العادى . ويظهر المعدن أسود اللون إذ أنه لا يعكس الضوء ، أو يعكسه بكمية ضئيلة جداً لا تؤثر فى شبكية العين لتعطى الإحساس باللون . وإذا كان للمعدن القدرة ليعكس جميع الموجات أو الذبذبات الضوئية فإنه يبدو أبيض اللون . ويعتبر لون المعدن من أهم الخواص الطبيعية الظاهرة الأخاذة التى يمكن الإستفادة منها فى تحديد شخصية بعض المعادن الثابتة اللون بصفة مبدئية .

كثيراً ما يكون لبعض المعادن ألوان ثابتة إلى حد ما ، وتسمى "إيدوكروماتيك" "Idiochromatic" ، ومن الأمثلة الشائعة لهذا النوع معدن الكبريت Sulfur (S) ولونه أصفر فاقع ، مالاكيت Malachite ولونه أخضر ، أزوريت Azurite  $[Cu_3(CO_3)_2(OH)_2]$  ولونه أزرق ، سنبار Cinnabar (HgS) ولونه أحمر قاني ، ماجنيتيت Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) ولونه أسود ، ومعدن بايريت Pyrite (FeS<sub>2</sub>) ولونه أصفر نحاسي .

وقد يتغير اللون في الأنواع Species المختلفة للمعدن الواحد ويوصف حينئذٍ بأنه متغير اللون "ألوكروماتيك" Allochromatic . ويعزى تغير لون المعدن إلى إحتوائه على شوائب ملونة Pigments أو شوائب دخيلة تسمى مكتنفات Inclusions ، فمعدن الكوارتز النقي عديم اللون ، ولكن تظهر الأنواع غير النقية من نفس المعدن بألوان مختلفة مثل الكوارتز الوردى Rose Quartz الذى يحتوى على شوائب ملونة (أكاسيد حديد حمراء) تعمل عمل الأصباغ فى المعدن ، ويحتوى الكوارتز البنفسجى Amethyst على بعض شوائب ملونة بنفسجية (أكسيد المنجنيز) ، وكذلك الحال فى الكوارتز المدخن Smoky Quartz . وتنتشر الشوائب الملونة فى المعدن فى غير انتظام ، فقد توجد فى شكل بقع أو نقط غير منتظمة كما فى الكوارتز البنفسجى والياقوت الأزرق Saphir ، وأحيانا توجد الشوائب الملونة فى طبقات أو حلقات أو أحزمة منتظمة كما فى معدن العقيق Agate وهو كوارتز خفى التبلور ، والتورمالين Tourmaline . وقد يكون التغير فى لون الأنواع المختلفة للمعدن الواحد نتيجة إختلاف ضئيل فى التركيب الكيميائى (فى أضيق الحدود) من نوع لآخر ، فيظهر معدن السفاليريت Sphalerite (ZnS) فى ألوان مختلفة تتدرج من البنى المصفر إلى الأسود وذلك نتيجة تزايد نسبة عنصر الحديد فى الأنواع السوداء .

### تلاعب الألوان "عرض الألوان" : Play of colours :

تتوقف هذه الظاهرة على قدرة المعدن فى خاصية إنتشار الضوء Dispersion ، وتعزى هذه الخاصية الى انقسام الأشعة الضوئية العادية البيضاء إلى مكوناتها الملونة

عند دخولها وخروجها من المعدن ، مثل الماس (C) Diamond الذى يتلاعب بالألوان أو يقوم بعرضها عند تغيير وضعه بالنسبة للعين ، نتيجة قدرته الفائقة فى خاصية الانتشار الضوئى.

### تغيير الألوان Change of colours:

تشبه هذه الظاهرة إلى حدٍ ما خاصية تلاعب الألوان ، إلا أنها تنتج عن تداخل أشعة الضوء المنعكسة من أسطح مستويات متوازية تحتوى على صفائح رقيقة من معادن أخرى دخيلة فى المعدن . وتتمثل هذه الظاهرة بوضوح فى بعض أنواع معدن اللابرادوريت [Labradorite (Na,Ca)Al Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>] ، إذ يغير الألوان فى تتابع ظاهر ، فيعطى الألوان الزرقاء ، الخضراء ، الصفراء والحمراء عند تحريكه أمام العين أو إذا نظر إليه من إتجاهات مختلفة .

### اللاألة "خاصية الأوبال" Opalescence :

هى مظهر لؤلؤى Pearly أو لبنى Milky لبعض المعادن مثل الأوبال (SiO<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O)Opal ، ومنه اشتق إسم هذه الخاصية . وتنتج اللاألة عن إنعكاسات ضوئية من داخل المعدن حيث توجد بعض جزئيات مختلفة الترتيب فتعطى صفات بصرية مختلفة ، وتظهر أحياناً باهرة اللون وخاصةً إذا كان سطح المعدن مصقولاً مثل معدن حجر القمر Moonstone .

### التلون الطيفى Iridescence :

تتلون بعض المعادن بألوان الطيف الزاهية نتيجة تداخل أشعة الضوء فى شقوق دقيقة محاطة بأغشية هوائية أو سائلة داخل المعدن ، وتظهر هذه الخاصية فى بعض أنواع الكوارتز والكالسيت والميكا التى قد توجد فيها هذه الشقوق نتيجة كسور دقيقة غير ظاهرة .

### اللون البراق ( خاصية عين الهر ) Chatoyancy :

وهى خاصية ظهور المعدن فى لون براق متموج يخطف البصر ، ويختلف باختلاف إتجاه النظر إليه مثل لون الحرير المموج (شانجان Changant) . وينتج هذا



اللون البراق من إختلاف الإنعكاسات الضوئية على سطح المعادن الأليافية النسيج ،  
فتشبهه بريق عين القط .

### **التصدؤ Tarnish:**

عبارة عن تغير سطحى فى لون المعدن نتيجة تحلل الطبقة الخارجية منه  
بتعرضها لعوامل التجوية المختلفة فيظهر لونها مختلفاً عن اللون الأسمى لها . ولهذا  
يجب تعيين لون المعدن دائماً على سطح غير متصدى ، كسطح حديث الكسر .

### **التضوء Luminecence:**

هو خاصية بعض المعادن التى لها قدرة الإشعاع الضوئى إذا ما تعرضت لطاقة  
أخرى مثل الطاقة الإحتكاكية ، الحرارية ، الكهربائية أو الأشعة فوق البنفسجية ، وبذلك  
يظهر المعدن متألقاً وهاجاً ذو لون باهر قد يختلف تماماً عن لونه الأسمى قبل تعرضه  
لذلك المؤثر الخارجى . فتتضوأ إحدى عينات معدن الفلوريت (CaF<sub>2</sub>) Fluorite إذا  
ما وضعت على قرص حديدى ساخن وتتألق فى لون مختلف عن لونه الأسمى . وكذلك  
الحال عند حك قطعتين من معدن الكوارتز Quartz فى مكان مظلم فإنهما يشعان  
ضوءاً متألقاً ويتضوأ معدن الكالسيت (CaCO<sub>3</sub>) Calcite فى لون أحمر وهاج إذا  
ما تعرض للأشعة فوق البنفسجية . ومن التضوأ نوعان :

### **(١) التفلر Fluorescence:**

حيث يتضوأ المعدن أثناء تعرضه للمؤثر الخارجى فقط ، وتزول هذه الخاصية  
بمجرد زوال المؤثر ، وقد إشتق هذا الإسم من معدن الفلوريت ( CaF<sub>2</sub> ) الذى  
يمتاز بوضوح هذه الخاصية . من أمثلة المعادن التتبدى فى معظم الأحيان ظاهرة  
التفلر بالاضافة الى الكالسيت والفلوريت والويليميت - معادن: الشيليت Scheelite  
(CaWO<sub>4</sub>) ، سكابوليت (NaCaAl silicate) Scapolite ، والأوتونيت  
. Autunite (Hydrated CaU phosphate)

### **(٢) التفسفر (الفسفرة) Phosphorescence:**

حيث يتضوأ المعدن أثناء وبعد تعرضه للمؤثر الخارجى . وقد تستغل خاصية التفسفر للتأكد من نقاوة بعض الأحجار الكريمة مثل الماس والياقوت وبعض المعادن الأخرى التى تتألق بوضوح بعد تعرضها للأشعة السينية (X-Rays) .

### المخدش Streak :

وهو لون مسحوق المعدن ، وقد يختلف المخدش كثيراً عن لون المعدن فى حالته الكتلية ؛ فلون معدن الباييريت أصفر نحاسى ولكن مخدشه أسود ، وتختلف معادن أكاسيد الحديد السوداء اللون مثل الهيماتيت (Hematite  $(Fe_2O_3)$  ، والماجنييتيت (Magnetite  $(Fe_3O_4)$  والجوثيت (Geothite  $(Fe_2O_3, H_2O)$  فى مخدشها ؛ فالأول ذو مخدش أحمر قانى ، والثانى أسود المخدش ، والثالث مخدشه أصفر . ويمكن التعرف على مخدش المعدن بواسطة حكه على سطح لوحة من الصينى غير المصقول أو المطفى تسمى لوحة المخدش Streak plate ، وفى حالة ما إذا كان المعدن أشد صلابة من لوحة المخدش فإنه لا يترك عليها أثراً لمخدشه ، ويمكن الحصول على مخدش المعدن فى مثل هذه الحالة بطحن جزء صغير منه إلى مسحوق ناعم ، أو يبرد طرف المعدن ونشاهد لون المسحوق الناتج.

### البريق Lustre :

هو مظهر سطح المعدن فى الضوء المنعكس ، ويتوقف بريق المعدن فى نوعه وشدته على نوع ومقدار الإنعكاسات الضوئية على سطحه . ويعتبر البريق من الخواص الضوئية الأساسية والمميزة للمعادن . وللبريق أنواع :

#### (١) البريق الفلزى Metallic Lustre :

وهو البريق العادى للفلزات مثل الذهب والفضة وكذلك المعادن القائمة اللون ذات المظهر الفلزى مثل معدن الباييريت ( $Fe_2S$ ) ومعدن الجالينا ( $PbS$ ) . وتوجد معادن ذات بريق فلزى ضعيف " تحت فلزى " Submetallic lustre مثل الكروميت ( $FeCr_2O_4$ ) ، الكوبريت ( $Cu_2O$ ) ، وغالباً ما تكون المعادن ذات البريق الفلزى قائمة اللون ، ثقيلة الوزن .

٢) البريق اللافلزى Nonmetallic Lustre :

يظهر هذا البريق عادة في المعادن الفاتحة اللون والشفافة . ويشمل الأنواع

التالية:

أ - بريق زجاجى Vitreous (glassy) lustre :

وهو يشبه بريق الزجاج كما في معدن الكوارتز ، ولبعض المعادن بريق زجاجى ضعيف " تحت زجاجى " Subvitreous lustre مثل معدن الكالسيت .

ب - بريق صمغى "راتنجى" Resinous :

يشبه بريق الصمغ كما في معدن الأوبال ومعدن العنبر Amper ( الصمغ الحفرى Fossil resin ) ومعدن السفاليريت .

ج - بريق لؤلؤى Pearly lustre :

يشبه بريق اللؤلؤ كما في معدن التلك Talc .

د- بريق حريرى Silky lustre :

ويظهر هذا البريق على سطح المعادن الأليافية النسيج مثل أحد أنواع معدن الجبس (معدن ستانسبار Stain spar ) وعينات الأسبستوس المعروفة باسم أميانتوس Amianthus .

هـ - بريق ماسى Adamantine lustre :

وهو بريق باهر نتيجة كبر معامل الإنكسار الضوئى في المعدن مثل بريق معدن

الماس

وتوصف شدة البريق بالنسبة لمقدار الضوء المنعكس على سطح المعدن كالاتى

:

باهر Splendent : عندما يعكس سطح المعدن الأشعة بوضوح كسطح المرآة مثل

بعض عينات معدن الهيماتيت Hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) .

## الشفافية: Transparency

تتوقف هذه الخاصية على قدرة المعدن على إنفاذ الضوء أو إرساله ، فالمعادن التى تسمح بإنفاذ الضوء بدرجة كبيرة وتسمح برؤية الأجسام خلالها بوضوح توصف بأنها شفافة Transparent مثل معدن الكوارتز الشفاف والسيلينيت ، ويوصف المعدن بأنه ضعيف الشفافية "تحت شفاف" Subtransparent أو شبه شفاف Semitransparent إذا كان يسمح بإنفاذ الضوء بدرجة أقل من المعدن الشفاف ، بمعنى أنه يسمح برؤية الأجسام خلاله بغير وضوح تام . وتوجد بعض معادن قادرة على إنفاذ الضوء ولكنها لا تسمح برؤية الأجسام خلالها فتسمى نصف شفافة Translucent مثل معدن العقيق المكسيكى Mexican Onyx . ويعرف المعدن بأنه معتم Opaque إذا لم يكن قادرا على إنفاذ الضوء حتى من شرائحه الرقيقة ، مع ملاحظة أن بعض المعادن القاتمة والتي تظهر كأنها معتمة فى حالتها الكتلية قد تكون نصف شفافة عند أحرفها الرفيعة أو شفافة فى شرائحها الرقيقة ومن أمثلة المعادن المعتمة البيريت (FeS2) ، الجالينا ، الجرافيت .

## الخواص التماسكية Cohesive properties

تتوقف الخواص التماسكية للمعدن بصفة عامة على نوع التركيب البلورى ، أى الترتيب الذرى الداخلى وقوى الربط "الأواصر" Bonds بين الأيونات أو الذرات أو الجزيئات المكونة لبلورات المعدن ، ولذلك تختلف هذه الخواص من معدن لآخر ولكنها ثابتة ومميزة للمعدن الواحد . وأهم الخواص التماسكية مايلى :

### (١) الصلابة Hardness:

صلابة المعدن هى خاصية مقاومته للخدش أو الكشط أو التفتت والتآكل ؛ وتختلف صلابة المعادن عن بعضها كثيرا ولذا كان تعيينها من أهم الصفات المميزة للمعادن

وتعين درجة صلابة المعادن بالنسبة لصلابة احد المعادن العشرة القياسية المكونة لمقياس موه للصلابة Moh's scale of hardness وهذه المعادن العشرة هي كالاتى مرتبة ترتيباً تصاعدياً حسب درجة صلابتها :

١- التلك Talc	وصلابته ١
٢- الجبس Gypsum	وصلابته ٢
٣- الكالسيت Calcite	وصلابته ٣
٤- الفلورايت Florite	وصلابته ٤
٥- الأباتيت Apatite	وصلابته ٥
٦- الفلسبار الأرتوكلازى Orthoclase Feldspar	وصلابته ٦
٧- الكوارتز quartz	وصلابته ٧
٨- التوباز Topaz	وصلابته ٨
٩- الكوارندام corundum	وصلابته ٩
١٠- الماس diamond	وصلابته ١٠

وتعرف صلابة معدن ما بمحاولة خدشة أولاً بالظفر فإذا خدش المعدن كانت صلابته أقل من " ٣ " ، وبذلك تتحدد صلابته التقريبية ، وعندئذ يسهل قياس درجة صلابته الحقيقية بإختباره بأحد معادن مقياس موه للصلابة: إما معدن التلك أو الجبس فى هذه الحالة فإذا خدش التلك المعدن المطلوب ايجاد صلابته فتكون صلابة المعدن أقل من " ١ " وتقدر حسب سهولة الخدش وإذا لم ينخدش المعدن بالتلك فيختبر مرة ثانية بمعدن الجبس. فإذا انخدش المعدن بسهولة كانت صلابته أقل من " ٢ " وتتراوح بين " ١ " ، " ٢ " ، فإذا لم ينخدش المعدن بمعدن الجبس ، بل العكس صحيح فتكون صلابته أكثر من " ٢ " .

فإذا لم ينخدش المعدن المطلوب ايجاد صلابته بالظفر فيختبر بمحاولة خدشه بنصل سكين أو بقطعة من زجاج النافذة فإذا خدش المعدن كانت صلابته التقريبية بين " ٣ " ، " ٥ " ثم يُختبر بواسطة المعادن القياسية فى مقياس موه للصلابة لتحديد صلابته

الحقيقية الصلابة فاذا إنخدش المعدن بمعدن الاباتيت مثلاً دل ذلك على ان صلابة المعدن اقل من ٥ وان هو فى الوقت نفسه خدش الفلورايت كانت صلابته اكثر من ٤ فتكون صلابته الحقيقية بين " ٤ " ؛ " ٥ " أو " ٤.٥ " تقريباً وهكذا .

وفى حالة ما لم ينخدش المعدن بنصل السكين تقدر صلابته التقريبية بأكبر من " ٥ " ونجرب خدشه بمبرد من الصلب وإن لم ينخدش كانت صلابته أعلى من ٦ - ٧ ، ويختبر بالمعادن القياسية الأخرى فى مقياس موه لتحديد صلابته الحقيقية بالطريقة السابق شرحها . وعند محاولة إختبار صلابة معدن بحكه بمعدن آخر يجب التأكد بعد مسح المسحوق المتكون على سطح المعدن من وجود خدش بهذا السطح ؛فاذا وجد خدش دل ذلك على أن المعدن المراد اختبار صلابته أقل صلابته من المعدن الآخر إذا خدش معدن ما أحد معادن المجموعة القياسية وخدشه فى الوقت نفسه هذا المعدن دل ذلك على أن درجة صلابة المعدنين متساوية

وتستعمل لغرض قياس صلابة المعادن مجموعة من الأقلام تسمى أقلام الصلابة Hardness pencils وهى عبارة عن مواسك holders مثبت فى نهاية كل منها جزء مخروطى الشكل من أحد معادن المجموعة القياسية للصلابة. وتثبت هذه الاقلام أحيانا حول حلقة تعرف بعجلة الصلابة Hardness wheel.

## (٢) التشقق (الإنقسام) :Cleavage

التشقق (الإنقسام) هى خاصية تفتت أو إنقسام بعض المعادن المتبلورة فى إتجاه مستويات منتظمة متوازية إذا ما طرقت طرقة خفيفاً ، وتعرف هذه المستويات بمستويات التشقق (مستويات الإنقسام) Cleavage planes وترتبط إتجاهات مستويات الإنقسام إرتباطا وثيقا بالتركيب البلورى فتكون دائما موازية لوجه بلورى معين أو عدة أوجه مميزة فى المعدن القابل للإنقسام . وينتج الإنقسام عن كيفية رص الذرات ونوع الروابط بينها ، ففى مستويات الإنقسام ذاتها تكون الذرات متقاربة الرص والروابط بينها قوية ، أى أن الذرات فى هذه المستويات كثيفة ومتماسكة فيما بينها بقوة ، فى حين أن رص الذرات يكون متباعداً نسبياً وأن قوى الربط بينها كذلك

ضعيفة فى الإتجاه العمودى على إتجاه مستويات الإنفصام . ومن البديهى إستنتاج أن خاصية الإنفصام لاتوجد فى المعادن غير المتبلورة .

وقد يوجد أكثر من إتجاه واحد لمستويات الإنفصام فى بعض المعادن وعادة ما يتميز أحد هذه المستويات بسهولة إنفصامه عن الإتجاهات الأخرى. ويوصف الإنفصام بالنسبة للإتجاه البلورى للمستوى أو المستويات التى يوازيها ، وبالنسبة إلى درجة كماله ، أى مدى سهولة الإنفصام فى كل من هذه المستويات . فالجالينا وملح الطعام (الهاليت) مثلا تتشقق فى مستويات موازية لوجة المكعب فىسمى تشققها مكعبى Cubic . بينما تتشقق معادن الفلوريت والماس والكوبريت فى اتجاهات موازية لوجة ثمانى الأوجه المكعبى Octahedron ولذا يسمى تشققها ثمانى الأوجه Octahedral . ويوجد إنفصام معينى فى معدن الكالسيت حيث توازي مستويات الإنفصام أوجه معينى الأوجه مهما إختلفت هيئة بلورة الكالسيت.

ويوصف التشقق كذلك بدرجة تمامه وسهولته فيقال أن المعدن كامل التشقق perfect ، أو غير كامل imperfect ، أو واضح التشقق distinct ، أو جيد good ، أو غير واضح indistinct ، أو ضعيف . poor .. الخ .

### ٣) الإنفصال Parting :

هى ظاهرة تجزؤ أو إنقسام المعدن إلى أجزاء عند مستويات ضعف غير متوازية فى إتجاهات غير ثابتة وغير مميزة . وتنتج ظاهرة الإنفصال من تأثير عوامل طبيعية خارجية على بعض المعادن بعد تكوينها بسبب تعرضها لعوامل ضغط أو تكسير أو عوامل إخلال تودى إلى سهولة إنفصال المعدن فى مستويات غير منتظمة . وليس من الضرورى ظهور مستويات إنفصال فى جميع بلورات المعدن الواحد حيث أن هذه الظاهرة لاترتبط بالتركيب البلورى ، ولكنها نتيجة للعوامل الخارجية التى كثيراً ما تختلف من مكان لآخر . وقد تتشابه مستويات الإنفصال ومستويات الإنفصال ظاهرياً ولكن يمكن بدقة الملاحظة ، تمييز الأخير بتوازي إتجاه مستوياته مع بعضها فى إتجاه

بلورى ثابت مميز ، وكذلك بتساوى المسافة بين مستويات الإنفصام وإختلافها فى مستويات الإنفصال .

#### **٤) المكسر Fracture :**

المكسر هو شكل أو هيئة سطح المعدن عندما ينكسر فى اتجاهات غير تلك التى يتشقق او ينفصل فيها فالمعادن التى لا تتشقق او يكون تشققها ضعيفا يتكون لها اسطح انكسارية بسهولة -وهذا يظهر بوضوح فى المواد غير المتبلورة Amorphous substances التى لا تتشقق فانها تظهر اسطح انكسارية اذا ما عرضت للخبط وتأخذ الاسطح الانكسارية Fracture surfaces أشكالاً مختلفة أهمها:-

#### **أ - المكسر المحارى Conchoidal fracture**

حيث يتقوس السطح المنكسر ويظهر على هيئة خطوط مقوسة متراكزة تتسع وتتلاشى تدريجيا كلما بعدت عن نقطة مركزية ، وتشبه تماماً خطوط النمو فى المحارات مثل مكسر الكوارتز والفلنت ، وأحياناً يظهر المكسر المحارى ضعيفاً فيوصف بأنه تحت محارى Subconchoidal .

#### **ب- المكسر المستوى Even fracture**

حيث يظهر السطح المنكسر منبسط تقريبا أو مستوى مثل مكسر معدن التشيرت (سيليكاً مائية خفية التبلور) Chert

#### **ج - المكسر غير المستوى Uneven fracture**

حيث ينكسر المعدن فى أسطح غير مستوية خشنة نتيجة وجود بروزات أو نتوءات دقيقة مثل معدن الرودونايت Rhodonite

#### **د-المكسر الممشط (المسنن) Hackly fracture**

حيث يظهر السطح المنكسر على هيئة أسنان حادة وهو خشن غير منتظم مثل مكسر النحاس



## ٥-المكسر الأرضي Earthy fracture

حيث يأخذ السطح المنكسر مظهراً غير منتظم مثل أسطح المواد الأرضية كالطباشير والكاولين والبوكسيت Bauxite.

## ٤) التماسك Tenacity :

التماسك هو خاصية المعادن عند محاولة كسرها أو قطعها أو شدّها أو خبطها بمطرقة أو ثنيها ، وتتوقف على درجة تماسك الجزيئات المكونة لها وأهم انواع التماسك هي:-

أ- قابل للكسر (هش) Brittle :صفة المعدن الذي ينكسر او ينقصف أو ينسحق بسهولة ولا يمكن قطعة الى شرائح عند ضغطه أو طرقه مثل معدن البايريت ، الأباتيت [ F, (Ca-phosphate) Cl ] ، الفلوريت والكوارتز.

ب - قابل للقطع او التشریح Sectile وهى المعادن التى يسهل قطعها أو تشریحها بسكين إلى شرائح Slices مثل معدن الجبس (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) والجرافيت (C) .

ج-قابل للطرق Malleable وهو المعدن الذى يمكن طرقه إلى صفائح رقيقة وفردھا وتشكيلها مثل الذهب (Au) والنحاس (Cu)

د- قابل للسحب Ductile وهو المعدن الذى يمكن سحبه وتشكيله فى هيئة أسلاك مثل النحاس والفضة (Ag).

هـ- قابل للإلتواء ( للإثناء ) Flexible :حيث يمكن ثنى طبقات رقيقة أو صفائح من المعدن دون أن تنكسر وتظل هذه الصفائح ملتوية هكذا حتى بعد زوال الضغط أو المؤثر المسبب له ،مثل معدن التلك والسيلينيت.

و- مرن Elastic : صفة المعدن القابل للإثناء أو الإلتواء دون أن ينكسر ولكنه يرجع الى حالته الأولى فور زوال المؤثر الذى تسبب عنه الإثناء (مثل الزنبرك). مثل الميكا وليس من الضرورى أن يكون المعدن القابل للإثناء مرناً ، فصفائح معدن

الكلوريت (Chlorite (Al, Fe, Mg hydrated silicate) قابلة للإنتشاء ولكنها ليست مرنة ، فى حين أن صفائح الميكا مرنة وتبعا لهذا فإنها قابلة للإنتشاء.

### الخواص الحواسية Sense Properties

#### المذاق Taste :

تعرف بعض المعادن بمذاقها عندما تذاب فى الماء او فى اللعاب ويمكن عندئذ تميز أنواع المذاق الآتية:

- ١- ملحي saline مثل الهاليت أو ملح الطعام .
- ٢- قلوى alkaline مثل البوتاس والصودا.
- ٣- مرطب cooling مثل مذاق نترات الصوديوم وكلورات البوتاسيوم
- ٤- قابض astringent مثل مذاق الشب alum
- ٥- مر bitter مثل مذاق كبريتات الماغنسيوم المائية (إيسوميت Epsomite "MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O").

#### الرائحة Odour :

لبعض المعادن رائحة خاصة مميزة عندما تخبط أو تحك أو تسخن أو يُتنفس عليها. وأهم هذه الروائح هى :-

- ١- رائحة طينية argillaceous (clayey) odour يمكن شمها عندما يُتنفس على سطح الكاولين مثلا kaolin
- ٢- رائحة قطرانية bituminous وهى رائحة المعادن المحتوية على مادة قطرانية أو عضوية ويمكن الحصول عليها عندما نظرق العينة بشاكوش مثل الاسفلت
- ٣- رائحة زنخة (عطنة) foetid مثل رائحة البيض الفاسد وتنبعث عند تسخين أو حك بعض عينات معدن الكوارتز أو الحجر الجيرى .
- ٤ - رائحة ثومية garlic وهى رائحة الابخرة المنبعثة من المعادن الزرنيخية عند حكها أو تسخينها مثل معدن الأرسينوبيرايت (FeAsS).

٥- رائحة كبريتية Sulfurous وهى رائحة كب أ٢ ؛ الذى يخرج عند تسخين الكبريتيدات كالبيريت pyrite .

### الملمس : Feel or touch

لمس المعدن هو التأثير الذى نشعر به عندما نلمسه أو نتناوله أنواع الملمس المألوفة هى :

- ١- بارد cold وهو ملمس الموصلات الجيدة للحرارة كالمعادن الفلزية للنحاس والفضة وبعض الاحجار الكريمة
- ٢- شحمى او صابونى greasy or soapy مثل معدن التلك.
- ٣- خشن Rough or Harsh مثل ملمس معدن الطباشير
- ٤- ناعم smooth سطح أملس من غير نتوءات مثل السيبيلولايت Sepiollite .

### الوزن النوعى (الثقل النوعى) Specific gravity

الثقل النوعى لجسم صلب هو نسبة وزن حجم معين منه فى الهواء لوزن حجم مماثل له من الماء عند ٤° مئوية. وبعبارة أخرى هو نسبة كثافة المعدن إلى كثافة الماء. والثقل النوعى صفة من أهم الصفات المميزة للمعادن وهو ثابت القيمة للمعدن الواحد عند ثبات درجة الحرارة والتركيب الكيميائى. ويختلف الثقل النوعى إختلافاً واضحاً بين كثير من المعادن التى لها صفات طبيعية شديدة التشابه ، فالسيلستيت celestite (SrSO4) (كبريتات السترونشيوم) ثقله النوعى ٣.٩٥ يسهل تمييزه من المعدن الشديد التشابه به وهو الباريت (كبريتات الباريوم) Barite (BaSO4) ذو الثقل النوعى ٤.٥. ويتوقف الثقل النوعى على التركيب الكيميائى للمعدن ، فقد تتغير قيمته وتتراوح بين قيمتين ثابتتين إذا ما تغير التركيب الكيميائى للمعدن كما هو الحال فى مجموعات المعادن المتشاكلة مثل مجموعة الأوليفينات التى يتراوح الوزن النوعى لأفرادها ما بين "٣.٢" للنوع الغنى بعنصر الماغنسيوم (معدن الفورستريت "Mg2(SiO4) Forsterite" و "٤.٣" للنوع الغنى بعنصر الحديد (معدن الفاياليت

"Fayalite" ( $Fe_2(SiO_4)$ ) . وكذلك الحال فى مجموعة الفلسبارات البلاجيوكليزية التى يتناقص الوزن النوعى لأفرادها نتيجة إحلل عنصر الصوديوم محل عنصر الكالسيوم ، ويتراوح ما بين "٢.٧٦" لمعدن الأنورثيت ( $CaAl_2Si_2O_8$ ) Anorthite ، "٢.٦" لمعدن الألبيت ( $NaAlSi_3O_8$ ) Albite . ويتغير الوزن النوعى لأفراد مجموعة البيروكسينات Pyroxenes تبعاً لتغير التركيب الكيميائى ، فيصبح كبيراً نسبياً فى المعادن التى تحتوى على نسبة عالية من عنصر الحديد . ويرجع هذا الإختلاف فى الوزن النوعى إلى إختلاف الأوزان الذرية لمكونات المعادن .

ولايتوقف الوزن النوعى للمعدن على تركيبه الكيميائى فقط ، بل يتوقف كذلك على التركيب البلورى ، فيتغير تبعاً لطريقة رص الذرات المكونة له . فقد يكون الترتيب الذرى للمعدن كثيفاً ، أى أن ذراته مترابطة فى تقارب وإحكام فى نظام مميز ، أو قد يكون غير كثيف الترتيب حيث توجد الذرات المكونة له فى نظام رص متباعد ، فيتميز معدن الماس بوزن نوعى "٣.٥" أكبر من الوزن النوعى لمعدن الجرافيت "٣.٢" علماً بأن التركيب الكيميائى لكليهما واحد وهو عنصر الكربون (C). إلا أنهما يختلفان فى التركيب البلورى ، حيث أن التركيب البلورى للماس مكعبى النظام ، بينما فى معدن الجرافيت نجده سداسى النظام .

### تعيين الثقل النوعى للمعادن :

يمكن تعيين الثقل النوعى للمعادن بطرق عديدة تتوقف على حجم وخواص المعدن . والفكرة الاساسية فى معظم التقديرات هو ان النقص فى وزن جسم ما عندما يغمر فى الماء يساوى وزن الماء المزاح ، أى يساوى وزن حجم من الماء مساو لحجم الجزء المغمور من الجسم .

فاذا كان وه = وزن الجسم فى الهواء

وكان وم = وزن الجسم فى الماء

فإن النقص فى وزن الجسم = وه - وم = وزن الماء المزاح .

عندئذ يصبح الثقل النوعى لهذا الجسم = وه / وه - وم .

ولإيجاد الثقل النوعى لمعدن ما يجب التأكد من نقاوته وخلوه من الشوائب والفجوات الهوائية التي قد ينشأ عنها إختلاف الثقل النوعى للمعدن الواحد. وأهم الطرق المستعملة فى تعيين الثقل النوعى هى :-

### (١) تعيين الثقل النوعى بواسطة الميزان الكيمياءى العادى:

- ١ - يُوزن الجسم فى ميزان كيمياءى جيد.
- ٢ - يُعلق الجسم بواسطة خيط أو سلك رفيع من أحد ذراعى الميزان ويغمر فى ماء موضوع فى كأس والكأس مرتكز على كوبرى خشبى فوق كفة الميزان.
- ٣ - يُعين وزن الجسم وهو فى هذا الوضع مغموراً فى الماء.
- ٤ - الثقل النوعى هو حاصل قسمة وزن الجسم فى الهواء على الفرق بين وزنه فى الهواء ووزنه فى الماء.

### (٢) تعيين الثقل النوعى بواسطة الميزان ذو السلك الزنبركى

#### Spiral spring balance

يمكن تعيين الثقل النوعى بواسطة الميزان ذو السلك الزنبركى المعروف عادة باسم ميزان جولى **Jolly balance** (الشكل المقابل).

يتركب الميزان من الأجزاء الآتية :

- ١ - أنبوبة رأسية خارجية متسعة (١) مثبت بها ورنية داخلية ثابتة.
- ٢ - أنبوبة مستديرة داخلية (٢) تتحرك داخل الأنبوبة الخارجية المتسعة بواسطة رأس كبيرة حلزونية (ر) ومثبت على هذه الأنبوبة المستديرة ورنية خارجية متحركة ومقياس مدرج من الجانبين ، فاذا ما تحركت الأنبوبة الداخلية إلى أعلى تحركت معها الورنية الخارجية المتحركة والمقياس المدرج .

٣- يوجد بداخل الأنبوبة المستديرة الداخلية قضيب ذو طول متغير (٣) . يحمل هذا القضيب السلك الزنبركى (٤) بواسطة ذراع ، ويتدلى فى نهاية السلك الزنبركى مؤشر أو دليل (٥) وكفتى ميزان (أ ، ب).

### طريقة الاستعمال :

١- عند بدء أستعمال الميزان يجب ضبطه بحيث يكون المقياس المدرج والورنيتان والمؤشر (المعلق من السلك الزنبركى) كلها عند علامة الصفر وأن تغمر كفة الميزان السفلى فى الماء . ويمكن إعداد ذلك بتعديل طول القضيب الداخلى الذى يحمل السلك الزنبركى بواسطة اليد ثم ضبطه عند الصفر بواسطة المسمار الحلزونى الدقيق (الميكرومترى) Micrometer screw الموجود أسفل الزنبرك مباشرة .

٢- توضع قطعة المعدن فى الكفة العليا للميزان (ب) ثم تدار الرأس الكبيرة الحلزونية (ر) فتحمل معها كل من الأنبوبة المستديرة الداخلية والمقياس المدرج من الجانبين والورنية الخارجية إلى أعلى ، حتى نعيد المؤشر إلى علامة الصفر مرة ثانية. وفى هذا الوضع تسجل الورنية الداخلية (الثابتة) القراءة " و " على أحد التدريجين ، وهى مقدار الإستطالة التى حدثت فى السلك الزنبركى نتيجة لوزن قطعة المعدن فى الهواء . ويثبت المقياس المدرج عند هذه القراءة بواسطة مسمار حلزونى صغير عند الطرف السفلى للمقياس (٦).

٣- يُنقل المعدن بعد ذلك إلى الكفة السفلى للميزان (أ) ويُغمر فى الماء وتُحرك الأنبوبة المستديرة الداخلية الى أسفل بواسطة الرأس الكبيرة الحلزونية (ر) حتى يشير المؤشر إلى الصفر مرة أخرى . وأثناء هذه العملية تتحرك الورنية الخارجية إلى أسفل بالنسبة للمقياس المدرج (الذى تُبِتَ فى المرحلة السابقة) ، ونأخذ قراءة هذه الورنية فى هذا الوضع ولتكن " و " على التدرج الآخر ، وتمثل هذه القراءة مقدار مافقده المعدن فى الوزن نتيجة غمسه فى الماء .

وعلى ذلك فإن القراءتين عند " و " وعند " و " هما كل البيانات المطلوب معرفتها لحساب الثقل النوعى للمعدن ، إذ أن :

$$\frac{\text{الوزن النوعى}}{\text{الوزن فى الهواء و}} = \frac{\text{الوزن النوعى}}{\text{ما يفقده الوزن فى الماء و}}$$

### ٣) تعيين الثقل النوعى بواسطة قنينة الكثافة "بيكنوميتر" Pycnometer :

تستعمل هذه الطريقة لتعيين الثقل النوعى للقطع الصغيرة من المعادن والأحجار الكريمة والبيكنوميتر عبارة عن قنينة صغيرة من الزجاج لها غطاء من الزجاج أيضا ذو ثقب صغير يمر بطول هذا الغطاء المخروطى الشكل (الشكل المقابل). وتتم الطريقة كالتالى :-

- ١- يوزن المعدن بمفرده (فى الهواء) وليكن وزنه "و" .
- ٢- توزن القنينة وهى مليئة بالماء المقطر + المعدن (وهو موضوع على الكفة خارج القنينة ، وليكن وزنها فى هذه الحالة " و " )
- ٣- توزن القنينة وهى مليئة بالماء المقطر وبداخلها المعدن وليكن وزنها فى هذه الحالة " و " .

$$٤- \text{وزن الماء المزاح (يساوى حجم قطعة المعدن)} = \text{و} - \text{و} \quad \text{و}$$

عندئذ فإن الوزن النوعى = و / و - و .

### ٤) تعيين الثقل النوعى باستخدام السوائل الثقيلة Heavy Liquids ذات الوزن

#### النوعى المعروف :

المعروف أن المعدن الثقيل يسقط إلى القاع إذا غمس فى سائل وزنه النوعى أقل من الوزن النوعى للمعدن . فإذا رفعنا الوزن النوعى للسائل - ويحدث ذلك مثلاً بأن نضيف سائلاً آخر له وزن نوعى أكبر قابل للذوبان تماماً فى السائل الأول - فإنه يمكننا أن نصل إلى درجة من الوزن النوعى للسائل الناتج الجديد بحيث إذا غمس المعدن فيه فإنه لا يغطس ولا يطفو ولكن يأخذ مكاناً متوسطاً ، أى يظل معلقاً فى وسط السائل وفى هذه الحالة يكون الوزن النوعى للمعدن مساوياً للوزن النوعى للسائل . ويمكن فى هذه

الحالة تعيين الوزن النوعى للسائل بسهولة وذلك بواسطة إستعمال ميزان وستفال Westphal balance (الشكل التالى)

حيث يوضع السائل المراد تعيين وزنه النوعى فى المخبار الذى يتدلى فيه الغاطس ، ثم توضع أثقال مناسبة على الذراع حتى يبقى الغاطس معلقا فلى السائل. والميزان فى حالة إتزان ، ويُقرأ الوزن النوعى من عدد ونوع الأثقال المستعملة ، ويكون هذا العدد هونفسه الوزن النوعى للمعدن . ومن أمثلة السوائل التى تستعمل فى تعيين الوزن النوعى للمعادن هى :

١- البروموفورم Bromoform ، وزنه النوعى ٢.٩ .

٢- يوديد الميثيل Methylene iodide ، وزنه النوعى ٣.٢ .

ويمكن تقدير الوزن النوعى للمعدن بصفة تقريبية بواسطة اليد كالتالى:

المعدن خفيف إذا قل وزنه النوعى عن ٢.٤ .

المعدن متوسط إذا كان وزنه النوعى بين ٢.٤ ، ٣.٢ .

المعدن ثقيل إذا كان وزنه النوعى بين ٣.٢ ، ٥ .

المعدن ثقيل جداً إذا كان وزنه النوعى أكبر من ٥ .

ويستفاد من إختلاف الوزن النوعى فى فصل المعادن والخامات المعدنية وتركيزها . وتستغل الطبيعة أيضا هذا الإختلاف فى الوزن النوعى فى فرز المعادن Sorting ، وتجميعها فى أماكن مختلفة ، كل بحسب وزنه النوعى . فمثلا المعادن الثقيلة لاتنتقل مسافات كبيرة وتتركز بالقرب من مصادرها الأصلية . أما المعادن الخفيفة فيمكن للسيول أو المياه الجارية أو حتى الرياح أن تنقلها إلى مسافات بعيدة عن مصادرها الأصلية وبذلك تفصلها عن المعادن الثقيلة.



وأثناء تبلور الماجما Magma التى تتكون منها المعادن والصخور النارية - تريب المعادن الثقيلة إلى القاع بينما تطفو بقية المعادن وتبقى بالقرب من الجزء العلوى للجسم المتبلور .

### الخواص الحرارية Thermal Properties

#### قابلية المعدن للإنصهار Fusibility :

إذا عرضنا قطعة صغيرة من المعدن لها حروف حادة للهب بواسطة ملقاط ، نلاحظ أن بعض المعادن تنصهر فى لهب الشمعة ، فى حين لا تنصهر معادن أخرى فى هذا اللهب ، ولكنها تنصهر فى لهب مصباح بنزن ، ومعادن ثالثة تنصهر فقط فى لهب البورى (لهب بنزن ممزوج بكية كبيرة من الهواء) ، ومعادن رابعة تستدير حوافها فقط فى لهب البورى ، ومعادن أخيرة لا تنصهر بالمرّة ولا تتأثر بلهب البورى ، وتعرف هذه الخاصية بإسم قابلية المعدن للإنصهار Fusibility .

وتعيين درجة الإنصهار للمعادن من الأمور الصعبة ، وليس له أهمية كبيرة فى التعرف على المعادن ، ولكنه ذو فائدة وأهمية فى الدراسات النظرية والبتروجرافية (دراسة الصخور) .

### الخواص المغناطيسية Magnetic Properties

يتميز معدن الماجنيتيت (Magnetite  $Fe_3O_4$ ) بخاصيته المغناطيسية القوية . كما أن بعض عينات هذا المعدن لها القدرة على الاستقطاب بحيث يجذب أحد طرفيها إلى القطب الشمالى لإبرة البوصلة ، بينما يتنافر الطرف الآخر. وبعض المعادن مثل الهيماتيت (Hematite  $Fe_2O_3$ ) والكروميت (Chromite  $FeCr_2O_4$ ) ، والولفراميت (Wolframite  $[(Fe,Mn)WO_4]$ ) لها خاصية الانجذاب إلى المغناطيس وتسمى هذه الخاصية بـ"البارامغناطيسية" . أما المعادن التى تتنافر مع المغناطيس مثل الكالسيت (Calcite  $CaCO_3$ ) ، والكوارتز (Quartz  $SiO_2$ ) ،

والزركون (Zircon (ZrSiO<sub>4</sub>) فتسمى "ديامغناطيسية" . ومن ضمن التطبيقات الهامة للخواص المغناطيسية للمعادن نذكر مايتأتى:

( أ ) يعتمد الكشف الجيوفيزيقي لبعض الرواسب المعدنية الفلزية مثل خامات الحديد والنيكل على الصفات المغناطيسية لمعادن الأكاسيد والكبريتيدات لهذه الفلزات .

(ب) تستخدم وسائل الكشف الجيوفيزيقي بالطرق المغناطيسية لتحديد تراكيب الصخور تحت السطحية وبذلك تساعد فى البحث عن البترول والغاز الطبيعى والمياه الأرضية ، وفى دراسة مواقع المنشآت الهندسية الهامة مثل السدود والخزانات والأنفاق .

(ج) نتيجة لاختلاف المعادن فى خواصها المغناطيسية فإنه يمكن فصلها وتركيزها بالوسائل الكهرومغناطيسية والتي تعتبر من الطرق الهامة المستخدمة على نطاق صناعى كبير فى عمليات تركيز الخامات ، ويمكن بتغيير شدة المغناطيس الكهربي فصل المعادن ذات الخواص المغناطيسية المختلفة عن بعضها .

### الخواص الكهربائية Electrical Properties

بعض المعادن ذات البريق الفلزي مثل الجرافيت والكبريتيدات (ماعد السفاليريت) وبعض الأكاسيد موصلة جيدة للكهرباء ، ولكن معظم المعادن موصلة رديئة أو غير موصلة للكهرباء . وعند تسخين بعض المعادن تحت ظروف معينة تصبح مشحونة بالكهرباء وتسمى هذه الخاصية بالكهرباء الحرارية Pyroelectricity وتوجد هذه الخاصية فقط فى بلورات المعادن التى لا يوجد بها مركز للتماثل ولها محاور قطبية للتماثل تنتهى بأوجه غير متشابهة مثل بلورات معدن التورمالين Tourmaline . كذلك قد تتولد شحنات كهربية على بلورات ليس لها مركز للتماثل نتيجة للضغط الموجه على البلورة وتسميهذه الخاصية بالكهرباء الإحتكاكية Piezoelectricity ، وتشبه الكهرباء الحرارية فى أنها أكثر وضوحاً على طول

المحاور القطبية التي تسمى بالمحاور الكهربية . وفي حالة بعض الخامات المعدنية الفلزية مثل خامات النحاس والرصاص تستخدم طرق الإستكشاف الجيوفيزيقي بالوسائل الكهربية للبحث عن هذه الخامات تحت سطح الأرض . وجدير بالذكر أنه في الأغراض الصناعية تتم إحدى طرق فصل خليط من المعادن ذات خواص كهربية مختلفة بالوسائل الكهربية الاستاتيكية ، فعلى سبيل المثال يمكن باستخدام هذه الطريقة فصل معدن السفاليريت الموصل الرديء للكهرباء من معادن جيدة التوصيل الكهربي مثل الجالينا والبيريت .

### خاصية الإشعاع الذري Radioactivity

تنتج هذه الخاصية عن إحتواء المعدن لبعض العناصر المشعة مثل اليورانيوم أو الثوريوم ، وفي هذه الحالة يصدر عن المعدن إشعاعات Radiations لانراها أو نشعر بها ، ولكن إذا عُرضَ المعدن للوح فوتوغرافي حساس فإن هذه الإشعاعات تؤثر على اللوح ، وتترك أثراً وصورة للمعدن المشع بعد تحميض اللوح ولذلك يمكن الكشف عن هذه المعادن المشعة بواسطة الألواح الحساسة الفوتوغرافية أو بواسطة أجهزة خاصة تتأثر بهذه الإشعاعات وتحولها إلى صوت يمكن سماعه بسماعة الجهاز أو وميض ضوئي يمكن رؤيته . ومن أمثلة هذه الأجهزة عداد جيجر Geiger Counter وهو جهاز صغير يسهل حمله في اليد ، ويساعد كثيراً في الكشف عن الخامات المشعة على سطح الأرض .

### التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية

قام الجيولوجيون بجمع عينات كثيرة لأنواع مختلفة من الصخور ، ومن مناطق متعددة من سطح الأرض ، ثم قاموا بعد ذلك بتحليلها بغية الوصول إلى معرفة تركيبها الكيميائي . ومن هذه التحاليل توصلوا إلى معرفة متوسط التركيب الكيميائي للجزء الخارجي من القشرة الأرضية كما هو مبين في الجدول التالي :

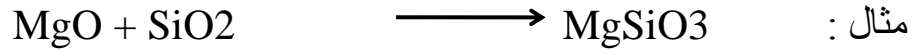
التركيب فى صورة أكاسيد			التركيب فى صورة عناصر		
النسبة %	القانو ن	إسم الأكسيد	النسبة %	الرمز	إسم العنصر
-	-	-	٤٦.٧١	O	الأكسجين
٥٩.٠٨	SiO 2	سيليك	٢٧.٦٩	Si	السيليكون
١٥.٢٣	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ألومينا	٨.٠٧	Al	الألومنيوم
٦.٨١	FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	أكسيد الحديد	٥.٠٥	Fe	الحديد
٥.١٠	CaO	أكسيد الكالسيوم	٣.٦٥	Ca	الكالسيوم
٣.٧١	Na <sub>2</sub> O	أكسيد الصوديوم	٢.٧٥	Na	الصوديوم
٣.١١	K <sub>2</sub> O	أكسيد البوتاسيوم	٢.٥٨	K	البوتاسيوم
٣.٤٥	Mg O	أكسيد الماغنسيوم	٢.٠٨	Mg	الماغنسيوم
٩٦.٤٨	-	المجموع	٩٨.٥٨		المجموع

من هذا الجدول يمكننا أن نلاحظ حقيقتان هامتان :

(١) أن ثمانية عناصر فقط تكون حوالى ٩٩% بالوزن من تركيب القشرة الأرضية وأن بقية العناصر ومن بينها الذهب والفضة والنحاس والرصاص والزنك تكون فقط ١% بالوزن من تركيب القشرة الأرضية.

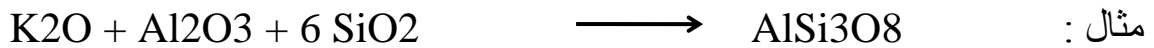
(٢) أن الأكسجين هو أكثر العناصر الثمانية إنتشاراً على الإطلاق ولكن هذا لايعنى أن الأكسجين حر طليق فى القشرة الأرضية ولكنه مرتبط إرتباطاً كيميائياً فى الصخور المختلفة - كذلك الحال بالنسبة للعناصر السبعة الأخرى فهى لاتوجد بحالتها العنصرية هذه فى الصخور .

وتشير الدراسة الكيميائية أن العناصر سالفة الذكر عبارة عن فلزات بإستثناء الأكسجين والسيليكون فله ميل نحو الفلزات وكذلك خواصه تدل على أنه يقع بين الفلزات واللافلزات . وتتحد العناصر السبعة مع الأكسجين لتكون الأكاسيد :



سيليكات الماغنسيوم (معدن الإنستاتيت Enstatite)

وعادة مايتحد أكثر من أكسيد فلزى مع أكسيد السيليكون لتكون سيليكات ثنائية أو ثلاثية أكثر تعقيدا مثل سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم .



معدن الأرتوكليز Orthoclase

هذه السيليكات وغيرها من المركبات الكيميائية التى توجد فى الطبيعة وتكونت بفعل الطبيعة ، هى مانسميها بالمعادن ، وهى التى تدخل فى تركيب الصخور المختلفة التى تكون القشرة الأرضية والغلاف اليابس .

وهناك بعض العناصر تكون معادن بمفردها ، مثل الذهب والنحاس والكبريت والكاربون . ونظراً لتواجد هذه المعادن فى الطبيعة مكونة من عنصر واحد فقط ، لذلك فإنها تعرف بإسم المعادن العنصرية Native Minerals ومن أمثلتها معادن الذهب والنحاس والكبريت والماس والجرافيت . ويجب أن نضع فى الإعتبار دائماً أن الخاصية الأساسية للمعادن أنها تنتج وتتكون بواسطة الطبيعة ، أى أنها منتجات طبيعية وليست صناعية .

وفى كثير من الأحوال لا يوجد المعدن بمفرده فى الطبيعة ، ولكنه يوجد مختلطاً مع معدن آخر أو أكثر ، وينتج عن ذلك مخلوط من عدة معادن مثل هذا المخلوط الطبيعى من معادن مختلفة هو ما يُعرف بإسم صخر Rock.

## دراسة الرواسب المعدنية Mineral Deposits

### أصل المعادن وتجمعاتها وظهورها فى الطبيعة

تبحث هذه الدراسة فى طريقة تكوين الرواسب المعدنية من حيث أصلها Origin ، وكيفية نشأتها وتجمعاتها Paragenesis ، وظهورها فى الطبيعة Occurrence.

تختلف المعادن إختلافاً بيناً يتوقف على أصلها ، فينشأ بعضها من مصهور صخرى "صهير أو ماجما" Magma ، وبعضها من محاليل ، وقد ينشأ البعض الآخر من أصل غازى ، أو من مادة صلبة سبق تكوينها ثم اضطرت إلتغير أو التحول نتيجة لتغير الظروف الطبيعية المحيطة بها . وتتكون المعادن فى تجمعات طبيعية مميزة تدل دلالة واضحة على أصلها وكيفية نشأتها ، فالمعادن المكونة لإحدى التجمعات مرتبطة ببعضها إرتباطاً وثيقاً فى أصلها وبيئتها ، وغالبا ماتعبر تعبيراً صادقاً عن نسلتها من أصل واحد ، أى من مكونات متشابهة العناصر ، بل تعبر كذلك على ظروف بيئية أى ظروف نشأة واحدة ، فمثلاً يدل تجمع معادن الأباتيت ، الفلوريت

، التوباز ، التورمالين على أنها تتكون من أصل يحتوى على عناصر الفوسفور والبورون والفلور والكلور ، وأنها تكونت تحت درجة عالية من الحرارة والضغط ، فى حين أن تجمعاً من معادن الكبريتيدات مثل البايريت ، ستينيت (  $Sb_2S_3$  ) Stibnite وأرجينيت (  $Ag_2S$  ) Argentite تدل دلالة قاطعة على أنها نشأت من أصل يحتوى على عنصر الكبريت بجانب عناصر أخرى تحت ظروف متوسطة من الحرارة والضغط . وتتكون الرواسب المعدنية بطرق مختلفة أهمها مايتى :

### تكون المعادن من الصهير "الماجما" Magma ، أو الحمم "الافا" Lava

الصهير عبارة عن سائل صخرى منصهر ، معقد التركيب ، ثقيل القوام ولزج لدرجة تسمح بتحريك العناصر المكونة له بحرية فى درجات الحرارة العالية ، ويوجد على أعماق بعيدة تحت سطح القشرة الأرضية . وأما الحمم أو اللافا فهى سائل صخرى منصهر يظهر على سطح الأرض متدفقا من فوهات البراكين الثائرة . ويتوقف نوع المعادن الناتجة من الصهير على تركيبه الكيميائى . ويتكون الصهير بصفة عامة من :

(١) مكونات غير طيارة Non-volatile constituents : ذات درجة إنصهار عالية تزيد على  $1000^{\circ}C$  ، وتتكون ٩٩% من هذه المواد من أكاسيد سبعة أحدها حامضى وهو ثانى أكسيد السيليكون ( $SiO_2$ ) ويوجد بنسبة عالية جداً تتراوح ما بين ٣٥% إلى ٧٥% من مجموع المكونات غير الطيارة . وأما باقى الأكاسيد فهى قاعدية وتشمل أكسيد الألومنيوم ( $Al_2O_3$ ) وتتراوح نسبته ما بين صفر إلى ٢٥% ، وأكاسيد الحديدوز والحديديك ( $FeO, Fe_2O_3$ ) ، وتتراوح نسبتها ما بين صفر إلى ٢٠% ، وأكسيد الماغنسيوم ( $MgO$ ) وتتراوح نسبته ما بين صفر إلى ٤٥% ، وأكسيد الكالسيوم ( $CaO$ ) وتتراوح نسبته ما بين صفر إلى ٢٠% وأكسيد الصوديوم ( $Na_2O$ ) من صفر الى ١٦% ، وأكسيد البوتاسيوم ( $K_2O$ ) من صفر إلى ١٢% . ولاتوجد كل هذه الأكاسيد مجتمعة فى كل ماجما ، فالصهير الغنى بالسيليكا والألومينا والقلويات

(صوديوم - بوتاسيوم) عادة ما يكون فقيراً في أكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم والحديد .  
وتكثر الأكاسيد الثلاثة الأخيرة في الصهير الفقير في السيليكات والألومينا والقلويات .

(٢) مكونات طيارة Volatile constituents : مثل الفلور ، الكلور ، البورون ، الكبريت ، بخار الماء وثاني أكسيد الكربون ، وتوجد بكميات ضئيلة جداً في أنواع الصهير المختلفة ، ولكن قد تزداد كمياتها نتيجة تركيزها أثناء تصلد الصهير . وهذه المواد الطيارة ذات أهمية بالغة في تكوين الركاز "خامات المعادن" Mineral Ores . وتكون المواد الطيارة مع بعض المواد غير الطيارة الأخرى الثانوية مايعادل ١% فقط من الصهير .

عندما يبرد الصهير يبدأ في التصلد والتبلور باتحاد واحد أو أكثر من الأكاسيد القاعدية مع السيليكات الحامضية تحت ظروف مناسبة من الحرارة والضغط ليكون معادن السيليكات . ويتوقف نوع معادن السيليكات الناتجة على تركيب الصهير ، فذلك الغنى أصلاً بالسيليكات والألومينا والقلويات يكون معادن الفلسبارات والكوارتز والماسكوفيت ، بينما تنتج المعادن الحديدوماغنيسية مثل الأوليفين ، والبيروكسينات ، الأمفيبولات ، والبيوتيت من صهير غنى أصلاً في السيليكات وأكاسيد الماغنسيوم والحديد والكالسيوم ، وأما الصهير الغنى بالقلويات والفقير في السيليكات فإنه يعطى معادن ذات نسبة عالية من القلويات تسمى المعادن الفلسباتية Felspathoids مثل النيفيلين Nepheline (NaAlSiO<sub>4</sub>) ، لوسيت Leucite (KAlSi<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) .

### تصلد الصهير Consolidation of Magma

يتصلد الصهير في مراحل مختلفة كمايلي :

(١) مرحلة الصهير القويم Orthomagmatic stage : وتبدأ بعملية إنعزال أو تمايز Segregation لبعض الفلزات ، والأكاسيد الفلزية وبعض الكبريتيدات الفلزية الصعبة الذوبان أو الإمتزاج في الصهير . وينتج عن عملية التمايز تركيز المواد ذات الأهمية الاقتصادية في راسب معدنية تحتوى على الفلزات مثل الذهب والبلاطين ،



والأكاسيد مثل معدن الماجنيتيت ، الإلمنيت (FeTiO<sub>3</sub>) Ilmenit ، الكروميت  
 Chromite (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ، والكبريتيدات مثل معدن الكالكوبيريت Chalcopyrite  
 (CuFeS<sub>2</sub>) ، ومعدن بيروتيت Pyrrhotite (FeS) . وتسمى هذه المعادن عادة  
 بالمعادن الإضافية Accessory minerals ، حيث أنها تكون جزءاً صغيراً جداً  
 بالنسبة لكتلة الصهير ، وتسمى المعادن السيليكاتية معادن أساسية لأنها تكون مايقرب  
 من ٩٩% من الصهير . وبتنخفاض درجة حرارة الصهير تبدأ المعادن الأساسية

Essential minerals في التبلور حسب نظام معين :

فتتبلور أولاً المعادن القاعدية الفقيرة في السيليكات وذلك لأنها أقل ذوباناً من  
 غيرها ، ثم تليها المعادن الأقل قاعدية المحتوية على نسبة كبيرة من السيليكات ثم الأكثر  
 حامضية التي تحتوى على نسبة قليلة من العناصر القاعدية . وتعرف هذه العمليات  
 الانفصالية لمعادن السيليكات أثناء تصد الصهير بالتبلور النوعى Crystallization  
 differentiation أو التبلور التجزيئى Fractional Crystallization ؛ فمثلاً عند  
 تصد صهير متوسط التركيب تبدأ معادن السيليكات الحديدوماغنيسية Femic -  
 المحتوية على نسبة عالية من عناصر الحديد والماغنسيوم في التبلور مثل معادن  
مجموعة الأوليفين ( سيليكات الحديد والماغنسيوم ) ، تليها معادن الفلسبارات  
البلاجيوكليزية ، وتبدأ هذه بالمعادن الغنية بالكالسيوم (الأنورثيت - أكثر قاعدية من  
 البلاجيوكليز الصوديومى) ثم تتدرج إلى المعادن البلاجيوكليزية الفقيرة في الكالسيوم  
 والغنية في الصوديوم (ألبيت) . وقد تنفصل في نفس الوقت معادن البيروكسينات وهى  
 سيليكات الألومنيوم والماغنسيوم والحديد والكالسيوم مثل الإنستاتيت Enstatite  
 (MgSiO<sub>3</sub>) ومعدن الأوجيت Augite ، ثم تلى البيروكسينات فى عملية التبلور  
 النوعى معادن الأمفيبولات وهى سيليكات الألومنيوم والكالسيوم والحديد والماغنسيوم  
 والماء مثل معدن الهورنبلند Hornblende . يتبع ذلك معادن الميكا مبتدئة بمعدن  
 الميكا السوداء المحتوية على الحديد والماغنسيوم مثل البايوتيت Biotite (سيليكات  
 الألومنيوم والبوتاسيوم والحديد والماغنسيوم والماء) ، ثم الميكا البيضاء الخالية من

الحديد والماغنسيوم مثل الماسكوفيت Muscovite (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والماء). وفى ذلك الوقت الذى تنفذ فيه كمية العناصر القاعدية (الماغنسيوم والحديد والكالسيوم) من الصهير تبدأ المعادن الأقل قاعدية ، الخالية من هذه العناصر والمحتوية على القلويات (الصوديوم والبوتاسيوم)، فى التبلور ، فتبدأ بالبلاجيوكليز الصوديومى مثل الأليجوكليز والألبيت Aligoclase & Albite (سيليكات الألومنيوم والصوديوم)، ثم **معادن الفلسبارات البوتاسية** مثل معدن الأرتوكليز والميكروكلين Orthoclase & Microcline (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم). ويصبح الصهير بعد ذلك خالياً من كل أكاسيد العناصر القاعدية فتزداد الحموضة نسبياً بإزدياد السيليكا ويبدأ **معدن الكوارتز Quartz** فى التبلور. وبانتهاء مرحلة الصهير القويم - التى يتم فيها تمايز بعض الفلزات وأكاسيدها وكبريتيداتها ثم انفصال بقية المواد غير الطيارة بالتبلور النوعى - يصبح الصهير المتبقى غنياً فى المواد الطيارة Volatile constituents والمواد الصاهرة Fluxes. وتتكون المواد المتخلفة عن المرحلة الأولى من جزئين : جزء سائل أقل لزوجة عن المرحلة السابقة **ويعرف بالمرحلة البيجماتيتية Pegmatetic stage** ، ويشمل الجزء الآخر الغازات والأبخرة والمواد الطيارة ويكون المرحلة الغازية Pneumatolytic stage .

## (٢) **المرحلة البيجماتيتية Pegmatetic stage :**

يتكون الصهير فى هذه المرحلة من الجزء السائل الذى يزداد فيه تركيز بعض المعادن ذات القيمة الإقتصادية ، التى تتكون من العناصر الإضافية (غير الأساسية بالنسبة إلى الصهير كله). ويؤدى إغتناء هذا الجزء السائل بالمواد الصاهرة Fluxes إلى نمو بلورات المعادن فى هذه المرحلة إلى أحجام كبيرة تسمح باستغلالها . وتسمح درجة سيولة الصهير فى هذه المرحلة بحرية التحرك لمكوناته ، إذ غالباً ما يغزو السائل البيجماتيتى الفراغات والشقوق ويتسرب بين مستويات الكسور فى الصخور المحيطة به - وقد يتسرب الى مسافات بعيدة - حيث تقل درجة حرارته وتبدأ مكوناته فى التبلور

ببطء ، فتنمو بذلك بلورات ذات حجم كبير لمعادن ذات قيمة إقتصادية مثل الفلسبار والكوارتز والميكا ومعادن الزينة مثل التوباز (الزمرد) والأباتيت والتورمالين .

### ٣) المرحلة الغازية Pneumatolytic stage :

هذه هي مرحلة الغازات المتبقية بعد المرحلتين السابقتين من تصلد الصهير ، وتتكون من غازات وأبخرة حارة نشطة ومواد طيارة قوية التفاعل . وتتسرب هذه الغازات احثة عن منفذ لها بين الشقوق والفواصل والفوالق والكسور والمسام فى صخور المكان Country Rocks أى المحيطة بالصهير ، حيث تتعرض للبرودة ، وتتفاعل مع بعضها وكذلك مع الصخور المحيطة بها ، أو قد تتفاعل مع المعادن التى قد سبق تكونها من تصلد الصهير فى مرحلتيه السابقتين ، فتكون معادن أخرى مميزة لهذه المرحلة مثل:-

#### أ - معادن الكاسيتريت (SnO2) Cassiterite، والولفراميت

Wolframite [(Fe,Mn)WO4] : حيث يتفاعل الفلور (F) وهو أحد المكونات الطيارة للصهير مع القصدير (Sn) مكوناً فلوريد القصدير (SnF4) وهذه مادة طيارة سهلة التسرب والهروب من الصهير ، ثم تتفاعل مع الماء فى درجة حرارة منخفضة وينتج عن هذا التفاعل أكسيد القصدير (معدن الكاسيتريت "SnO2" Cassiterite) ، وحمض هيدروفلوريك (HF) الذى يتفاعل بدوره مع الصخور الجيرية المجاورة ليكون فلوريد الكالسيوم وهو معدن الفلوريت (CaF2) ، ولهذا غالباً ما يوجد معدن الكاسيتيريت مصحوباً بمعدن الفلوريت أو مجاوراً له.

**ب - معادن التيتانيوم :** يتفاعل غاز الكلور مع التيتانيوم الذى قد يتواجد فى الصهير فينتج كلوريد التيتانيوم (TiCl4) الطيار الذى يتفاعل مع الماء وينتج عنه حمض الهيدروكلوريك وأكسيد التيتانيوم (TiO2) مثل معادن الروتيل Rutile، أناتاز Anatase ، بروكيت Brookite.

**ج - معادن الفوسفور :** مثل الأباتيت Apatite (فوسفات وكلوريد أو فلوريد الكالسيوم) ، والمعادن الحاوية للبورون مثل معدن التورمالين Tourmaline (بوروسيليكات الألومنيوم والحديد والماغنسيوم والكالسيوم) ، والمعادن الحاوية للفلور مثل معدن التوباز Topaz  $[Al_2(SiO_4)(F,OH)_2]$ . ومن الجدير بالذكر أن بعض الغازات الطيارة قد تتصاعد من فوهات البراكين الثائرة وقت إنفجارها فلا تلبث أن تبرد وتتجمد بسرعة نتيجة الإنخفاض المفاجيء فى درجة الحرارة والضغط الواقع عليها فتترسب مباشرة حول فوهات البراكين حيث توجد معادن الكبريت وأحياناً هاليت وملح الأمونيا Sal-ammoniac، وحمض البوريك .

#### **٤) مرحلة المحاليل المائية الحارة Hydrothermal stage :**

وهذه آخر مرحلة فى تصد الصهير حيث يصبح الجزء المتبقى منه محلولاً مائياً حاراً جداً ذات نشاط كيميائى كبير ، ولذلك فهو قادر على إذابة وحمل معظم المركبات الفلزية ذات القيمة الإقتصادية . وتترسب هذه المحاليل الحارة بما تحمله عبر الشقوق والفواصل والفجوات ، وقد تصل إلى مسافات بعيدة عن مصدرها ، وهناك تبدأ فى تفرغ شحنتها بترسيب ماتحمله من محاليل معدنية مختلفة نتيجة للبرودة وإنخفاض الضغط الواقع عليها . وتترسب أولاً المعادن القليلة الذوبان فى هذه المحاليل الحارة ثم تليها المعادن الأكثر قابلية للذوبان ، ويتوقف ذلك إلى حد كبير على درجة حرارة المحلول والضغط الواقع عليه أثناء الترسيب ، وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم الرواسب المعدنية من المحاليل الحارة إلى ثلاثة أنواع متباينة :

#### **أ - رواسب عالية الحرارة Hydrothermal deposits :**

تترسب من محاليل ذات درجة حرارة عالية بين ٥٠٠ - ٣٠٠ م°م وتحت ضغط كبير بمعنى أنها تترسب على أعماق بعيدة من سطح الأرض . ومن أمثلة المعادن التى تتكون تحت هذه الظروف : ولفرامايت Wolframite  $[(Fe,Mn)WO_4]$  ، موليبدينايت Molybdenite (MoS<sub>2</sub>) ، كاسيتيريت

توباز ، Cassiterite (SnO<sub>2</sub>) ، جارنت Garnet ، أباتايت Apatite [F, Cl (Ca-phosphate)] ، Topaz [Al<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)(F,OH)<sub>2</sub>]

### ب - رواسب متوسطة الحرارة Mesothermal deposits :

وتنتج عن محاليل متوسطة الحرارة ، تتراوح بين ٣٠٠ - ٢٠٠ م وتوجد على عمق متوسط من سطح الأرض حيث الضغط المتوسط . وأهم المعادن التي تتكون من المحاليل المتوسطة الحرارة هي : كبريتيدات الفلزات مثل الكالكوبيريت Chalcopyrite (CuFeS<sub>2</sub>) ، والسفاليريت Sphalerite (ZnS) ، الجالينا Galena (PbS) ، الأرسينوبيريت Arsenopyrite (FeAsS) ، وتتراهيدريت Tetrahedrite [(Cu,Fe,Zn,Ag)<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>] ومن الكبريتات معدن الباريت Barite (BaSO<sub>4</sub>) ، ومن الكربونات معدن الكالسيت Calcite (CaCO<sub>3</sub>) .

### ج - رواسب منخفضة الحرارة Epithermal deposits :

وهي تترسب من محاليل ذات درجة حرارة منخفضة ، تتراوح بين ٢٠٠ - ٥٠ م وتحت ضغط أقل من المتوسط بمعنى أنها تترسب قريباً من سطح الأرض ومن أمثلة المعادن التي تكون الرواسب المنخفضة الحرارة معدن السنابار Cinnabar (HgS) ، ستينيت Stibnite (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) ، ماركازيت Marcasite (FeS<sub>2</sub>) ومن الكربونات معدن الكالسيت ومن الهالوجينات معدن الفلوريت ومن السيليكا معدن الكوارتز والأوبال .

ولا يقف نشاط محاليل الصهير الحارة على مجرد حمل وترسيب المعادن فحسب بل قد تتفاعل مع صخور المكان التي تمر بها أو تحيط بها . فبينما تذوب بعض هذه الصخور في المحاليل الحارة فتزودها ببعض العناصر الأخرى ، قد يتم هناك إستبدال أو إحلال جزئي أو كلي لبعض عناصر المحاليل الحارة محل عناصر أخرى مشابهة لها أو متقاربة منها موجودة في صخور المكان Country rocks فتنتج بذلك معادن أخرى جديدة ويعرف هذا التغيير في التركيب المعدني الناتج من إحلال بعض مكونات

المحاليل الحارة محل بعض مكونات الصخور المكان التي تمر بها أو تتواجد معها بإسم "التحول السائلي" أو "التغير الإستبدالي" **Metasomatism**.

ويعزى التحول السائلي إلى أن بعض الصخور تُؤثر إختيار الفلز القاعدي الذائب في المحاليل الجارية إذا كانت قابليته كبيرة للشق الحامضي الموجود في هذه الصخور ؛ أو العكس بأن تكون قابلية الشق الحامضي الموجود في المحلول تتوافق مع الشق القاعدي الموجود في الصخور التي تمر بها . ومن أمثلة التحول السائلي تكون رواسب الحديد في كليفلاند بأمريكا ، حيث حلت كربونات الحديد ( $FeCO_3$ ) محل كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ) نتيجة إحلل عنصر الحديد من المحاليل الجارية محل عنصر الكالسيوم في الصخور الجيرية مما أدى إلى تكوين معدن السيديرايت **Siderite ( $FeCO_3$ )** . الذي ظل محتفظاً بجزء كبير من المظاهر الخارجية للصخور الجيرية الأصلية وكذلك أشكال بعض الحفريات التي كانت موجودة بها ، أي أن معدن السيديرايت يظهر في هذه الحالة في شكل كاذب **Pseudomorph** لكربونات الكالسيوم . وكذلك يبدو الخشب السيليسي **Silicified Wood** الموجود بالغابة المتحجرة بالقرب من القاهرة ، نتيجة إحلل السيليكا محل المواد السيلولوزية المكونة للخشب ، وذلك بواسطة محاليل الصهير الحارة المحملة بثاني أكسيد الكربون ، مع إحتفاظ الخشب بشكله ومظهره الخارجي (ظاهرة الخداع الشكلي **Pseudomorphism**) وبنفس الطريقة تتكون بعض الرواسب الغنية بمعدن الماجنيزيت **Magnesite ( $MgCO_3$ )** .

### تكون المعادن من المحاليل السطحية

تشمل المحاليل السطحية المحتويات الذائبة في مياه البحار والبحيرات والمحيطات والأنهار والمياه الأرضية **Ground Water** الناتجة من الأمطار التي قد تتسرب خلال الشقوق والفواصل والمسام في الصخور المختلفة وتحمل معها قدر ما تستطيع من المواد التي قد تذيبها أثناء تسربها . وتترسب المعادن من هذه المحاليل

السطحية نتيجة تغير الظروف الطبيعية ، وتسمى تجمعاتها "خامات المعادن الرسوبية" Sedimentary ore-minerals وتتكون بإحدى الطرق الآتية :

(١) بخر السائل المذيب : تتركز الأملاح الذائبة فى مياه البحيرات نتيجة تبخر الماء لدرجة تسمح بتبلور بعض المعادن فى ترتيب معين يتوقف على درجة ذوبان العناصر المكونة لهذه المحاليل ، فغالباً ما تترسب أملاح الكربونات أولاً مثل كربونات الكالسيوم (كالسيت) ثم كربونات الماغنسيوم (ماجنيزيت) ، ثم تلى الكربونات أملاح الكبريتات مثل كبريتات الكالسيوم (جبس) . ثم أملاح الكلوريد مثل كلوريد الصوديوم (هاليت)

(٢) بخر الغاز المساعد على الإذابة : قد يذوب غاز ثانى أكسيد الكربون فى مياه الأمطار ويكسبها خاصية الحمض الضعيف (حمض الكربونيك) فتذيب بعض الصخور الجيرية التى تتسرب خلالها وتنتج بيكربونات الكالسيوم  $\square \text{CaH}_2(\text{CO}_3)_2 \square$  ؛ وهذا المركب قابل للذوبان فى الماء إلا أنه غير مستقر ، بمجرد تعرضه لفقدان غاز ثانى أكسيد الكربون فإنه يتحول الى كربونات كالسيوم غير قابلة للذوبان فى الماء ، فتترسب هذه مكونة معادن الكالسيت والأراجونيت . وكثيراً ما يحدث ذلك فى الكهوف والمغارات التى توجد فى المناطق ذات الصخور الجيرية التى تتميز بغزارة الأمطار حيث تترسب كربونات الكالسيوم على هيئة أعمدة مخروطية الشكل تتدلى من أسقف هذه الكهوف وتكون مايسمى "ستلاكتيت" Stalactite ؛ وتتساقط نقط المحاليل الجيرية كذلك على أرضية الكهوف فتتعرض لفقدان غاز ثانى أكسيد الكربون وتترسب كربونات الكالسيوم فى أعمدة مخروطية الشكل ترتفع على قاع الكهوف وقد تتشكل بأشكال طبيعية جميلة وتسمى "ستلاجميت" Stalagmite.

وقد تتسرب هذه المحاليل إلى أعماق بعيدة عن سطح الأرض فتكتسب حرارة عالية نسبياً تساعد على فاعلية حمض الكربونيك فى الإذابة . ثم لا تلبث أن تجد مخرجاً لها على هيئة ينابيع ، فيتطاير منها ثانى أكسيد الكربون بتعرضها للجو والبرودة فتترسب كربونات الكالسيوم مباشرة حول الينبوع فى كتل مختلفة الأشكال تسمى "ترافرتين" Travertine ، و"السنتر الجيرى" Calc-sinter . وأحياناً أخرى تتسرب

محاليل المياه السطحية إلى أغوار بعيدة فترتفع حرارتها والضغط الواقع عليها لدرجة تمكنها من إذابة كل ما يصادفها حتى السيليكا ؛ فإذا ما وجدت مثل هذه المحاليل المنفذ المواتى لها فإنها تتصاعد إلى سطح الأرض على هيئة ينابيع حارة متفجرة تسمى "جيزر" Geysers ، وبمجرد تعرضها للجو حيث الإنخفاض المفاجيء فى درجة الحرارة والضغط فإن المحاليل ترسب ما بها من أملاح ذائبة بالقرب من الينابيع الحارة المتفجرة على هيئة رواسب سيليسية دقيقة الحبيبات تسمى "جيزيريت" Geysersite أو سنتر سيليسى Siliceous-sinter.

### تكون المعادن من مواد صلبة (التحول Metamorphism)

قد تنشأ بعض المعادن من مواد صخرية صلبة تحت تأثير الحرارة الشديدة أو الحرارة المصحوبة بضغط مرتفع ، فتتغير المعادن الأصلية المكونة لهذه الصخور تغيراً قد يكون جزئياً أو كاملاً فى بنائها وتركيبها وخواصها . وقد تنتج الحرارة من تداخل مواد الصهير أو محاليل مرتفعة الحرارة فى صخور المكان Country Rocks ، ويحدث أن تنصهر صخور المكان فى منطقة التماس Contact أو التلامس بينها وبين مواد الصهير ، ثم تستعيد المعادن الأصلية المكونة لهذه الصخور بناءها من جديد بحيث يتناسب هذا البناء مع الظروف المستجدة ، أى تتحول المعادن الأصلية إلى معادن أخرى ؛ فمثلاً تتحول رواسب معادن الحديد المائية بفعل الحرارة الناتجة عن تداخل مواد الصهير إلى رواسب غنية بمعادن الهيماتيت والماجنيثيت فى منطقة التماس بين الصخور الأصلية ومواد الصهير المتداخلة وتعرف هذه التكاوين بإسم رواسب الخامات التماسية Contact ore deposits . فإذا ما كانت الحرارة ناشئة من تداخل محاليل حارة فى صخور المكان Country Rocks فقد تنشأ بينهما عمليات إحلال أو إستبدال لبعض العناصر المكونة لكل منهما وينتج عن هذا الإحلال المتبادل معادن جديدة تلائم الظروف الطبيعية الجديدة ، ويعرف هذا بالتحول السائلى الحار Pyrometasomatism . وأهم الرواسب المعدنية التى تتكون بطريقة التحول الحرارى Thermal Metamorphism رواسب الكبريتيدات مثل البيريت ،



الكالكوبيريت ، السفاليريت ، ومن الأكاسيد الهيماتيت والماجنيثيت . وغالبا ما يصحب هذه الرواسب تكوين بعض المعادن المميزة التي تسمى "سكارن" Scarn-minerals . مثل معدن الولاستونيت (CaSiO<sub>3</sub>) Wollastonite وينتج من إتحاد الكوارتز مع الكالسيت ، والجارنت الحديدي "جروسيولار" {Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>} "Grossular" ، والبيروكسينات الحديدية ، ومعدن الإبيدوت Epidote {Ca<sub>2</sub>Fe+3Al<sub>2</sub>O[Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>] [SiO<sub>4</sub>](OH)}

## ظهور الرواسب المعدنية في الطبيعة

### Occurrence of mineral deposits

يمكن تمييز الرواسب المعدنية على أساس تكوينها وظهورها إلى نوعين مختلفين

:

#### (١) رواسب معدنية معاصرة Syngenetic mineral deposits :

تتكون معادن هذه الرواسب في نفس الوقت التي تتكون فيه الصخور الحاوية لها أو المحيطة بها وتظهر منتشرة مبعثرة فيها . ومن أمثلة هذه الرواسب المعدنية المعاصرة تلك المعادن النافعة التي تظهر أثناء عملية تمايز الفلزات وأكاسيدها وبعض كبريتيداتنا في أولى مراحل تصلد الصهير (مرحلة الصهر القويم) في نفس الوقت التي تتبلور فيه معادن السيليكات فوق القاعدية (الغنية جداً بالعناصر القاعدية ، مثل ظهور معدن الكروميت Chromite (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) في الصخور فوق القاعدية Ultrabasic rocks . وكذلك بعض الرواسب المعدنية الطباقية Bedded mineral deposits التي تتكون في وقت معاصر لتكوين طبقات الصخور الرسوبية الحاوية لها .

#### (٢) رواسب معدنية لاحقة "غير معاصرة" Epigenetic mineral deposits :

تتكون معادن هذه الرواسب بعد ظهور الصخور الحاوية لها أو المحيطة بها . وغالباً ماتوجد في الشقوق والشروخ والفواصل الموجودة في الصخور ولذلك فإنها تتشكل بشكل هذه الفراغات ، وعادة ماتظهر على هيئة عروق Veins . وقد تمتد العروق في معظم الأحيان إلى مسافات طويلة وأعماق بعيدة ولكنها قليلة السمك ، ويختلف سمكها من مكان لآخر . وتترسب المعادن في أحيان كثيرة في المسافات البينية Interstices للصخور وتعرف مثل هذه التجمعات بالرواسب المتسربة Impregnations ، وأحياناً أخرى تحل الرواسب المعدنية محل صخور المكان Country Rocks التي تتداخل فيها فتتخذ بذلك أشكالاً غير منتظمة .

تعرف الرواسب المعدنية التي تظهر في نفس المكان أو الموضع الذي نشأت فيه بأنها رواسب أولية أو موضعية Primary or in situ . أما المعادن التي تنقلها الرياح أو تجرفها المياه من المكان الأصلي لنشأتها ثم ترسبها في مكان آخر فتسمى رواسب ثانوية أو منقولة Secondary or placer deposits وتوجد مثل هذه الرواسب مختلطة بالحصى والرمال عند مصاب الأنهار وكذلك على جوانبها وفي مجارى السيول . وغالباً ما تتركز المعادن في الرواسب المنقولة بعملية تصنيف طبيعي تتوقف على الوزن النوعي لها ، فتتواجد المعادن ذات الوزن النوعي الواحد أو المتشابه في مجموعات يسهل فصلها عن بعضها . وأهم أنواع الرواسب المنقولة هي رواسب الذهب التي قد يتواجد معها رواسب الماجنيتيت والكروميت والزيركون . وكذلك رواسب الرمال السوداء المنقولة التي تحتوى أحياناً على بعض المعادن النادرة المشعة ذات القيمة الاقتصادية مثل رواسب الرمال السوداء عند ملتقى نهر النيل بالبحر الأبيض المتوسط عند رشيد .

### **تبدل المعادن Alteration of minerals :**

تتعرض الرواسب المعدنية للتأثيرات الجوية ، وينتج عن ذلك تغير المعادن المكونة لها تغيراً قد يكون طبيعياً بسبب عملية التجوية Weathering أو قد يكون كيميائياً . ويؤدى التغير الطبيعي إلى تكسير المعادن وتفثيتها Disintegration بسبب التغير المستمر في درجة الحرارة أو نتيجة لفعل الرياح أو الأمطار . وينتج عن التغير الكيميائي تحلل المعادن Decomposition وتغير تركيبها الكيميائي تغيراً سطحياً أو جزئياً ؛ فتؤدى عملية الأكسدة إلى تغير مظهر المعدن المعرض للجو ، وينتج عن وجود ثاني أكسيد الكربون عملية تكربن لسطح المعدن فيُغطى بطبقة رقيقة من كربونات العناصر المكونة له . وقد تذوب المعادن جزئياً نتيجة للتفاعلات الكيميائية البطيئة ثم تُنقل بواسطة المياه أو الرياح إلى حيث تترسب من جديد في مكان آخر تاركة خلفها المكونات غير القابلة للذوبان في مكانها الأصلي والتي تُعرف حينئذ بالرواسب المتبقية Residual deposits مثل رواسب البوكسيت (أكسيد الألومنيوم

Kaolinite (المائى) Bauxite، ورواسب الكاولينيت (سيليكات الألومنيوم المائىة) Kaolinite  
[Al<sub>4</sub>(Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>8</sub>].

## رابعاً - الدراسة الوصفية للمعادن

### Descriptive Mineralogy

تختص هذه الدراسة بوصف المعادن ذات الأهمية الاقتصادية من حيث صفاتها الطبيعية والكيميائية ، وأصلها ونشأتها وتكوينها وأماكن وجودها وفوائدها .

### تصنيف المعادن Classification of Minerals

توجد عدة طرق مختلفة لتصنيف المعادن تعتمد كل منها على أسس معينة ومنها :

(١) التصنيف الكيميائي Chemical classification : تمكن العالم الأمريكى دانا J.D. Dana من تصنيف المعادن المختلفة على أساس خواصها الكيميائية التى تتوقف على نوع الشق الحامضى Acidic radicle ، إلى مجموعات مختلفة مثل الأكاسيد ، الهالوجينات (كلوريدات وفلوريدات) ؛ الكبريتيدات ، الكربونات ، الكبريتات ، الفوسفات والسيليكات . ومن أهم مميزات هذا التصنيف أن أفراد المجموعات التى تحتوى على شق حامضى مشترك تتشابه فيما بينها تشابهاً كبيراً يفوق التشابه الذى قد يوجد بين أفراد المجموعات التى تحتوى على شق قاعدى Basic radicle مشترك ، فمثلاً تتشابه أفراد مجموعة الكبريتات المختلفة بدرجة أكبر من تشابه معادن النحاس أو الحديد فيما بينهما ، وذلك لأن المجموعة الأنيونية {O-2, Cl-1, Anionic group } F-1, (CO3)-2, (SO4)-2 .....etc. } أى الشق الحامضى يتكون من عناصر كبيرة الحجم نسبياً (ذات نصف قطر ذرى كبير) ويميل إلى التحكم فى نظام التعبئة أو طريقة رص الذرات فى الترتيب الفراغى وبذلك تصبح هى المسئولة أساساً عن الخواص الكيميائية والبلورية للمعادن . وليس هذا فحسب بل إن أفراد المجموعات ذات الشق الحامضى المشترك قد تتواجد فى الطبيعة فى بيئات جيولوجية Paragenesis متشابهة إن لم تكن موحدة ، فقد لوحظ أن المعادن الكبريتيدية تتكون مجتمعة مع بعضها فى عروق رواسب المحاليل الحارة أو أثناء عملية التمايز فى المرحلة الأولى من تصد

الصهير (مرحلة الصهير القويم) ، فى حين تتكون أفراد المجموعات ذات الشق القاعدى المشترك تحت ظروف وبيئات جيولوجية عديدة مختلفة .

## (٢) التصنيف البلورى الكيمائى Crystal-chemistry classification :

ويعتمد هذا التقسيم أساساً على الشكل البلورى بجانب الخواص الكيمائية . فبالرغم من تشابه المجموعات المعدنية ذات الشق الحامضى المشترك إلى حد كبير إلا أن هناك معادن كثيرة تتشابه فيما بينها فى معظم صفاتها وخاصة فى أشكالها البلورية علماً بأن لها تركيباً كيمائياً مختلفاً ، ومن البديهي أن هذا التشابه نتيجة لتركيب ذرى بلورى متشابه أو موحد . وهذا مما حدى بالعالم نيجلى P. Niggli إلى تصنيف المعادن إلى مجموعات على أساس خواصها الكيمائية البلورية .

## (٣) التصنيف الإقتصادى الكيمائى Economic chemical classification :

تقدم العالم ريد H. Read بطريقة ثالثة لتصنيف المعادن إلى مجموعات تتوقف أولاً وقبل كل شىء على القيمة الإقتصادية للعناصر الأساسية المكونة لها بالرغم مما قد يكون فيما بينها من تباعد بلورى أو كيمائى أو بيئى ، ثم صنّف كلاً من هذه المجموعات إلى أفراد على نظام معين متبعاً فى ذلك نظام الترتيب الدورى Periodic classification of elements للعناصر المكونة لهذه الأفراد المعدنية ، فمثلاً تشمل المجموعة الأولى (Group I) فى هذا التصنيف ما يأتى :  
أ - كل المعادن الهامة التى تتكون أساساً من عناصر الليثيوم ، والصوديوم ، والبوتاسيوم .

ب - كل المعادن الإقتصادية التى تعتبر خامات : النحاس ، والفضة ، والذهب .  
وتقع معادن الحديد فى المجموعة الثامنة (Group VIII) من هذا التصنيف وتشمل أفراد ذات شق حامضى مختلف فمنا الأكاسيد مثل الماجنيتيت Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) ، والهيماتيت (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Hematite ، الأكاسيد المائية مثل الليمونيت

و منها Geothite ( $Fe_2O_3, H_2O$ ) وجوئيت Limonite ( $2Fe_2O_3, 3H_2O$ ) الكربونات مثل السيديريت Siderite ( $FeCO_3$ ) ، والكبريتيد مثل البايريت Pyrite ( $FeS_2$ ) ثم الكبريتات والفوسفات والسيليكات .

وبذلك إستطاع ريد Read أن يجمع معادن خامات العناصر المتشابهة إلى حد ما في خواصها الكيميائية في مجموعة واحدة ، ويُعْتَقَد أن هذه هي أحسن طريقة بالنسبة للمبتدئ في دراسة الجيولوجيا الإقتصادية ، بالرغم من أنها تفصل بين المعادن المتشابهة ذات الشق الحامضى الواحد وتفرقها في مجموعات مختلفة .

وستتبع في دراستنا الطريقة المستخدمة حالياً على نطاق واسع وهي طريقة التصنيف الكيميائى :

تُصَنَّف المعادن على أساس الشق الحامضى المكون لها إلى أقسام تسمى "نظم" Classes ويحتوى كل نظام على مجموعات أصغر ، مختلفة فيما بينها ولكنها متشابهة في صفة مشتركة هي نوع الشق الحامضى وتسمى هذه المجموعات الصغيرة "عائلات" Families ، يتكون كل منها من أفراد مختلفة تسمى "أنواع" Species . وقد تتشابه بعض أنواع العائلة الواحدة في صفاتها وتسمى حينئذ "مجموعة" Group أو "متسلسلات" Varieties مختلفة فيما بينها إلى حد ما ولكن تجمعها مع بعضها الصفات النوعية .

### (١) المعادن العنصرية Native Minerals

أ - المعادن العنصرية الفلزية Native Metals : مثل الذهب (Au) ، والفضة (Ag) والبلاتين (Pt) .

ب - المعادن العنصرية اللافلزية Native Non-Metals : مثل الكبريت (S) ، والماس (C) والجرافيت (C) .

### (٢) المعادن الكبريتيدية والأملاح الكبريتية Sulfides and Sulfosalts :

أ - المعادن الكبريتيدية :-

(Cu <sub>2</sub> S) كالكوسيت	أرجينيت (Ag <sub>2</sub> S) Argenite
	Chalcocite
بايريت (FeS <sub>2</sub> ) Pyrite	كالكوبيريت (CuFeS <sub>2</sub> ) Chalcopyrite
جالينا (PbS) Galena	ماركازيت (FeS <sub>2</sub> ) Marcasite
سنابار (HgS) Cinnabar	سفاليريت (ZnS) Sphalerite
ستينيت (Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> ) Stibnite	أرسينوبايريت (FeAsS) Arsenopyrite
	موليبدينيت (MoS <sub>2</sub> ) Molybdenite .

ب - الأملاح الكبريتية Sulfosalts : هي كبريتيدات مزدوجة تتكون باتحاد فلز وشبه فلز (مثل الزرنيخ والانتيمون) مع الكبريت مثل معدن التتراهيدريت Tetrahedrite [(Cu,Fe,Zn,Ag)<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub>].

### ٣) معادن الأكاسيد Oxides :

أ - أكاسيد فلزات لامائية Non-hydrated Metal Oxides :-

هيماتيت (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) Hematite	ماجنيثيت (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) Magnetite
إلمنيت Ilmenite	كروميت (FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) Chromite
	(FeTiO <sub>3</sub> )
كوراندوم Corunum	كوبريت (Cu <sub>2</sub> O) Cuprite
	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
كاسيتريت Cassiterite	روتيل (TiO <sub>2</sub> ) Rutile
	(SnO <sub>2</sub> )
كوارتز (SiO <sub>2</sub> ) Quartz	بايرولوسيت (MnO <sub>2</sub> ) Pyrolusite

ب - أكاسيد فلزات مائية Hydrated Metal Oxides :

جوثيت (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O) Geothite



ليمونيت ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3, 3\text{H}_2\text{O}$ )

. مانجانيت ( $\text{Mn}_2\text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$ )

. بوكسيت ( $\text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$ )

. أكاسيد سيليكون مائية ( $\text{SiO}_2, \text{NH}_2\text{O}$ ) مثل معدن الأوبال Opal .

#### ٤) معادن الهالوجينات (الهالويدات) Haloids :

مثل معادن الهاليت Halite ( $\text{NaCl}$ ) ، فلوريت Fluorite ( $\text{CaF}_2$ ) ، كريوليت

. Cryolite ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )

#### ٥) معادن الكربونات والنترات والبورات

أ - الكربونات Carbonates :

مجموعة الكالسيت :

دولوميت Dolomite [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ]

كالسيت Calcite ( $\text{CaCO}_3$ )

سيدريريت Siderite ( $\text{FeCO}_3$ )

ماجنيزيت Magnesite ( $\text{MgCO}_3$ )

مجموعة الأراجونيت :

ويذيريت Witherite ( $\text{BaCO}_3$ )

أراجونيت Aragonit ( $\text{CaCO}_3$ )

سيروسيت Cerussite ( $\text{PbCO}_3$ )

سترونشيانيت Strontianite ( $\text{SrCO}_3$ )

مجموعة المالاكيت :

. مالاكيت Malachite [ $\text{Cu}_2\text{CO}_3, (\text{OH})_2$ ]

. أوزوريت Azurite [ $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2, (\text{OH})_2$ ]

. نترات Nitrates : مثل نتر الصودا Soda Niter ( $\text{NaNO}_3$ ) .

البورات Borates مثل الكيرنيت Kernite [ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7, 4\text{H}_2\text{O}$ ]

. البوراكس Borax [ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7, 10\text{H}_2\text{O}$ ]

#### ٦) معادن الكبريتات - الكرومات - الموليبدات - التنجستات :

أ - معادن الكبريتات Sulphates :

كبريتات لامائية (مجموعة البارييت) :

Celestite (SrSO<sub>4</sub>) سيليستيت

Anhydrite (CaSO<sub>4</sub>) أنهيدريت

Anglesite (PbSO<sub>4</sub>) أنجليزيت

Barite (Ba SO<sub>4</sub>) باريت

: Hydrous Sulphates كبريتات مائية

Gypsum (CaSO<sub>4</sub>,2H<sub>2</sub>O) جبس

Chalcanthite (CuSO<sub>4</sub>, 5H<sub>2</sub>O) كالكانثيت

Melanterite (FeSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O) ميلانتريت

Epsomite (MgSO<sub>4</sub>, 7H<sub>2</sub>O) إبسوميت

: Chromates - معادن الكرومات :

. Crocaisite (PbCrO<sub>4</sub>) مثل كروكوزيت

: Molybdates - معادن الموليبيدات :

. Wulfenite (PbMoO<sub>4</sub>) مثل وولفينيت

: Tungstate - معادن التنجستات :

. Wolframite [(Fe,Mn )WO<sub>4</sub>] مثل معدن ولفراميت

. Scheelite (CaWO<sub>4</sub>) ومعدن شيليت

### (٧) معادن الفوسفات - الزرنيخات - الفانادات

أ - معادن الفوسفات Phosphates :

Apatite مونازيت [(Ce,La,Y,Th)PO<sub>4</sub>] ، أباتيت Monazite

Turquoise ، توركواز [Ca(F,Cl,OH)(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]

Autonite ، أوتونيت [CuAl<sub>6</sub>(OH)<sub>8</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>4</sub>.4H<sub>2</sub>O]

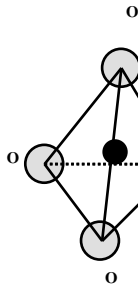
. [Ca(UO<sub>2</sub>)(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.10-12H<sub>2</sub>O]

: Vanadates - معادن الفانادات :

Vanadinite [Pb<sub>5</sub>Cl(VO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>] فانادينيت

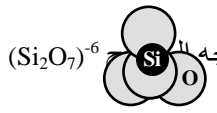
كارنوتيت  $[K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot 3H_2O]$  . Carnotite

### (٨) معادن السيليكات Silicates



تتكون هذه المعادن من وحدة 4- ( $SiO_4$ ) في هيئة رباعي الأوجه ، مكونة من ذرة سيليكون في المركز وتحيط بها أربع ذرات من الأكسجين في كل ركن من الأركان الأربعة لشكل رباعي الأوجه (كما هو مبين بالشكل) ، وبارتباط هذه الوحدة مع وحدة أخرى أو أكثر تنتج أنواع مختلفة من السيليكات :

#### (١) مجموعة رباعي الأوجه المستقلة 4- ( $SiO_4$ ) Independant



Tetrahedral group : تتكون بلورات هذه المعادن من وحدات

4- ( $SiO_4$ ) (كما في الشكل المقابل) مرتبطة ببعضها بواسطة

كاتيونات أخرى مثل الماغنسيوم والحديد ، ومن أمثلة هذه المعادن :-

أوليفين  $(Mg,Fe)_2SiO_4$  Olivine ، جارنت Garnet (سيليكات

أيونات ثنائية وثلاثية التكافؤ) ، زيركون  $(ZrSiO_4)$  Zircon ،

توباز  $[Al_2(F,OH)_2SiO_4]$  Topaz ، أندالوسيت Andalusite

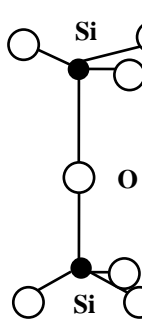
( $Al_2SiO_5$ ) ، سيليمانيت Silimanite ( $Al_2SiO_5$ ) ، كايافيت رباعي الأوجه ( $SiO_4$ )<sup>-4</sup>

( $Al_2SiO_5$ ) Kyanite ، شتوروليت Staurolite

[ $2Fe_{0.5}Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ ] ، سفين Sphen

( $CaTiSiO_5$ ) .

#### (٢) مجموعة رباعي الأوجه المزدوجة Double tetrahedral



group ( $Si_2O_7$ ) -6 : تتكون أفراد هذه المجموعة باشتراك وحدتين

من ( $SiO_4$ ) في ذرة أكسجين (كما في الشكل المقابل) وتكرر هذه

الوحدة المزدوجة بارتباطها بواسطة كاتيونات أخرى كما في معدن

هيميمورفيت Hemimorphite [ $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$ ]

وهو من المعادن الثانوية النشأة.

### ٣) مجموعة رباعي الأوجه الحلقية Ring Structure :

أ - حلقة ثلاثية 6 - Trigonal Ring (Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>) : وتتكون باشتراك ثلاث وحدات (SiO<sub>4</sub>) ، حيث أن كل وحدتين متجاورتين تشتركان في ذرتين أكسجين (كما في الشكل المقابل).، ومن أمثلة هذه المعادن :-

بنيتوتيت Benitotite (BaTiSi<sub>3</sub>O<sub>9</sub>) ، رودونيت Rhodonite  
حلقة ثلاثية <sup>-6</sup> (Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>)  
، ولاستونيت Wollastonite (CaSiO<sub>3</sub>) (MnSiO<sub>3</sub>) .

ب - حلقة سداسية 12 - Hexagonal Ring (Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>) :  
تتكون أفراد هذه المجموعة من ترابط ست وحدات (SiO<sub>4</sub>)  
(أنظر الشكل المقابل).، تتراص في هيئة حلقات فوق بعضها في  
أعمدة ، وتتربط هذه الحلقات ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى ومن  
أمثلة هذه المعادن :

معدن البيريل Beryl (Be<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>) .  
معدن التورمالين Tourmaline  
[(Na,Ca)(Mg,Fe +2,Fe+3,Al,Li)<sub>3</sub>Al<sub>6</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>(OH)<sub>4</sub>]  
معدن الكورديرايت Cordierite (Mg<sub>2</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>18</sub>) .

### ٤) مجموعة رباعي الأوجه السلسلية Chain Structure وتشمل :

أ - تراكيب سلسلية مفردة 2 - Single Chain (SiO<sub>3</sub>) (كما في الشكل التالي) كما  
في معادن البيروكسينات Pyroxene مثل :  
إنستاتيت Enstatite (MgSiO<sub>3</sub>) ، هيبيرثين [(Mg,Fe)SiO<sub>3</sub>] Hyperthene ،  
دايوبسيد Diopside [(Ca,Mg)Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] ، أوجيت Augite  
[Ca(Mg,Fe+2,Al)(Si,Al)<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] ، إيجيرين Aegerine (NaFeSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>) .

## سلسلة مفردة 2- (SiO3)

ب - تراكيب سلسلية مزدوجة 6- Double Chain (Si4O11) :

وتنتج من ترابط سلسلتين باقتسام ذرات الأكسجين بينهما عند مسافات منتظمة ( أنظر الشكل التالي) كما في معادن الأمفيبولات Amphiboles مثل : أنثوفيليت Tremolite Anthophyllite [(Mg,Fe)7Si8O22(OH)2] ، تريموليت ، [Ca2Mg5Si8O22(OH)2] ، هورنبلند (سيليكات كالسيوم وماغنسيوم وحديد مائية معقدة) Hornblende .

## سلسلة مزدوجة 6- (Si4O11)

ج- تراكيب سلسلية رباعية Quadriple Chain: تتكون من ترابط أربعة سلاسل باقتسام ذرات الأكسجين بينها مثل معدن الإبيدوت Epidote [Ca2(Al,Fe)3Si3O12(OH)] .

د) مجموعة رباعيات الأوجه الصفائحية Sheet Structure : تتكون من إرتباط وحدات (SiO4) عند ثلاثة أركان من كل منها وتمتد في إتجاهين في ترتيب شبكى على هيئة صفائح لانتهائية 4- Endless Sheets (Si4O10) (كما هو موضح بالشكل التالي) وتشمل :

أ - معادن الميكا Mica group : مثل :

ماسكوفيت [KAl<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]

بيوتيت [K(Mg,Fe<sup>+2</sup>)<sub>3</sub>(Al,Fe<sup>+3</sup>)Si<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]

فلوجوبيت [KMg<sub>3</sub>AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]

ب - معادن الكلوريت Chlorite Minerals :-

كلوريت [(Mg,Fe<sup>+2</sup>,Fe<sup>+3</sup>)<sub>6</sub>AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>]

سربنتين [(Mg,Fe)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>]

ج - معادن التلك Talc Minerals :

تلك [Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>]

د - المعادن الطينية Clay Minerals :

مثل الكاولينيت [Al<sub>4</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>]

**٦) مجموعة رباعى الأوجه الشبكي ذو الأبعاد الثلاثة - Three-**

**: dimensional Network**

تتكون أفراد هذه المجموعة نتيجة إرتباط رباعيات الأوجه (SiO<sub>4</sub>) بعضها ببعض عند أركانها الأربعة (كما فى الشكل المقابل) ، بمعنى أن كل ذرة أكسجين تُقْتَسَم بين إثنين من وحدات رباعيات الأوجه وتكون نسبة السيليكون للأكسجين فيها ( ١ : ٢ ) ورمز التركيب (Si<sub>3</sub>O<sub>6</sub>)<sub>N</sub> وتشمل هذه المجموعة :

أ - أكاسيد السيليكون (SiO<sub>2</sub>):

مثل معدن كوارتز Quartz (فصائل الثلاثى والسداسى)، تريديميت Tredimite

(فصيلة المعينى القائم) ، وكريستوباليت (فصيلة الرباعى) Cristobalite .

ب - معادن الفلسبارات : Feldspars :

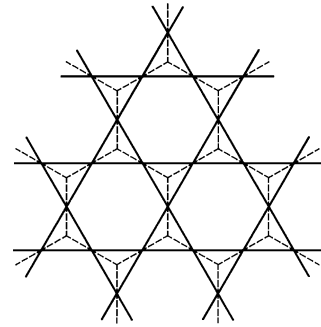
١) فلسبارات بوتاسية Potash Feldspars مثل :  
 أرثوكليز Orthoclase ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) (فصيلة أحادى الميل)، ميكروكليز  
 Microcline ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) (فصيلة ثلاثى الميل).

٢) فلسبارات بلاجيوكليزية Plagioclase Feldspars مثل :  
 أنورثيت Anorthite ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) ، بايتونيت Bytownite ، لابرادوريت  
 Labradorite ، أنديزين Andesine ، أوليجوكليز Oligoclase ، ألبيت Albite  
 ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ).

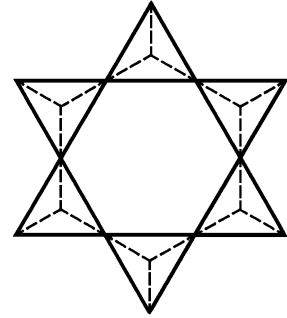
ج - معادن الفلسباتويدز Felspathoids : تشبه هذه المعادن معادن الفلسبارات إلا  
 أنها أفقر منها فى كمية السيليكا مثل :

لوسيت Leucite ( $\text{KAlSi}_2\text{O}_6$ ) ، ونيفيلين Nepheline ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_4$ ).

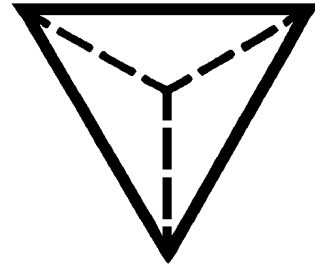
د - معادن الزيوليت Zeolites : وهى سيليكات الألومنيوم والصوديوم وتحتوى على  
 نسبة كبيرة من الماء .



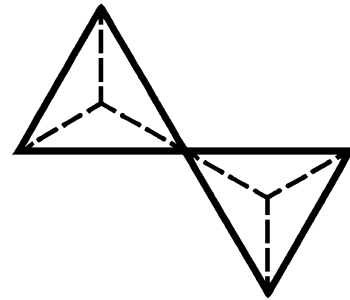
سليكات ورقية 2-( $\text{Si}_2\text{O}_5$ )  
 Phyllosilicates



سليكات حلقية 12-(Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>)  
Cyclosilicates

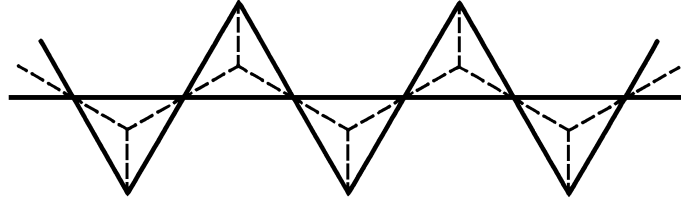


سليكات مفردة 4-(SiO<sub>4</sub>)  
Nesosilicates

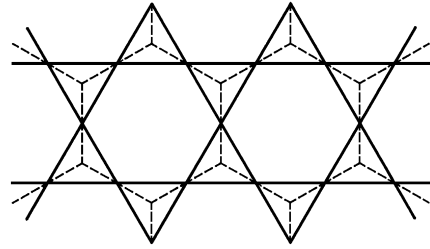


سليكات مزدوجة 6-(Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)  
Sorosilicates





سليكات سلسلية 2-(SiO3)  
Inosilicates



سليكات سلسلية 6-(Si4O11)  
Inosilicates

## الخواص الكيميائية البلورية للمعادن

### Crystal Chemistry of Minerals

( العلاقة بين التركيب الكيميائي والبناء الذري )

تتداخل بلورات بعض المعادن أثناء نموها لتكون بلورات نطاقية Zonal growth . وعلى الرغم من اختلاف التركيب الكيميائي لهذه البلورات المتداخلة في كل من الشكل والبناء الذري ، ومعنى هذا أن الذرات ولو أنها مختلفة من الناحية التركيبية إلا أنها متشابهة في حجمها ، وفي مواضعها داخل البلورة . وبذلك يمكنها أن تحل محل بعضها مما يدل على وجود علاقة بين التركيب الكيميائي والبناء الذري ( أو الشكل البلوري ) للمعادن

وكذلك يختلف الوزن النوعي للمعدن على أساس اختلاف ترتيب الذرات داخل البلورة ( مثل معدن الماس الذي يتميز بوزن نوعي ٣.٥ حيث توجد ذراته مترابطة في تقارب واحكام ، بينما يتميز الجرافيت بوزن نوعي ٣.٢ حيث توجد الذرات المكونة له في نظام رص متباعد ، علما بأن التركيب الكيميائي لكليهما واحد وهو عنصر الكربون " c " ). وهذا الاختلاف ليس قاصرا على الوزن النوعي فقط ، ولكنه يمتد إلى جميع الخواص الفيزيائية الأخرى للمادة ذات البناء الذري المختلف ، أو بمعنى آخر يمكن أن توجد المادة الكيميائية الواحدة في أكثر من شكل بلوري واحد ، وهذه علاقة أخرى بين التركيب الكيميائي والبناء الذري ( الشكل البلوري ) للمعادن .

هذه أمثلة تشير إلى وجود علاقة من نوع أو آخر بين التركيب الكيميائي والبناء للمعدن. أهمية هذه العلاقة الكيميائية البلورية أدت إلى إنشاء علم جديد يعرف باسم الكيمياء البلورية Crystal Chemistry .

ومن الأسباب التي أدت إلى دراسة العلاقات الكيميائية البلورية وفهمها على أساس علمي صحيح ، الملاحظات والأسئلة المحيرة التي نتجت عن محاولات العلماء تصنيف المعادن على أساس تركيبها الكيميائي وفي مثل هذا التقسيم تبرز عدة أسئلة محيرة منها:

- ١- لماذا تشذ المعادن كثيراً في خواصها عن الخواص التي نتوقعها لها على أساس التركيب الكيميائي فقط .
  - ٢- كيف نفسر وجود المعادن متعددة الأشكال Polymorphous مثل الجرافيت والماس .
  - ٣- لماذا يؤثر الشق الحامضي Anion على خواص معظم المركبات أكثر مما يؤثر الشق القاعدي Cation .
  - ٤- ما هو العامل المشترك بين المعادن متشابهة البلورات ولكنها مختلفة في التركيب الكيميائي .
- وقبل أن نعرف الاجابه عن هذه الأسئلة وغيرها ، يجب علينا أن نفسر قليلا بعض خواص البناء الذري للمعادن .

### البناء الذري للمعادن Atomic Structure Of Minerals

يقصد بالبناء الذري للمعادن البنود الثلاث الآتية :-

- ١- الترتيب الهندسي في الفراغ للذرات والجزيئات والأيونات التي تكون وحدات البناء في المادة .
- ٢- درجة التقارب بين هذه الوحدات البنائية و طريق رصها وتعبئتها في المادة.
- ٣- نوع القوى الكهربائية التي تربط بين هذه الوحدات البنائية وخواصها .

#### ١- الترتيب الهندسي الفراغي للذرات والأيونات :

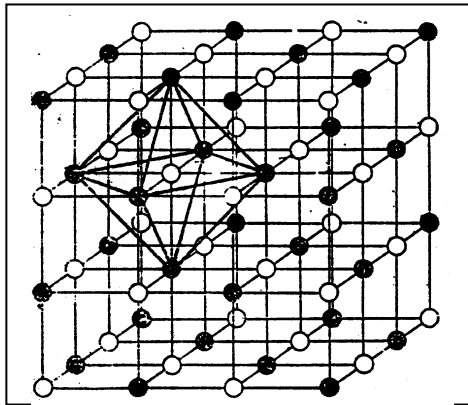
توجد هذه الوحدات البنائية مرتبة داخل البلورة في نظام هندسي يخضع لعناصر تماثلية معينة ، ويعكس هذا الترتيب الذري الداخلي نفسه في الخارج في هيئة الأوجه البلورية المنتظمة التوزيع .

وقد قسمت البلورات طبقا للخواص البلورية للمعادن إلى سبعة نظم بلورية هي النظم الأعلى تماثلاً ( كاملة التماثل ) في الفصائل البلورية السبعة وبالإضافة إلى هذه النظم فتوجد نظم أخرى أقل تماثلاً بحيث يكون مجموعها جميعاً ٣٢ نظام بلوري 32 classes of symmetry ، تمثل الطرق المختلفة لترتيب الذرات والأيونات تبعا

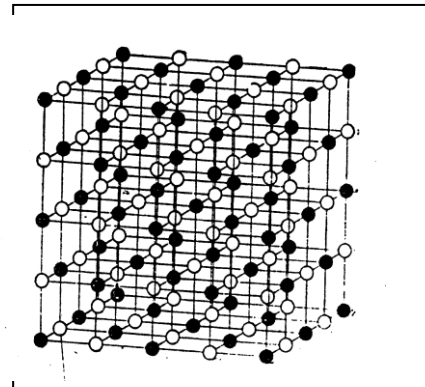
لعناصر التماثل الخارجية . و لكن إذا أضيفت إلى هذه العناصر الخارجية عناصر أخرى تماثلية داخلية ، فإنه من الممكن ترتيب الذرات و الأيونات بمائتين وثلاثون ( ٢٣٠ ) طريقة أو في مائتين وثلاثون مجموعة فراغية space group .

## ٢- تعبئه الذرات و الأيونات :

حيث أن المادة المتبلورة تتميز بترتيب ثابت للأيونات أو الذرات في الأبعاد الثلاثة، فإنه يمكن تمثيل الترتيب الفراغي للأيونات والذرات فإنه يمكن تمثيل الترتيب الفراغي للأيونات والذرات بأشكال تخطيطية حيث تمثل الروابط bonds بين هذه الأيونات أو الذرات بخطوط (كما في الشكل أ) الذي يمثل البناء الفراغي Lattice Structure لمعدن الهاليت (NaCl) حيث تمثل الكرات البيضاء أيونات الصوديوم (Na) بينما تمثل الكرات السوداء أيونات الكلورين (C).



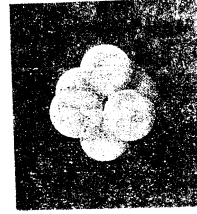
(ب)



(أ)

هذا الهيكل الفراغي لا يمثل الحقيقة ولكنه يؤخذ فقط لغرض إعطاء صورة للمواقع النسبية لمراكز الوحدات المكونة للمادة (سواء كانت أيونات أو ذرات... الخ) أي أنه يدل على مواضع نقط الترتيب الفراغي space lattice points . يلاحظ في الشكل (ب) أن الترتيب الفراغي لأيونات الصوديوم والكلورين في الهاليت هو من النوع المكعبى Cube ، ويحاط كل أيون للصوديوم بستة (٦) أيونات

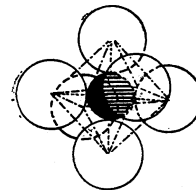
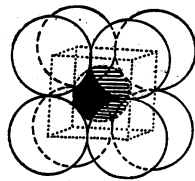
للكلورين في هيئة ثماني الأوجه (octahedron) (الشكل ب) . وكذلك إذا فحصنا هذا الشكل بعناية سنلاحظ أن كل أيون للكلورين محاط أيضاً بستة أيونات صوديوم .  
 نلاحظ في الشكلين السابقين أننا لم نأخذ في الاعتبار الحجم النسبي لأيونات الصوديوم والكلورين ، وأن الأيونات لابد أن تكون متماسة بعضها ببعض ( وهذه حقيقة أساسية في المواد الصلبة أو المتبلورة ) . إننا نفترض أن الأيونات ذات أشكال كروية أو شبه كروية ، لو أخذنا الكرات السوداء التي تمثل أيونات الكلورين والموجودة عند أركان شكل ثماني الأوجه وحركناها على طول الروابط في اتجاه بعضها حتى تتماس مع بعضها ، فإننا نصل إلى الترتيب المستقر لهذه الأيونات كما هو مبين في شكل (ج) .



( د )

( ج )

وفي مركز هذا الثماني الأوجه يوجد تجويف hole نصف قطره يساوى ٤١٤ ، - من نصف قطر أيونات الكلورين ، ويمكن لأيون يمثل هذا الحجم أن يجد مكاناً له في هذا التجويف ، ويكون متماساً مع الأيونات الستة الكبيرة المحيطة به (كما في شكل د)  
 من الناحية النظرية لا يمكن لأيون المركزي (الموجود في المركز) أن يكون أصغر من أيون نسبة نصف قطره إلى نصف قطر الأيون الأكبر المحيط به كنسبه ٤١٤ ، - إذ سوف لا يكون مثل هذا الأيون الصغير في حاله تماس مع جيرانه ، لذا يلزم



في هذه الحالة ترتيب آخر أكثر استقراراً. هذا الترتيب موجود حيث يحيط بالأيون

المركزي الصغير أربعة أيونات موجودة عند الأركان الأربعة لشكل رباعي الأوجه Tetrahedron (شكل هـ) . (كما في البناء الذري للمعادن السليكاتية حيث يحيط بأيون السليكون أربعة أيونات للأكسجين والنسبة بين نصف قطر الأيون المركزي الصغير (Si) ، ونصف قطر أيون الأكسجين (O) هي ٣٠ ، -). أما إذا كان الأيون المركزي أكبر من الأيون ذو النسبة ٤١٤ ، - . فإن الأيونات المحيطة سوف تضطر للابتعاد عن بعضها إلى الخارج ولن تتماس إلا مع الأيون المركزي فقط ويمكن تمثيل هذا الترتيب كما في شكل (و) ، حيث تكون النسبة بين نصف قطر الأيون المركزي ونصف قطر الأيون المحيط به كنسبة ٦٦ و. ويوجد الترتيب الثماني الأوجه في هذه الحالة أيضاً ويبقى كترتيب مستقر حتى تساوي نسبة نصفي القطرين ٧٣٢ و. (أو أكثر) . وعند هذه القيمة الحرجة يتكون ترتيب أكثر استقراراً ، حيث أصبح هناك مكان لأكثر من أيون يتلامس مع بقية الأيونات الخارجية الستة ومع الأيون المركزي فإذا رُتبت ثمانية أيونات كروية في شكل مكعبي (شكل و) فإن نصف قطر التجويف المركزي سوف يساوي ٧٣٢ و. بالنسبة لنصف قطر الكرات الموجودة عند أركان المكعب و التي تساوي قيمتها ١ (واحد) . وهذا هو الترتيب المستقر يتراوح بين نسبة ١ : ٧٣٢ ونسبة ١ : ١ .

( و )

( هـ )

وفي معدن الهاليت (NaCl) نجد أن النسبة بين نصف قطر أيون الصوديوم ونصف قطر أيون الكلورين هي ٥٦٤ و. وتدل هذه القيمة على أن أيونات الكلورين لا بد أن تحيط بأيونات الصوديوم في ترتيب ثماني الأوجه ولقد أثبتت الأدلة التجريبية صدق هذا الرأي .

**عدد التناسق Coordination Number:**

عدد التناسق لأيون أو ذرة عنصر ما هو إلا عدد الأيونات أو الذرات التي تحيط وتلامس هذا الأيون أو هذه الذرة . فمثلا في (شكل هـ) حيث يحيط بأيون السيليكون ( الكرة السوداء المركزية ) ويتلامس معها أربعة أيونات للأكسجين ( الكرات البيضاء الكبيرة ) ، يكون عدد التناسق للسيليكون هو ( ٤ ) والنسبة بين نصفي القطرين هي ٣٠. وقد يكون للعنصر أكثر من عدد تناسق واحد فمثلاً : قد تحاط ذرة ماغنسيوم بستة ذرات أكسجين عندما يتحد الاثنان لتكوين أكسيد الماغنسيوم (MgO) وفي هذه الحالة يكون عدد التناسق للمغنسيوم "٦" والنسبة بين نصفي القطرين في هذا المركب هي ٤٧. أما في مركب تلوريد الماغنسيوم (MgTe) ، فالنسبة تساوى ٣١. ويكون عدد التناسق للماغنسيوم يساوى ٤ ، حيث تحاط ذرة الماغنسيوم بأربعة ذرات تريليوم في ترتيب رباعي الأوجه tetrahedron

ولما كان الأكسجين مكون عام في تركيب كثير من المعادن ، فعندما نذكر عدد التناسق لعنصر ما بدون تمييز فإننا نقصد عدد ذرات الأكسجين التي تتناسق مع ذرات العنصر المذكور . فمثلا عندما يكون عدد التناسق يساوى ٨ فان ثمانى ذرات أو أيونات تحيط بذرة أو أيون العنصر المركزي في شكل مكعبي . وعلى ذلك نجد أن عدد التناسق يتوقف على النسبة بين نصف قطر الأيون المركزي ونصف قطر الأيون المتناسق حوله ، كما يتبين من الجدول التالي :

عدد التناسق	ترتيب الأيونات حول الكاتيونات	النسبة بين نصف قطر الكاتيون إلى الأنيون
٣	أركان مثلث متساوي الأضلاع	من ١٥. إلى ٢٢.
٤	أركان رباعي الأوجه	من ٢٢. إلى ٤١.
٦	أركان ثمانى الأوجه	من ٤١. إلى ٧٣.
٨	أركان المكعب	< ٧٣.

### (٣) الروابط الكيميائية : Chemical Bonds

تتوقف كثير من خواص المعدن ومميزاته على نوع وشدة القوى الكهربائية التي تربط ذرات المادة بعضها إلى بعض فمثلا انقسام الميكا إلى صفائح رقيقة بسهولة يتوقف على الروابط الكهربائية التي تربط الذرات ببعضها ، حيث نجد أن الأيونات مرتبطة ببعضها ارتباطاً قوياً في الصفائح في الاتجاه الموازي للانقسام ، أما القوى التي تربط كل صفيحة بجاراتها فإنها قوى ضعيفة لا تصمد أمام أي ضغط ، وبالتالي تنفصم الصفائح عن بعضها في هذه المستويات ذات الروابط الضعيفة . وقد أثبتت الدراسات البلورية بالأشعة السينية هذا الرأي . ويُفسر الانقسام بصفة عامة على أنه انفصال يحدث في بناء البلورة في المستويات ذات الروابط الكيميائية الضعيفة وقد وُجدَ عموماً أنه كلما كانت الرابطة قوية كلما زادت صلابة البلورة وكذلك درجة انصهارها ، بينما يقل معامل تمددها الحراري . ولذلك تعزى صلادة الماس العالية إلى الروابط الكهربائية القوية جدا بين ذرات الكربون فيه .

وهناك أربعة أنواع رئيسية من الروابط الكيميائية هي : الأيونية ، المشتركة ، الفلزية ، فان درفال .

#### ١- الرابطة الأيونية Ionic Bond :

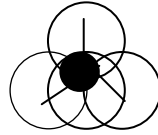
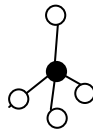
وهذه هي الرابطة التي تربط بين الأيونات ذات الشحنات الكهربائية المختلفة في البلورة ، ولذلك تعرف هذه الرابطة أيضا باسم " الرابطة الكهربائية الاستاتيكية " Electrostatic bond . ومن أمثلتها الرابطة التي تربط أيون الكلورين بأيون الصوديوم في بلورة كلوريد الصوديوم. مثل هذه المركبات التي يغلب في بنائها الذرى الرابطة الأيونية ، عندما تذوب في مذيبات مثل الماء فإنها تُكسب هذه المذيبات خاصية "المحاليل الموصلة" التي تحتوي على أيونات حرة . أما من ناحية الخواص الطبيعية فنجد أن البلورات ذات الرابطة الأيونية لها صلابة متوسطة ، و كذلك وزنها النوعي متوسط . أما عن درجات الانصهار والغليان فهي عالية ، كما أن هذه البلورات موصلة رديئة جداً للكهرباء والحرارة .



## ٢- الرابطة المشتركة Covalent Bond :-

وتسمى كذلك الرابطة الإلكترونية المشتركة Electron sharing bond وهذه أقوى أنواع الروابط . وتتميز المعادن ذات الرابطة المشتركة بأنها غير قابلة للذوبان بصفة عامة ، وبأنها مستقرة stable ، وذات درجة انصهار ودرجة غليان عاليتان جداً . ولا تعطي هذه المعادن أي أيونات في المحاليل التي تكونها ، وعلي ذلك فهي مواد موصلة رديئة للكهرباء في كلتا الحالتين السائلة والصلبة . وهذه الرابطة تتكون نتيجة لاشتراك إلكترون بين ذرتين. فإذا وجد فراغ في المسار الإلكتروني الخارجي للذرة فإن كل طاقة الذرة تُستنفذ في هذه الرابطة التي تربط ذرة بجارتها ، ويتكون عندنا جزيء مستقر ( مثل جزيء الكلورين ) الذي لا يُظهر أي ميل للاتحاد بجزيء آخر .

وهناك عناصر أخرى مثل الكربون والسيليكون والألمونيوم لها أكثر من فراغ في المسار الإلكتروني الخارجي لذراتها . ولذلك فإن ذرة العنصر منها تتحدد بعدد من الذرات المجاورة بواسطة الرابطة المشتركة لتنتج مجموعات ذرات مستقرة ذات أشكال و أبعاد ثابتة ، ومن أمثلة ذلك ذرات السيليكون التي لها أربعة فراغات في مساراتها الخارجية تملؤها بالإلكترونات مشتركة مع أربعة ذرات أكسجين ، وبذلك تكون مجموعة  $SiO_4$  مرتبطة بروابط مشتركة قوية في هيئة رباعي الأوجه Tetrahedron حيث توجد ذرات الأكسجين الأربعة عند أركان هذا الشكل الرباعي ( كما في الشكل التالي ) .



وقد ترتبط مجموعتان أو أكثر من هذه المجموعات الرباعية  $\text{SiO}_4$  لينتج عنها أشكال هندسية مختلفة هي الأساس في البناء الذري للأنواع المختلفة من المعادن السليكاتية .

### **٣- الرابطة الفلزية Metallic Bond :-**

وهذه هي الرابطة التي تربط ذرات الفلزات ، وفيها تحاط نواة ذرة الفلز بسحابة من الإلكترونات الحرة الانتقال في البناء الذري للفلز دون أن تسبب إخلالاً لميكانيكية الروابط . ويعزى إلى هذه الرابطة جميع الخواص المميزة للفلزات مثل القابلية للطرق والسحب وسهولة التشكيل ، والتوصيل الجيد للكهرباء والحرارة ، وانخفاض كل من الصلابة ودرجة الغليان ودرجة الانصهار .

### **٤- رابطة فان درفال Van der Waal Force :**

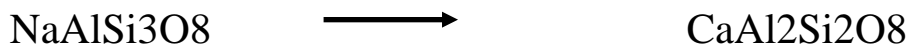
وهذه عبارة عن القوى الضعيفة التي تربط الجزيئات المتعادلة بعضها ببعض ، وهى عبارة عن قوى متبقية على سطح هذه الجزيئات أو المجموعات البنائية غير المشحونة في البلورة .

وغالبا ما تضم البلورات المعدنية أكثر من نوع واحد من الروابط الكيميائية . فمثلا في الجرافيت ترتبط الذرات ببعضها في الصفائح بواسطة الرابطة المشتركة القوية ، بينما يحدث الانفصام في المستويات التي ترتبط برابطة فان درفال الضعيفة . أما في الميكا فترتبط الذرات في الصفائح بواسطة الرابطة المشتركة القوية حيث توجد مجموعات السليكات الرباعية ، وترتبط الصفائح ببعضها بواسطة الرابطة الأيونية الضعيفة عن طريق أيونات البوتاسيوم وينتج عن هذا البناء الذري ذو الروابط المختلفة أن ينقسم معدن الميكا بسهولة جداً في المستويات ذات الرابطة الأيونية الضعيفة . وتعرف البلورات التي يوجد بها روابط من أنواع مختلفة باسم Heterodesmic ، بينما تُعرّف بلورات المعادن التي يوجد بها نوع واحد من الروابط باسم Homodesmic مثل الكوارتز والماس .

## التشابه الشكلي Isomorphism:

هذه الظاهرة تنتج من تواجد مواد مختلفة في التركيب الكيميائي ومتشابهة في الشكل البلوري، والمواد المرتبطة بهذه الظاهرة تعرف باسم مواد متشابهة الأشكال Isomorphous Substances ومثل هذه المواد المتشابهة الأشكال تتشابه بشكل ملحوظ في خواصها الطبيعية والكيميائية والبلورية ولها تقريبا نفس الزوايا بين الوجوهية ونفس النسبة المحورية .

وتتشابه المواد المتشابهة الأشكال في بنائها الذري (متشابهة البناء Isostructural) كما أن مثل هذه المواد تتداخل بلوراتها مع بعضها inter-crystallize. فإذا حللنا بلورة سترونشيانيت (SrCO<sub>3</sub>) وغالبا ما نجد فيها كمية لا بأس بها من الكالسيوم (Ca) وكذلك الباريوم (Ba). حيث حلت هذه العناصر (Ca, Ba) محل جزء من الاسترانشيوم (Sr) ويعرف هذا باسم إحلال أو استبدال التشابه الشكلي ( substitution ) ( Isomorphous replacement ). ولا يتم الإحلال بين عنصر و آخر إلا إذا تقاربا في الحجم ، أي أن لهما نصفى قطرين ذريين متساويين تقريبا . ويجب ألا يزيد الفرق بين نصفى القطرين عن ١٥%. ويجب أن تكون المادة الناتجة من الإحلال متعادلة كهربياً. فإذا حل أيون عنصر أحادي التكافؤ ( مثل الصوديوم ونصف قطره الذري ٩٧، أنجستروم ) محل أيون عنصر ثنائي التكافؤ ( مثل الكالسيوم ونصف قطره الذري ٩٩، أنجستروم ) فلا بد أن يحدث إحلال آخر في نفس الوقت بين عنصرين آخرين (الألومنيوم الثلاثي التكافؤ محل سيليكون رباعي التكافؤ) حتى ينتج التعادل الكهربى للمادة الناتجة :



والإحلال بين العناصر المختلفة قد يكون جزئياً أو كاملاً . ومن أمثلة الإحلال الجزئي إحلال الحديد محل الزنك في معدن السفاليريت ( ZnS ) حيث لا يسمح بناء المعدن بأكثر من ١٨% من الحديد لتحل محل الزنك ويتدرج لون المعدن من عديم اللون إلى بني إلى أسود بازدياد نسبة الحديد من صفر إلى ١٨% .

**أما الإحلال الكامل :** فإنه يظهر بوضوح بين طرفي مجموعة معادن الفلسبارات البلاجيوكيزية وهما الألبيت ( NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> ) والأنورثيت ( CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub> ) حيث محل الصوديوم والسليكون إحلالاً كاملاً محل الكالسيوم والألومنيوم لتنتج مركبات متوسطة بين الاثنين ( تحتوي علي الصوديوم والكالسيوم والألومنيوم والسليكون ) ولها خواص متدرجة بين خواص الطرفين فمثلاً يتدرج الوزن النوعي من ٢,٦١ للألبيت حتى ٢,٧٥ للأنورثيت .

### **التعدد الشكلي Polymorphism :**

تصف هذه الظاهرة وجود أكثر من مادة لها نفس التركيب الكيميائي ولكنها تختلف في بنائها البلوري وشكلها البلوري . مثال ذلك : الماس والجرافيت معدنان لهما نفس التركيب الكيميائي ( عنصر الكربون ) ، ولكنهما يختلفان عن بعضهما في الخواص الطبيعية مثل الصلابة والوزن النوعي والنظام البلوري ... الخ.  
مثال آخر:-

كربونات الكالسيوم يمكن أن تتبلور تحت ظروف خاصة لتعطي بلورات معينة الأوجه (Rhombodrad) تابعة لفصيلة الثلاثي وهي معدن الكالسيت ، وتحت ظروف أخرى تعطي بلورات معينة قائمة (Orthorhombic) هي معدن الكالسيت والأراجونيت و كلاهما (الكالسيت والأراجونيت) له خواص طبيعية مختلفة عن الآخر .

ويطلق على المواد التي توجد في شكلين بلوريين مختلفين اسم ثنائية التشكل Dimorphous مثل الكربون وكربونات الكالسيوم . أما إذا وجدت المادة في ثلاثة أشكال فإنها تعرف ثلاثية التشكل Trimorphous مثل ثاني أكسيد السليكون الذي

يوجد في ثلاثة أشكال هي الكوارتز (فصيلة الثلاثي) والتريديميت (فصيلة المعيني القائم) والكريستوباليت (فصيلة الرباعي).

ويجب ملاحظة أن الأشكال المختلفة للمادة الكيميائية الواحدة لا تتكون كلها في ظروف واحدة ؛ بل تتكون في ظروف مختلفة من الضغط ودرجة الحرارة والبيئة الكيميائية (درجة التركيز - درجة الحموضة - درجة القلوية) .

فمثلاً : يتكون الماس في ظروف من الضغط والحرارة العاليتين جداً ، بينما يتكون الجرافيت تحت الضغط الميكانيكي . ويتكون الكوارتز في درجة حرارة أقل من ٧٧٠ م أما التريديميت فيتكون بين درجتى الحرارة ٨٧٠ م و ١٤٧٠ م ، في حين يتكون الكريستوباليت في درجة حرارة أعلى من ١٤٧٠ م ويتكون معدن البيريت (FeS<sub>2</sub>) من المحاليل القلوية والمتعادلة عند درجات حرارة متوسطة وعالية تحت الضغط ، أما الماركازيت (FeS<sub>2</sub>) فيتكون من محاليل حمضية تحت درجة ٤٥٠ م .

### الخداع الشكلي Pseudomorphism:

إذا حدث تعديل للبلورة بحيث يتغير بناؤها الذرى الداخلي دون أن يحدث أي تغيير على الشكل الخارجى (أي تحتفظ البلورة بشكلها الخارجى) فإنها توصف في هذه الحالة باسم شكل خادع أو شكل كاذب **pseudomorph** أو **False Form** ، وفي البلورة الخادعة الشكل يتبع التركيب الكيميائى والبناء الذرى معدناً معيناً بينما يتبع شكلها الخارجى معدناً آخر .

مثال ذلك :

قد يتغير معدن البيريت ( FeS<sub>2</sub> ) ليعطى معدن الجيوثيت ( HFeO<sub>2</sub> ) الذى يظل يحتفظ بالشكل المكعبى الخارجى المميز لمعدن البيريت، وتعرف بلورات هذا المعدن في هذه الحالة بأنها شكل كاذب لمعدن الجيوثيت الناتج من البيريت . وتتكون الأشكال الكاذبة في الطبيعة نتيجة لإحدى العمليات الآتية .

### (١) التغير الشكلي (Paramorphism) دون حدوث تغير فى التركيب الكيميائى:

يطلق اسم الشكل المغاير Paramorph على البلورة التى تغير بناءها الذرى دون أن

يُحدث ذلك أي تغيير للشكل الخارجي لها . أو بمعنى آخر أنها عبارة عن البلورة التي تغير بناءها الذرى دون أن يتغير تركيبها الكيميائي : مثال ذلك معدن الكالسيت  $(CaCO_3)$  الناتج من معدن الارجونيت  $(CaCO_3)$  ، ولكن الكالسيت الناتج ( رغم أن بناؤه الذرى الداخلي يتبع فصيلة الثلاثي حيث نتج عن تعديل نظام ذرات الارجونيت المعينى القائم ) إلا أنه لا يزال يحتفظ بالشكل المعينى القائم الخارجي الخاص بمعدن الارجونيت ( أي يبدو من الخارج كأنه أراجونيت أي يعطى "شكل كاذب" ) ، لأن جميع خواصه الفيزيائية (والتي تتوقف على البناء الذرى الداخلي الذرى اصبح في هذه الحالة كالسيت ) تكشف ان المعدن اصبح كالسيت وليس أراجونيت وان الشكل الخارجي الظاهر للعين ما هو إلا شكل خادع .

## ٢- حدوث تغير فى التركيب الكيميائي الذي يتم بطريقتين :

أ- الإحلال أو الاستبدال replacement or substitution ينتج الشكل الكاذب في هذه الحالة بإزالة مادة البلورة الأصلية وإحلال مادة جديدة محلها وترسيبها في نفس الوقت دون أن يحدث أي تفاعل كيميائي بين المادة المزالة والمادة المترسبة.

مثال : الكوارتز  $(SiO_2)$  يحل محل الكالسيت  $(CaCO_3)$

الكوارتز  $(SiO_2)$  يحل محل الفلوريت  $(CaF_2)$

## ب- التحلل Alteration :

ينتج الشكل الكاذب في هذه الحالة إذا تغير التركيب الكيميائي للبلورة الأصلية سواء تم ذلك بإضافة مادة جديدة أو بإزالة جزء من مادتها الأصلية ( أو الإثنين معاً : الإضافة والإزالة ) دون أن يحدث تغير فى الشكل البلوري الخارجي البلوري الأصلية.

مثال : إزالة بعض المواد ( العناصر ) : -

الهيماتيت  $(Fe_2O_3)$  يتكون من الماجنيتيت  $(Fe_3O_4)$  بإزالة الحديد .

\*مثال : إضافة بعض المواد ( العناصر ) :

الجبس  $(CaSO_4.H_2O)$  يتكون من الأنهدريت  $(CaSO_4)$  بإضافة الماء .

## \*إزالة وإضافة بعض المواد:

الجيوثيت ( $HFeO_2$ ) يتكون من البيريت ( $Fes_2$ ) بإزالة الكبريت وإضافة الماء.

**٣- أشكال قشرية كاذبة Incrustation Pseudomorph أو قوالب Casts :-**

تحدث هذه الأشكال عندما يترسب معدن على سطح بلورة معدن آخر في هيئة قشرة تغلف البلورة بأكملها وفي هذه الحالة يعرف الشكل الكاذب بأنه قالب خارجي external cast مثل الكوارتز الذي يحيط بمكعب الفلوريت ( $CaF_2$ ) ويأخذ شكله الخارجي . وقد يحدث في بعض الأحيان أن يترسب المعدن في الفراغات الناتجة من إذابة بعض البلورات السابقة ويملؤها ويأخذ شكلها وفي هذه الحالة يعرف الشكل الكاذب الناتج باسم قالب داخلي Internal Cast ، ومن أمثلتها بعض أنواع الصخور المملوءة بمعادن الزيوليت Zeolites والنحاس .

## استخدامات المعادن فى الحياة

يرجع إستغلال الثروات المعدنية الى آلاف من السنين التى مضت ، ومنذ ذلك الزمن البعيد والمعادن تسهم بنصيب وافر فى بناء حضارة الإنسان.

فى العصر الحجرى القديم إستعمل الإنسان الأول مواداً غير فلزية هى الصوان والكوارتز وأحجاراً صلبة وأخرى رخوة ، وذلك لعمل أسلحته وأدواته وأغراض الحفر . لقد إستخدم إنسان العصر الحجرى القديم فى الفترة ما بين ١٠٠٠ ، ٧٠٠٠ سنة قبل الميلاد ثلاثة عشر نوعاً من المعادن نذكر من بينها الكوارتز بأنواعه والبيريت والكالسيت والكهرمان والتلك . أما فى العصر الحجرى الحديث فقد تعرف الإنسان على الذهب والنحاس والفيروز وغيرها من المعادن . أما عن استخراج المعادن الكريمة وصناعتها فقد وصلت الى مرتبة عالية من الفن أيام قدماء المصريين والبابليين والآشوريين والهنود . وازدادت معرفة الإنسان بالمعادن والصخور وإستخدامه لها على مر السنين ، وأمكنه إستخلاص الفلزات منها ، وإنتقل من عصر النحاس إلى عصر الحديد والفحم ثم عصر البترول وحالياً فى عصر المواد المشعة مثل اليورانيوم . ومن هذا نرى الأهمية القصوى للمعادن فى بناء حضارة الإنسان واقتصادياته إذ أن جميع المواد غير العضوية التى تُتداول فى التجارة إما أن تكون معادن أو مواد أصلها معادن وقد قسمت المعادن تبعاً لاستعمالاتها كالاتى :

- ١- معادن خامات الفلزات Ores of Metals .
- ٢- معادن الطاقة الذرية Minerals for atomic energy.
- ٣- معادن الحرارية Refractories.
- ٤- معادن الصنفرة وأحجار التخليخ Abrasives.
- ٥- معادن الخزف والزجاج والميناء Pottery, glass and enamel.
- ٦- معادن صاهرة Fluxes.



٧- معادن المخصبات Fertilizers.

٨- معادن الأجهزة البصرية والعلمية .

٩- معادن الزينة Ornamental Minerals.

١٠- معادن الأحجار الكريمة Gem Minerals.

١١- معادن تستعمل فى صناعات أخرى .

### ١- معادن خامات الفلزات Ores of Metals

مثل الذهب و الفضة واليوكسيت (أكسيد الألومنيوم) ، معادن خامات الحديد المختلفة (الماجنييت ، الهيماتيت ، الليمونيت ، السبيديريت) ، معادن خامات النحاس المختلفة (مالاكييت ، أزوريت ، كوبريت وغيرها) ، معادن خامات النيكل والموليبدنوم والمنجنيز والرصاص والقصدير والتنجستن والزنك والكروميوم.

### ٢- معادن الطاقة الذرية

تشمل المعادن المشعة معادن اليورانيوم والثوريوم . ومعادن اليورانيوم فى الوقت الحاضر هى المصدر الهام الوحيد للطاقة الذرية حيث يستخلص منها اليورانيوم ٢٣٥ ، وكذلك يحضر منها عنصر البلوتونيوم . وأهمية الثوريوم تأتى من أنه يمكن الحصول منه على أحد نظائر اليورانيوم المسمى يورانيوم ٢٣٣ ، وهذا الأخير قابل للإنقسام الذرى مثل البلوتونيوم واليورانيوم ٢٣٥ .

### معادن اليورانيوم :-

يوجد عنصر اليورانيوم فى نهاية الجدول الدورى للعناصر حيث أن له أكبر وزن ذرى وهو ٢٣٨ . ولايوجد اليورانيوم كمعدن عنصرى Native فى الطبيعة ، بل إن مركباته موزعة فى القشرة الأرضية بكميات ضئيلة جداً فى جميع أنواع الصخور تقريباً . وكذلك فى المياه الطبيعية بما فيها مياه البحار . واليورانيوم هو العنصر الوحيد الذى يوجد فيه طبيعياً أحد النظائر التى تنقسم إنقساماً ذرياً بسهولة ، وهو اليورانيوم ٢٣٥ ، ونسبته فى اليورانيوم الطبيعى دائماً تقدر بنسبة ١ : ١٤٠ .

ولليورانيوم ميل شديد للإتحاد مع الأكسجين ، فلا يوجد عنصرياً ولا في هيئة كبريتيدات ، ولكن معادنه عادة تكون عبارة عن أكاسيد أو فوسفات أو زرنيكات أو كبريتات أو كربونات أو سيليكات . ويوجد اليورانيوم في أكثر من مائة معدن مختلف ، ولكن القليل منها له أهمية إقتصادية ، وهى المعادن المعروفة باسم معادن الخام Ore Minerals وهى معادن توجد مركزة نسبياً ، ويكون تركيبها الكيميائى مناسباً بحيث يمكن استخلاص اليورانيوم منها بتكاليف معقولة . أما المعادن الأخرى فلها أهميتها العلمية ، ولا قيمة لها فى الصناعة الآن إلا أنها تدلنا على إحتمال وجود المعادن الإقتصادية فى أماكن تواجدها .

### معادن الثوريوم :

تعتبر معادن الثوريوم قليلة إذا ما قورنت بمعادن اليورانيوم ، ذلك لأن معادن الثوريوم لايتكون منها معادن ثانوية إلا نادراً ، ومع أن آثاراً من الثوريوم وُجِدَت فى أكثر من مائة معدن ، إلا أن عدداً قليلاً منها يبلغ حوالى ١٤ معدناً تُعْتَبَر معادن هامة للثوريوم ، وغالباً ماتحتوى معادن الثوريوم على جزء بسيط من عنصر اليورانيوم ، والعكس كذلك صحيح إذ أن معظم معادن اليورانيوم الأولية تحتوى على آثار ضئيلة من الثوريوم .

ويُلاحَظ أن هناك بعض أنواع من معدنى الثوريوم يُعرفان باسم ثوريت Thorite (ThSiO<sub>4</sub>) ، وثورينيت Thorianite (ThO<sub>2</sub>) تحتوى على ٢٠ - ٣٠ % من اليورانيوم .

توجد معادن الثوريوم عادة فى صخور الجرانيت والبيجماتيت أو فى رواسب التجمعات Placers المشتقة منهما ، كما أكتشف عدد من العروق التى تحتوى على معادن للثوريوم . ويُلاحَظ أن الثوريت وثورينيت هما المعدنان اللذين يوجد فيهما الثوريوم كمكون أساسى ولكنه لا يُستَغَل منهما إقتصادياً فى الوقت الحاضر. أما معادن الثوريوم الأخرى مثل المونازيت والألانيت والزينوتيم والجادولينيت وغيرها فتحتوى من ١ إلى ١٥ % من الثوريوم فى هيئة مكون ثانوى غير أساسى فى تركيب المعدن ،

حيث أنها أساساً مركبات للزركونيوم (Zr) والعناصر الأرضية النادرة . ويجدر بالذكر أن معدن المونازيت هو المصدر الوحيد المُستَعْلَ إقتصادياً فى الوقت الحاضر لاستخراج الثوريوم .

### ٣- معادن الحراريات Refractories

تحتاج الصناعات الفلزية الحرارية الحديثة إلى مواد حرارية لتبطين الأفران التى تتحمل درجات الحرارة العالية ، أما إذا إنصهرت هذه المواد فى درجات من الحرارة أقل من ١٥٠٠ م فإنها لا تُعْتَبَر مواد حرارية . ومن الشروط الأخرى الواجب توافرها فى المواد الحرارية هو عدم تفاعلها مع المواد التى تُصَهَر فى الأفران ، كما يجب أن تكون هذه المواد الحرارية من المتانة والقوة بحيث تتحمل ثقل المواد المصهورة والخبث الناتج ولا تتأثر بهما ، وألاً ينتابها شروخ أو إنتفاخ عند تغير درجات الحرارة ، كما يمكن تشكيل هذه المواد الحرارية فى صورة قوالب أو غيرها من الصور . وهناك أغراض أخرى لإستعمال المواد الحرارية غير تبطين الأفران - مثل الأغراض الكهربائية (العوازل وشموع الإحتراق) وصناعة الأسمنت وغيرها .

ومن أمثلة المعادن التى تستعمل فى تبطين الأفران معادن الجرافيت Graphite (C) ، البوكسيت ، الماجنيزيت (MgCO<sub>3</sub>) Magnesite ، والدولوميت Dolomite [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] .

ومن أمثلة المعادن التى تستعمل فى صناعة الطوب الحرارى معادن الكروميت Chromite (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ، والزيركون Zircon (ZrSiO<sub>4</sub>) ، والكاولينيت Kaolinite [Al<sub>4</sub>(Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>8</sub>] .

ويعتبر معدنى الكايانيت Kyanite (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>) ، السيليمانيت Sillimanite (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>) من أهم المعادن التى تستخدم فى صناعة الخزف على الدرجة الذى يمتاز بارتفاع درجة إنصهاره ، وانخفاض معامل تمدده ، وتحمله للصدمات ، وانخفاض قدرته على توصيل الكهرباء وكلها صفات تجعل هذا النوع من الصينى

صالحاً تماماً لصناعة شموع الإحتراق وأوانى المعامل وأغلفة الازدواج الحرارى والأنواع الخاصة من الطوب الحرارى المستعمل فى الأفران الكهربائية وأفران الحدادة وقمائن الأسمنت .

كذلك فإنه يستفاد من خاصية مقاومة الميكا لمرور التيار الكهربائى بدرجة لايعادلها أى بديل آخر صناعى أو طبيعى فى صناعة العوازل الكهربائىة . وتعتبر الميكا فى الوقت الحاضر من المعادن الضرورية للحياة الحديثة .

ومن ناحية أخرى فإن التلك يستعمل فى صناعة الخزف لانتاج أنواع معينة من الخزف المستعمل فى الأغراض الكهربىة ، وأدوات المائدة . وقد استعمل التلك المحروق فى صناعة المواد العازلة للكهرباء والحراريات .

أما الأسبستوس فيستفاد من خاصية عدم انصهار أليافه فى انتاج المواد غير القابلة للاحتراق (العوازل الحرارية) مثل حوائر التسقيف والألواح المضغوطة والألواح المسطحة والبويات غير القابلة للاحتراق والأسمنت . وكذلك يستعمل فى صناعة معاطف وملابس رجال المطافى وكذلك فى صناعة الستائر الواقية من الحريق فى المسارح . كما يستعمل فى صناعة مواد عازلة للكابلات الكهربىة والأسلاك ولوحات التوزيع وغيرها من الأجهزة الكهربىة وذلك نظراً لخاصية الاسبستوس فى مقاومة تمرير التيار الكهربائى

#### ٤- معادن الصنفرة Abrasives

تتشترك جميع المعادن المستعملة فى صناعة الصنفرة وكذا المواد المشتقة منها فى صفة واحدة هى الصلادة . ويمكن تصنيف مواد الصنفرة الى ثلاث مجموعات كما يلى :

١- مواد صنفرة طبيعىة من الرتبة الأولى ، وتضم هذه المجموعة الماس والكورانوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) والجارنت .

٢- مواد صنفرة سيليكىة ، تتكون من الأنواع المختلفة من السيليكات .

٣- مواد صنفرة متفرقة وتضم مساحيق الصنفرة ، مثل البوكسيت والمجنيزيت والفلسبار والتلك .

وتجد الأنواع المختلفة من مواد الصنفرة استخدامات كثيرة فى جميع أغراض الصناعة وجميع أنشطة الإنسان .

### ٥- معادن الخزف والزجاج والميناء

يستعمل الكاولين ، وهو أنقى الرواسب الطينية وأغلاها ثمناً ولونه أبيض ، فى صناعة الخزف الأبيض والأنواع الأخرى من الخزف . أما بالنسبة للزجاج فإن السليكا ( $SiO_2$ ) تعتبر المكون الرئيسى فى تركيب الزجاج ، حيث تستعمل الرمال التى تحتوى على سيليكات تتراوح كميتها من ٩٥ % الى ٩٩,٨ % فى صناعة الزجاج . أما معادن الفلوريت والفلسبار فانها تستخدم فى صناعة طلاء أدوات الطهى (المينا).

## 6-معادن الصهر Fluxes

مثل معادن الفلوريت والكالسيت والكوارتز حيث تستعمل هذه المعادن فى عمليات صهر الخامات لتجعل الجلىخ أكثر سيولة (fluid slag) ، ولتساعد الفلز المصهور على الهبوط الى قاع الفرن حيث يسحب من الفتحات والصنابير المختلفة. ويتوقف نوع معدن الصهر على طبيعة الخام ، فمثلاً تحتاج خامات الحديد الى كثير من الصاهر الجبرى (الكالسيت) والفلوريت بينما تحتاج الخامات الغنية بالكبريت الى صاهر سيليكى .

## 7-معادن المخصبات Fertilizer Minerals

يحتاج النبات الى بعض العناصر مثل الفوسفور والبوتاسيوم والنيتروجين وتوجد هذه العناصر فى بعض المعادن التى تستخرج من المناجم لغرض استعمالها فى التسميد ومن أمثلة هذه المعادن ما يلى :

١- الفوسفات (معدن الأباتيت - الفوسفوريت وطبقات العظام وفضلات الطيور).

٢- النترات (النتر الصودى  $\text{NaNO}_3$ ) .

٣- البوتاش (معدن السلفيت  $\text{KCl}$  والكارناليت  $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

٤- الجير والمارل .

٥- الكبريت . ٦- الجبس .

وقد تضاف معادن المخصبات الى التربة مباشرة وهى فى حالتها الطبيعية أو تجهز صناعياً بطرق كيميائية لجعلها أكثر ملاءمة لأغراض التسميد .

## ٨- معادن الأجهزة البصرية والعلمية

تستعمل بعض المعادن فى صناعة أجزاء خاصة فى الأجهزة البصرية مثل الميكروسكوبات وأجهزة الاسبكتروجراف وغيرها ، وكذلك فى بعض الأجهزة العلمية والراديو والرادار . ومن أمثلة هذه المعادن :

١- الكالسيت ( أيسلانديسبار Icelandpar ): وهو نوع من الكالسيت يمتاز بشفافيته ونقاوته واكتمال بلوراته..ويتميز الأيسلانديسبار بخاصية الإنكسار المزدوج . ويستفاد من هذه الخاصية فى صناعة منشورى نيكول Nicol Prisms (المستقطب Polarizer والمحلل Analyzer) المستخدمين فى الميكروسكوب المستقطب الذى يستعمل فى دراسة الشرائح الرقيقة للمعادن الشفافة والصخور والأسطح المصقولة لخامات المعادن المعتمة .

٢- الفلوريت : للفلوريت معامل انكسار منخفض ، وتفريقه للضوء ضئيل ، وليس له خاصية الإنكسار المزدوج . وتجعل هذه الخواص من الفلوريت الشفاف معدناً مرغوباً فيه لصناعة عدسات عالية التكبير فى الميكروسكوب لإصلاح العيب اللونى والكرى فى العدسات . ويستعمل الفلوريت كذلك فى أجهزة التحليل الطيفى وغيرها من الأجهزة التى تحتاج الى شفافية تامة لطرفى الطيف .

٣- الكوارتز : تستعمل بلورات الكوارتز النقية جداً ذات الخواص البصرية الأصلية فى صنع أجهزة الراديو و ارادار والأجهزة التليفونية والتلغرافية . وتستخدم شرائح رقيقة جداً من الكوارتز فى الارسال اللاسلكى للتحكم فى تردد الموجات ويستخدم وتد الكوارتز Quartz wedge عند اختبار الشرائح الرقيقة للمعادن والصخور تحت الميكروسكوب المستقطب .

٤- التورمالين Tourmaline: معدن التورمالين من المعادن التى تكسر الضوء إنكساراً مزدوجاً ، ولأنواع الملونة منه خاصية الامتصاص التفاضلى لموجات الضوء فى الاتجاهات المختلفة مما يكسب المعدن خاصية التغير اللونى بكل وضوح . ويستفاد من هذه الخاصية فى صناعة بعض الأجهزة البصرية المستعملة فى دراسة الألوان والاستقطاب . كما تستعمل بلورات التورمالين فى أجهزة الإرسال اللاسلكى لتكسب الموجات تردداً معيناً .

الميكا Mica : تستخدم الصفائح الرقيقة من الميكا (المسكوفيت) المنفصمة فى المستويات القاعدية (001) والخالية من الشروخ فى صناعة شرائح الميكا Mica

plates التى تساعد فى اختبار الخواص البصرية للمعادن تحت الميكروسكوب المستقطب .

### ٩- معادن الزينة Ornamental Minerals

يستعمل كثير من المعادن فى أغراض الزينة ومن أمثلتها الكالسيت والرخام والألباستروالسربنتين والمالاكيت والجبس واللازوريت والرودونيت والفلسبار والكوارتز .

### ١٠- معادن الأحجار الكريمة Gem Minerals

الأحجار الكريمة مصطلح يطلق على المعادن التى لها خواص فيزيائية تجعلها محببة للإنسان ويرغب فى التحلى بها والتزين باستعمالها . والأحجار الكريمة تمثل واحدة من المواد القيمة التى قدرها الانسان منذ الحضارات القديمة . تُصنّف الأحجار الكريمة إلى أحجار ثمينة Precious أو الجواهر النبيلة Nobel gems مثل الماس والزمرد والياقوت والأوبال الثمين ، ثم الأحجار نصف الثمينة Semi-precious ويوجد حوالى مائة معدن تابعة لمجموعة الأحجار الكريمة . ويجب أن يتمتع المعدن بالخواص الفيزيائية التالية حتى تجعل منه حجراً كريماً :

١- لون جذاب ، ٢- بريق ناصع ، ٣- تفرق ضوئى عالى ،

٤- صلادة عالية تقاوم التآكل ، ٥- سهولة الحمل ، ٦- الندرة .

وقد تُعزى قيمة الحجر الكريم إلى واحدة فقط من هذه الخواص ، ولكن أحجاراً كريمة مثل الماس والزمرد والياقوت لها جميع هذه الخواص ، وعلى ذلك فهى تفوق جميع الأحجار الكريمة الأخرى ، ولذلك تُعرّف باسم الأحجار الكريمة الثمينة . أما الأحجار نصف الثمينة فإنها تتميز بلونها الذى يجذب الأنظار .

### ١١- معادن تستعمل فى أغراض أخرى



**أ - صناعة حمض الكبريتيك :** يستعمل الكبريت في صناعة حمض الكبريتيك حيث يستخرج الكبريت من معدن البيريت (كبريتيد الحديد) بالإضافة الى معدن الكبريت العنصرى الذى يعتبر المصدر الإقتصادى الرئيسى لعنصر الكبريت . ويساهم الكبريت وحمض الكبريتيك سوياً إستعمالات كثيرة لاحصر لها فى الصناعات المختلفة نذكر منها على سبيل المثال : الكيماويات الثقيلة ، لب الورق والورق ، المفرقات ، الكاوتشوك ، الأصباغ ومنتجاتها ، البويات ، المخصبات والمبيدات الحشرية ، الكيماويات ، الحديد والصلب ، النسيج ، منتجات الفحم ، أغراض فلزية أخرى .

**ب - صناعة مركبات الليثيوم :** يستعمل عنصر الليثيوم فى الوقت الحاضر- فى كثير من الصناعات الكيماوية - باضطراد حيث أنه أخف الفلزات المعروفة وله درجة إنصهار منخفضة . يوجد الليثيوم فى ثلاثة معادن إقتصادية هى السبوديومين (من معادن البيروكسينات)  $[LiNa(Si_2O_6)]$ ، والليبيدوليت (من معادن الميكا)  $[K_2Li_3Al_3(AlSi_3O_{10})_2(OH_2F)_4]$ ، والأمبليجونيت (من المعادن الفوسفاتية)  $[Ca_5(OH)(PO_4)_3]$  .

تستعمل مركبات الليثيوم فى الصناعات الكيماوية الدوائية وفى لحام الألومنيوم وفى العوازل المختزلة وتنقية الهيليوم وغيره من الغازات وصناعة الأمونيا والحريير الصناعى والصباغة . كما يستعمل فلز الليثيوم لإنتاج سبائك مع الألومنيوم والماغنسيوم والزنك تمتاز بخفتها وتستعمل فى صناعة الطائرات . كما يستعمل الفلز كعامل مختزل ومنقى فى إنتاج فلزات النيكل والحديد والنحاس النقية وسبائكها .

**ج - صناعة مركبات الاسترونشيوم :** يستعمل الإسترونشيوم عادة فى صورة أملاحه المختلفة وأهم إستعمال لها هو فى عمليات تكرير مولات سكر البنجر . كما تستعمل مركباته المختلفة فى صناعة البطاريات الكهربائية والبويات والمطاط والشمع وتنقية الصودا الكاوية وفى صناعة الزجاج والمينا وفى المستحضرات الطبية . وأهم معادن الإسترونشيوم التى تُستعمل هى السلسنتيت  $(SrSO_4)$ ، والسترونشيانيت  $(SrCO_3)$  .

**د - معادن أخرى تسعمل في صناعة الكيماويات : مثل:**

\* معادن الشب (شب البوتاس أو الألونيت):  $Alunite [KAl_3(OH)_6(SO_4)_2]$  الذى يستخدم فى معالجة الفراء ، وفى الأغراض الطبية .

\* معدن الباريت  $Barite (BaSO_4)$  : الذى يستخدم فى حفر الآبار ، وفى صناعة الورق والمنسوجات ، وفى مواد الزينة للسيدات ، وفى الطب .

**هـ - صناعة سبائك خاصة :** حيث يُستعمل معدن البيريل (الزمرد)  $Beryl [Be_3Al(Si_6O_{18})]$  فى صناعة سبائك البيريليوم التى تستخدم فى صناعة أقراص نوافذ الأشعة السينية (X-Ray) فى أجهزتها المختلفة نظراً لسهولة نفاذ الأشعة السينية منها ، كما تستخدم هذه السبائك فى الأجهزة الميكانيكية للصواريخ الموجهة . ، وفى أغراض بنائية أخرى .

## علم الصخور

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

## التركيب الصخري للقشرة الأرضية

الصخور الى جانب المعادن هي مكونات القشرة الأرضية او ذلك الغلاف اليابس الذى يحيط بالأرض Lithosphere وقد يتركب الصخر من معدن واحد او يكون خليط من عدة معادن ، وتتشترك فى بناء جزء اساسى من القشرة الأرضية. وتوجد ايضا صخور تتكون من اصل عضوى (ليس معدنى) مثل صخور الفحم او الصخور المتكونة من تكس 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 هي 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 على 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

وهي تتكون نتيجة لبرود الصهير وتصلبها اما على السطح او على اعماق مختلفة منه. والصحير هو الخليط السائل او اللزج لمجموعة المعادن المصهورة التي توجد اصلا في جوف الارض ، والصحير عبارة عن خليط من المواد الطيارة Volatiles او الغازية Gaseous مثل ثانى اكسيد الكربون وبخار الماء ، ومواد غير طيارة -volatiles- Non مثل 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 الموجودة 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 وبالتالي 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 فى 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 فى حالة متبلورة ويختلف حجم بلورتها باختلاف سرعة تبريد الصهارة الذى تكونت منه ، لذا نجد الصخور التي تكونت فى 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 صخوراً 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 الصخور النارية ويعرف الصهير علي 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 سائل 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 الا أن له المقدرة علي الحركة والإنسياب.
- (٣) الصهير القاعدي أقل لزوجة من الصهير الحمضي لذا نجد أن الحمم القاعدية تنساب الي مسافات بعيدة مقارنة بالحمضية ويعزي هذا الفرق 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 أعلى 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 والتي تقود الي تكوين ما يعرف بالصخور النارية (Igneous rocks). واهم هذه العمليات هو التبلور التجزيئي

## Fractional Crystallization

تسمى عملية تعرض الصهير الي إنخفاض في درجة الحرارة والضغط ومن ثم تصلده بعملية التبلور، والتي تنبني عليها إنفصال بلورات معدنية من الصهير بصورة متكررة فيما يعرف بعملية التبلور التجزيئي للصحير (Fractional crystallization).  
 وضع العالم بوين (N. L. Bowen) قاعدة تسمى 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 - كيفية التواجد (مكان التصلب) ٢ - التركيب الكيميائي و المعدني  
 ٣ - النسيج ٤ - اللون

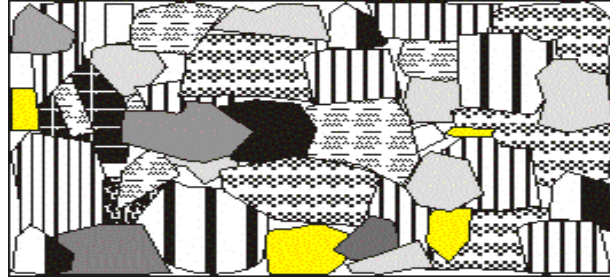
#### ١ - كيفية التواجد (مكان التصلب) للصخور النارية

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 Hypabyssal rocks وفيما يلي وصف لهم:

#### أ - الصخور الجوفية Plutonic rocks

تتكون الصخور الجوفية على أعماق بعيدة في جوف الأرض حيث تسمح عوامل الحرارة والضغط بعملية تبلور تام لمكونات الصهير ، نتيجة التبريد البطئ والضغط المستقر نسبيا ، ولذلك توجد المكونات المعدنية للصخور الجوفية في 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 - يبين النسيج كامل التبلور

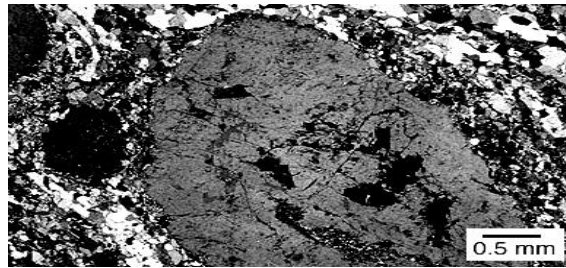
ويوصف النسيج فى هذه الحالة بأنه كبير الحبيبات Coarse grained texture أو جرانيتى Granitoid. وتتواجد الصخور الجوفية فى هيئة كتل ذات حجم ضخم ، تغطى مساحات شاسعة تبلغ مئات الكيلومترات ، وتترايد مساحتها تدريجيا فى اتجاه قاعدتها على أعماق كبيرة جدا تحت سلاسل الجبال ، وعادة ما تكون أسقفها مخروطية الشكل وجدرانها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

### ب - الصخور تحت السطحية (المتداخلة)

يصعد الصهير أحيانا تحت ظروف اضطرابية داخل القشرة الأرضية ويتسرب إلى مناطق الضعف فى صخور المكان وخاصة الرسوبية منها وينتج عن ذلك تقوس الطبقات الموجودة فوق الصهير المتداخل فتتخذ هيئة قبة 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 لاكلوث 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 مبدرة أو مجهر عادى) ، أو يتجمد فى هيئة مادة زجاجية عديمة التبلور ، لتكون الوسط الذى يحيط بالبلورات للكبيرة الحجم.



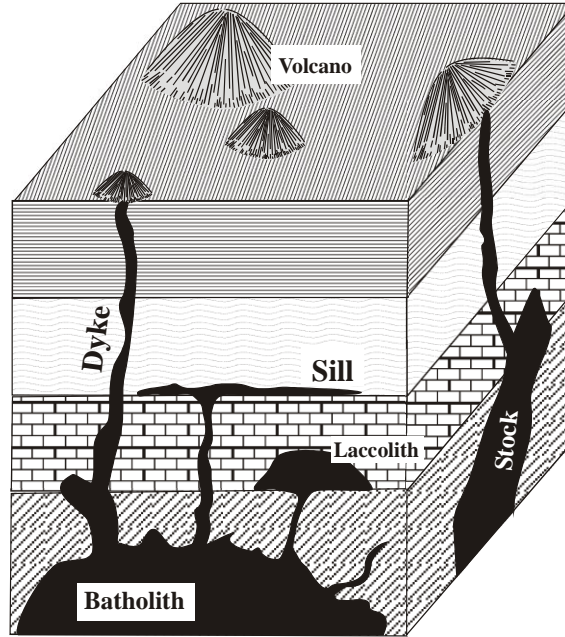
شكل ٣ - يبين النسيج البورفيرى فى الصخور النارية

### ج - 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 فقائيع 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 فقائيع 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 ، أو 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 أشكالاً 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.

## ٢- التركيب المعدنى للصخور النارية

تتكون الصخور النارية من تصلد مادة الصهير أو الحمم. وقد سبق الإشارة إلى أن تجمد الصهير يؤدي 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 وبالتالي فى تركيبها الكيمائى. ولا يتوقف نوع الصخور النارية على مجرد خاصية التبلور النوعى فحسب ، بل يتوقف كذلك إلى حد كبير على التركيب الكيمائى 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 الفلسباتية 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 وأوليغوكليز ، 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 حيث تحت محل الأرثوكليز. ويتغير لون الجرانودايوريت بين فاتح وداكن حسب إزدياد البلاجيوكلاز والمعادن الحديدوماغنيسية القائمة 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 والهورنبلد وتوجد بكميات متوسطة ، والميكا السوداء بنسبة أقل من الهورنبلد ، وكذلك بعض معادن البيروكسينات بكميات قليلة. ويوجد الأرتوكليز 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 قائم يميل إلى السواد ومن أمثلتها صخر البازلت وصخر الجابرو (صخر قاعدى شائع الوجود يتكون أساسا من البلاجيوكليز والبيروكسينات وتوجد معادن أخرى غير سائدة مثل الهورنبلد 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 أساساً من معادن الأوليفين ، وصخر بيروكسينيت ومعظمه من معادن البروكسينات ، وكذلك صخر هورنبلنديت ويتكون من الهورنبلند.

### ٣-أنسجة الصخور النارية

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

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

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 جداً يعتبر عاملاً مهماً في تكون الزجاج البركاني بينما التبريد البطيء 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 كلييه Holocrystalline.**

**ثانيا - حجم البلورات:**

حجم البلورات في الصخور النارية يعتمد على سرعة التبريد في الصهير، لكن في الصخور الجوفيه يلعب محتوى الأبخرة 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 (بجمائيتي) very coarse grained

(أكثر من ١٠ مم)

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 للصحير 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 البجماتيتية 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 اللزوجة للصهير وبالتالي تزداد سرعة تحرك الأيونات إلى مراكز الأنوية القليلة فتصبح بلورات كبيرة.

### ثالثا- شكل البلورات:

توصف أشكال البلورات في الصخور النارية كالاتي:

**كاملة الأوجه euhedral.**

**ناقصة الأوجه subhedral.**

**عديمة الأوجه anhedral.**

وتوصف ايضا أشكال البلورات في الصخور النارية كالاتي::

إذا كانت البلورات متساوية الأبعاد تسمى equant.

إذا كانت البلورات صفائحية تسمى tabular.

إذا كانت البلورات منشورية أو مستطيلة تسمى prismatic.

إذا كانت البلورات إبرية الشكل تسمى acicular.

### كيفية وجود الصخور النارية

#### Modes of Occurrence of Igneous intrusions

قبل أن نتم الحديث عن التراكيب المختلفة التي توجد في القشرة الأرضية يجب أن نشير إلى كيفية وجود الصخور النارية أي إلى التراكيب المختلفة التي 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 هي الأهم في هذه الدراسة إذ أنها توجد على هيئة تراكيب مختلفة داخل القشرة الأرضية. وفي بعض الأحيان نجد هذه الصخور مكشوفة على سطح الأرض نتيجة لعوامل التعرية المختلفة التي أزلت ما كان يغطيها من طبقات ، أما الصخور البركانية وهي الصخور النارية السطحية فهي تعتبر قليلة الأهمية بالنسبة للصخور الجوفية فيما يختص بما تكون من تراكيب ، إذ أنها توجد على هيئة طفوح بركانية في الغالب Lava flows وتكون عادة متصلة بالصخور الجوفية بواسطة صخور متوسطة بين النوعين.

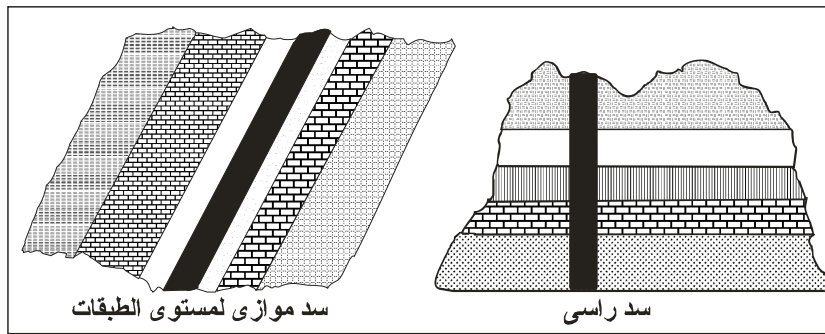
### (أ) أهم الأشكال أو التراكيب التي توجد عليها الصخور الجوفية والمتدخلة :

#### ١- السدود القاطعة أو الرأسية Dykes

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

#### ٢ - السدود الموازية لمستوى الطبقات Sills

وفي بعض الأحوال تجد المagma طريقا لها على مستوى إحدى الطبقات ، وعادة تكون الطبقات في هذه الحالة أفقية أو قريبة من الأفقية.

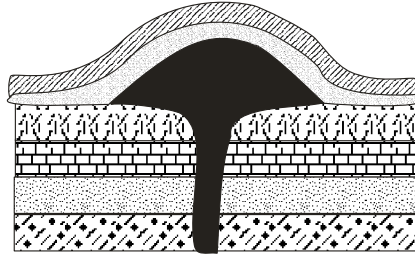


شكل: يبين سد رأسي Dyke و سد موازي لمستوى الطبقات Sill

#### ٣ - صخور نارية توجد على هيئة قباب



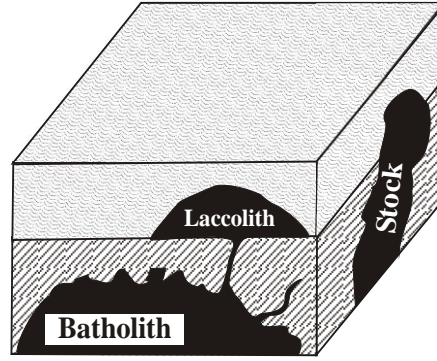
ومنها شكل أو تركيب يسمى لاكوليت ويتكون عندما تصعد المجما بين الطبقات خلال فتحة ضيقة وتكون على درجة كبيرة من اللزوجة very viscous وبدلا من أن تنتشر أفقيا فإنها تضغط الطبقات التي فوقها في بعض الأحيان فتسبب تقوسها على شكل قبة وتكون قاعدتها أفقية (شكل ٢٧). ويختلف هذا النوع من التراكيب في السمك بين بضع مئات من الأقدام إلى ميل في المنتصف ، أما قطره فيتراوح بين عدة مئات من الأقدام إلى عدة أميال. وعكس هذه الحالة تحدث في 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 - كتلة ضخمة من الصخور الجوفية

إذا كانت هذه الكتل من الصخور النارية صغيرة نسبيا بحيث يصل قطرها إلى عدة أميال فقط فإنها تسمى 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 في قلب سلاسل الجبال ذات الأعمار الجيولوجية المختلفة كجبال الألب والهمالايا وجبال الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء ، ولا تظهر على السطح إلا نتيجة لتعرية ما يغطيها من الصخور بواسطة العوامل المختلفة.



شكل ٢٨ : يبين بعض الأشكال التي 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 التي تحولت بفعل الحرارة المتصاعدة من المواد المنصهرة قبل برودها وتجمدها وكذلك بفعل الضغط الناشئ نتيجة للحركة الأرضية التي 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 التي تظهر عليها الصخور البركانية أو السطحية

##### ١ - الطفوح البركانية Lva flows

وهى عبارة عن المواد المنصهرة أو اللافا التي 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 تنتشى 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 تنتشى 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 الكيمايى للأمطار والرياح والجليد والصقيع أو الاختلاف الدورى فى درجة الحرارة ، ثم نقل المواد الناتجة من عمليات التجوية أما فى حالة صلابة 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 لحمية مثل كربونات الكالسيوم أو السيليكات 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 الثلجات أو بفعل الجاذبية الأرضية - دون أن يطراً عليها أى تغير كيميائى 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 سنتيمترات – 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 اللحم الجيرى أو السيليكى أو حديدى. ومن الصخور الرسوبية الميكانيكية أيضا 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 وتفقت معادن السيليكات وخاصة سيليكات الألومينا المائية (المعادن الطينية Clay minerals). وقد تحتوى الصخور الطينية على بعض البقايا العضوية المتحللة أو بقايا 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. الطين (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 الطين بظاهرة التفسخ الصخرى Fissility حيث يمكن فصله أو تقشره هيئة وريقات ، وترجع هذه الخاصية إلى إحتواء صخر الطين على بعض قشور دقيقة من المعادن الصفائحية مثل الميكا ، وقد تحتوى بعض صخور الطين على شوائب عضوية فحمية أو بترولية فتكسبها اللون القاتم أو الأسود.

### ٢ - صخور رسوبية كيميائية النشأة

تتكون هذه الصخور نتيجة ترسيبها 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 الكالسيوم ذائبة وأهم أنواعها: *الحجر الجيري* (غير عضوى): وهو صخر أبيض أو رمادى اللون إذا كان نقيا ، ولكنه غالبا ما يحتوى على شوائب تكسبه ألوانا مختلفة. *الحجر الجيري البطروخى* Oclitic limestone : ويتكون من حبيبات كروية صغيرة جدا نتيجة تفاعل كيميائى بين محاليل الأملاح فى مياه البحار والبحيرات ، يودى 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 السيليكات مثل فلينت (صوان) Flint : صخر قاتم ، أسود أو رمادى اللون يتكون من خليط من السيليكات المتبلورة فى هيئة عقد أو درنات مختلفة الحجم ، ويحتوى عادة على بعض الشوائب الملونة مثل أكاسيد الحديد أو الماغنسيوم. وأحيانا يتكون الفلنيت 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 السيليكات 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 النظرون (كربونات الصوديوم المائية) مع أملاح أخرى بوادى النظرون.

### 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 :

#### ١- الحجر الجيري 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 الجيري 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 الجيري 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 والداخلية بالصحراء الغربية.

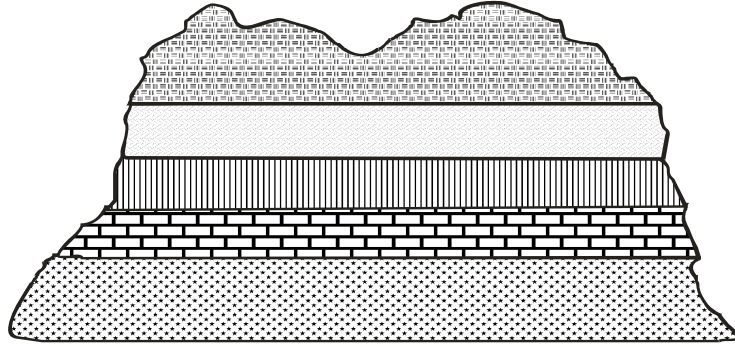
### كيفية وجود الصخور الرسوبية فى القشرة الأرضية

#### التطابق Bedding



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

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

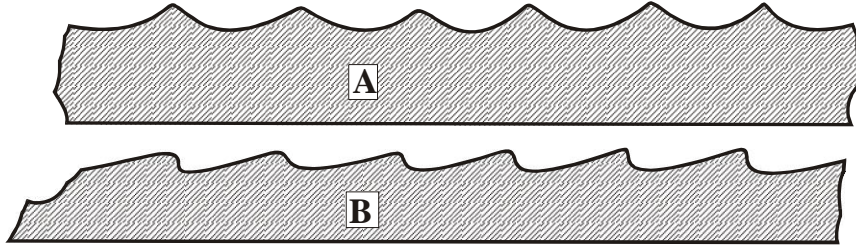


شكل ١٢ - يبين الصخور الرسوبية الموجودة في صورة طبقات أفقية متتابعة

غير أنه في بعض الأحوال تظهر طبقة بها تطابق ثانوي تميل مستوياته بالنسبة للمستويات الرئيسية للتطابق ويعرف هذا النوع باسم التطابق المائل أو المتقاطع أو التيارى *current bedding or cross bedding* ، الذي يظهر على هيئة طبقات ذات مستويات مائلة تحدها طبقات متوافقة. ويدل هذا التطابق التيارى على التغيير السريع في اتجاه وشدة مياه الأنهار الحاملة للمواد الرسوبية في جانبي 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 في حالة تكوينها بفعل الأمواج على الشواطئ ( شكل ١٣ ).



شكل ١٣ - قطاعات تبين اشكال علامات التماوج : A تكونت بفعل الامواج ، B ،

### تكونت بفعل التيارات 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 في مجموعها لا يكون متوافقا conformable في كل الأحوال ، إذ كثيرا ما تكون مجموعات هذه الطبقات غير متوافقة unconformable ، حتى ولو كانت متوازية الأسطح ، نتيجة لعوامل كثيرة.

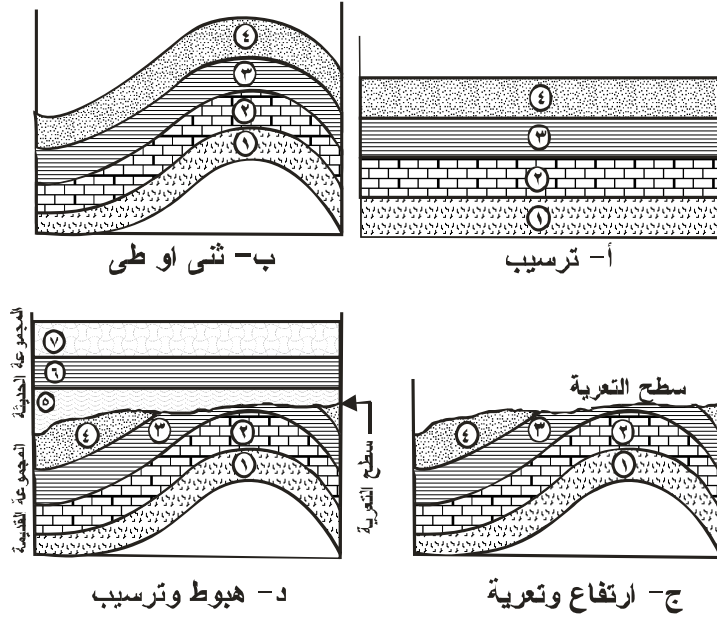
ويعتبر عدم التوافق ظاهرة تركيبية بحتة ، مع أنه يتضمن في الأصل عمليات كثيرة كالترسيب والتعرية بالإضافة إلى تأثير التحركات الأرضية بأنواعها. وعلى ذلك يمكن اعتبار عدم التوافق عموما سطح تعرية Surface of Erosion أو سطح توقف

عن الترسيب ، وبفعل هذا السطح ما بين مجموعتين من الطبقات أحدهما 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 وهي 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 المسامي 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.

حجم الفراغ الموجود فى الصخر × ١٠٠

= مسامية الصخر

حجم الصخر كله

وبهذه النسبة يمكننا مقارنة مسامية الصخور بعضها ببعض فقد وجد أن مسامية الطين قد تبلغ ٥٠% والصخر الطباشيري Chalk ٥٠% والرمل والحصى الغير متماسك ٢٠ - ٤٧% والصخر الرملى المتماسك ٥ - ١٥% والصخر الجبرى 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 - الإنفاذية

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 - الإمرار

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 :

.Porous & permeable

(١) صخور مسامية منفذة

.Porous & impermeable

(٢) صخور مسامية غير منفذة

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

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

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

### العوامل التي تتوقف عليها مسامية الصخور:

#### أولا : درجة التقارب بين أحجام الحبيبات المكونة للصخر

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

#### ثانيا : شكل الحبيبات المكون للصخر Shape of the grains

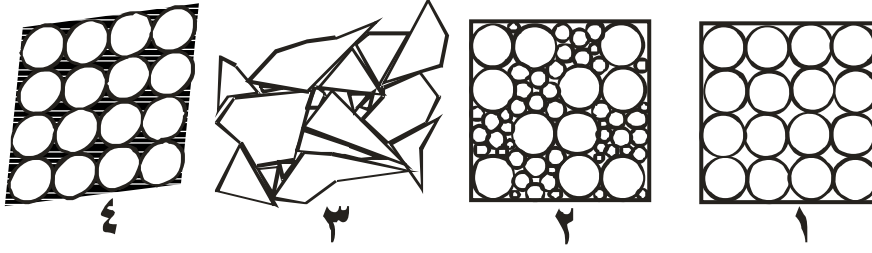
فمن الواضح أنه إذا كانت الحبيبات حادة Angular (شكل ١٠ - ٣) فإن الزوايا تدخل في الفجوات بين الحبيبات الأخرى وتقلل المسامية.

#### ثالثا : طريقة ترتيب (أى رص) الحبيبات Manner of packing

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 : درجة تماسك الصخر Cementation

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 التغيير الذي يطرأ على صخور سابقة التكوين (نارية أو رسوبية) وإعادة بنائها نتيجة تغير للظروف الطبيعية مثل درجة الحرارة أو الضغط أو كليهما معاً.

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 تحتوي علي أجزاء من الصخور الأصلية *Xenoliths*.

## تعريف التحول

يحدث التحول في أعماق الأرض وهو التغييرات النسيجية والمعدنية والتركييبية التي تطرأ على صخور نارية أو رسوبية أو متحولة قديماً وهي في حالتها الصلبة. تتمثل هذه التغييرات في بنية الصخرة ونسيجها وتركيبها المعدني الناجم عن تغير الشروط الفيزيائية (كالضغط و الحرارة) و الكيميائية للوسط الصخري. تنتج هذه التغييرات 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 ( $H_2O$ ) و ثاني أكسيد الكربون ( $CO_2$ ).



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 بين ٥٠ 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 تدريجياً، 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 أساساً

- 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.

ويؤدي الضغط المرتفع غير المصحوب بتغير كبير في درجة الحرارة في مناطق التكسر أو التفلق إلى تغيير أو تحول طفيف نسبياً في الصخور "الموضعية" الواقعة

على جانبى هذه الفوالق ، ويعرف هذا النوع بالتحول الموضعى أو التحول بتغير الأوضاع.

أما الضغط المرتفع المصحوب بحرارة عالية والناجى 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 فى 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 فى بعض الحالات. فوجود الماء، مثلا، يساعد كثيرا فى التفاعلات الكيميائية بين و مع المعادن المكونة للصخر الأولي الأم لتنتج بعد ذلك معادن جديدة مستقرة فى الظروف المرافقة لعملية التحول من ارتفاع فى الضغط و الحرارة. تلعب المحاليل دورا هاما فى نقل الأيونات أو بعض المركبات الكيميائية التى تساهم فى التفاعلات الكيميائية.

## أنواع التحول

### التحول الحرارى (التماسي)

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 هورنفسل 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 موازىكى 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 الإقليمي

ينشأ التحول الإقليمي نتيجة تغير صخور سابقة التكوين فى مناطق إقليمية شاسعة تحت تأثير الضغط العالى المصحوب بارتفاع درجة الحرارة والناتج من حركات القشرة الأرضية. وغالبا ما يؤدي 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 الأصى تماما ، فقد تنكسر أو تنفتت 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 شيبستوزى 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 الأصى له مثل نيس جرانيتى Granitic gneiss : وهو الناشئ عن تحول صخر الجرانيت ، نيس دايوريتى Dioritic gneiss وهو دايوريت متحول بالضغط والحرارة.

اما صخر شيبست 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 الشيبستوزى المميز لصخور الشيبست.

\*\*\*\*\*

## علم الصخور

علم الصخور هو العلم المختص بدراسة الصخور من حيث أصلها ونشأتها، مكوناتها وعلاقتها 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) والتي تعنى علم او معرفة.

### التركيب الصخري للقشرة الارضية

الصخور الى جانب المعادن هي مكونات القشرة الارضية او ذلك الغلاف اليابس الذي يحيط بالارض Lithosphere وقد يتركب الصخر من معدن واحد او يكون خليط من عدة معادن ، وتشارك في بناء جزء اساسى من القشرة الارضية. وتوجد ايضا صخور تتكون من اصل عضوى (ليس معدنى) مثل صخور الفحم او الصخور المتكونة من تكس 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 في ثلاثة انواع رئيسية هي الصخور النارية والصخور الرسوبية والصخور المتحولة.

**الصخر Rock:** يعرف الصخر بأنه مادة صلبة تتكون من معدن واحد أو مجموعة من المعادن تكونت في 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

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

بطبيعة كلما ظل الصهير في حالة سائلة اكبر وقت ممكن وهذا يسمح للجزيئات الدقيقة ان ترتب نفسها في اشكال منتظمة وبالتالي تعطى الفرصة لتكون البلورات الكبيرة . و نجد ان التبريد السريع جدا الذي يحدث عندما يصعد الصهير على هيئة طفوح بركانية الى سطح الأرض وينتج عنه نسيج صخري ذو حبيبات دقيقة Fine grained او نسيج زجاجي.

### 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 الصخور النارية ويعرف الصهير علي 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 سائل 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 الأ 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 هذا الفرق 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 والتي

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

تسمى عملية تعرض الصهير الي إنخفاض في درجة الحرارة والضغط ومن ثم تصلده بعملية التبلور، والتي تتبني عليها إنفصال بلورات معدنية من الصهير بصورة متكررة فيما يعرف بعملية التبلور التجزيئي للصحير (Fractional crystallization).

وضع العالم بوين (N. L. Bowen) قاعدة تسمى 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 - كيفية التواجد ( مكان التصلب )
- ٢ - التركيب الكيميائي و المعدني
- ٣ - النسيج
- ٤ - اللون

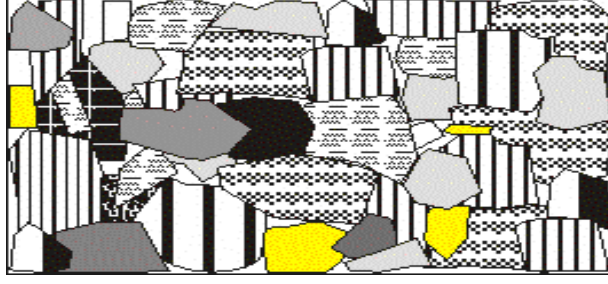
#### ١ - كيفية التواجد ( مكان التصلب ) للصخور النارية

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 Hypabyssal rocks وفيما يلي وصف لهم:

#### أ - الصخور الجوفية Plutonic rocks

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





شكل ٢ - يبين النسيج كامل التبلور

ويوصف النسيج في هذه الحالة بأنه كبير الحبيبات Coarse grained texture أو جرانيتي Granitoid. وتتواجد الصخور الجوفية في هيئة كتل ذات حجم ضخم ، تغطي مساحات شاسعة تبلغ مئات الكيلومترات ، وتزايد مساحتها تدريجيا في 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 .

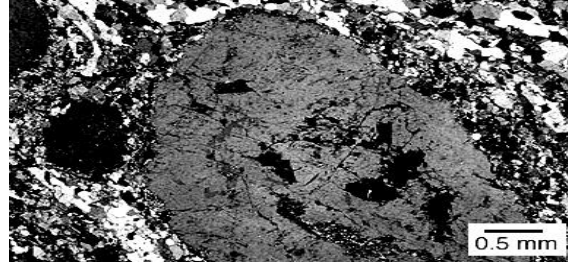
#### ب - الصخور تحت السطحية (المتداخلة)

يصعد الصهير أحيانا تحت ظروف اضطرابية داخل القشرة الأرضية ويتسرب إلى مناطق الضعف في صخور المكان وخاصة الرسوبية منها وينتج عن ذلك تقوس الطبقات الموجودة فوق الصهير المتداخل فتتخذ هيئة قبة 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 ، التي قد تصل مساحتها عدة كيلومترات باسم لاكلوث Laccolith أو كتل جرسية.

وأحيانا يتداخل الصهير بين سطوح الطبقات الرسوبية حيث يتجمد في هيئة جدد موازية sills ، وأحيانا أخرى يغزو الصهير الشقوق والفواصل أو الكسور التي غالبا ما تكون راسية أو مائلة في 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 في وسط من البلورات الدقيقة أو المجهرية Microcrystals أو في وسط زجاجي ينعدم فيه التبلور نهائيا (شكل ٣). وينشأ النسيج البورفيرى نتيجة تغير الظروف المحيطة بالصهير المتداخل أثناء تصلده ، فتتكون البلورات الكبيرة الحجم النموذجية الشكل أثناء وجود الصهير في أعماق بعيدة نسبيا من سطح الأرض نتيجة التبريد البطئ ، فإذا ما تداخل الصهير بعد ذلك في الطبقات القريبة من سطح الأرض حيث التبريد المفاجئ فإنه يتصلد حينئذ في بلورات دقيقة الحجم أو مجهرية تملأ وتتشكل بشكل الفراغات الموجودة بين البلورات النموذجية الشكل السابق تكوينها. وأحيانا أخرى يتعرض الصهير المتداخل إلى انخفاض شديد مفاجئ في درجة الحرارة والضغط فيتصلد في هيئة مادة خفية التبلور (لا يمكن تمييزها

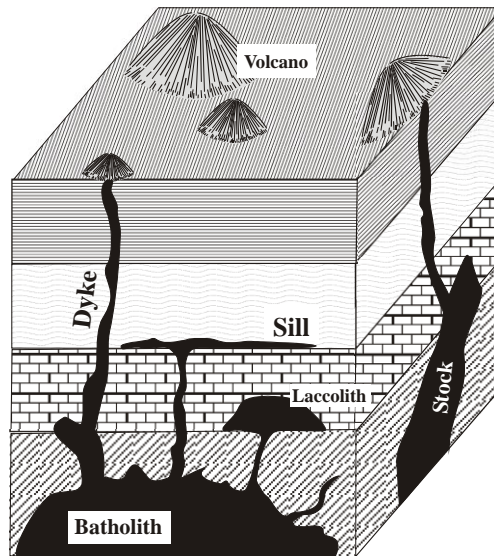
بعنسة مبكرة أو مجهر عاى) ، أو يتجمء فى هئئة مءة زءاءئة عءمة التبلور ، لتكون الوسط الذى يحيط بالبلورات اللكبيرة الحجم.



شكل ٣ - يبين النسيج البورفيرى فى الصخور النارية

### ج - الصخور السطحية أو البركانية

تتكون هذه الصخور نتيجة تدفق الحمم أو اللافا من أفواه البراكين الثائرة ، أو من الشقوق والفواصل التى قد تصاىف الصهير المتصاعء فى صخور المكان إلى سطح الأرض ، وتتصلء الحمم حينئذ بسرعة فائقة لا تسمح لمكوناتها بأن تتخذ الأشكال البلورية الخاصة بها فتكون مءة زءاءئة عءمة التبلور ، وأحياناً تتجمء الحمم فى كتل سمبكة ، فتتكون الطبقة الخارجبة منها فى نسيج زءاءى نتيجة تعرضها المباشر للجو حيث تفقء حرارتها بسرعة هائلة ، بينما تتمتع الأءاء الداخلية منها بتبريد ببطى نسبباً فتتجمء فى نسيج ءقبق أو حتى التبلور ، وغالباً ما تحتوى الحمم على غازات وأبءرة متعددة على هئئة فقاقبب كببيرة ، سرعان ما تنطابىر بمجرء تعرضها للجو تاركة خلفها فراغات فقاقببة فى الصخور النارية السطحية فتكون نسيجاً فقاقببياً. وقد تمتلئ هذه الفراغات الفقاقببة فىما بعء بمعاىن ثانوية لآءقة مختلفة الأصل وتظهر فى شكل لوزى ، ويوصف النسيج الناتج بأنه لوزى أو مبءءالى. وأحياناً تتجمع الغازات البركانية فى الحمم على هئئة فقاقببب صغيرة ءءا كببيرة الانتشار ، وبمجرء تطابىرها تترك الصخر البركانى على هئئة نسيج إسفنءى كما فى الحجر الخفاف.



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

وتظهر الصخور البركانية في الطبيعة في أشكال مختلفة تتوقف على التركيب الكيميائي للحمم ودرجة حرارتها ودرجة لزوجتها ، فالحمم الحامضية التركيب تظل لزجة لوقت طويل وخاصة في درجات الحرارة العالية فتسيل إلى مسافات قصيرة غير بعيدة عن مصدرها ، في 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 في هيئة كتل بركانية ، أو هيئة بيضاوية تعرف بالقنابل البركانية Volcanic bombs ، أو قطع صغيرة الحجم ، أو تتطاير في هيئة فتات أو حبيبات صغيرة تعرف بالغبار البركاني 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 توازي السطح الذي تسيل عليه ، وغالبا ما تتبلور مكونات الجزء الداخلي لهذه الحمم المتحركة وتترتب موازية لبعضها في اتجاه التحرك فينتج ما يسمى بنية الانسياب Flow structure . وقد تبرد اللافا متجمدة على هيئة وسائد متجمعة فوق بعضها في بنية وسادية pillow structure ، وأحيانا تتجمد الحمم في شكل أعمدة رأسية متلاصقة ذات مقطع سداسي منتظم يشبه خلايا النحل يعرف بالبنية العمدانية Columnar structure . وتنشأ هذه البنية عن الإنكماش المنتظم لسطح الحمم نتيجة التبريد وتنفصل في أشكال منتظمة سداسية المقطع ، وتمتد الفواصل متعمقة إلى أسفل بازدياد التبريد والانكماش فتتكون أعمدة طولية متوازية متجاورة منفصلة عن بعضها.

## ٢- التركيب المعدني للصخور النارية

تتكون الصخور النارية من تصلد مادة الصهير أو الحمم. وقد سبق الإشارة إلى أن تجمد الصهير يؤدي إلى تكون معادن السيليكات بالتبلور في نظام وتتابع معين هو التبلور النوعي أو التبلور التجزيئي. ونتيجة لهذا فإن الصخور النارية تختلف اختلافا بينا فيما بينها في تركيبها المعدني وبالتالي في تركيبها الكيميائي. ولا يتوقف نوع الصخور النارية على مجرد خاصية التبلور النوعي فحسب ، بل يتوقف كذلك إلى حد كبير على التركيب الكيميائي لمادة الصهير نفسه ، فالصهير الغني 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 الغني بالجير والماغنيسيا وأكسيد الحديد. وأما الصهير الغني بالقلويات (الصوديوم والبوتاسيوم) فإنه يتصلد مكونا المعادن الفلسباتية مثل النيفلين .

ويمكن تصنيف الصخور النارية على أساس التركيب المعدني ، أي حسب نسبة السيليكا التي يحتويها الصخر إلى أقسام رئيسية هي :

### ١- صخور حامضية Acidic rocks

تحتوى على أكثر من ٦٦% سيليكاً ونسبة صغيرة من الحديد والماغنسيوم ولذلك فإن لونها غالباً ما يكون فاتحاً ، وأهم المعادن التى تكون هذه الصخور هى الكوارتز والفلسبارات مثل أرثوكليز وميكروكلين وقليل من الفلسبارات البلاجيوكلازية الحامضية مثل ألبيت وأوليغوكليز ، 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 ، فمثلاً قد يوجد قليل من الهورنبلند. **الجرانودايوريت** (يتشابه إلى حد ما مع الجرانيت فى تركيبه المعدنى إلا أن نسبة الفلسبار البوتاسى تقل بكثير فى الجرانودايوريت ، وتزيد نسبة معدن البلاجيوكليز الصودى حيث تحت محل الأرثوكليز. ويتغير لون الجرانودايوريت بين فاتح وداكن حسب إزدياد البلاجيوكلاز والمعادن الحديدوماغنسية القائمة مثل الهورنبلند. **الرايوليت** (صخر سطحى ذو نسيج دقيق الحبيبات ، حامضى ذو لون فاتح يقابل الجرانيت فى تركيبه المعدنى ، إذ يتكون أساساً من الكوارتز وأرثوكليز وقليل من الميكا وأحياناً الهورنبلند ، ويوجد صخر الرايوليت فى الطفوح البركانية حيث يتميز بنسيج دقيق أو خفى التبلور ، ويوجد أحياناً فى الصخور تحت السطحية المتداخلة.

### ٢- صخور متوسطة Intermediate rocks

تتخصص فيها نسبة السيليكاً بين ٦٥% الى ٥٢% وتزداد بها نسبة الحديد والماغنسيوم عن النوع السابق ، وهى لذلك ذات لون متوسط ولكنه أفتح من الصخور الحامضية. ومن أهم المعادن المكونة لها : الفلسبارات البلاجيوكليزية المتوسطة التركيب مثل أنديزين ومعادن الأمفيبولات مثل الهورنبلند ، 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 جداً).

### ٣- صخور قاعدية Basic rocks

تحتوى على نسبة ٥٢% الى ٤٥% من السيليكاً 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 و**صخر الجابرو**

(صخر قاعدي شائع الوجود يتكون أساساً 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 أساساً من المعادن التي تحتوى على نسبة عالية جداً من الحديد والماغنسيوم مثل الأوليفين. ومن أمثلتها صخر بريدوتيت ، دونيت ويتكونان أساساً من معادن الأوليفين ، وصخر بيروكسينيت ومعظمه من معادن البروكسينات ، وكذلك صخر هورنبلنديت ويتكون من الهورنبلند.

### ٣- أنسجة الصخور النارية

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

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

و يتم وصف أنسجة الصخور النارية من النواحي التالية:

(١) درجة التبلور

(٢) – حجم البلورات

(٣) – شكل البلورات.

#### أولاً- درجة التبلور:

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

- التبريد السريع جداً يعتبر عاملاً مهماً في تكون الزجاج البركاني بينما التبريد البطيء 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 الأبخرة 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 (بجماتي) **very coarse grained** (أكثر من ١٠ مم)

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 انوية 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 اللزوجة للصهير وبالتالي تزداد سرعة تحرك الأيونات إلى مراكز الأنوية القليله فتصبح بلورات كبيرة.

ثالثا- شكل البلورات:

توصف أشكال البلورات في الصخور النارية كالآتي:

كاملة الأوجه **euhedral**.

ناقصة الأوجه **subhedral**.

عديمة الأوجه **anhedral**.

وتوصف أيضا أشكال البلورات في الصخور النارية كالآتي::  
 إذا كانت البلورات متساوية الأبعاد تسمى equant.  
 إذا كانت البلورات صفائحية تسمى tabular.  
 إذا كانت البلورات منشورية أو مستطيلة تسمى prismatic.  
 إذا كانت البلورات إبرية الشكل تسمى acicular.

### كيفية وجود الصخور النارية

#### Modes of Occurrence of Igneous intrusions

قبل أن نتم الحديث عن التراكيب المختلفة التي توجد في القشرة الأرضية يجب أن نشير إلى كيفية وجود الصخور النارية أي إلى التراكيب المختلفة التي تكونها هذه الأنواع المختلفة من الصخور النارية أثناء 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 هي الأهم في هذه الدراسة إذ أنها توجد على هيئة تراكيب مختلفة داخل القشرة الأرضية. وفي بعض الأحيان نجد هذه الصخور مكشوفة على سطح الأرض نتيجة لعوامل التعرية المختلفة التي أزالت ما كان يغطيها من طبقات ، أما الصخور البركانية وهي الصخور النارية السطحية فهي تعتبر قليلة الأهمية بالنسبة للصخور الجوفية فيما يختص بما تكون من تراكيب ، إذ أنها توجد على هيئة طفوح بركانية في الغالب Lava flows وتكون عادة متصلة بالصخور الجوفية بواسطة صخور متوسطة بين النوعين.

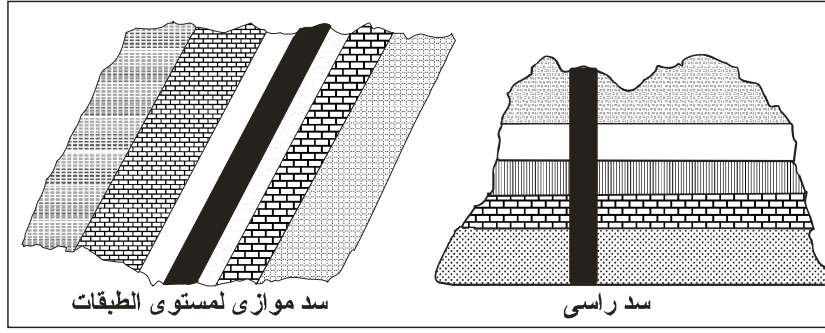
#### (أ) أهم الأشكال أو التراكيب التي توجد عليها الصخور الجوفية والمتدخلة :

##### ١- السدود القاطعة أو الرأسية Dykes

وهي ما يحدث عندما تصعد المagma أو المواد المنصهرة في شقوق رأسية تقريبا وهكذا فإنها عندما تبرد تكون كتل رأسية من الصخور ذات جوانب متوازية تقريبا وتكون في وضع عمودي أو قريب من العمودي على مستوى الطبقات وتختلف هذه السدود في السمك من أقل من البوصة إلى مئات من الأقدام كما قد تصل في الطول إلى عدة أميال. ويكون نسيج الصخر الناري في هذه الحالة ذا حبيبات متوسطة أو دقيقة أو يكون نسيجاً زجاجياً.

##### ٢ – السدود الموازية لمستوى الطبقات Sills

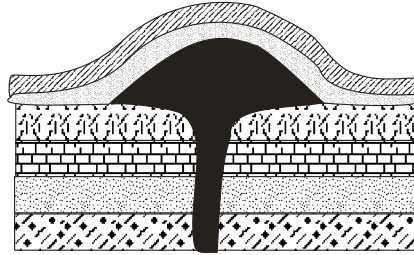
وفي بعض الأحوال تجد المagma طريقاً لها على مستوى إحدى الطبقات ، وعادة تكون الطبقات في هذه الحالة أفقية أو قريبة من الأفقية.



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

### ٣ - صخور نارية توجد على هيئة قباب

ومنها شكل أو تركيب يسمى لاكوليت ويتكون عندما تصعد المagma بين الطبقات خلال فتحة ضيقة وتكون على درجة كبيرة من اللزوجة very viscous وبدلاً من أن تنتشر أفقياً فإنها تضغط الطبقات التي فوقها في بعض الأحيان فتسبب تقوسها على شكل قبة وتكون قاعدتها أفقية (شكل ٢٧). ويختلف هذا النوع من التراكيب في السمك بين بضع مئات من الأقدام إلى ميل في المنتصف، أما قطره فيتراوح بين عدة مئات من الأقدام إلى عدة أميال. وعكس هذه الحالة تحدث في بعض الأحيان مكونة قبة مقلوبة أو كتلة من الصخور النارية على شكل طبق أو حوض ويسمى هذا التركيب Lapolith.

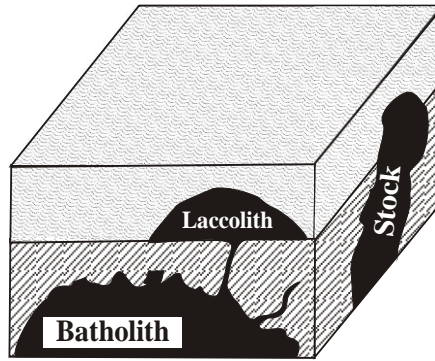


شكل: يبين صخر نارى متداخل على هيئة قبة

### ٤ - كتلة ضخمة من الصخور الجوفية

إذا كانت هذه الكتل من الصخور النارية صغيرة نسبياً بحيث يصل قطرها إلى عدة أميال فقط فإنها تسمى Stocks. وتكون مستديرة أو بيضاوية الشكل، وقد تكون كتل الصخور النارية كبيرة جداً 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 دائماً في قلب سلاسل الجبال ذات الأعمار الجيولوجية المختلفة كجبال الألب والهمالايا 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 التي تتواجد عليها الصخور النارية

ويختلف التركيب الكيماوي 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 التي تحولت بفعل الحرارة المتصاعدة من المواد المنصهرة قبل برودها وتجمدها وكذلك بفعل الضغط الناشئ نتيجة للحركة الأرضية التي ساعدت على تكوين مثل هذا التركيب.

### ٥ – أعناق البراكين Volcanic Necks

وهى عبارة عن الالفا المتجمدة فى أعناق البراكين ويكون شكلها أسطوانيا تقريبا ويترأوح 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 التي تظهر عليها الصخور البركانية أو السطحية

#### ١ – الطفوح البركانية Lva flows

وهى عبارة عن المواد المنصهرة أو الالفا التي 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 تنتشى 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 تنتشى

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

## ثانيا الصخور الرسوبية

تتكون الصخور الرسوبية نتيجة تفتت صخور أخرى سبق تكوينها ، ثم ترسب المواد الناتجة في مكان جديد تحت ظروف عادية من الضغط والحرارة. ويتم ذلك بواسطة عوامل التعرية ، فتؤدي التجوية Weathering إلى تكسير الصخور الأصلية وتفتيتها تحت تأثير النشاط الميكانيكي أو الكيميائي للأمطار والرياح والجليد والصقيع أو الاختلاف الدورى في درجة الحرارة ، ثم نقل المواد الناتجة من عمليات التجوية أما في حالة صلابة على هيئة حبيبات صغيرة أو مواد دقيقة غير قابلة للذوبان ، أو في حالة سائلة على هيئة محاليل من مكانها الأصلي بواسطة عوامل النقل مثل المياه الجارية أو الرياح إلى حيث تتجمع في هيئة رواسب صخرية. وعادة ما تتكون هذه الرواسب في هيئة طبقات متعاقبة – الأحدث فوق الأقدم منها – وتختلف فيما بينها في سمكها وتكوينها وحجم الحبيبات المكونة لها وألوانها وجميع صفاتها الأخرى ، وبذلك يمكن تمييز مستويات أو سطوح فاصلة لكل من هذه الطبقات. ثم يأتي بعد ذلك دور تماسك أو تصلد هذه الرواسب الصخرية وذلك بالتحام مكوناتها مع بعضها تحت تأثير الضغط الناشئ من ثقل الرواسب الأخرى التي تعلوها ؛ أو قد يتم التصلد بواسطة مادة لاصقة أو مادة لحمية مثل كربونات الكالسيوم أو السيليكا أو أكاسيد الحديد ، التي قد تتواجد بين مكونات هذه الرواسب. وتتكون الصخور الرسوبية من خليط مواد مختلفة ذات أصل متعدد وتركيب كيميائي أو معدني متباين ، تحت ظروف متنوعة وبيئات مختلفة ، وذلك مما يؤدي 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 التي تتكون من قطع وفتات الصخور السابقة التكوين التي يتم نقلها - بواسطة المياه أو الرياح أو الثلجات أو بفعل الجاذبية الأرضية - دون أن يطرأ عليها أى تغير كيميائي إلى حيث ترسب بطريقة آلية ، ثم تتماسك وتتصلد. يمكن تمييز الصخور الرسوبية الميكانيكية في ثلاثة أنواع رئيسية تتوقف على حجم الحبيبات المكونة لها كما يلي :

#### أ- صخور رسوبية ميكانيكية كبيرة الحبيبات

تتكون من حبيبات كبيرة الحجم - ذات قطر لا يقل عن ٢ سم ، قد يصل أحيانا إلى بضعة سنتيمترات - تعرف عامة بالحصى Gravel أو "الحصى" Pebbles وأهم هذه الصخور هي : كونجلومرات Conglomerats وهي تتكون من قطع صخرية مختلفة الأصل ، ذات حواف مستديرة بسبب تقلبها واحتكاكها ببعضها أثناء نقلها عن طريق مياه الأنهار التي تحملها لترسبها عند مصابها بالقرب من شواطئ البحار. وتتصلد مكونات هذا الصخر من حصى وحصى وأحيانا حبيبات رمل خشن مع بعضها بواسطة مواد لاحمة مختلفة مثل اللحم الجيرى أو السيليكي أو حديدى. ومن الصخور الرسوبية الميكانيكية أيضا صخر البريشيا Berccia تختلف البريشيا عن صخر الكونجلومرات في شكل الحبيبات المكونة لها ، إذ هي ذات حواف حادة الزوايا وليست مستديرة كما في

الكونجلومرات ، وذلك لأن البريشيا تتكون عادة في 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) الذي 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 وتفقت معادن السيليكات وخاصة سيليكات الألومينا المائية (المعادن الطينية Clay minerals). وقد تحتوى الصخور الطينية على بعض البقايا العضوية المتحللة أو بقايا 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. الطين (الصفيحة) Shales : ينتج هذا الصخر عن الحجر الطينى نتيجة لزيادة الضغط الذى يفقده كل محتوياته المائية وكسبه خاصية الترتيب الصفحي أو الترتيب الورقى "التورق" Lamination. ولذلك يتميز صخر الطين بظاهرة التفسخ الصخرى Fissility حيث يمكن فصله أو تقشره هيئة وريقات ، وترجع هذه الخاصية إلى إحتواء صخر الطين على بعض قشور دقيقة من المعادن الصفائحية مثل الميكا ، وقد تحتوى بعض صخور الطين على شوائب عضوية فحمية أو بترولية فتكسبها اللون القاتم أو الأسود.

## ٢ - صخور رسوبية كيميائية النشأة

تتكون هذه الصخور نتيجة ترسيبها 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 الجيري البطروخي Oclitic limestone : ويتكون من حبيبات كروية صغيرة جدا نتيجة تفاعل كيميائي بين محاليل الأملاح في مياه البحار والبحيرات ، يؤدي إلى ترسيب كربونات الكالسيوم في طبقات رقيقة حول نواة دقيقة (مثل حبيبة رمل أو فتات صدفة حيوان) في 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 رمادي اللون يتكون من خليط من السيليكا المتبلورة في هيئة عقد أو درنات مختلفة الحجم ، ويحتوى عادة على بعض الشوائب الملونة مثل أكاسيد الحديد أو الماغنسيوم. وأحيانا يتكون الفلنيت من حبيبات أو كربونات صغيرة جدا في هيئة طبقات رقيقة بين طبقات الصخور الرسوبية الأخرى. صخر الشيرت Chert : وهو نوع من الصخور السيليكية غير النقية التي تحتوى على نسبة عالية من الجير. ويتكون عادة من حبيبات دقيقة جدا من السيليكا غير متبلورة في هيئة طبقات رقيقة من الصخور الجيرية.

### ج- صخور رسوبية ملحية

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

### ٣- صخور رسوبية عضوية المنشأة

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

#### ١- الحجر الجيري العضوي

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 ، ثاني أكسيد السيليكون وكذلك فوسفات الكالسيوم. ويتكون الحجر الجيري العضوي بصفة أساسية من البقايا الجيرية للحيوانات في هيئة حبيبات غاية في الصغر متماسكة مع بعضها في 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 في هيئة طبقات أو درنات أو تكاوين عدسية في طبقات الحجر الجيري أو الرملى. وينتج صخر الفوسفات عن ترسب عظام الأسماك والزواحف وتحللها. ثم حدوث

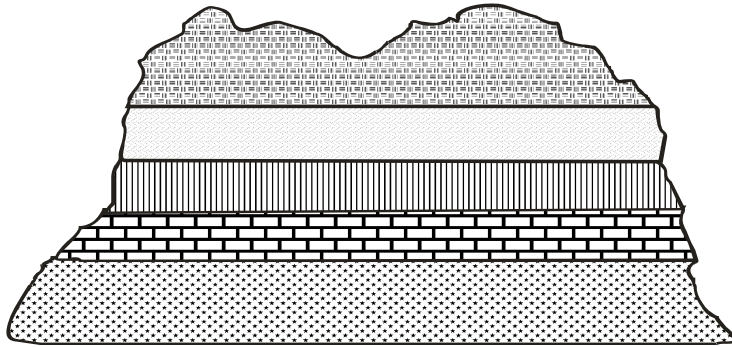
تفاعل كيميائي بين الأملاح الموجودة في مياه البحار والمواد الفوسفورية الناتجة من هذا التحلل. وتوجد طبقات الرواسب الفوسفاتية في مناطق الواحات الخارجية والداخلية بالصحراء الغربية.

## كيفية وجود الصخور الرسوبية في القشرة الأرضية

### التطابق Bedding

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

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



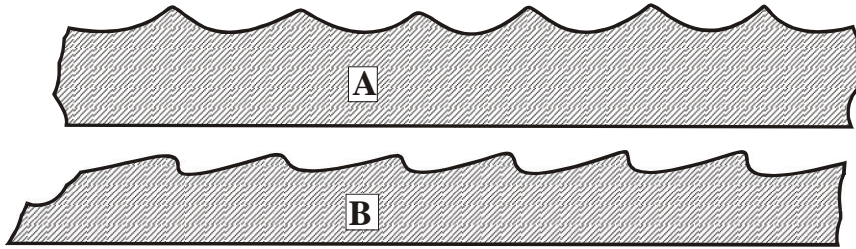
شكل ١٢ - يبين الصخور الرسوبية الموجودة في صورة طبقات أفقية متتابعة

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

### علامات التمواج Ripple marks

كثيرا ما يشاهد على سطح بعض الصخور الرسوبية كالرمال مثلا تموجات منتظمة تعرف باسم علامات التمواج ، 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 في حالة تكوينها بفعل الأمواج على الشواطئ ( شكل ١٣ ).



شكل ١٣ - قطاعات تبين اشكال علامات التماوج : A تكونت بفعل الامواج ، B تكونت بفعل التيارات الهوائية ومن أشكال هذه التماوجات يمكن استنباط الظروف الطبيعية لترسيب الصخور الرسوبية وكذلك التعرف على الأسطح العلوية والسفلية لها.

### الطبقات المتوافقة وغير المتوافقة

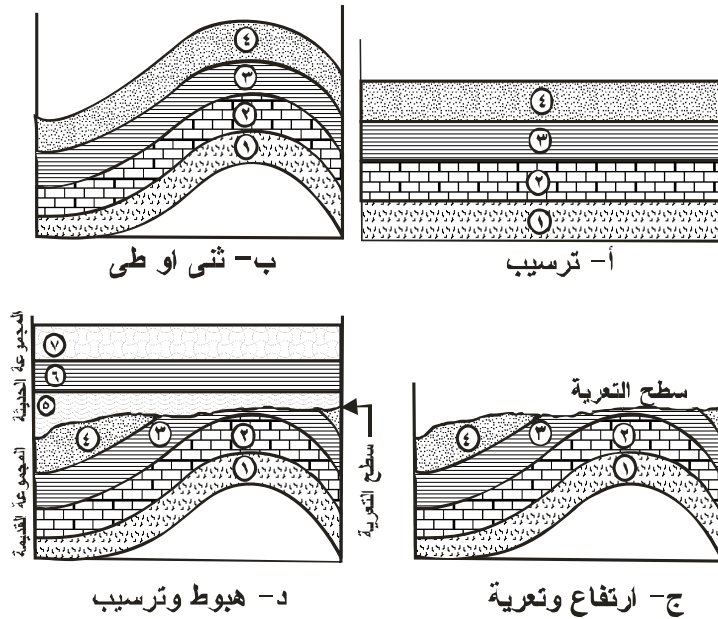
ومن هذه الأمثلة أيضا ما يحدث للرواسب البحرية حيث تتكون على هيئة طبقات أفقية بادئ الأمر ، ولكن تتابع هذه الطبقات في مجموعها لا يكون متوافقا conformable في كل الأحوال ، إذ كثيرا ما تكون مجموعات هذه الطبقات غير متوافقة unconformable ، حتى ولو كانت متوازية الأسطح ، نتيجة لعوامل كثيرة.

ويعتبر عدم التوافق ظاهرة تركيبية بحتة ، مع أنه يتضمن في 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 أحدهما أقدم من الأخرى.

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

ويتم عدم التوافق في العادة على عدة مراحل تبدأ بترسيب المجموعة القديمة من الطبقات تحت سطح البحر في 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 في ترسيب مجموعة أخرى من الطبقات في 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 وهي 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 المسامي 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.

حجم الفراغ الموجود في الصخر × ١٠٠

= مسامية الصخر

حجم الصخر كله

وبهذه النسبة يمكننا مقارنة مسامية الصخور بعضها ببعض فقد وجد أن مسامية : الطين قد تبلغ ٥٠%

والصخر الطباشيري Chalk ٥٠% والرمل والحصى الغير متماسك ٢٠ – ٤٧% والصخر الرملي المتماسك ٥ –

١٥% والصخر الجيري ٥ – ٢٠% والجرانيت والصخور النارية الأخرى أقل من ١%

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

### ثانياً – الإنفاذية

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

### ثالثاً – الإمرار

هناك صخور تسمح بمرور الماء فيها بالرغم من أنه ليس بها مسام البتة، فالجرانيت مثلاً مساميته ضئيلة جداً وكذلك الصخر الد ولوميتي ولكنها غالباً 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 لتمييزها عن الصخور المنفذة Permeable التي ذكرناها آنفاً. ومن هذا نرى أنه يمكننا تقسيم الصخور بالنسبة لدراسة المياه الأرضية إلى أربعة أنواع هي:

- |                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| (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 هي التي تسمح بحرية تحرك المياه فيها وتكون ما يسمى بالصخر الخازن للمياه التحت سطحية. وعموماً فإن أحسن الصخور الخازنة للمياه هي الصخور الرملية والصخور الجيرية (إذ أن هذه الأخيرة تنفصل – يتكون بها فواصل – بسرعة).

العوامل التي تتوقف عليها مسامية الصخور:

### أولاً : درجة التقارب بين أحجام الحبيبات المكونة للصخر

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

### ثانياً : شكل الحبيبات المكون للصخر Shape of the grains

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

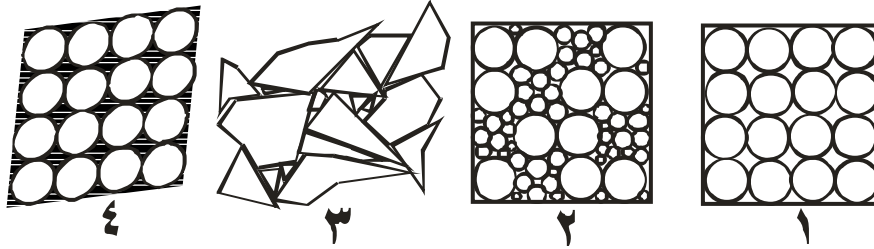
### ثالثاً : طريقة ترتيب (أى رص) الحبيبات Manner of packing



وطريقة رص الحبيبات (أى ترتيبها بالنسبة لبعضها) متوقف غالباً 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.

### رابعاً : درجة تماسك الصخر **Cementation**

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



شكل ١٠ : يبين طريقة رص الحبيبات فى الرواسب المختلفة

### ثالثاً - الصخور المتحولة

يعرف التحول بأنه التغيير الذى يطرأ على صخور سابقة التكوين (نارية أو رسوبية) وإعادة بنائها نتيجة تغير للظروف الطبيعية مثل درجة الحرارة أو الضغط أو كليهما معاً. 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 التغييرات النسيجية والمعدنية والتركيبية التي تطرأ على صخور نارية أو رسوبية أو متحولة قديماً وهي في حالتها الصلبة. تتمثل هذه التغييرات في بنية الصخرة و نسيجها و تركيبها المعدني الناجم عن تغير الشروط الفيزيائية (كالضغط و الحرارة) و الكيميائية للوسط الصخري. تنتج هذه التغييرات 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 (H<sub>2</sub>O) و ثاني أكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>).

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 خلافاً 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**) وهو 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 بين ٥٠ 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 تدريجياً، 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.
- ويؤدي الضغط المرتفع غير المصحوب بتغير كبير في درجة الحرارة في مناطق التكسر أو التفلق إلى تغيير أو تحول طفيف نسبيا في الصخور "الموضعية" الواقعة على جانبي هذه الفوالق ، ويعرف هذا النوع بالتحول الموضعي أو التحول بتغير الأوضاع.

أما الضغط المرتفع المصحوب بحرارة عالية والناتج من تحركات القشرة الأرضية التي تشمل مناطق شاسعة (الحركات البانية للجبال) فإنه يؤدي إلى تحول واسع النطاق يمتد في أقاليم كبيرة ومساحات واسعة ولذلك يعرف بالتحول الإقليمي Regional metamorphism ، ويوصف أحيانا بالتحول الديناميكي 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 ، ويقبل 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 يؤدي 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 كوارتزيت 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 (ماجيزيت) بالإضافة إلى شوائب أخرى مثل أكاسيد الحديد ومكونات طينية وكربونية ، ولهذا فعابا 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 الإقليمي

ينشأ التحول الإقليمي نتيجة تغير صخور سابقة التكوين فى مناطق إقليمية شاسعة تحت تأثير الضغط العالى المصحوب بارتفاع درجة الحرارة والناتج من حركات القشرة الأرضية. وغالبا ما يؤدي هذا النوع من التحول إلى ترتيب المعادن المكونة للصخور الأصلية (رسوبية أو نارية) فى نظام يناسب الظروف الجديدة. وقد تشتت وطأة التحول إلى درجة تزول فيها معالم الصخر الأصلى تماما ، فقد تنكسر أو تتفتت بعض المكونات المعدنية وأحيانا قد تتصهر 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 شيبستوزى 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 Dioritic gneiss وهو دايوريت متحول بالضغط والحرارة.

اما صخر شيبست 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 الشيبستوزى المميز لصخور الشيبست.



# محاضرات فى الجيولوجيا الاقتصادية والرواسب المعدنية

كود المقرر:

الشعبة: أحياء

الفرقة: الثانية تربية

اعداد: د/عبدالرحيم معوض

2024

رؤية الكلية:

التميز في تعليم العلوم الأساسية والبحث العلمي للمساهمة في بناء اقتصاد الوطن.

رسالة الكلية:

تقديم تعليم مميز في مجالات العلوم الأساسية وإنتاج بحوث علمية تطبيقية تدعم اقتصاد الوطن من خلال إعداد خريجين متميزين طبقا للمعايير الأكاديمية القومية، وتطوير مهارات وقدرات الموارد البشرية، وتوفير خدمات مجتمعية وبيئية تلبي طموحات مجتمع جنوب الوادي، وبناء الشراكات المجتمعية الفاعلة.

رؤية القسم:

يسعى قسم الجيولوجيا جاهدا ليكون واحد من المؤسسات العلمية والبحثية المتخصصة. ويسعى القسم ليكون رائدا في تقديم تعليم متميز وخدمة مجتمعية عالية واكتساب سمعة دولية متميزة وان يصل الى العالمية خلال الفترة القادمة.

رسالة القسم:

تزويد الطلاب بالأسس عالية الجودة في مجال العلوم الجيولوجية. يحرص القسم على إعداد نوعية متميزة من الخريجين ذات مستوى رفيع و يتمتعون بخلفية أكاديمية ممتازة . وايضا إعداد طلاب الدراسات العليا كي يكونوا كوادر علمية متخصصة او جيولوجيين مهنيين. كما يسعى القسم الى ان يساهم بدور فعال في خدمة المجتمع المدني وذلك بتقديم الاستشارات في مجالات الجيولوجيا والتنقيب عن المياه وغيرها.

## المحتوى:

٤	مقدمة الجيولوجيا الاقتصادية والرواسب المعدنية.....
	الفصل الأول: الجيولوجيا التاريخية والحفريات
٦	مقدمة.....
٧	تعريف الرواسب المعدنية.....
١٠	طبيعة وصفات الخامات والرواسب المعدنية.....
١١	تقسيم الرواسب المعدنية والركاز.....
	الفصل الثاني: أشكال الأجسام المعدنية
٢١	تراكيب وأنسجة الخامات والرواسب المعدنية.....
	الفصل الثالث:
	تغيرات صخور الجدار و البيئة الجيولوجية لتكون الخامات والرواسب المعدنية
٣٠	مقدمة.....
٣٠	العوامل التي تتحكم في تغيرات صخور الجدار و علاقة عمليات التغير بالمعدنة.....
٣٣	البيئة الجيولوجية لتكون الخامات والرواسب المعدنية.....
٣٨	الترموترات والبارومتترات الجيولوجية.....
	الفصل الرابع: الصحار والرواسب المعدنية
٤٦	مقدمة.....
٤٧	التركيب الكيميائي للصحار.....
٥٠	مراحل تطور الصحار.....
	الفصل الخامس: الخامات والرواسب المعدنية الحرمانية
٥٥	الخامات والرواسب المعدنية الحرمانية.....
٥٨	مصادر المحاليل الحرمانية و مصادر المواد المعدنية.....
٦٦	تقسيم الخامات والرواسب المعدنية الحرمانية.....
٧٥	الخامات والرواسب المعدنية الحرمانية في مصر.....

## الجيولوجيا الاقتصادية والرواسب المعدنية

### Economic geology Mineral deposits

#### مقدمة Introduction

ترتبط حياة الإنسان على سطح الأرض ارتباطاً وثيقاً بالمعادن ومشتقاتها المختلفة حتى تم له اكتشاف الأحجار الكريمة بألوانها الزاهية وخصائصها المميزة. وعندما تعلم الإنسان استخدام الفلزات وطرق استخراجها من ركازاتها

أدى ذلك إلى تطور الحضارات تطورا كبيرا، مرتبطا ارتباطاً وثيقاً بالمعادن. ولذلك نجد أن المعادن كان لها الأثر الكبير في تحريك عجلة التاريخ وقيام حضارات وسقوط أخرى ومن أمثلة ذلك الحضارة المصرية القديمة التي اعتمدت إلى حد كبير على مناجم الذهب في بلاد النوبة ورواسب النحاس في شبه جزيرة سيناء والزمرد في الصحراء الشرقية.

إذن: فالثروة المعدنية لأي دولة وطريقة استغلالها لهذه الثروة يشكل الدعامة الأساسية لتقدمها وأحد المعايير الهامة لدى قوتها ومركزها بين الأمم. فالدول التي تملك المصادر المعدنية يمكن لها أن تقيم الصناعات المختلفة وتسير في طريق التقدم العلمي والتكنولوجي. أما تلك الدول التي حرمت من مصادر الثروة



المعدنية فليس أمامها إلا الاعتماد على الزراعة أو الصناعات الحرفية أو التجارة. ومع ذلك فامتلاك مصادر الثروة المعدنية وحده لا يكفي بل لابد من معرفة كيفية استغلال هذه المصادر على الوجه الأمثل. وإذا نظرنا حولنا الى كل الأنشطة الانسانية لوجدناها جميعها تعتمد على الخامات المعدنية بشكل مباشر او غير مباشر فلولا الآلات التي تصنع من الحديد لما استطاع الانسان الدخول الى عصر البخار، ولولا النحاس واستخداماته في الأسلاك والأجهزة الكهربائية لما دخل الانسان عصر الكهرباء ولولا اليورانيوم والعناصر المشعة لما دخل الانسان عصر الطاقة النووية وغيرها الكثير.

من كل ما سبق يتبين لنا الأهمية القصوى للمعادن في حياة الإنسان والطلب المتزايد عليها يوم بعد يوم. ولذلك فإنه من الواجبات الأساسية للجيولوجي ولعلم الجيولوجيا توفير احتياجات الإنسان من المعادن مما هو موجود بالقشرة الأرضية.

## الفصل الأول: الجيولوجيا الاقتصادية **Economic geology**

مقدمة: الجيولوجيا الاقتصادية هي التطبيقات العملية لجميع أفرع المعرفة الجيولوجية لخدمة الإنسان مثل جيولوجيا المياه التي تختص بالبحث عن مصادر المياه والجيولوجيا الهندسية والتي ترتبط بالمشروعات الهندسية الكبيرة مثل إقامة السدود والأنفاق والكباري و جيولوجيا الزلازل و جيولوجيا البترول التي تقوم بدراسة ما يتعلق بالبترول وتكوينه وطريقة اكتشافه.

أهم فروع الجيولوجيا الاقتصادية هو علم دراسة الرواسب المعدنية **Science of mineral deposits** ويختص علم الرواسب المعدنية بدراسة المعادن ذات الأهمية الاقتصادية وطرق تكوينها في القشرة الأرضية والأماكن والظروف الملائمة لتواجدها لهدف الوصول إلى أحسن الطرق للبحث عنها واكتشافها. وهذا يتطلب استخدام جميع فروع المعرفة الجيولوجية المختلفة للوصول إلى هذا الهدف وهذا هو الدور الأساسي للجيولوجي في هذا المجال. ومن المسلم به أن التقدم المطرد في العلوم والتكنولوجيا يزيد من معدل استهلاك المعادن (مجموع المعادن التي استهلكت ما بين الحربين العالميتين يفوق ما استهلك في العصور السابقة كلها). وبالفعل أدى هذا الاستهلاك المتزايد إلى نضوب العديد من مصادر الثروة المعدنية. البحث المكثف عن المعادن أدى إلى اكتشاف معظم

الرواسب المعدنية التي كانت ظاهرة على السطح واستنفاد الكثير منها، والآن البحث والتنقيب عن الرواسب الغير ظاهرة على السطح وفي ذلك صعوبة وتكلفة اكثر.

ومن المعروف في الوقت الحاضر قد زاد استخدام المعادن ولهذا فإنه من الضروري البحث عن مصادر جديدة للمعادن، لتلبية الطلب المتزايد عليها من ناحية ولإيجاد مصادر بديلة لتلك التي ينضب منها من ناحية أخرى.

### تعريف الرواسب المعدنية Definition of mineral deposits

يجب أولاً معرفة ما هو المعدن: المعدن هو أي مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية وذات تركيب كيميائي محدد وليس ثابتاً وله تركيب ذري داخلي.

هناك الكثير من المواد المتواجدة في القشرة الأرضية ولها قيمة اقتصادية عالية وهي ليست معادن مثل البترول والغاز والفحم، وهناك مواد تشبه المعادن الى حد كبير بل وتتواجد معها مثل الاوبال والعقيق ولكنها لا تعتبر معادن لعدم توفر البناء الذري الداخلي.

وبناء القشرة الأرضية التي تتكون أساساً من صخور سليسية، تتركب بدورها من معدن واحد أو تجمع عدة معادن، وتتواجد هذه الصخور على هيئة أجسام وكل وحدة من هذه الصخور قائمة

بذاتها سواء صخر واحد أو عدة صخور ولها حدود واضحة تسمى وحدة صخرية **Rock unit**. وعندما يحتوي أحد هذه الأجسام أو جزء منها على معدن أو معادن ذات نفع اقتصادي فإن هذا الجسم أو الجزء منه يسمى راسباً معدنياً، مثال ذلك عرق من الكوارتز يحتوي على حبيبات الذهب، أو طبقة من الدولوميت يحتوي جزء منها على الجالينا، وهناك أيضاً بعض الأجسام أو التكاوين الجيولوجية تتكون من معدن واحد له نفع اقتصادي مثل طبقات الجبس أو الكبريت وأيضاً بعض الأجسام تستخدم في كثير من الأغراض الصناعية مثل رمل الزجاج وأحجار البناء ورواسب التلك والميكا والفلسبار، كل هذا يطلق عليها اسم الرواسب المعدنية وعلى هذا يمكن تعريف الراسب المعدني على أنه: **تكوين جيولوجي أو جزء من تكوين جيولوجي يتواجد فيه تركيز معين من معدن أو مجموعة من المعادن يسمح باستخلاص عنصر أو مركب مطلوب لغرض أو لآخر بطريقة اقتصادية أو يمكن استغلاله كما هو في الأغراض الصناعية المختلفة بطريقة اقتصادية.**

ولكي يكون الراسب المعدني اقتصادي لابد من أن تكون المواد المستخلصة منه تزيد في قيمتها أو سعرها عن تكاليف استخراجها من باطن الأرض ويعتمد هذا على عدة عوامل منها:

١- عوامل جيولوجية: مثل تركيز المادة المطلوب استخلاصها من الراسب وطبيعة تواجد الخام وحجم الراسب نفسه وعمقه في باطن الأرض وطرق التعدين **Mining**.

٢- عوامل جغرافية: مثل موقع الراسب نفسه بالنسبة للأسواق وطرق المواصلات الموصلة إليه ومناخ المنطقة الموجود فيه.

٣- عوامل اقتصادية: مثل أسعار المواد المستخلصة من الخام وشدة الطلب عليه وتدخل الاحتكارات العالمية وتأثيرها على أسعار المواد وغيرها. أحياناً يفضل استيراد الخام لاعتبارات عديدة أهمها السعر العالمي للخام بالمقارنة مع سعر استخراج الخام المحلي، وأحياناً أخرى يفضل استغلال الخام المحلي حتى لو كان منخفض الرتبة وأعلى في التكلفة لتشغيل الأيدي العاملة وانشاء مجتمعات جديدة.

ونلاحظ أن بعض الرواسب التي لا تعتبر اقتصادية في الوقت الحاضر ربما تصبح اقتصادية بعد عدة سنوات نتيجة للتطور التكنولوجي السريع في استخلاص الخامات وعمليات التعدين أو ازدياد سعرها لزيادة الطلب عليه.

## طبيعة وصفات الخامات والرواسب المعدنية

### Nature of mineral deposits

هى أجزاء من القشرة الأرضية، وتوجد فى صورتين رئيسيتين هما الصورة العروقية **Vein – type** والصورة المنتشرة **Disseminated – type**. الصورة العروقية توجد فى أجسام مختلفة الأشكال والأحجام ويمكن رؤيتها بالعين المجردة مثل العروق والجيوب والكتل. الرواسب العروقية تحتاج الى حفر مما يزيد من تكلفة الاستخراج عكس الخامات الموجودة بكميات كبيرة فى طبقات قرب سطح الأرض حتى لو كانت منخفضة الرتبة. عرف الناس هذه الخامات منذ آلاف السنين واستخرجوها وكان أهمها الذهب والفضة والنحاس والقصدير والرصاص وقد نفذت معظم الخامات العروقية أو كادت، ما عدا الحديد والفوسفات. أما الصورة المشتتة أو المنبثة فتوجد على هيئة حبيبات صغيرة قد لا ترى حتى بالميكروسكوب وتنتشر داخل الصخور بغير نظام. ولم يعرف القدماء هذه الصورة من الخامات والرواسب المعدنية، لذلك لم يقربها أحد.

## (تقسيم الرواسب المعدنية)

### Classification of mineral deposits

تنقسم الرواسب المعدنية من حيث استخداماتها ومن حيث المواد المستخلصة منها إلى ثلاث أقسام: الرواسب المعدنية الفلزية، والرواسب المعدنية اللافلزية والوقود المعدني.

١- الرواسب المعدنية الفلزية: هي الرواسب التي يمكن استخراج فلز أو أكثر منها مثل راسب النحاس والحديد والذهب والفضة.... الخ.

٢- الرواسب المعدنية اللافلزية: هي التي تستخدم لاستخراج عنصر لافلزي مثل راسب الكبريت أو تستخدم كمواد أولية في أغراض صناعية مختلفة مثل راسب الطفلة والحجر الجيري ورمل الزجاج.

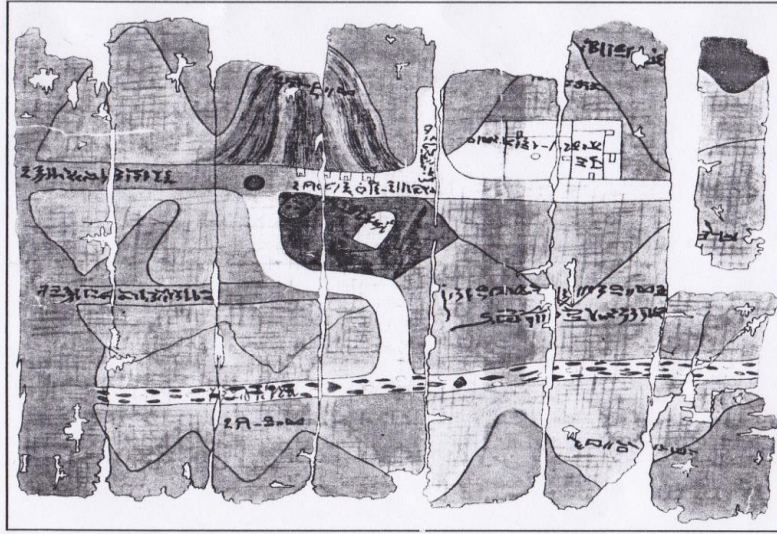
٣- راسب الوقود: فهي تلك الرواسب التي تعتبر مصدرا للطاقة وهي أساسا البترول و الفحم وهناك آثار تدل على وجود ابار للبترول فى العراق عمرها ما بين ٦٠٠٠ - ٤٠٠٠ سنة قبل الميلاد وهو معروف كوقود منذ عصر البرونز ٤٠٠٠ - ١٠٠٠ ق.م. وتلاه الفحم فى الاستخدام فى القرن السابع الميلادى (ولو أنها لا تعتبر راسب معدنية بالمعنى الصحيح) وقد أضيف حديثا راسب العناصر

المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم حيث أنهما يشكلان المواد الأولية للوقود الذري.

وتشتق العناصر الكيميائية التي تكون مختلف معادن الرواسب المعدنية الفلزية و اللافلزية من الصخور المتنوعة التي تكون القشرة الأرضية من الصهارات **Magmas** التي تتداخل في صخور هذه القشرة وتبرد لتكون الصخور النارية المختلفة.

عرف قدماء المصريين رواسب الذهب الأولية والثانوية وكيفية استخلاصه بالطحن والغسيل بل وعرفوا الأسس العلمية لاستخلاصه وهي نفس الأسس المستخدمة حتى اليوم، ولم يقتصر هذا المجال عند قدماء المصريين على معرفة أماكن وأنواع وطرق الحفر واستخراج الخامات بل تعداها إلى رسم الخرائط الجيولوجية للمناجم. ويعتقد الباحثون أن أول جيولوجى اقتصادى هو المصرى القديم حارورس الذى كان يرأس بعثة جيولوجية للبحث عن الفيروز فى سيناء عام ٢٠٠٠ ق.م.





شكل (١) خريطة جيولوجية لأحد مناجم الذهب بوسط الصحراء الشرقية بمصر - وهي أول خريطة جيولوجية فى التاريخ. وقد رسمها قدماء المصريين منذ أكثر من ستة آلاف سنة على ورق البردى الملون بالألوان الطبيعية باستخدام ألوان معدنية.

## مكونات الرواسب المعدنية الفلزية

### Constituents of metallic mineral deposits

يوجد الفلز المرغوب فيه إما على إطلاقه غير متحد مع غيره من العناصر مثل الذهب والفضة والنحاس، أو متحدا مع عناصر أخرى مكونا معادن تعرف بالمعادن الركازية أو معادن الركاز **Ore minerals**، تتواجد المعادن الركازية مختلطة بنسب متفاوتة مع العديد من المعادن الأخرى، التي غالبا ما تكون غير اقتصادية وتعرف بالمعادن الغثة **gangue minerals** أو الشوائب وهذا الخليط من المعادن الركازية والمعادن الغثة يسمى الركاز أو جسم الركاز **Ore body**.

## المعدن الركازي أو معدن الركاز Ore mineral

وهو المعدن الذي يمكن استخلاص فلز أو أكثر منه. وهذه المعادن إما أن تكون على هيئة الفلز الحر مثل الذهب والبلاتين أو على هيئة الفلز متحدا مع عنصر أو عناصر أخرى مكونا مركبات كيميائية متعددة وأهم المعادن الركازية هي ما يوجد فيها الفلز متحدا مع الكبريت مكونا الكبريتيد مثل الكالكوسيت  $\text{Cu}_2\text{S}$  والجالينا  $\text{PbS}$  أو مع الأكسجين مكونا أكاسيد مختلفة مثل الماجنيتيت  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  بالإضافة إلى ذلك توجد كثير من المعادن الركازية في صور كيميائية أخرى مثل الكربونات والسيليكات.... الخ.

ولكل فلز يوجد العديد من المعادن التي يمكن استخلاصه منها، مثل النحاس الذي يمكن استخلاصه من الكالكوبيريت  $\text{CuFeS}_2$  والكالكوسيت  $\text{Cu}_2\text{S}$  والكوبريت  $\text{Cu}_2\text{O}$ ، كما أن هناك بعض المعادن الركازية التي يمكن منها استخلاص أكثر من فلز مثل الستانيت  $\text{Stannite Cu}_2\text{FeSnS}_4$  الذي يستخلص منه النحاس والقصدير.

ويمكن تقسيم المعادن الركازية من حيث منشأها إلى: معادن أولية، و ثانوية.

١- المعادن الأولية **Primary minerals**: هي التي تتكون نتيجة للاتحاد الكيميائي بين مكوناتها ثم ترسيبها بأي طريقة من طرق الترسيب المعروفة، مثل الكروميت الذي يتكون نتيجة التبلور من الصهار **Magma**، أو الجالينا التي تتكون نتيجة الترسيب من المحاليل الحرمانية

**Hydrothermal solution**، أو معدن الهيماتيت الذي يتكون نتيجة للترسيب من مياه البحر مختلطاً بالصخور الرسوبية.

٢- المعادن الثانوية **Secondary minerals**: تتكون نتيجة التغيرات الكيميائية التي تطرأ على المعادن الأولية مثل: معدن السيروسيت  $PbCo_3$  الذي يتكون نتيجة تأثير عوامل التجوية على معدن الجالينا، أو معدن المالاكيت  $CuCo_3(OH)_2$  الذي يتكون نتيجة لتغير الكالكوبيريت بواسطة المحاليل السطحية.

وهناك بعض المعادن التي يمكن أن تتكون بالطريقتين. ففي بعض الظروف تتكون على هيئة معادن أولية، وفي ظروف أخرى تتكون على هيئة معادن ثانوية، مثل الهيماتيت والنحاس الحر والكوفليت.

ويمكن وصف المعادن الركازية من ناحية خواصها الطبيعية بأنها فلزية أو غير فلزية، فالمعادن الركازية الفلزية: هي التي لها خواص تشبه الفلزات، مثل التوصيل الكهربائي، والوميض.... الخ

كالكالينا والكالكوبيريت، أما المعادن الركازية غير الفلزية فهي التي ليس لها خواص فلزية مثل المالاكيت والسفاليريت.

**المعادن الغثة Gangue minerals:** هي المعادن التي تصاحب المعادن الركازية في الرواسب المعدنية الفلزية وتكون في الغالب من المعادن المكونة للصخور مثل الكوارتز والسيليكات، الكالسيت، الدولوميت، البيريت..... الخ. والمعادن الغثة قد تتكون أثناء تكون المعادن الركازية نفسها ومصاحبة لها، أو تكون جزء من الصخر الحاوي للركاز الذي تمت فيه عمليات التمدن. وليس بالضرورة أن تعد المعادن الغثة عديمة النفع، فكثير من معادن الخامات في راسب معين تعتبر معادن غثة في خام آخر، فمعدن البيريت Pyrite هو خام معدني في خامات البيريت ولكن اذا وجد في التلك أو حجر الصابون يعتبر معدن غير مرغوب فيه. وأكثر المعادن الغثة الشائعة معادن غير فلزية، أي ليس لها خواص فلزية، إلا أن بعضها وأشهرها معدن البيريت الذي يكون فلزي.

بعد استخراج الركاز من باطن الأرض تجرى عمليات تركيز قبل عملية الصهر وفي بعض الأحيان تكون المعادن الغثة لها قيمة اقتصادية مثل كسر الصخور الذي يستخدم في رصف الطرق أو الكوارتز الذي يستخدم في ورق الصنفرة وغيرها. وكذلك تعتبر المعادن الغثة أحياناً ذات فائدة في التنقيب عن الرواسب والخامات

المعدنية مثل معدن الأرزينو بيريت (أحد معادن الزرنيخ) الذي يعد مرشداً عن رواسب الذهب ومعدن البيروب (أحد معادن الجارنت) مرشداً عن الألماس.

### الركاز أو جسم الركاز Ore, Ore body

هو كتلة صخرية محددة تتكون من خليط من المعادن الركازية والمعادن الغثة بنسب تسمح باستخلاص الفلز بصورة اقتصادية وتختلف هذه النسبة اختلافا كبيرا، فهناك بعض الركازات التي تتكون أساسا من المعادن الركازية مع نسبة قليلة جدا من المعادن الغثة، كما يحدث العكس تماما. ومن ناحية أخرى يختلف الحد الأدنى لتركيز الفلز الذي يسمح باستخلاصه اقتصاديا اختلافا كبيرا حسب قيمة الفلز نفسه وأيضا تتدخل العوامل الاقتصادية الأخرى التي تحدد إذا ما كانت عمليات التعدين والنقل والاستخلاص الاقتصادية أو لا. وباختصار لا بد أن تكون قيمة الفلز المستخلص أكبر من تكاليف كل العمليات التي تجرى لاستخلاصه.

وقد يعتمد تقييم الركاز أو الراسب المعدني أيضا على وجود بعض العناصر الشحيحة الهامة فمثلا وجود البزموت أو الكادميوم أو الزرنيخ في بعض رواسب الرصاص والزنك، الذي يرفع من قيمتها الاقتصادية بشكل ملحوظ وقد يستخدم الراسب أساسا لاستخلاص تلك العناصر الشحيحة ويعتبر الفلز الأساسي نفسه

ناتج جانبي. قد تزيد قيمة النواتج الجانبية على قيمة الناتج الأصلي في بعض الحالات مثل بعض خامات النحاس البورفيرى حيث تحتوى هذه الخامات على عناصر الذهب والفضة والرصاص والزنك.

### رتبة الركاك Ore grade (Tenor of ore)

هي النسبة المئوية للفلز في الركاك وهذه بالطبع ليس لها حد أعلى ولكن لها حد أدنى يطلق عليه cut off grade إذا قلت عنه لا يعتبر الراسب ركاكاً، لأنه بذلك يصبح غير اقتصادي. ويمكن استغلال الخامات المنخفضة الرتبة إذا ما وجدت بكميات كبيرة بحيث تعوض أحجامها الكبيرة رتبته المنخفضة. الجدير بالذكر أن معظم الخامات والرواسب المعدنية تحتوى على أكثر من عنصر اقتصادى وهذا يزيد من رتبته وقيمتها الاقتصادية. طبيعة الخام تؤثر على اقتصادياته فمثلاً لو احتوى راسب معدنى ما على عنصر النيكل في صورة كبريتيدات Sulphides فإنه يمكن استغلال هذا الخام اقتصادياً حتى لو كانت رتبته منخفضة جداً (٠,٥%) مثلاً أما إذا وجد النيكل في صورة سليكات Silicates فإنه لا يمكن استغلاله اقتصادياً لصعوبة استخلاص النيكل من معادن السليكات حتى لو زادت رتبة الخام الى (٢%) نيكل.

## الخام البدائى Protore

هو الجسم المعدنى ذو التركيز أو الرتبة المعدنية المنخفضة، مثل رواسب القصدير والنيوبيوم والتنتاليوم والعناصر الأرضية النادرة فى الجرانيت المصرى المجزى. وتعتبر هذه الخامات مثابة احتياطى مستقبلى هام لتلك العناصر.

## احتياطى الخامات والرواسب المعدنية Ore reserves

تقسم احتياطيات الخام الى ثلاثة أقسام هى:

### ١- احتياطى مؤكد Proved reserves:

وهى الخامات المعروف حجمها ورتبتها وامتدادها من خلال الدراسات الدقيقة مدعمة بالخرائط والتحليل الكيمائية والمعدنية.

### ٢- احتياطى مرجح Probable reserves

وهى الخامات التى يتم جمع عينات منها من خلال ابار الحفر وتتوفر معلومات مرضية عن حجمها وامتدادها.

### ٣- احتياطى محتمل Possible reserves

وهى الخامات التى تم جمع معلومات عنها من خلال طرق التنقيب الجيولوجى المختلفة.

## لماذا تكثر الصخور وتقل الخامات فى الأرض؟

الأجسام المعدنية هى نوع معين من الصخور ولكن سبب وفرة الصخور وقلة الخامات المعدنية فى الطبيعة راجع الى وفرة العناصر الكيميائية التى تتكون منها الصخور والخامات المعدنية. نحو ١١٨ عنصراً كيميائياً فى الطبيعة معروفاً حتى الآن منها ثمانية عناصر تكون حوالى ٩٧% من وزن القشرة الأرضية وهى الأوكسجين، السليكون، الألمونيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، الكالسيوم، الماغنسيوم والحديد وتعرف بالعناصر الشائعة Major elements وتكون هذه العناصر مجموعة معادن تعرف بالمعادن المكونة للصخور Rock forming minerals مثل الكوارتز، الفلسبار، الأوليفين، البيروكسين والميكا. وبالطبع تكون هذه المعادن أكثر من ٩٧% من وزن القشرة الأرضية. والمائة وعشرة عنصر الباقية تكون ما يعرف بمعادن الخامات Ore minerals ولا تكون هذه المعادن أكثر من ٣% من وزن القشرة الأرضية ومن تعرف بالعناصر الشحيحة Trace elements.



## الفصل الثاني: أشكال الأجسام المعدنية Morphology of Mineral Bodies

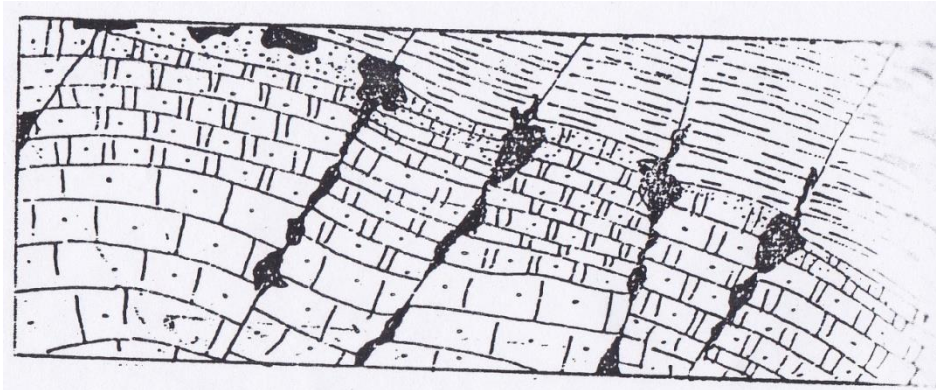
توجد الأجسام المعدنية في أشكال وهيئات متعددة:

١- الأجسام المتساوية الأبعاد أو الأيزومترية.

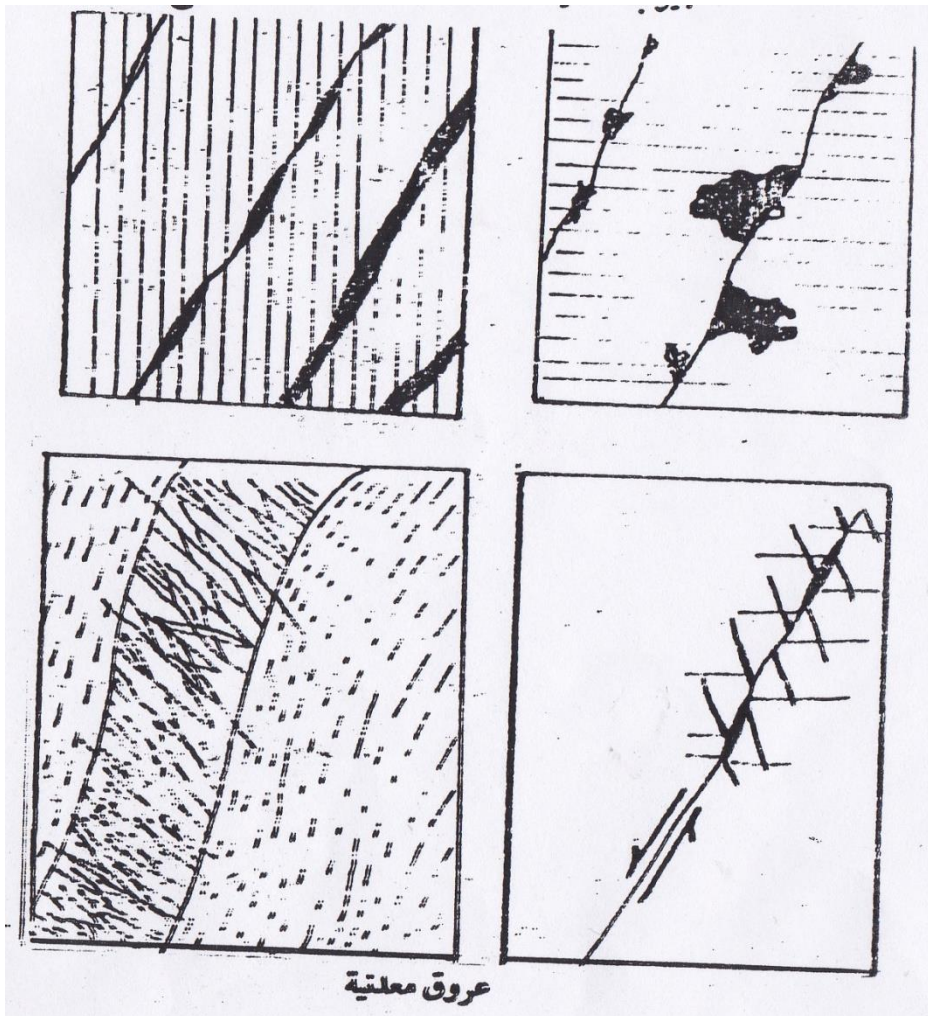
٢- الأجسام الطباقية.

٣- الأجسام العروقية.

والأجسام الأيزومترية Isometric هي أجسام متساوية الأبعاد في جميع الاتجاهات تقريبا مثل الجيوب المعدنية Pockets والأجسام الصنمية Stocks والكتل المتشابكة العروق Stockworks. أما الأجسام الطباقية أو المسطحة مثل طبقات الفوسفات في الوطن العربي فإنها تمتد في اتجاهين أكثر من امتدادها في الاتجاه الثالث. والعروق المعدنية هي شقوق في الصخور امتلأت بالمواد المعدنية. وتوجد عادة في حشود أو مجموعات ويتحدد شكلها وامتداداتها بشكل وامتدادات الشقوق والكسور نفسها.



جيوب معدنية (المظلة الداكنة) مصاحبة للصلدوع



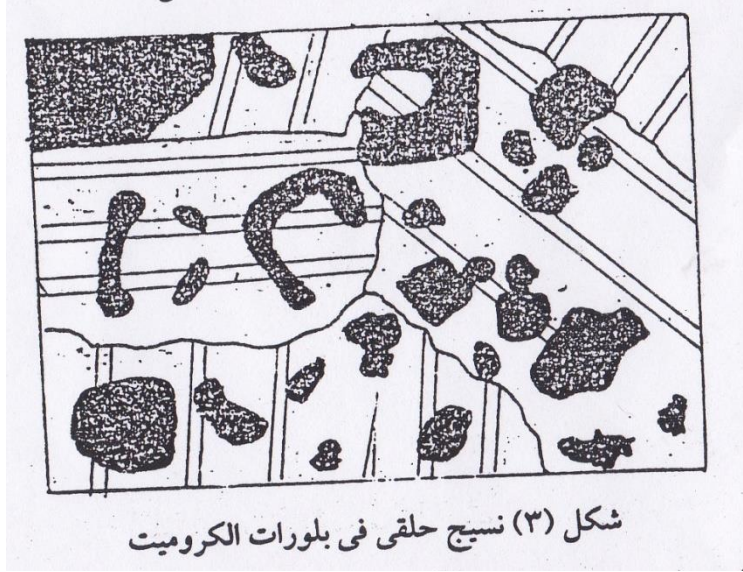
عروق معدنية

## نماذج لجيوب وعروق معدنية

## تراكيب وأنسجة الخامات والرواسب المعدنية:

تستخدم كلمة تركيب Structure لوصف شكل وحجم وطريقة ترتيب المكونات المعدنية للخام. والتي ترى بالعين المجردة وتدرس عادة في الحقل. كلمة نسيج Texture فتستخدم لوصف العلاقات الشكلية والهندسية للبلورات أو المعادن المكونة للخام. تراكيب وأنسجة الخامات المعدنية من أهم صفاتها والتي يستدل منها على أصل وطريقة تكون تلك الخامات والبيئة التي تكونت فيها وعمق الخام والعمليات الجيولوجية التي تعرضت لها تلك الخامات بعد تكونها فهي بمثابة سجل يحكي تاريخ حياة الخامات والرواسب المعدنية.

فمعادن الكروميت والمجنيتيت التي تتبلور في المراحل المبكرة لتصلب الصهير تكون كاملة الأوجه في الغالب، وقد تتعرض هذه المعادن لعمليات جيولوجية لاحقة فتتآكل حوافها وتصبح ذات أشكال حلقية أو مدورة، ويعرف النسيج حينئذ باسم النسيج الحلقي Atoll texture.

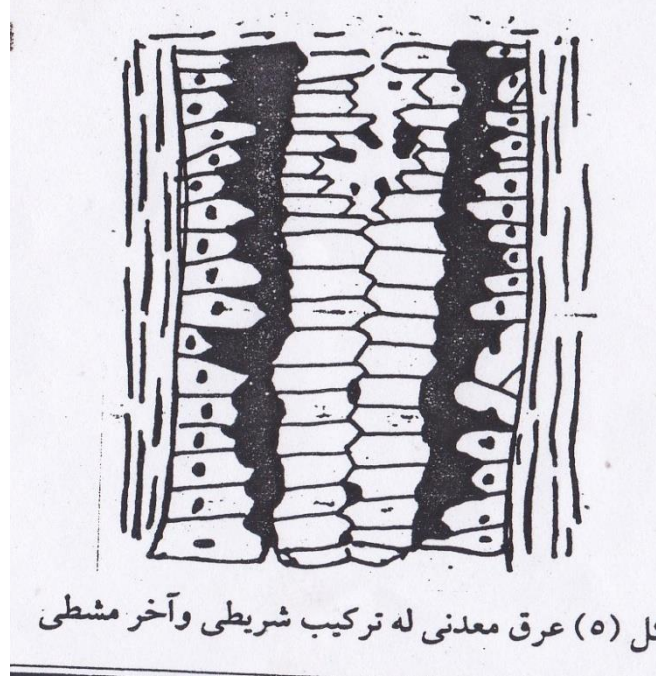


قد تتبلور المعادن الاقتصادية في نفس الوقت الذي تتبلور فيه معادن الصخور المضيفة لها. الأمر الذي لا يتيح الفرصة لنمو هذه المعادن الاقتصادية نموا حرا وبالتالي لا تتكون لهذه المعادن أوجه بلورية منتظمة، أي تصبح بلورات عديمة الشكل.



وعادة ما تتكون بلورات المعادن على جدران الشقوق في الصخور وتنمو إلى الخارج مكونة راقات وقشور من البلورات

المتتابعة، الأمر الذي يكون تركيب شريطي Banded وقد يتوقف نمو البلورات بعض الوقت تاركا فجوات تطل عليها أحرف البلورات كاملة الأوجه فيما يشبه أسنان المشط ويسمى عندئذ التركيب المشطي Comb Structure.



كل (٥) عروق معدني له تركيب شريطي وآخر مشطي

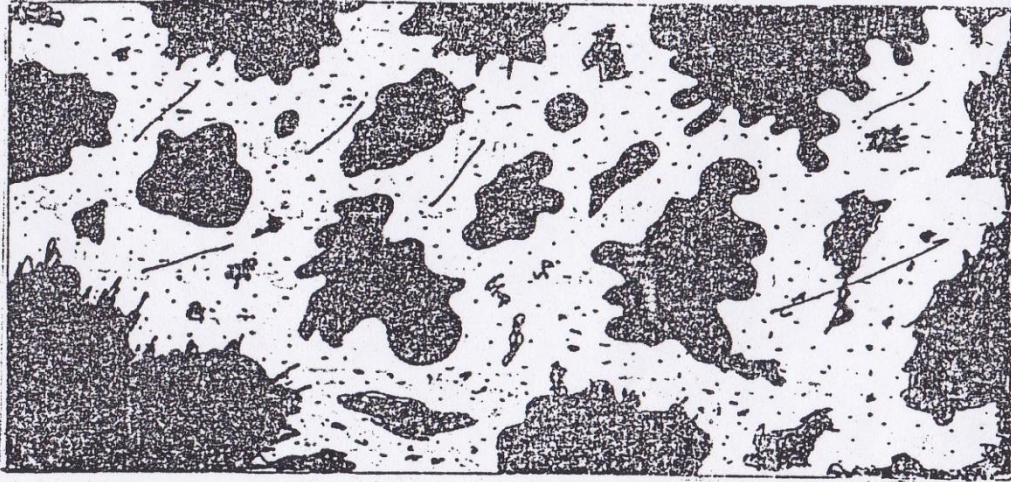
وقد يتكون الخام من عروق متشابكة تتخذ أشكالا مختلفة كما في الشكل:



(٦) تركيب عروقي مثل حقل عروق المرو في جبل حمر عكارم بالصحراء الشرقية بمصر

## التركيب أو البناء الرقعي Patchy Structure:

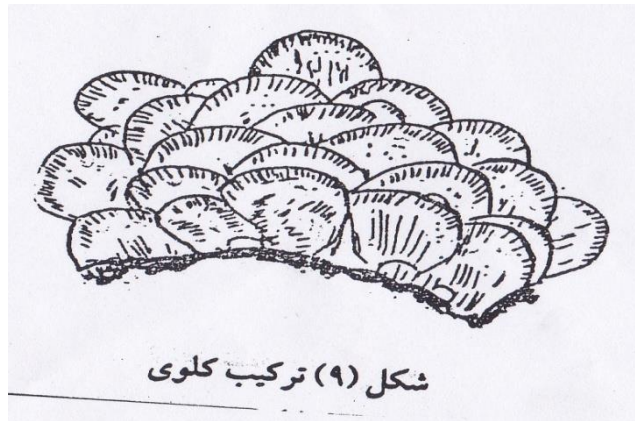
يميز هذا البناء الخامات المعدنية غير المتجانسة بحيث يتكون الخام من بقع أو رقع يتركز فيها الخام بدرجة أكبر من الصخور المضيفة.



شكل (٧) تركيب رقعي مثل رقع البريل في حمرة مكبد وحمرة عكارم بمصر

## التركيب الكلوي Reniform Structure:

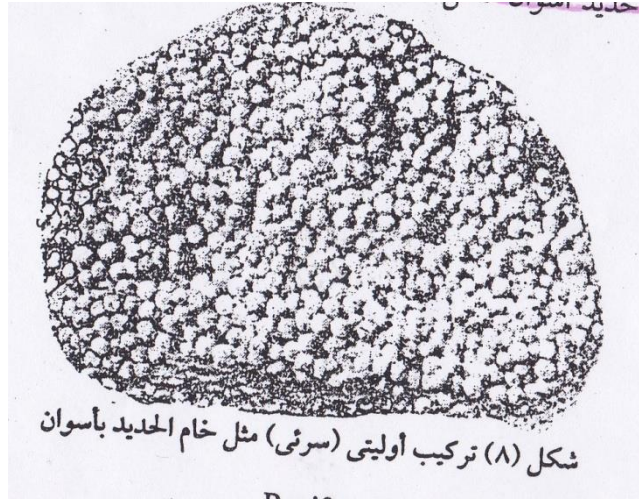
ويوجد هذا البناء في الخامات والرواسب المعدنية الحرمانية الأصل ويتكون نتيجة الترسيب من المحاليل الغروية.



شكل (٩) تركيب كلوي

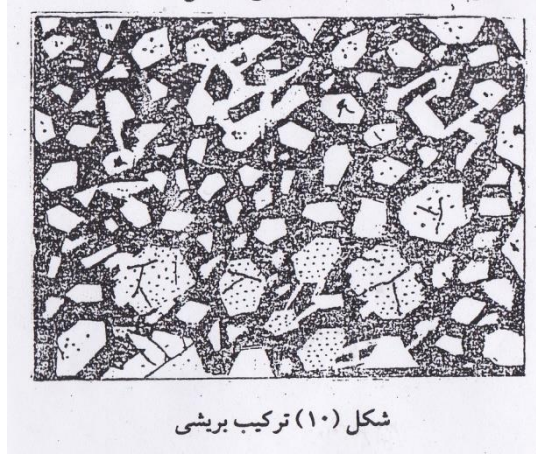
## التركيب السري والحمصي:

ويتكون هذا البناء نتيجة ترسيب المواد المعدنية حول حبيبات معدنية صغيرة ليزداد حجمها وتصبح مثل بويضات السمك وتسمى سرء Oolites قطر الواحدة من ١-٢م، وقد يصل إلى ١ سم ويسمى حينئذ بازلاء أو حمص Pisolites وتتكون هذه الكرات من أغلفة متراكزة.



## التركيب البريشي Brecciated Structure:

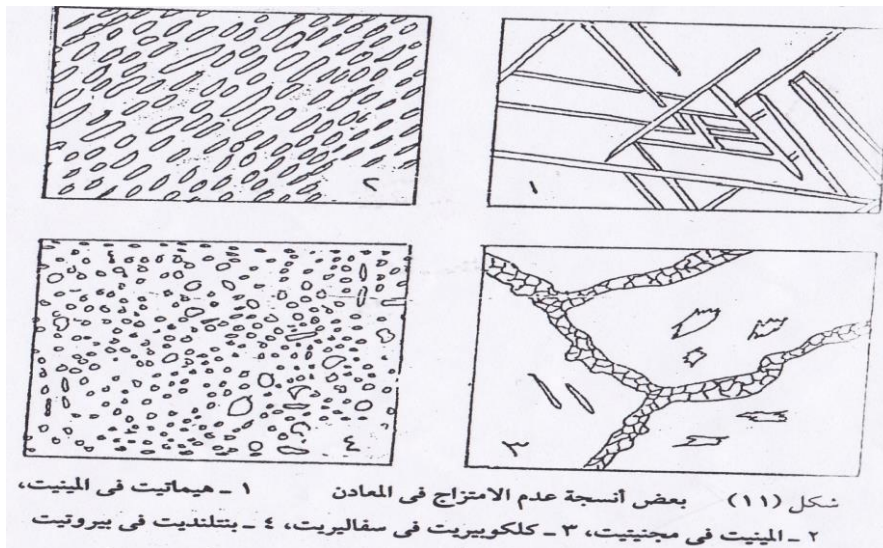
توصف الخامات والرواسب المعدنية التي تعرضت إلى عمليات تفتيت وجز ثم التحمت القطع المكسرة بمواد لاحمة بأنها ذات بناء بريشي، وتوجد مثل هذه الخامات في مناطق النشاط الصدعي.



شكل (١٠) تركيب بريشى

### أنسجة النمو المزدوج Intergrowth texture:

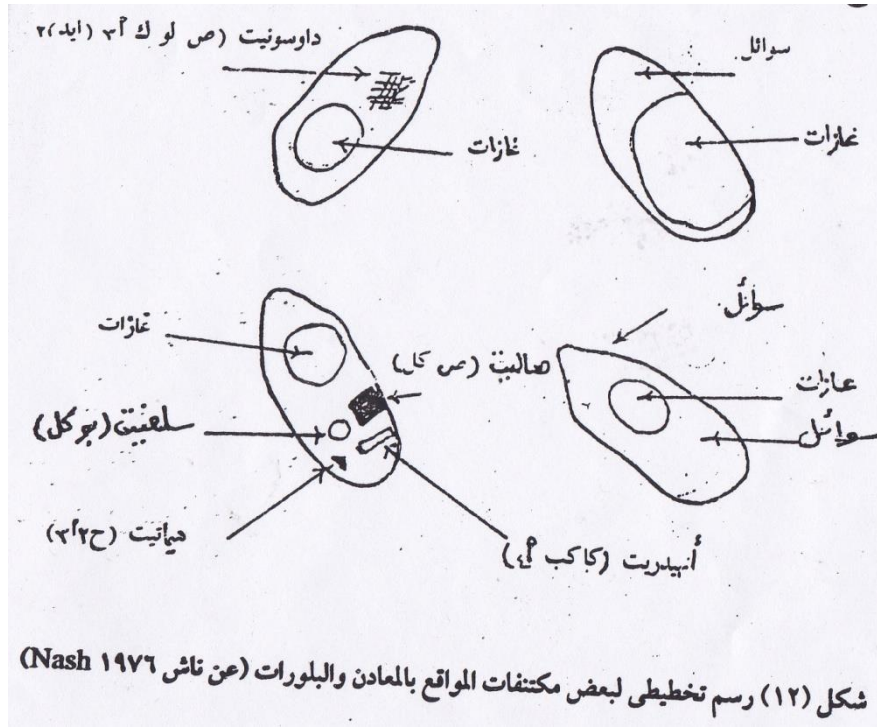
تتكون بسبب التبلور المزدوج لمعدنين أو أكثر على هيئة معدن أو بلورة ممتزجة أو مخلوطة، وذلك في درجات الحرارة العالية والضغط المرتفع حيث يساعد هذان العاملان على إتمام عمليات الإحلال الذري بين أيونات العناصر المختلفة، وبانخفاض درجات الحرارة يحدث عدم امتزاج أو انفصال أو لفظ Unmixing لبعض مكونات البلورة المخلوطة فيتكون بذلك نسيج خاص مميز يعرف بنسيج عدم الامتزاج.





## مكتنفات الموائع Fluid inclusions:

عبارة عن فقاعات مختلفة الأشكال والأحجام عادة (تقل الواحدة عن ١٠٠ ميكرو - والميكرون ١٠ مليون من المتر) مملوءة بالغازات أو السوائل أو المعادن الصلبة. ولها أهمية بالغة في التعرف على بيئة تكون المعادن هذه ودرجة الحرارة والضغط التي تكونت فيهما تلك الرواسب المعدنية.



## الفصل الثالث: تغيرات صخور الجدار Wall rock Alterations

### والبيئة الجيولوجية لتكون الخامات والرواسب المعدنية

**مقدمة:** تعرف الصخور المضيفة للرواسب المعدنية أو المحيطة بها باسم صخور الجدار وقد لوحظ أن صخور الجدار غالبا ما تتعرض لأنواع معينة من التغيرات المعدنية أو البنائية الكيميائية ويصاحبها عادة تغير لون هذه الصخور. وتعتبر المحاليل الحرمائية والغازات أهم العوامل الفعالة في عمليات تغير صخور الجدار – وتعد هذه التغيرات في كثير من الأحيان مرشدا ودليلا على تكون خامات ورواسب معدنية معينة، وهي من أكثر الظواهر الجيولوجية شدا لانتباه الجيولوجي في الحقل.

### العوامل التي تتحكم في تغيرات صخور الجدار:

يتوقف نوع وحجم التغيرات في صخور الجدار على عدد من العوامل أهمها نوع وطبيعة صخور الجدار، ونوع وطبيعة المحاليل الكيميائية أو الغازات المسببة للتغيرات وكذلك درجة الحرارة التي يتم فيها هذا التغير. التغير إلى كاولين وجرايزن والبابت يتم في صخور حامضية مثل الجرانيت. وعمليات التغير الحصرية التي تتكون فيها معادن خضراء اللون تتم في صخور متوسطة مثل الديوريت والجرانوديوريت.

ويتم التغيرات إلى سكارن Skarn في الصخور الجيرية أساساً. تزيد شدة التغيرات في المناطق الضعيفة مثل الصدوع والطيات ومناطق التماس بين الصخور.

### ١- التغيرات إلى جريزن وألبايت:

يعتبر التغيرات إلى جريزن Greisen أو الجرزنة Greisenization والتغيرات إلى ألبايت Albite أو الألبتة Albitization من أشهر العمليات الجيولوجية اللاحقة للعمليات الصهيرية. ويحتوي الجريزن على معادن القصدير أهمها حجر القصدير Cassiterite. والتغيرات إلى ألبايت يتم أيضاً في صخور الجرانيت ويتحول الجرانيت إلى صخر يتكون كله تقريباً من الألبايت.

**التغيرات الطينية Argillic alteration:** وتتغير فيها معادن الفلسبار إلى كاولين ويصاحبها تكون معادن البيريت والتورمالين.

**التغيرات إلى سيريسيت أو السرسطة Sericitization:** ينتشر في الصخور الغنية بالألومونيوم ويتكون خلالها معادن السيريسيت والكوارتز وأحياناً البيريت.

**التغيرات البروبيليتي Propylitic alteration:** تتكون فيه معادن الكلورايت والابيدوت والألبايت.

التغاير إلى معادن الكربونات أو الكربنة Carbonitization: من أهمها التغاير إلى دولوميت. ويصاحبها تكون معادن الرصاص والزنك.

التغاير إلى معادن الفلسبار أو الفلسبرة Feldspathization: وفيه ينمو الفلسبار البوتاسي أو الألبايت والميكروكلين في صخور الجدار ويصاحبها تكون معادن الذهب والقصدير والبريليوم.

التغاير إلى التورمالين أو التورملة Tourmalinization: فيها يتكون التورمالين في صخور الجدار.

التغاير إلى الكلوريت أو الكلورة Chloritization: وفيها يتكون الكلورايت وقد يصحبه التورمالين والمرو.

التغاير إلى السيليكات أو السلكتة Silicification: يصاحبها زيادة نسبة أكسيد السيليكون في صخور الجدار في صورة متبلرة (المرو) أو غير متبلرة مثل الصوان والعقيق.

التغاير إلى السربنتين أو السربنتة Serpentinization: يوجد هذا النوع في الصخور فوق قاعدية المكونة من الأوليفين والبيروكسين حيث تتحول هذه الصخور إلى معادن السربنتين.

## علاقة عمليات التغير بالمعدنة:

تعتبر عمليات التغير في حد ذاتها عمليات معدنة Mineralization حيث تتكون فيها معادن جديدة مشتقة من المعادن القديمة في صخور الجدار، أو تتكون بفعل المحاليل الحرمائية والغازات التي تسبب التغير.

هناك علاقة واضحة بين بعض أنواع التغير والمعدنة أهمها رواسب القصدير التي تصاحب عمليات الجرزنة Greisenization وكذلك خامات البريل المرتبطة بعمليات الألبتة. كما أن هناك علاقة واضحة بين نوع التغير وصخور الجدار، فإن هناك علاقة أيضا بين نوع التغير والمحاليل والغازات التي تسبب التغير. وتعتبر عمليات تغير صخور الجدار من أهم العوامل المرشدة للجيولوجي في رحلة البحث عن الخامات والرواسب المعدنية في الصحاري.

## البيئة الجيولوجية لتكون الخامات والرواسب المعدنية

### البيئات الجيولوجية:

يقصد بالبيئة الجيولوجية أحوال من الضغط، ودرجات الحرارة لوسط كيميائي معين. وتقسم البيئات الجيولوجية إلى:

١- بيئة عالية الحرارة والضغط.

High Temperature – Pressure environment

## ٢- بيئة منخفضة الحرارة والضغط.

### Low Temperature – Pressure environment

والبيئة عالية الحرارة والضغط هي بيئة داخلية أي تحت سطح الأرض Endogenic environment وتستمد طاقتها من حرارة باطن الأرض. أما البيئة منخفضة الحرارة والضغط فهي بيئة سطحية أي فوق سطح الأرض Exogenic environment وتستمد طاقتها من حرارة الشمس. وتختلف الخامات والرواسب المعدنية التي تتكون في البيئة الداخلية عنها في البيئة الخارجية. وأهم الخامات والرواسب المعدنية التي تتكون في البيئة الداخلية:

١- الخامات والرواسب الصهيرية

٢- خامات ورواسب البجماتيت

٣- خامات ورواسب الكربوناتيت

٤- خامات ورواسب الاسكارن

٥- خامات ورواسب الجرزنة والألبتة

٦- خامات ورواسب التحول

٧- خامات ورواسب المحاليل الحرمانية

وأهم الخامات والرواسب المعدنية المتكونة في البيئة السطحية أو الخارجية:

١- الخامات والرواسب المعدنية الرسوبية

٢- خامات ورواسب الأملاح والتبخرات

٣- الخامات والرواسب المعدنية المتخلفة

٤- خامات ورواسب الأكسدة والإثراء الثانوي

لا توجد حدود فاصلة تماماً بين العمليات المختلفة. تفاوتت الآراء حول أصل وطريقة تكون الخامات والرواسب المعدنية في النوعين. بالإضافة إلى تكون كثير من الخامات والرواسب المعدنية في فترات زمنية طويلة عادة، وتحت ظروف وأحوال جيولوجية متغيرة وغير ثابتة، وينعكس ذلك في تكون خامات ورواسب معدنية مركبة أي تكونت بأكثر من طريقة، وتعرف هذه الخامات باسم الرواسب المعدنية متعددة الأصول ومثال ذلك رواسب الذهب واليورانيوم في حقل وتواترسراند في جنوب أفريقيا وبعض رواسب الحديد في الصحراء الغربية بمصر (حديد الواحات حيث يرى بعض الباحثين أن هذه الرواسب حرمانية الأصل ويرى آخرون أنها رسوبية الأصل. وربما تكونت هذه الرواسب بأكثر من عملية جيولوجية).

### فترة تكون الرواسب المعدنية:

هي الزمن الذي استغرقته هذه الرواسب ليتم تكونها من مصادرها. فرواسب الحديد في أسوان مثلاً ورواسب الفوسفات في مصر ترسبت إبان العصر الطباشيري. فكم من الوقت استغرق

تكون أي من هذه الرواسب في ذلك العصر؟ توجد دراسات غير كافية في هذا المجال.

### كيفية ترسب الخامات والرواسب المعدنية:

هناك العديد من العوامل الكيميائية والفيزيائية التي ينضبط بها ترسب الخامات والرواسب المعدنية سواء الباطنية النشأة أم السطحية منها. كما أن للنشاط الحيوي لبعض الكائنات الحية الدقيقة دور في هذا المجال مثل البكتيريا والطحالب والراديو لاريا والتي تتجمع هياكلها بعد موتها مكونة بعض الرواسب السيليسية وغيرها. تكونت رواسب الفوسفات في الوطن العربي من تراكم عظام هياكل الحيوانات البحرية الكبيرة والصغيرة.

وتوجد مكونات الرواسب المعدنية في مصادرها إما كمواد ذائبة أو معلقة .. إلخ. وترسب تلك المكونات تحت ظروف مناسبة بعدد من الطرق منها: الترسيب الميكانيكي، التفاعلات الكيميائية، الترسيب الكيميائي العضوي، التخثر من المحاليل الغروية، التبخر، امتصاص بعض المواد المعدنية على أسطح المواد الصلبة.... إلخ.

### مصادر الخامات والرواسب المعدنية:

تتعدد مصادر الخامات والرواسب المعدنية، فبعضها مشتق من المنصهرات السيليكاتية القاعدية، والبعض الآخر جاء من



المنصهرات السيليكاتية الحامضية وجزء ثالث تكون بفعل النشاط البركاني أو الحرمائي. وهناك من يعتقد أن ستارة الأرض Mantle هي المصدر الرئيسي لمعظم الخامات والرواسب المعدنية.

### عمق الخامات والرواسب المعدنية:

تتكون الخامات والرواسب المعدنية باطنية المنشأة أي التي تتكون في البيئة الداخلية تحت أعماق مختلفة من سطح الأرض. أما سبب تواجد بعض هذه الخامات في الوقت الحاضر فوق سطح الأرض فهي عمليات النحت والتعرية التي أزالَت الطبقات الصخرية التي كانت تغطي تلك الخامات فيما قد مضى.

ويقسم بعض العلماء الأعماق التي تتكون عندها الخامات والرواسب المعدنية إلى أربعة نطاقات هي:

- ١- النطاق الفائق العمق: من ١٠ - ٥٠ كم تحت السطح.
- ٢- النطاق العميق: من ٣ - ١٠ كم تحت السطح.
- ٣- النطاق متوسط العمق: ١ - ٣ كم تحت السطح.
- ٤- النطاق القريب من سطح الأرض: ١ - ١,٥ كم تحت السطح.

ويمتاز كل نطاق من النطاقات الآنفه الذكر ببيئة جيولوجية مميزة والتي تترك بصماتها على طبيعة وصفات الخامات والرواسب المعدنية التي تتكون في كل قطاع.

### الترموترات والبارومترات الجيولوجية:

## Geothermal and Geobarometry

تترك البيئات الجيولوجية المختلفة بصمات مميزة ودالة عليها في الخامات والرواسب المعدنية التي تتكون في تلك البيئات. وبالتالي فإنه يمكن التعرف على بيئات تكون الخامات من صفات فيزيائية وكيميائية معينة في تلك الخامات. تستخدم بعض المعادن المرشدة كترموترات وبارومترات جيولوجية للتعرف على درجات الحرارة والضغط التي كانت سائدة إبان تكون هذه المعادن. ونأخذ مثلاً يوضح ذلك هو الكسيتيريت Cassiterite  $\text{SnO}_2$  الموجود في عروق المرو والموجود منبثاً Disseminated في صخور الجرانيت المجرزنة Gerisenized والمؤلّبة Albitized في جنوب الصحراء الشرقية بمصر، وحيث أن البيئة الجيولوجية في كل نوع من هذا الكسيتيريت تختلف عن النوع الآخر. فقد انعكس ذلك في حجم البلورات ومحتواها من عناصر الآثار Trace elements حيث نرى الكسيتيريت العروقي يوجد في بلورات منشورية طويلة تصل إلى

٦ سم ولونها بني غامق، أما الكسيتيريت المنبث في الجرانيت فيوجد في بلورات هرمية مزدوجة لا يزيد طول البلورة عن ٢ مم. ولونها أسود قطراني.

الكسيتيريت عالي الحرارة (المنبث في الجرانيت) يحتوي على تركيزات عالية نسبيا من عناصر النيوبيوم والتنتاليوم والتنجستن بالمقارنة مع الكسيتيريت منخفض الحرارة (العروقي) (مصطفى سليمان ١٩٨٢) مما يشير إلى إمكانية استخدام الكسيتيريت كترموتر جيولوجي.

ويستفاد من معرفة البيئة الجيولوجية للخامات والرواسب المعدنية في عمليات البحث والتنقيب عن الخامات.

أهم الطرق والدراسات المستخدمة في هذا المجال:

- ١- مكتنفات الموائع في المعادن. ٢- درجة حرارة الانقلاب أو التحول.
- ٣- درجة حرارة عدم الامتزاج.
- ٤- إعادة تبلور المعادن. ٥- درجة حرارة نقطة التصلد الحرج.
- ٦- صحبة المعادن. ٧- التغير في الصفات الفيزيائية للمعادن.
- ٨- الهيئة البلورية للمعادن. ٩- العناصر الإضافية في المعادن.
- ١٠- النظائر المشعة. ١١- درجة حرارة انحلال المعادن.

## ١- مكثفات الموائع:

عبارة عن فقاعات غازية وسائلة تحبس أو تحجز داخل البللورات أثناء تبلورها وتكونها وتعرف بالمكثفات الأولية، وتشير هذه المكثفات إلى درجة حرارة الوسط الذي انفصلت منه المعادن. توجد بعض المكثفات الثانوية والتي تتكون في فترة لاحقة نتيجة بعض العمليات الجيولوجية التي تتعرض لها الخامات والرواسب المعدنية مثل التحول والتغاير وغيرها والتي تؤدي إلى غلق بعض الشقوق والكسور في المعادن والبللورات على ما بداخلها من سوائل أو غازات مكونة مكثفا مائعة. وليس للمكثفات الثانوية أهمية في تقدير ومعرفة بيئة ترسب وتكون البللورات والمعادن. إلا أن لها دلالات أخرى في حالة رواسب النحاس البورفيرى مثلا.

توجد طريقتان لتقدير درجة حرارة تكون المعادن باستخدام المكثفات المائعة:

١- طريقة التجنيس Homogenization

٢- طريقة التفصيص Decrepitation

وفي طريقة التجنيس (أي جعل المكثفات غير المتجانسة والتي تتكون من طورين أو أكثر، متجانسة وذلك بتحويل الأطوار المختلفة إلى طور واحد متجانس) تسخن البللورات وتراقب تحت

ميكروسكوبات خاصة. وتعتبر درجة الحرارة التي يتحول فيها الطور السائل والطور الغازي إلى طور غازي واحد في هذه المكتنفات مماثلة لدرجة تكون هذه المعادن. وذلك بعد تصحيحها باستخدام منحنيات خاصة بذلك.

وتعتمد طريقة التفصيل على طحن البلورات وتسخينها باستخدام ميكروسكوبات خاصة وتعتبر درجة الحرارة التي تتفكك فيها جزيئات البلورة المطحونة (تتفكك هذه الجزيئات نتيجة انهيار حوائط هذه الجزيئات تحت ضغط المكتنفات المائعة) هي درجة حرارة تكون هذه البلورات ويستخدم لهذا الغرض منحنيات تجريبية خاصة.

## ٢- درجة حرارة الانقلاب أو التحول:

تتميز بعض المعادن بخاصية تعدد الأشكال Polymorphism بحيث ينقلب المعدن من شكل بلوري إلى آخر عند درجة حرارة معينة ويستفاد من هذه الظاهرة في تحديد درجة حرارة تكون الخامات والرواسب المعدنية.

وينقلب الكوارتز بيتا (عالي الحرارة) إلى كوارتز الفا (منخفض الحرارة) عند درجة حرارة ٥٧٣ درجة مئوية. والأول يوجد في الصخور عالية الحرارة مثل الجرانيت والبجماتيت والصورة

الثانية من الكوارتز (الفا كوارتز) توجد في الرواسب منخفضة الحرارة مثل الرواسب الحرمائية والعروق المعدنية.

### ٣- درجة حرارة عدم الامتزاج:

قد يتبلور معدنان أو أكثر في درجات الحرارة العالية في بلورة واحدة يطلق عليها اسم بللورة مخلوطة أو ممزوجة، وعندما تنخفض درجة الحرارة ينفصل الطور الأصغر مكوناً أشكالاً معينة داخل الطور الأكبر من هذه البلورات الممتزجة وينتج عن ذلك أنسجة صخرية أو معدنية يطلق عليها اسم مجموعة أنسجة عدم الامتزاج.

ويوجد عدد كبير من المعادن التي تتكون في بللورات ممزوجة في درجات الحرارة العالية مثل:

الككوسيت في الكوفليت عند درجة حرارة ٥٧٥ م.

الككوبيريت في البيروتيت عند درجة ٥٢٥٠ م.

الككوبيريت في الكوبالتيت عند درجة حرارة ٥٤٥٠ م.

الاسفاليريت في الككوبيريت عند درجة حرارة ٥٤٠٠ م.

الاسفاليريت في الاستانيت عند درجة حرارة ٥٣٢٥ م.

### ٤- التغير في الصفات الفيزيائية للمعادن:

تتغير بعض الصفات الفيزيائية للمعادن مثل اللون بتغير درجة حرارة البيئة الجيولوجية، فمثلا يفقد الفلوريت لونه ويصبح عديم

اللون عند درجة حرارة  $0175^{\circ}$  م كما يفقد الكوارتز المدخن والأمسيست (الكوارتز الوردى) لونهما في درجة تتراوح بين  $240^{\circ}$  و  $260^{\circ}$  م. وتختفي هالات الألوان المتغيرة Pleochroic halos من الميكا عند درجة حرارة  $0480^{\circ}$  م.

**تقسيم الخامات والرواسب المعدنية:** تقسم الخامات والرواسب المعدنية إما على أساس الاستخدام الصناعي لها وهو ما يعرف بالتقسيم التجاري وإما على أساس أصل وطرق تكون هذه الخامات والرواسب المعدنية.

ويمكن تقسيم الخامات والرواسب المعدنية بحسب أصلها وطرق وبيئة تكونها إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي:

### أ- الخامات والرواسب المعدنية باطنية المنشأ:

#### Endogenic ore deposits

وتشمل الخامات والرواسب المعدنية التي تتكون بالعمليات الجيولوجية الداخلية Endogenic Processes والتي تتم تحت سطح القشرة الأرضية وتشمل النشاطات النارية والتحولية وتستمد طاقتها من حرارة باطن الأرض وتضم مجموعة الخامات والرواسب المعدنية التالية:

١- الخامات والرواسب المعدنية الصهيرية.

٢- خامات ورواسب البجماتيت.

٣- الخامات والرواسب المعدنية الحرمائية.

٤- خامات ورواسب الكربوناتيت.

٥- خامات ورواسب الإسكارن.

٦- خامات ورواسب الألبيتيت والجرائزن.

٧- والرواسب المعدنية التحولية النشأة.

### ب - الخامات والرواسب المعدنية سطحية النشأة:

#### Exogenic ore deposits

وتشمل الخامات والرواسب المعدنية التي تتكون بالعمليات الجيولوجية الخارجية Exogenic Processes والتي تتم فوق سطح الأرض وتستمد طاقتها من الشمس بصفة رئيسية وتضم مجموعة الخامات والرواسب المعدنية التالية:

١- الخامات والرواسب المعدنية الرسوبية.

٢- خامات ورواسب التجوية.

### ج - الخامات والرواسب المعدنية مزدوجة النشأة أو

الباطنية – السطحية أو البركانية – الرسوبية:

#### Volcano-sedimentary ore deposits

وتشمل بعض الخامات والرواسب المعدنية المشتقة مكوناتها الأولية من باطن الأرض ولكنها تترسب فوق سطحها بوسائل متعددة منها الترسيب الكيميائي والكيميائي العضوي (الاحيائي)



والذي تلعب فيه البكتيريا دور هام...إلخ. أي أنها تكونت باشتراك العمليات الجيولوجية الداخلية والعمليات الجيولوجية الخارجية معاً ومن ثم فإن لها صفات مشتركة بين الخامات والرواسب المعدنية الباطنية والسطحية معاً.

### مكونات الرواسب المعدنية اللافلزية (أو الصناعية)

#### Constituents of non-metallic minerals deposits

في هذه الرواسب لا تستعمل كلمة الركاز للدلالة على الأجزاء المرغوبة من الرواسب المعدنية ولكن يشار إليها باسمها مباشرة مثل: راسب الميكا والتلك والاسبستوس، وليس ركاز الميكا أو التلك أو الاسبستوس. ولا تستعمل أيضاً كلمة المعادن الغثة للدلالة على المواد غير المرغوب فيها ولكن تستعمل بدلا منها كلمة العادم **Waste**. وتتكون معظم هذه الرواسب من المادة المرغوب فيها مع نسبة بسيطة جدا من العادم وقد لا يوجد عادم إطلاقا كما يحدث في حالة طبقات الجبس أو الحجر الجيري.

ومعظم الرواسب المعدنية اللافلزية تستخدم في الصناعة مثل الصخور المختلفة والرمل والطفلة وغيرها ولهذا فإنه يطلق على هذه الرواسب اسم الرواسب المعدنية الصناعية. وتعتمد قيمة هذه الرواسب أساسا على ثمنها وعلى خواصها الطبيعية والكيميائية حيث أنها لا تجري عليها عمليات استخلاص معقدة كما في حالة

الرواسب المعدنية الفلزية. ويتم تنقيتها من العادم بالطرق الميكانيكية مثل التنقية اليدوية والغسيل والتعويم وغيرها.

## **الفصل الرابع: الصهار والرواسب المعدنية**

### **Magma and mineral deposits**

مقدمة: تنقسم صخور القشرة الأرضية إلى ثلاثة أقسام هي الصخور النارية والرسوبية والمتحولة وتبعاً لذلك تنقسم العوامل المكونة للصخور وبالتالي للرواسب المعدنية إلى عوامل نارية ورسوبية وتحولية. وتشكل العوامل النارية الأصل في تكوين الصخور وكذلك الرواسب المعدنية كلها. فالأرض عند نشأتها قد مرت بمرحلة أولية كانت فيها عبارة عن كتلة منصهرة مكونة من الصخور النارية التي تأثرت بعد ذلك بعوامل التجوية المختلفة (مثل التفتت - التعرية - النقل - الترسيب) فأدت إلى تفتتها وتحللها ثم بالعوامل الرسوبية تتكون الصخور الرسوبية وبدفن الصخور الرسوبية إلى أعماق مختلفة في باطن الأرض، حيث تزداد الحرارة والضغط عن الظروف السطحية، تتكون الصخور المتحولة. وازدياد الحرارة في أماكن معينة من القشرة الأرضية عن درجة انصهار الصخور، يؤدي إلى انصهار أجزاء من تلك الصخور لتكوين صهارات جديدة، تبرد بالتدريج لتكون صخوراً نارية ثم تتكرر الحلقة وتتم دورة الصخور في القشرة الأرضية.

نجد أن هناك كثيرا من الرواسب المعدنية التي لها ارتباط واضح بالصخور النارية، فمثلا رواسب الكروميت لا توجد إلا في الصخور فوق المافية كذلك رواسب الإلمنيت لها ارتباط وثيق بصخور الجابرو والأنورثوسيت **Anorthosite** لذلك فإنه من المفيد جدا قبل شرح العوامل المختلفة لتكوين الرواسب المعدنية عمل استعراض سريع للصحار وخواصه من وجهة نظر دارسي الرواسب المعدنية.

### تعريف الصحار Definition of magma

هو عبارة عن كتلة من المواد الصخرية التي تتواجد في الطبيعة والتي لها القدرة على الحركة والتداخل ويتكون جزء كبير منها على صهير سليسي ويحتوي الصهير على بعض من المواد الصلبة على هيئة بلورات عالقة.

### التركيب الكيميائي للصحار Chemical composition of magma

يتكون الصحار من ثلاث مكونات:

#### ١- المكونات الأساسية Major constituents:

هي العناصر الثمانية الأساسية في القشرة الأرضية والجزء الخارجي من الغلاف الصخري وتشمل الأكسجين والسليكون

والألومنيوم والمغنسيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبيوتاسيوم ومركباتها المختلفة.

## ٢-المكونات الشحيحة أو الضئيلة **Trace constituents**:

وتشمل باقي عناصر الجدول الدوري وتوجد بنسب بسيطة جدا في الصهار مثل لهذه العناصر: اليورانيوم والنحاس والقصدير والتنتاليوم وغيرها.

## ٣-المكونات الطيارة **Volatile constituents**:

هذه تعتبر جزءا من المكونات الضئيلة ولكن لها أهمية كبرى في تطور الصهار وتكوين الرواسب المعدنية وهي توجد في الغالب على هيئة مركبات غازية أو سائلة على سطح الأرض وهي أساسا: الماء وثاني أكسيد الكربون وغيرها.

ويلاحظ أن التركيب الكيميائي للصخور يعطى على هيئة أكاسيد بالنسبة للعناصر الأساسية وبعض العناصر الأخرى ويعطى على هيئة أجزاء في المليون بالنسبة للعناصر الشحيحة.

## التنوع الكيميائي للصهار **Chemical differentiation of magma**

من الدراسات البترولوجية والكيميائية للصخور يمكن تقسيم كل أنواع الصهارات المختلفة إلى نوعين أساسيين:

## ١- الصهار الجرانيتي أو السليسي:

### Granitic or Silicic Magma

يتميز هذا بأنه غني بأكاسيد السليكون والألومنيوم والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم، علاوة على احتوائه على كمية كبيرة نسبيا من المكونات الطيارة وهو ينشأ في القشرة الأرضية نتيجة لانصهار بعض صخورها.

## ٢- الصهار البازلتية أو المافي Basaltic or Mafic

### :Magma

هو الصهار الذي ينشأ في الغلاف الصخري نتيجة لانصهار بعض صخوره ويتميز بأنه غني بالحديد والماغنسيوم والتيتانيوم، كما أنه يعتبر فقيرا نسبيا في المكونات الطيارة.

بالإضافة إلى هذه الفروق في المكونات الأساسية والطيارة، هناك اختلافا أساسيا بين النوعين الأساسيين من الصهار بالنسبة للعناصر الضئيلة فنجد أن الصهار الجرانيتي مثلا يتميز

باحتوائه على العناصر القشرية **Lithophile Elements**

كاليورانيوم والزركونيوم والنيوبيوم بنسب أعلى من الصهار المافي، في حين نجد أن الصهار المافي يحتوي على نسب أعلى من عناصر الغلاف مثل النيكل والكوبالت والكروم والبلاتين وغيرها. وهذا له أهمية كبيرة في دراسة الرواسب المعدنية.

ويلاحظ أيضا أن بعض العناصر ترتبط بأحد هذين الصهارين دون الآخر، مثل النيكل والكروم والبلاتين فهي مرتبطة بالصهار المافي دون الجرانيتي وكذلك الزركونيوم والليثيوم والنيوبيوم والقصدير، والنيوبيوم والقصدير، نجد أنها مرتبطة بالصهار الجرانيتي دون المافي، ولكن هناك بعض العناصر الأخرى ليس لها ارتباط معين كالذهب والنحاس مثلا، فهذه تتواجد في كلا الصهارين على حد سواء، وهذه العلاقات لها أهمية كبرى في مجال الكشف عن الرواسب المعدنية.

أما بالنسبة لدرجة الحرارة التي تكون سائدة في الصهارات المختلفة فهي تتراوح غالبا ما بين  $700^{\circ}\text{C}$  كحد أدنى بالنسبة للصهار الجرانيتي وحوالي  $1100^{\circ}\text{C}$  بالنسبة للصهار المافي.

### مراحل تطور الصهار (Magmatic Development)

يمر الصهار **Magma** بخمسة مراحل متتابعة وهي:

- ١- المرحلة الصهارية المبكرة **Early Magmatic stage**
- ٢- المرحلة الصهارية اللاحقة **Late Magmatic**
- ٣- المرحلة البجماتية **Pegmatitic stage**
- ٤- المرحلة الغازية **Pneumatolytic (Pneumatogenic) stage**
- ٥- المرحلة الحرمانية **Hydrothermal stage**

## ١- المرحلة الصهارية المبكرة:

تبدأ هذه المرحلة عند نشأة الصهار وتكون درجة الحرارة أعلى ما يكون وكذلك تكون عمليات التبلور بطيئة حيث تتكون بلورات بعض المعادن الإضافية مثل الكروميت في حالة الصهار المافي أو الزركون في حالة الصهار الجرانيتي. كذلك تتكون بعض الفلزات مثل الماس والكروم والنيكل والبلاتين والنحاس في الصهار المافي.

## ٢- المرحلة الصهارية اللاحقة:

تبدأ عندما تكون بلورات معادن السليكات كثيرة وفيها تتجمع المكونات الأساسية للصهار وفيها تتبلور معادن السليكات مثل الأولفين والبيروكسين والفلسبار ويتم فيها تفارق الصهار **Magmatic Differentiation** إلى بلورات تتجمع على هيئة صخور نارية متعددة وسائل فضالي **Residual liquid** يختلف عن الصهار الأصلي. ويلاحظ أن هذا السائل يكون غني بالحديد والتيتانيوم في الصهارات المافية ويصبح مصدرا هاما لرواسب الحديد والتيتانيوم عند تجمده. أما في حالة الصهارات الجرانيتية فيكون هذا السائل غنيا في السليكا والصوديوم والبوتاسيوم والمواد الطيارة ويصبح هو العامل الأساسي لتكوين كثير من الرواسب المعدنية في المراحل التالية.

### ٣- المرحلة البجماتية:

تظهر في الصهارات الجرانيتية وتبدأ هذه المرحلة عندما ينفصل السائل الفضالي الغني بالمكونات الطيارة والشحيجة من الكتلة البلورية ويتداخل في الصخور المحيطة على هيئة عروق وسدود البجمات **Pegmatite** التي تتميز بالنسيج الخشن جدا الذي ينشأ بسبب وجود المواد الطيارة التي تساعد على تكوين البلورات ذات الحجم الكبير وما يتبقى من السائل الفضالي بعد تكوين البجمات هو محلول مائي ساخن تتركز فيه المواد الطيارة والعناصر الشحيجة. أما إذا كان الصهار الجرانيتي في الأصل فقيرا في المواد الطيارة فإن السائل الفضالي المتبقي يكون أيضا فقيرا في تلك المواد ويتجمد على شكل عروق الأبلت **Aplite** ذات الحبيبات الصغيرة. بالنسبة للصهارات المافية فإن معظمها يتجمد ويتبلور في المرحلتين الأولى والثانية وما يتبقى منها بعد ذلك لا يتعدى بضعة عروق من البجمات المافي مثل البجمات الجابرو **Gabbro Pegmatite** وليس مهمة في تكوين الرواسب المعدنية.

ومن أهم الفلزات المستخلصة من الرواسب البجماتية هي الليثيوم والتنتاليوم وبعض العناصر المشعة كذلك بعض معادن



الزينة مثل الزمرد ومعادن الفلسبار والكوارتز والميكا التي تستخدم في الأدوات الكهربائية.

#### ٤-٥- المرحلة الغازية والمرحلة الحرمانية:

وهما يختصان بالصهارات الجرانيتية فقط وهذا الجزء المتبقي بعد المرحلة الثالثة يتكون من المركبات الطيارة - أساسا الماء، مع كميات من المكونات الضئيلة ويتجمع في الجزء العلوي من الحجرة الصهارية وفيها يبدأ في النفاذ الى خارجها خلال الشقوق والفجوات. وأثناء تخلله الصخور يتفاعل معها كيميائيا ويؤدي إلى تغييرها **Alteration** وترسيب ما قد يحمله من مكونات معدنية وفي بعض الأحيان يستهلك هذا المزيج قبل أن يصل إلى السطح أو قد يظهر بعضه أو كثير منه على هيئة ينابيع حارة أو نوافثات **Emanations**.

نتيجة لخروج النوافثات وتأثير الحرارة المنبعثة من الصهار فإنه يحدث تغيرات في الصخر إما على هيئة تحول تماسي **Contact Metamorphism** وهو كل ما يطرأ على الصخور من تغيرات معدنية نتيجة لتغير ظروف الحرارة والضغط دون أي تغير كيميائي للصخر ككل، أو على هيئة تحول تماسي **Contact Metasomatism** وهو كل

التغيرات المعدنية والكيميائية التي تطرأ على الصخر لتأثيرها بحرارة الصهار والغازات والأبخرة الصادرة منه.

ومن أمثلة الرواسب المتكونة من المرحلة الغازية معدن الكاستيرايت (أكسيد القصدير) ومعدن الفلوريت (فلوريد الكالسيوم) – غالبا ما يتواجد الكاستيرايت مع الفلوريت.

تتكون الرواسب من العمليات الحرمانية طبقا لدرجة الحرارة مثل معدن الجارنت والتوباز والأباتيت (درجة حرارة عالية)، الجالينا والسفاليرايت والباريت والكالسيت (درجة حرارة متوسطة)، الأوبال (درجة حرارة منخفضة).

الرواسب المعدنية نتيجة التحول هي البيرايت والسفاليرايت والهيمايت والماجنييت.

### الينابيع الحارة والنافثات:

فالينابيع الحارة هي انبعاث مياه طبيعية من باطن الأرض في درجة حرارة عالية وكثيرا ما تكون محتوية على مكونات معدنية مختلفة مثل الزرنيخ والأنتيمون والنحاس والقصدير وغيرها بالإضافة إلى الأملاح المعدنية. أما النافثات فهي انطلاق الغازات وبالأخص بخار الماء من الشقوق الأرضية في المناطق البركانية الحديثة وكتا الظاهرتين تدلان على النتائج النهائية للصهارات ووصولها إلى سطح الأرض وكذلك يدل أيضا على مدى ما يحمله

الصهار من المركبات الطيارة التي لها شأن كبير في تكوين الرواسب المعدنية.

## الفصل الخامس: الخامات والرواسب المعدنية الحرمانية

### Hydrothermal Ore Deposits

هي الخامات التي تتكون بواسطة محاليل مائية معدنة وفي درجات حرارة مختلفة. وتتكون هذه الرواسب من محاليل مائية حارة من أصول متعددة، فهي إما من أصل ناري أي مشتقة من غرف وخزانات الصهير بعد تبلور الصهير، وإما من أصل تحولي والتي تعرف بالطور المائع Fluid Phase والذي يتكون من الماء والغازات الناتجة عن تفكك المعادن في أثناء تحولها بفعل درجات الحرارة والضغط العالية، وإما في الماء السطحي أو الجوي المتسرب إلى تحت سطح الأرض عبر الفتحات والمسام في الصخور والذي ترتفع درجة حرارته كلما تعمق في باطن الأرض ويذيب بعضاً من مكونات الصخور التي يتخلل فيها ويحملها معه ومن ثم تصبح هذه المياه بمرور الزمن محاليل مائية حارة لها تركيب كيميائي يعتمد على نوع الصخور التي مر عليها في رحلته تحت سطح الأرض.

ترسب المحاليل المائية الحارة حمولتها على هيئة خامات ورواسب معدنية في مناطق مناسبة مثل الشقوق والفجوات في

الصخور ومناطق القص Shear Zones ومستويات الصدوع Fault Planes أو تبثها في الصخور على هيئة حبيبات معدنية صغيرة مشتتة أو منبثة بغير نظام في الصخور والتي تعرف بال خامات المنبثة Disseminated ore.

ويصاحب أجسام الخامات والرواسب المعدنية هالات تغاير حرمانية تشمل إضافة السيليكا أو الحديد وغيرها مع زيادة تركيز مركبات بعض العناصر الكيميائية في هذه الهالات كما هو الحال في مناجم الذهب في الصحراء الشرقية بمصر مثل منجم السكري وسموت وأم عود والبرامية وحنجلية حيث توجد هالات تغاير حرمانية حول عروق المرو الذهبية (الحاملة للذهب) Auriferous quartz veins تكثر فيها معادن السيليكا الثانوية والبيريت والسيريسيت وتوجد حبيبات الذهب منبثة Disseminated في هذه الهالات الحرمانية.

وتعد الهالات الحرمانية الممعدنة حول عروق الذهب في معظم مناجم الذهب في الصحاري العربية بمثابة احتياطي مستقبلي هام للذهب، ويجب الاهتمام بتلك الهالات ودراستها وتقدير محتواها من الذهب. ذلك أن القدماء – الذين استخرجوا الذهب من عروق في تلك المناطق لم يتمكنوا من استغلال الذهب المنبث في تلك الهالات الحرمانية.

تختلف أشكال وأحجام الرواسب الحرمانية اختلافاً كبيراً وذلك بحسب أشكال وأحجام الفراغات الصخرية المتاحة، وحجم وتركيز المعادن في المحاليل الحرمانية التي ملأت هذه الفجوات الصخرية. وتتراوح أطوال العروق المعدنية الحرمانية من عدة سنتيمترات إلى عدة كيلومترات. ويصل طول العرق الرئيسي Mother Lode للذهب في كاليفورنيا إلى ٢٠٠ كم.

وأطول عرق معدني يحتوي على خامات ورواسب معدنية في مصر هو عرق أم دويلة بجنوب الصحراء الشرقية، حيث يصل طوله إلى ١١ كم، ويتراوح عرضه من متر إلى مترين ويحتوي على معادن اليورانيوم والثوريوم وغيرها.

وتترسب الخامات والرواسب المعدنية الحرمانية في مختلف الأعماق تحت سطح الأرض، ويصل عمق عروق المرو الذهبية في الهند إلى ٣٢٠٠ متر تحت سطح الأرض.

وتعتبر الخامات والرواسب المعدنية الحرمانية رواسب لاحقة **Epigenetic** بالنسبة للصخور المضيفة أو المحيطة بها (صخور الإقليم **Country rocks**) وذلك لأنها تكونت بعد تكون تلك الصخور وتصلبها وتشققها ثم مرور المحاليل الحرمانية في هذه الكسور والفجوات الصخرية. وهذا يفسر تكون هالات التغاير

Alteration haloes في الصخور المحيطة بالخامات والرواسب المعدنية الحرمانية.

تترسب الخامات والرواسب المعدنية الحرمانية (الحرورية) من محاليل مائية وغازية تكون فيها المكونات المعدنية إما ذائبة Soluble أو معلقة Suspended أو غروية Colloidal وتوجد مصادر ثلاثة للمياه المكونة للمحاليل الحرمانية وهي:

١- الماء الصهيري أو النشأ Juvenile water

٢- ماء التحول أو الطور المائع Fluid phase

٣- الماء الجوي Meteoric water

والماء القطري أو الصهيري مشتق أساساً من غرف وخزانات الصهير بعد تبلور الصهير. ويحتوي هذا الماء على نسبة عالية من العناصر المكونة للصهير ذاته بالإضافة إلى جميع العناصر والمكونات المعدنية التي لم تشارك في تكون المعادن والصخور النارية لأسباب معينة. أما الطور المائع في الوسط التحولي فيضم السوائل والغازات التي تنطلق من الصخور في أثناء تحولها. لهذا الطور المائع دور هام في عملية تجنيس Homogenization الصخور المتحولة كما يعمل كسير ناقل للمكونات المعدنية في أثناء تحول الصخور، ويتجمع هذا الطور المائع مكوناً ما يعرف

بماء التحول وقد يندفع في الفراغات والكسور ويملؤها بالخامات والرواسب المعدنية.

أما الماء الجوي فهو مياه الأمطار التي تسقط على سطح الأرض ويتسرب جزء منها إلى أسفل وقد يلامس صخور حارة فترتفع درجة حرارته ويذوب بعض مكونات الصخور المضيفة له ويحملها معه ومن ثم تصبح هذه المياه بمرور الوقت محاليل مائية حارة ويتوقف التركيب الكيميائي لهذه المحاليل على درجة حرارة ونوع الصخور التي تخلل فيها ذلك الماء.



### الخواص الكيميائية لمحاليل الحرمانية:

يبين سمرنوف (١٩٧٦) أن هناك ثلاثة مراحل أساسية في تكون المحاليل الحرمانية الصهيرية – أي المشتقة من غرف الصهير بعد تبلور الصهير وهي:

١- مرحلة المحاليل الحرمانية القلوية المبكرة

٢- مرحلة المحاليل الحرمانية الحامضية

٣- مرحلة المحاليل الحرمانية القلوية المتأخرة

وتأتي مرحلة المحاليل الحرمانية القلوية المبكرة مباشرة بعد تبلور الصهير وتكون المحاليل المتبقية (أو الفضلة) Residual liquids غنية بالقلويات وبخاصة الصوديوم وعندما تنطلق تلك

المحاليل في صخور الإقليم فإنها تحدث عمليات الألبتة Albitization. وبتنخفاض درجة حرارة المحاليل الحرمانية ونفاذ الصوديوم وذلك بدخوله في عمليات الألبتة المبكرة يزداد تركيز السيليكون في هذه المحاليل وبالتالي تصبح لها صفات المحاليل الحامضية والتي تؤدي إلى عمليات الجرزنة الآنفة الذكر. وتؤدي عمليات الجرزنة المكثفة خاصة لمعادن الفلسبارات إلى تحللها وذوبانها وتحرر وانطلاق الصوديوم والبوتاسيوم منها وإضافتها إلى المحاليل الحرمانية لتصبح ذات صفات قلوية والتي تؤدي إلى عمليات الألبتة وميكروكلنة لاحقة في الصخور المحيطة.

### **مصادر المواد المعدنية Sources of Mineral Matter:**

تعتبر مصادر المواد المعدنية والتركيب الكيميائي للمحاليل الحرمانية من الأمور الغامضة. ولا يعرف على وجه اليقين التركيب الحقيقي للمحاليل المائية الحارة. يميل بعض العلماء إلى استنتاج التركيب الكيميائي لهذه المحاليل من التراكيب الكيميائية للمحاليل المائية الحارة المنطلقة من البراكين الحديثة والناثات والفوارات والعيون المائية الحارة، وكذلك من تركيب المكتنفات المائية في المعادن الحرمانية، وذلك بافتراض أن المكتنفات المائية تمثل عينات محفوظة من هذه المحاليل أثناء ترسيبها لتلك المعادن.



وتوجد في الوقت الحاضر خامات ورواسب معدنية حرمائية مصاحبة العيون الحارة والنفورات والنافثات البركانية مثل خامات الرصاص والزنك والنحاس والمولبيدينيوم والزرنيخ والزنبق والأنتيمون والتي توجد على هيئة كبريتيدات (منطقة Steamboat Springs بولاية نيفادا ومناطق البراكين في اليابان ونيوزيلاندا). وتنفت النافثات البركانية او الداخات Fumaroles في المنطقة المعروفة باسم وادي العشرة آلاف مدخنة Valley of Ten Thousand Smokers في آلاسكا بالولايات المتحدة الأمريكية أكثر من مليون طن من حمض الهيدروكلوريك وحوالي ٢٠٠ ألف طن من حمض الهيدروفلوريك في الهواء سنوياً. كذلك تبت هذه النافثات عدداً من المعادن في الصخور المحيطة بها مثل: المجنيتيت والبيريت والجالينا والسفاليريت وغيرها. وتحتوي المياه الحارة المنطلقة من بعض العيون العميقة في جنوب كاليفورنيا (عمقها ٢ كم) على كلوريد الصوديوم والبوتاسيوم وفضة ونحاس ورصاص وزنك. وهي تشبه المحاليل المائية الحارة المالحة في قاع البحر الأحمر.

وتترسب الخامات والرواسب المعدنية من المركبات الكيميائية المعقدة الذائبة في المحاليل الحرمائية نتيجة عدد من العمليات الفيزيائية والكيميائية منها:

## ١- التفاعلات التبادلية Exchange reactions

بين مكونات المحاليل نفسها أو بين المحاليل والصخور المضيفة (صخور الإقليم Country rocks) أو بين مكونات المحاليل والمياه المتخللة من الأجزاء العليا من سطح الأرض.

٢- التغير في الرقم الهيدروجيني – ويعني التغير في حامضية المحلول أو قاعديته.

## ٣- تخثر الغروانيات Coagulation of Colloids

## ٤- الترشيح Filtration

٥- التغير في درجات الحرارة أو الضغط أو كليهما

وتعتبر التفاعلات التبادلية أهم العوامل المرسبة للمعادن وأكثرها انتشاراً.

## الميتاسوماتيزم الانتقائي Selective metasomatism

### (الاحلال المعدني):

لوحظ في كثير من مناطق التعدين تواجد الخامات والرواسب المعدنية في أجسام وأشكال مختلفة، وتوزع هذه الأجسام المعدنية بغير نظام في الصخور المضيفة وبخاصة في الصخور الرسوبية. وقد يعزى ذلك إلى تكون تلك الرواسب المعدنية بالميتاسوماتيزم الانتقائي. فعندما تنطلق المحاليل الحرمانية في الصخور وتتجول

في فراغاتها وعبر الممرات والشقوق فيها فإنها تتفاعل عادة مع أنواع منتقاه من الصخور وترسب فيها بعضاً من حمولتها المعدنية ويرجع ذلك إلى طبيعة وتركيب الصخور المنتقاه.

فإذا ما انطلقت محاليل حرمائية معدنة في تتابع صخري مؤلف من حجر الرمل والكوارتزيت وحجر الجير والدولوميت وحجر الطين.... إلخ فإن المحاليل الحرمائية سوف تختار أحجار الجير والدولوميت لتتفاعل معها مرسبة بعض خاماتها ومعادنها الاقتصادية، وذلك بسبب طبيعة أحجار الجير والدولوميت التفاعلية، حيث تمتص هذه الصخور المحاليل الحرمائية وتتفاعل معها بسهولة ويسر وبخاصة إذا احتوت هذه الأحجار على بعض الشوائب المعدنية والتي تعمل كعامل مساعد لإتمام التفاعل. وعادة لا تخلو أحجار الجير من الشوائب المعدنية. ومثال ذلك رواسب الرصاص والزنك في كازاخستان حيث تتركز هذه الخامات في طبقات الدولوميت ضمن تتابع كبير من الصخور الرسوبية. وتحتوي طبقات الدولوميت في هذا التتابع الصخري على ٨٥% من رواسب الرصاص والزنك والنحاس. علماً بأن طبقات الدولوميت لا تكون إلا ١٥% من صخور هذا التتابع.

وتتم عملية الميتاسوماتيزم على نطاق إقليمي واسع وينتج عنها رواسب معدنية كبيرة متخذة أشكالاً مختلفة. وقد تتم في حدود

ضيقة مثل العروق المعدنية Iodes والتي يتوقف حجم العرق المعدني فيها على عوامل عديدة أهمها الفراغ الذي تتم فيه عملية الإحلال المعدني.

وتعتمد عملية الإحلال المعدني أو الميتاسوماتيزم على عدد من العوامل:

١- التركيب المعدني والكيميائي للصخور المنتقاه.

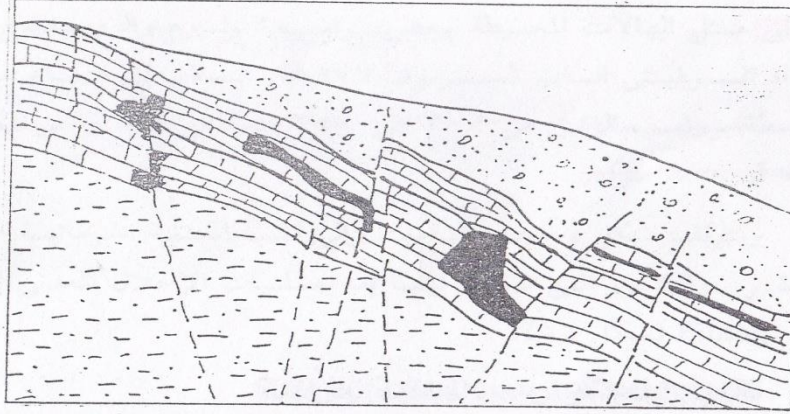
٢- مسامية ونفاذية الصخور.

٣- التركيب الكيميائي ودرجة حرارة المحاليل الحرمائية.

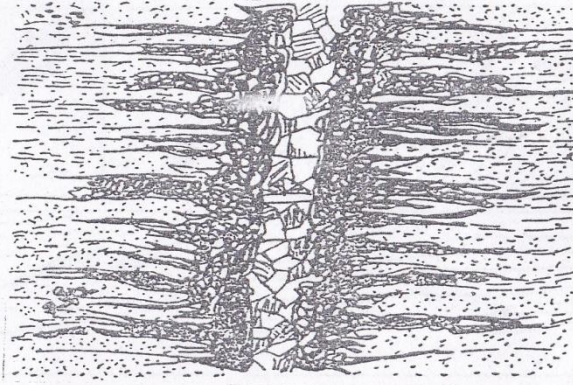
**وتعتبر أحجار الجير والدولوميت والصخور الفتاتية النارية Pyroclastics من أكثر الصخور قابلية لعمليات الإحلال المعدني** يليها الصخور النارية والمتحولة التي تعرضت إلى عمليات تكسير ثم تأتي صخور الكوارتز وحجر الطين الصفحي وأحجار الرمل في آخر الصخور القابلة لعمليات الميتاسوماتيزم.

وكلما زادت مسامية الصخور ونفاذيتها ساعد ذلك على إمرار المحاليل الحرمائية والغازات فيها وبالتالي زيادة احتمال التفاعل معها وترسيب الخامات والرواسب المعدنية.

وتتوقف نواتج الإحلال المعدني على التركيب الكيميائي للمحاليل الحرمائية وكذلك على التركيب الكيميائي والمعدني للصخور التي تتفاعل معها.



شكل (٥٤) تتكون الرواسب المعدنية (المظللة الداكنة) بالإحلال الانتقائي في الصخور الجيرية بالقرب من مستويات الصدوع فيها - لاحظ عدم تكون هذه الخامات في الصخور الرملية (أعلى) أو الصخور الطينية (أسفل)



شكل (٥٥) عرق كوارتزيت حامل لحجر القصدير (كستيريت) والتورمالين قاطعاً صخوراً مختلفة - لاحظ تفاوت شدة الإحلال على جانبي العرق بتفاوت نوع وقابلية الصخور للإحلال المعدني وتفاوتها ..... الخ.

تحاط الخامات والرواسب المعدنية الحرمانية عادة بنطاقات من الصخور المتغايرة ويطلق عليها اسم هالات التغير Alteration haloes وتتكون هذه الهالات عادة من عدة نطاقات غنية بالعناصر الكيميائية والمواد المعدنية المنبثة Disseminated والتي يطلق عليها أحياناً اسم هالات التغير والتشتت الأولية Primary Alteration and Dispersion Haloes وتتكون

الهالات من المحاليل الحرمائية المكونة للراسب المعدني الحرمائي. وتعتبر دليلاً ومرشداً عن الخامات والرواسب المعدنية.

ويتوقف حجم وشكل هالات التغير على عدد من العوامل مثل درجة الحرارة وتركيز العناصر الكيميائية في المحاليل الحرمائية والتركيب الكيميائي والمعدني للصخور المحيطة ومساميتها ونفاذيتها إلى غير ذلك.

وقد يصل اتساع هالات التغير من ١٥ إلى ٥٠ متراً بعيداً عن الجسم المعدني مثل الهالات المحيطة ببعض رواسب الليثيوم والروبيديوم والبورون في الاتحاد السوفيتي السابق (سمرنوف ١٩٧٦). كما يصل اتساع هالات التغير المحيطة برواسب الزئبق من ٣٠٠ إلى ٣٥٠ متراً في اتجاه رأسي وقد يصل إلى ٧٠٠ أو ٨٠٠ متراً.

ويتوقف شكل وحجم الخامات والرواسب المعدنية الحرمائية على الفراغات والشقوق والكسور التي تتكون فيها إما بعمليات الإحلال المعدني أو بالحشو أو الملاء Filling.

### تقسيم الخامات والرواسب المعدنية الحرمائية:

توجد عدة محاولات لتقسيم الخامات والرواسب المعدنية الحرمائية منذ العصور الوسطى وحتى بداية القرن العشرين وذلك اعتماداً على مورفولوجية أو طرق تكون هذه الخامات.

قسم لندجرن (١٩٠٧) الخامات والرواسب الحرمائية حسب درجة حرارة تكونها إلى ثلاثة أقسام هي:

١-رواسب حرمائية عالية الحرارة Hypothermal deposits

٢-رواسب حرمائية متوسطة الحرارة

Mesothermal deposits

٣-رواسب حرمائية منخفضة الحرارة

Epithermal deposits

وتتكون الرواسب عالية الحرارة في أعماق بعيدة تحت درجات حرارة عالية تتراوح من ٥٥٠٠ إلى ٥٣٠٠ م وضغوط عالية أيضاً.

وتتكون الرواسب متوسطة الحرارة في أعماق متوسطة ودرجة حرارة متوسطة تتراوح من ٥٣٠٠ إلى ٥٢٠٠ م وضغوط عالية. أما الرواسب المنخفضة الحرارة فإنها تتكون في أعماق ضحلة ودرجات حرارة منخفضة تتراوح من ٥٢٠٠ إلى ٥٥٠ م وضغوط متوسطة.

وقد اقترح جرانون (١٩٣٣) إضافة نوع جديد إلى هذه الأنواع وأطلق عليه اسم Leptothermal ويتكون في الأعماق المتوسطة ودرجات الحرارة المنخفضة نسبياً، ثم نوع خامس وأطلق عليه

اسم Telethermal والذي يتكون قرب سطح الأرض وفي درجات حرارة منخفضة.

وفي عام ١٩٣٥ أضاف بودنجتين مجموعة جديدة من الرواسب الحرمائية وأسمائها Xenothermal والتي تتكون قرب سطح الأرض ولكن في درجات حرارة مرتفعة نسبياً.



وقسم باتمان (١٩٤٢) الخامات والرواسب المعدنية الحرمائية بناء على ميكانيكية وطريقة تكونها إلى ثلاثة مجموعات.

١- رواسب الحشو أو الملاء.

٢- رواسب الإحلال.

٣- الرواسب المخلوطة والتي تتكون بالحشو والإحلال معاً.



وتتكون رواسب الحشو بترسب الخامات والرواسب المعدنية في الفجوات والكسور في الصخور على هيئة راقات أو نطاقات تبدأ من جدار الفجوات متجهة إلى مركزها. وتضم هذه المجموعة عدة أقسام حسب أشكالها وهي:

١- عروق الكسور أو الشقوق Fissure veins

٢- رواسب نطاقات الجز Shear zone deposits

٣- العروق المتشابكة Stockworks

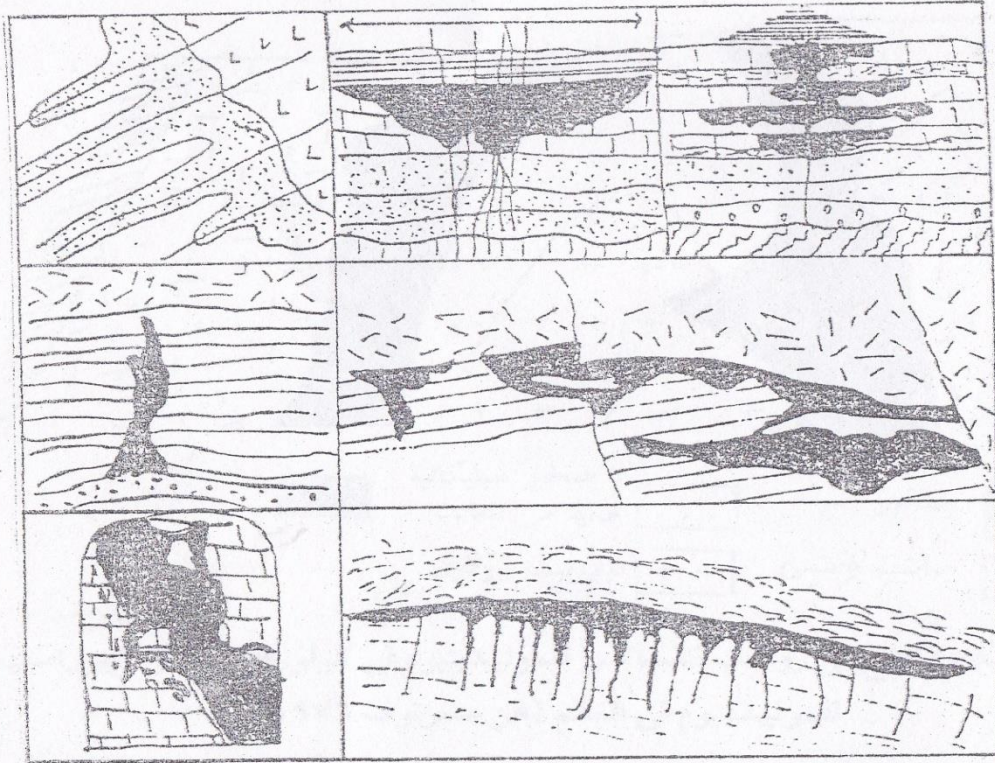
٤- السروج Saddle reefs

٥- عروق سلمية Ladder vein

٦- رواسب الحشو البريشية Breccia – filling

٧- رواسب الحشو اللوزية أو الحويصلية Vesicular filling

وتتكون رواسب الإحلال بإذابة بعض معادن من الصخور المحيطة أو صخور الإقليم، وإحلال معادن جديدة محلها وتعرف هذه العملية بالإحلال البسيط Simple replacement وتتخذ الرواسب المعدنية الناتجة أشكالاً متفاوتة تعتمد على نوع الصخور والتراكيب الجيولوجية فيها وكيميائية ودرجة حرارة المحاليل الحرمانية....إلخ.



شكل (٥٧) بعض أشكال خامات ورواسب معدنية تكونت بالإحلال البسيط. لاحظ عدم انتظام أشكال تلك الخامات (عن باتمان ١٩٥٠).

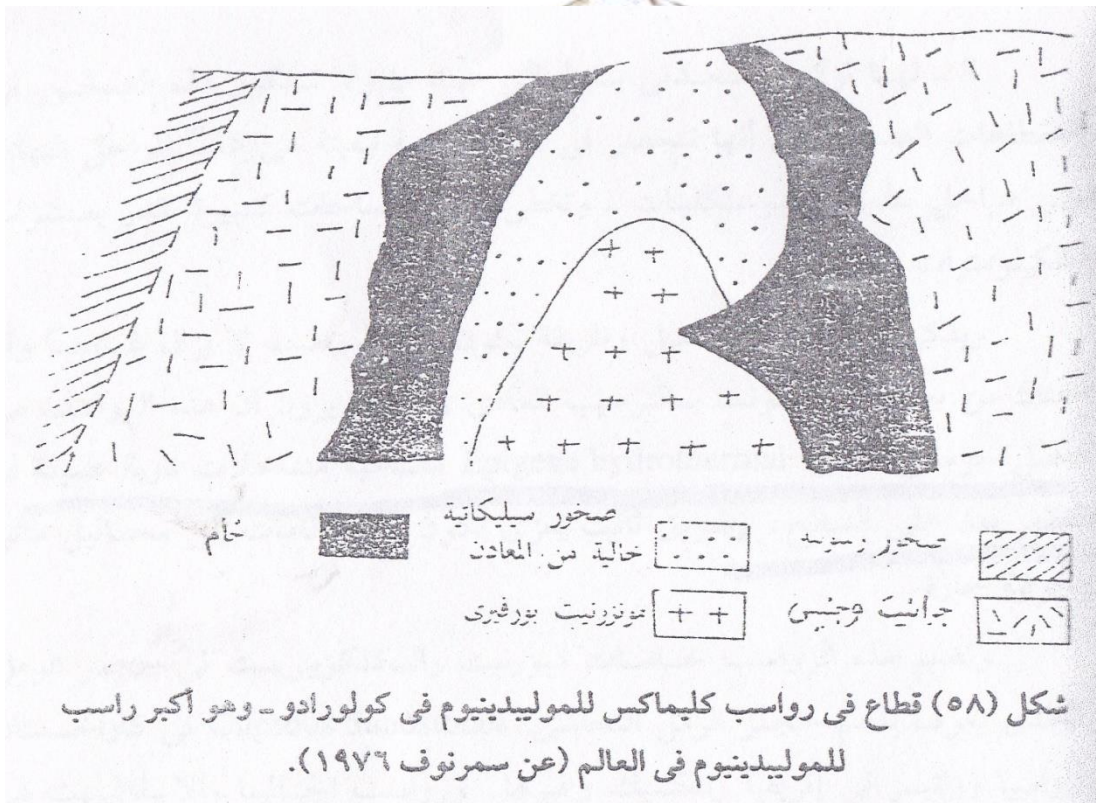
## ١- الخامات والرواسب الحرمائية الجوفية:

### Plutogenic hydrothermal deposits

تضم مجموعة كبيرة من الرواسب المرتبطة بالمتداخلات النارية الحامضية والمتوسطة (وتشمل الرواسب الحرمائية عالية الحرارة وكذلك بعض الرواسب متوسطة الحرارة) وتتكون هذه الرواسب في الأعماق التي تتراوح من ٥٠٠٠ إلى ١٠٠٠ متراً تحت سطح القشرة الأرضية وفي درجات حرارة تتراوح من ٤٠٠ إلى ٣٠٠ درجة وأحياناً أقل من ذلك.

تضم هذه المجموعة عدداً كبيراً من الرواسب المعدنية مثل عروق الذهب والأرزينوبيريت في جنوب الأورال في روسيا ورواسب الذهب في العرق الرئيسي بكاليفورنيا وعروق المرو والمولبيدينيوم الشهيرة في كليماس في الولايات المتحدة وهي أكبر رواسب للمولبيدينيوم في العالم.

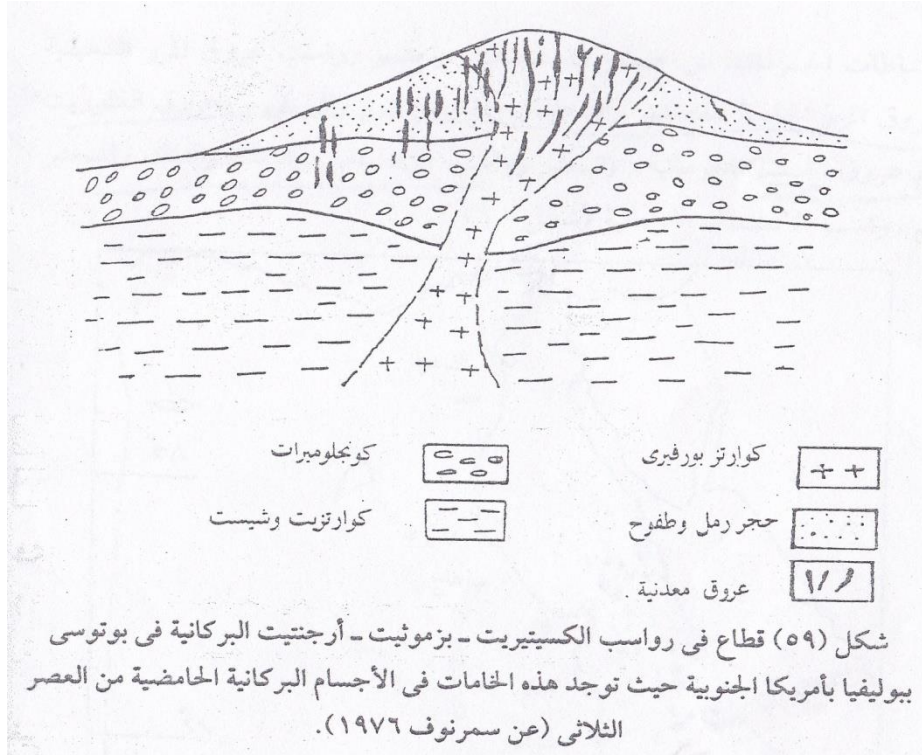
يصاحب تكون هذه الرواسب المعدنية عدد من تغيرات صخور الإقليم مثل التغير إلى السيريسيت والكلوريت وإضافة السيلكا والفلوريت والبيريت والتغير إلى سربنتين والحديد وغيرها. وتتكون هذه الخامات إما بالحشو أو الإحلال أو الاثنين معاً. وتتخذ أشكالها حسب أشكال الفراغات والكسور في الصخور المحيطة.



## ٢- الرواسب الحرماية البركانية Volcanogenic

### :Hydrothermal Deposits

وهي مجموعة من الخامات والرواسب المعدنية الحرماية المصاحبة للنشاطات البركانية خاصة براكين الأنديزيت - داسايت والبراكين القلوية. وتوجد هذه الرواسب في عروق أو أعناق بركانية أو عروق متشابكة وهي صغيرة الحجم و لا تمتد عميقاً. وهي مشتقة من غرف صهير قريبة من سطح القشرة الأرضية وتكون عادة محصورة في المخروطات والأجسام البركانية. وتضم مجموعة كبيرة ومتنوعة من الخامات والرواسب المعدنية مثل رواسب الذهب والفضة المصاحبة لبراكين العصر الثلاثي في أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية.



يُصاحب هذه الخامات والرواسب المعدنية عمليات تغاير للصخور المحيطة وتشمل التغاير الخضري (التغاير إلى كلوريت وإبيدوت وكلسيت) وإضافة السيليكات والتغاير الطيني أو الكاوليني. وهي تغايرات تصاحب وتنتج عن المحاليل الحرمائية الحامضية.

### ٣- الرواسب الحرمائية اللاصهيرية:

هذه الخامات والرواسب المعدنية توجد في مناطق تكون الصخور الرسوبية وبعيداً عن النشاطات النارية الجوفية أو البركانية وأهم صفاتها ما يلي:

١- توجد مصاحبة الصخور الرسوبية وتوجد في طبقات مثلها.

لها تركيب معدني بسيط إلى حد ما ولا تتكرر هذه الصخور في القطاعات الصخرية أي أنها تنحصر في فترات زمنية معينة هي غالباً المراحل النهائية من مراحل تطور الجيوسنكلينات.

ويذكر سمرنوف أن أصل وطريقة تكون هذه الرواسب لا

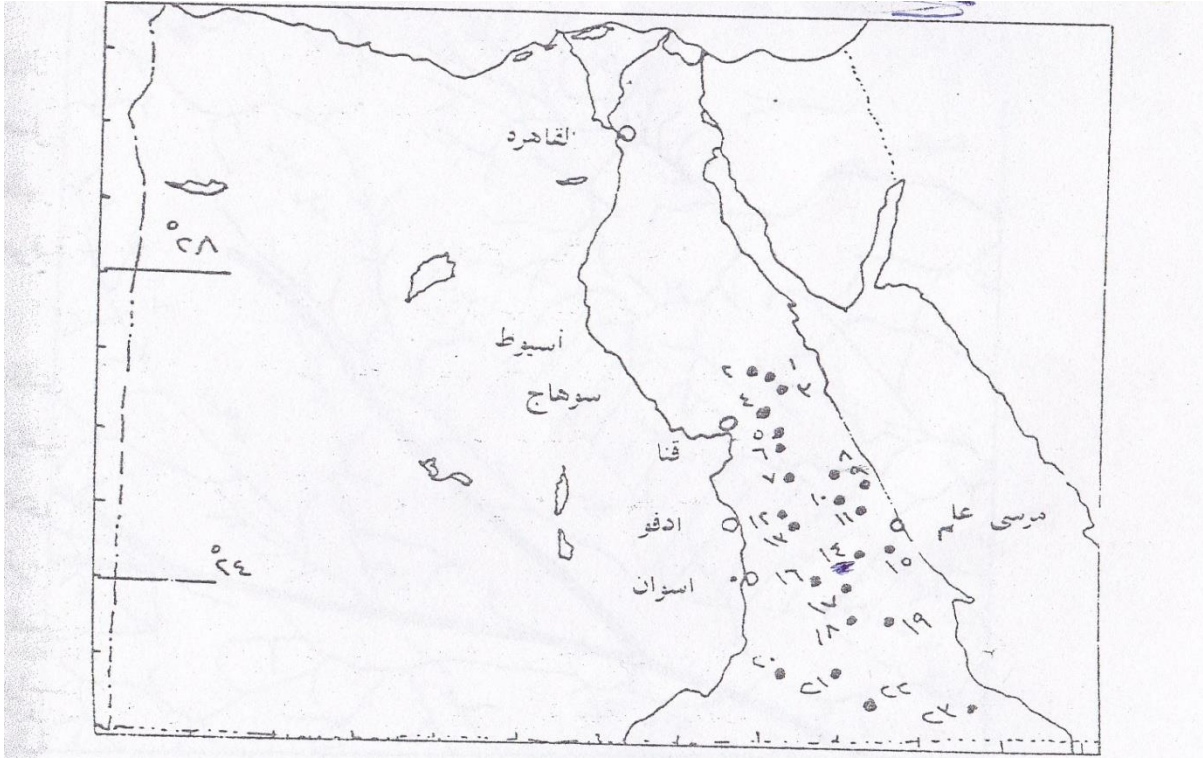
يزال غامضاً وأن هناك من يعتقد أنها تكونت بالترسيب العادي

وآخرون يرون أن هذه الرواسب من أصل حرمائي لاحق

تظهر بعد على السطح، وفريق ثالث يعزى تكون هذه الخامات إلى

محاليل مائية جوفية حارة.

وتتضم هذه الرواسب خامات البورنيت والكلكوبيريت في حجر الرمل والذي يعرف باسم حجر الرمل النحاسي Cuprous Sandstones في كازاخستان وزامبيا وزائير في إفريقيا والمكسيك وغيرها. ورواسب الجالينا والإسفاليريت بالولايات المتحدة الأمريكية وكندا والنمسا وبلجيكا وبلغاريا وبولندا، ورواسب الأنثيمونيت والسينابار في خايدركان بروسيا ومنطقة المعادن بأسبانيا.



شكل ٦٠ خريطة تبين أهم مواقع الخامات والرواسب الحرماية في مصر

١- الذهب (ولغرام)، ٢- فطيرة البيضا (ولغرام وقصدير)، ٣- أبو حماد (قصدير ولغرام)،  
 ٤- أبو خريف (قصدير ولغرام)، ٥- عطا الله (ذهب)، ٦- السد (ذهب)، ٧- النبعة والنويح  
 (قصدير ولغرام)، ٨- أم الروس (ذهب)، ٩- أم غيج (رصاص وزنك)، ١٠- أبو دباب  
 (قصدير)، ١١- العجلة (قصدير وتنجستن)، ١٢- البرامية (ذهب)، ١٣- المولحة (قصدير)،  
 سموت ودنجاش (ذهب)، ١٤- وادي الجمال (بريل)، ١٥- السكرى (ذهب)، ١٦- حمر  
 عكارم (بريل)، ١٧- حمره مكبد (بريل)، ١٨- زرقا نعام (تنجستن)، ١٩- حوتيت  
 (ذهب)، ٢٠- أبو سويل (ذهب)، ٢١- أم شلمان (نيوبيوم)، ٢٢- أم الطيور (ذهب)،  
 ٢٣- قشر عامر (تنجستن).

### الخامات والرواسب المعدنية الحرماية في مصر:

يوجد عدد كبير من الخامات والرواسب المعدنية في مصر والتي تكونت بالنشاطات الحرماية من حشو واستبدال. وتعتبر عروق المرو الذهبية وعروق المرو الحاملة للقصدير والتنجستين والمولبيديوم والبريليوم وعروق الفلوريت أهم عروق الحشو

الحرمانية. وتعتبر رواسب الرصاص والزنك والتلك والمنجنيز أهم رواسب الاستبدال الحرمانية.

## الذهب:

توجد في مصر أقدم حقول ومناجم الذهب في العالم والتي بدأ استغلالها منذ أكثر من ٤٠٠٠ سنة قبل الميلاد وحتى اليوم وتوجد هذه المناجم في الصحراء الشرقية في الصخور النارية والمتحولة. وهناك أكثر من ٩٥ موقعاً رئيسياً للذهب في الصحراء الشرقية. ويوجد الذهب في عروق المرو ومنبثاً في الصخور المحيطة بتلك العروق. ويختلف تركيز الذهب اختلافاً كبيراً في العروق. وعادة يصاحبه البيريت، وتزيد نسبة الذهب في بعض العروق بزيادة البيريت. كما يوجد الذهب في رواسب الوديان. ويجب ان تكون مصر دولة منتجة للذهب.

**القصدير والتنجستين والموليبدينيوم:** توجد رواسب القصدير والتنجستين وأحياناً الموليبدينيوم في ثلاثة عشر موقعاً في الصحراء الشرقية. وتوجد في عروق المرو والجريزن أو منبثة في صخور الجرانيت المجرزنة والمؤلمبة وفي رواسب وديان تلك المناطق.





الإحلالية في حزام الصخور الرسوبية على ساحل البحر الأحمر  
من القصير وحتى رأس بناس في الجنوب

### الفلورايت والباريت:

توجد عروق بعض كتل الجرانيت القصديري في عروق المرو  
في عدد من المناطق بالصحراء الشرقية أهمها منطقة جبل  
العنيجي. وتوجد عروق الباريت في عدد محدود من المناطق  
قاطعة صخور الجرانيت القصديري. وتعتبر رواسب وادي  
الجريرة في منطقة علبة أهم مناطق تواجد الباريت.

### المنجنيز:

توجد رواسب المنجنيز التي تكونت بالحشو أو الإحلال في عدد  
من المناطق في الصحراء الشرقية وسيناء – وتعتبر رواسب أم  
بجمة في سيناء أهم تلك الرواسب. ويوجد المنجنيز في أم بجمة  
على هيئة أجسام عدسية في صخور الدولوميت من العصر  
الكربوني الأوسط.

كما يوجد المنجنيز في الصخور القارية في وادي عربة، وفي  
عش الملاحه بالصحراء الشرقية توجد رواسب المنجنيز في  
الشقوق والكسور في الصخور النارية والمتحولة والصخور  
الرسوبية من عصر الميوسين الأسفل والأوسط في حلايب ووادي  
مياليك وغيرها.

## المراجع

- ١- د.مصطفى محمود سليمان. الجيولوجيا الاقتصادية والثروات المعدنية فى الوطن العربى. 2001 دار الكتاب الحديث.
- ٢- د.ممدوح عبدالغفور . الرواسب المعدنية. 1979 (مكتبة الأنجلو).