

**(Geo 216)**

**بلورات ومعادن**

**الفرقة الثانية كيمياء وكيمياء حيوية**

**د/ أحمد محمد عبد الجواد**

**العام الدراسي 2023/2022م**

# علم المعادن وعلم البلورات - مقدمة

اعتمد الإنسان منذ القدم اعتمادا كليا علي المعادن في صناعة أسلحته، ووسائل راحته، وزينته، فكان يبحث عن الحديد والنحاس والذهب والأحجار الكريمة، مما ساهم في بناء حضارته المتطورة بصورة أو بأخرى، حتى أنه في التاريخ القديم، كان يعرف العصر باسم المعدن الشائع استخدامه، فكان هناك عصر الحديد، وعصر النحاس، وعصر الفضة، ولقد كان للمعادن الأثر الكبير في تحريك عجلة التاريخ، وقيام حضارات، وسقوط أخرى، 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. وغالبا ما توجد المعادن في الطبيعة مكونة الصخور المختلفة، أما الباقي فيوجد في الطبيعة مكونا للعروق ومائلا الفجوات داخل الصخور، ومعظم معادن هذا النوع الأخير تكون ذو فائدة اقتصادية وتعرف باسم الخامات Ores ومنها تستخرج الفلزات المختلفة التي تستفيد الحضارة البشرية منها.

## تعريف المعدن:

ما هو المعدن؟ المعدن هو أي مادة صلبة متجانسة، تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية، وذات تركيب كيميائي محدد، وليس ثابتا وتركيب ذري داخلي.

ومن هذا التعريف يمكن سرد الصفات التي يجب أن تتوفر في المادة لكي تسمى معدن:

- أ- مادة صلبة: لذلك لا يعتبر الزئبق معدنا لأنه في حالة سائلة.
- ب- متجانسة: جميع جزيئاته متشابهة في الخواص الكيميائية والفيزيائية.
- ج- طبيعية: وهذا يعني أن المواد المصنعة كيميائيا، والمخلقة معمليا، والتي تدخل الإنسان في تصفيها لا تعتبر من معادن.
- د- غير عضوية: لا يدخل النشاط الحيواني، أو النباتي في تكوين المعدن، فاللؤلؤ والبتروول والكهرمان لا يصنفون ضمن المعادن.
- هـ- تركيب كيميائي محدد: فالمعدن إما أن يكون عنصر أو مركبا كيميائيا ، ويعبر عن تركيبه الكيميائي برمز كيميائي محدد، فمثلا معدن الكوارتز يعبر عنه بالرمز  $\text{SiO}_2$  بنسبة ذرة سليكون إلى ذرتين أكسجين، ومعدن الهاليت (ملح الطعام) يعبر عنه بالرمز  $\text{NaCl}$  بنسبة ذرة واحدة من الصوديوم.

و- **ترتيب ذري داخلي:** تتميز كل المعادن سواء المركبة أو العنصرية بأن الذرات المكونة للمعدن تكون مرتبة ترتيب هندسي منتظم في الأبعاد الثلاثة، وهذا الترتيب ينعكس على شكل المعدن من الخارج مكونا السطوح التي تحد بالمعدن مكونا بلورة المعدن.

وتتكون القشرة الأرضية أساسا من صخور، تتركب بدورها من معدن واحد أو تجمع عدة معادن. وتتواجد هذه الصخور على هيئة أجسام، وكل وحدة من هذه الصخور قائمة بنفسها سواء صخر واحد، أو عدة صخور ولها حدود واضحة. ويوجد ثلاث أنواع من الصخور:

1. **الصخور النارية (Igneous Rocks):** هي الصخور التي تشكلت من تبريد الصهارة

(مواد صخرية منصهرة) اما في باطن الأرض، أو علي سطح الأرض بفعل البراكين.

2. **الصخور الرسوبية (Sedimentary Rocks):** تتشكل الصخور الرسوبية عند تراكم

جسيمات صغيرة تُعرف باسم الرواسب، على شكل طبقات فوق بعضها، وانضغاضها

وتماسكها معاً مع مرور الوقت، بسبب الضغط المؤثر عليها؛ إذ تؤدي عملية تجوية

الصخور، وتآكلها إلى إنتاج الرواسب، التي يتم نقلها بطرق مختلفة؛ عبر الأنهار، والأنهار

الجليدية، أو الجاذبية لتترسب على شكل طبقات، يتم دفنها لتصبح صخوراً رسوبية بد

تعرضها للضغط والحرارة، ومن الأمثلة على هذا النوع من الصخور الحجر الجيري الذي

يتكوّن من كربونات الكالسيوم والنتاج من ترسّب بقايا الحيوانات البحرية ومياه البحر.

3. **الصخور المتحولة (Metamorphic Rocks):** تنتج الصخور المتحولة نتيجة التغير

في الصخور الرسوبية أو النارية؛ إذ يمكن لأي نوع من الصخور، أن يتغير ليصبح صخوراً

متحولاً عند تعرّضه إلى درجات حرارة مرتفعة، أو لضغط مرتفع بسبب كتلة الصخور

من فوقه؛ فكلما زاد عمق الصخور المدفونة في الأرض نتيجة لتحركات الأرض، أو وجود

المزيد من الرواسب فوقها زادت كمية الضغط والحرارة التي تتعرض لها.

وتنقسم المعادن عموماً إلى نوعين:

1- معادن فلزية: مثل الحديد، والنحاس، والذهب.

2- معادن لافلزية: مثل الكبريت، التلك والجبس.

### **التصنيف الكيميائي للمعادن:**

قسمت المعادن كيميائياً إلى معادن عنصرية ومعادن مركبة، وقسمت المعادن المركبة علي أساس

نوع الأفيهن، أو الشق الحمضي الداخل في تركيب المعادن، إلى عدة مجموعات منها الأكاسيد،

والكبريتات، وغيرها. ويعتبر هذا التقسيم مناسباً جداً كيميائياً، وجيولوجياً حيث تتبع معظم

الخواص الكيميائية والبلورية والفيزيائية للمعادن، نوعية الأفيهن (الشق الحمضي) في تركيب المعدن، فمعدن الكالسيت  $CaCO_3$  ومعدن الماغنيزيت  $MgCO_3$  متماثلان في الشق الحمضي، لذلك فهما متماثلان في الخواص البلورية، بينما يختلف معدن الكالسيت تماما مع معدن الفلواريت  $CaF_2$  في الشق الحمضي، رغم تواجد كاتيون الكالسيوم في تركيب كلا المعدنين. وتصنف المعادن في مجموعات أساسية بحسب تركيبها الكيميائي وخاصة الشق السالب لها كما يلي:

### 1. المعادن العنصرية:

وهي المعادن التي تتكون من عنصر كيميائي واحد. وقد تكون معادن عنصرية فلزية مثل الذهب والفضة والبلاتين، أو قد تكون عنصرية لا فلزية مثل معادن الكبريت والألماس والجرافيت. وعموما المعادن العنصرية توجد في الطبيعة بكميات نادرة، وتعتبر ذات أهمية اقتصادية كبيرة.

### 2. المعادن المركبة: وتشمل:

#### أ- معادن الكبريتيدات:

تتكون معادن هذه المجموعة من اتحاد العناصر مع الكبريت حيث يكون الكبريت (S) هو الأفيهن، وتعتبر معادن هذه المجموعة من أهم المجموعات المعدنية، إذ تضم أغلب الخامات المعدنية ذات القيمة الاقتصادية. ومن أمثلة معادن الكبريتيدات معدن البيريت  $(FeS_2)$ ، الجالينا  $(PbS)$ ، سفالياريت  $(ZnS)$ ، كالكوبياريت  $(CuFeS_2)$ .

#### ب- معادن الهاليدات:

حيث تتكون معادن هذه المجموعة من أحد العناصر التالية، الكلور Cl والفلور F واليود I والبوروم B مثل معدن الفلواريت  $(CaF_2)$ .

#### ج- معادن الأكاسيد والهيدروكسيدات:

تتكون معادن الأكاسيد من اتحاد الأكسجين مع أحد العناصر الفلزية، وتشمل معادن كثيرة ذات أهمية اقتصادية مثل معدن الهيماتيت  $(Fe_2O_3)$ ، والكوارندوم  $(Al_2O_3)$  أما معادن الهيدروكسيدات، أو الأكاسيد المتميئة فتتركب من أكسيد فلز مع مجموعة (OH)، مثل معدن الجوثيت  $FeO(OH)$  والمانجافيت  $MnO(OH)$ .

#### د- معادن الكربونات:

وتتضمن مجموعة المعادن التي تحتوي علي مركب الكربونات ( $CO_3$ ) ضمن تركيبها الكيميائي، ويعتبر هو الشق الحمضي. ومن اكثر معادن هذه المجموعة انتشارا معدن الكالسيت  $CaCO_3$ .

#### هـ- معادن الكبريتات:

هي معادن تحتوي علي مركب الكبريتات  $(SO_4)^{-2}$  كشق حامضي، ومن أمثلة معادن هذه المجموعة معدن الجبس ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ).

#### و- المعادن الفوسفاتية:

هي معادن تحتوي علي مركب الفوسفات  $(PO_4)^{-3}$  ضمن تركيبها الكيميائي، ومعظم هذه المجموعة تعتبر نادرة مع أن أنواعها كثيرة. ومن أهم هذه المعادن معدن الاباتيت  $Ca_5(Fe,Cl,OH)PO_4$ .

#### ز- معادن السيليكات:

تتكون معادن هذه المجموعة من اتحاد عنصر أو أكثر من عنصر، مع مركب السليكون والأكسجين  $(SiO_4)^{-4}$ . ومعادن السيليكات تعتبر أهم مجموعات المعادن، وأكثرها انتشارا، إذ أن معظم المعادن المكونة للصخور النارية والمتحولة هي معادن سليكاتية وهذه الصخور تكون 90% من تركيب القشرة الأرضية، ومن أمثلة هذه المعادن السيليكاتية معادن الميكا، والأوليفين، والكوارتز.

### تصنيف المعادن علي حسب عمق تواجدها Depth of occurrence

يمكن أيضا تصنيف المعادن علي حسب العمق التي يتواجد فيه المعدن في مكانه الطبيعي داخل الصخر. والمقصود بالعمق هو المسافة من سطح الي الارض، الي حيث يتركز المعدن داخل باطن الأرض، وعلي هذا الأساس، قسمت المعادن الي:

#### 1- **المعادن المكشوفة علي سطح الأرض Exposed to surface:**

وهذه المعادن تتواجد علي الصخور الموجودة أو المكشوفة فوق سطح الارض بالفعل، حيث يمكن استخراجها مباشرة دون الاضطرار الي الحفر في باطن الأرض، وتسمى الأماكن التي يمكن استخراج التركيزات المعدنية منها عن طريق تكسير الصخر المكشوف فوق السطح بالمحاجر (شكل 1 أ).

#### 2- **المعادن المتواجدة علي أعماق قريبة (أو ضحلة) Shallow depths:**

ويتواجد هذا النوع من المعادن، مدفوناً تحت سطح الأرض علي أعماق قريبة. وقد اختلف تحديد هذا العمق علي أنه العمق القريب أو الضحل، فبعض العلماء يحددون الأعماق الأقل 100 م تحت سطح الأرض، علي أنها الاعماق الضحلة، بينما آخرون يحددونه علي أنها الأعماق حتي 500 م تحت السطح. ولاستخراج تلك المعادن يتم حفر انفاق رأسية في الصخور للوصول الي المعدن تحت السطح، وتسمي أماكن استخراج هذه المعادن بالمناجم (شكل 1 ب).

### 3- المعادن المتواجدة علي أعماق بعيدة (أو المخفية) Deep-seated or hidden:

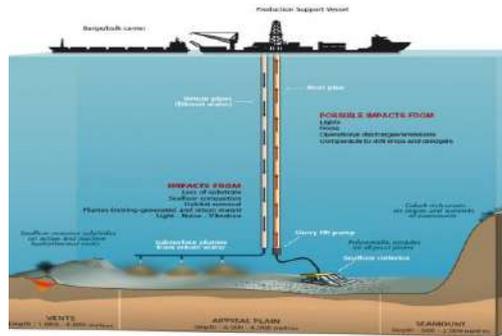
وهي المعادن التي تتواجد علي أعماق بعيدة جدا تحت سطح الأرض، قد تصل الي أكثر من الكيلومتر، ويحتاج استخراج هذه المعادن معدات حفر خاصة تصل الي الاعماق البعيدة. ويوضح شكل (1 ج)، عملية استخراج في قاع المحيط.



(ب)



(أ)



(ج)

شكل 1: (أ) محجر لاستخراج المعادن من فوق سطح الأرض. (ب) نفق في أحد المناجم لاستخراج المعادن المدفونة تحت سطح الأرض. (ج) رسم تخطيطي لاستخراج المعادن من تحت قاع المحيط، علي أعماق بعيدة جدا.

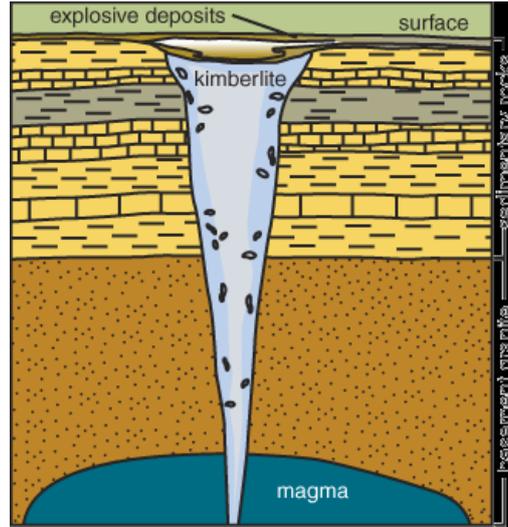
### تصنيف المعادن علي حسب طبيعة التمعدن Nature of mineralization:

يعد هذا التصنيف جيولوجيا في المقام الأول، لأنه يختص بالطريقة التي يتواجد بها المعدن داخل الصخر، وتسمي طبيعة التمعدن اي طبيعة تواجده داخل الصخر والاشكال التي

يمكن أن يتخذها المعدن. وعلي هذا الأساس يمكن أن تتواجد المعادن داخل الصخور بأحد الأشكال الآتية:

### 1- مبعثر Disseminated:

والمقصود بذلك توجد المعادن كبلورات منفردة، مبعثرة ومتفرقة في أماكن مختلفة داخل الصخر. ومن أمثلة المعادن التي تتواجد بتلك الكيفية، معدن الماس والذي تتبعثر بلوراته متفرقة داخل صخر يسمى الكمبرليت (شكل 2).



شكل 2: رسم تخطيطي يوضح صخر الكمبرليت، وبلورات الماس مبعثره داخله.

### 2- كتلي Massive:

حيث يتواجد المعدن ككتلة صماء، مثل معدن الهيماتيت والكبريت (شكل 3).



(ب)



(أ)

شكل 3: تواجد معدن الهيماتيت (أ) والكبريت (ب) بشكل كتلي.

### 3- عروق Veins:

عندما يترسب المعدن ويتكون داخل الشقوق أو الكسور الموجودة في الصخر، فإنه يملأ هذه الكسور، ويظهر كعروق داخل الصخر، ومن أمثلة المعادن التي تتواجد في شكل العروق معدن الكوارتز والذهب (شكل 4).



(ب)

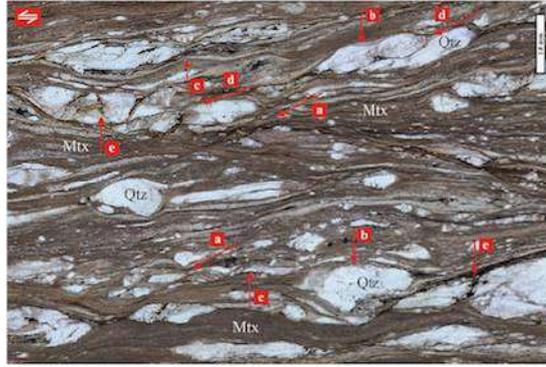


(أ)

شكل 4: تواجد معدن (أ) الكوارتز و(ب) الذهب في شكل عروق داخل الصخر.

#### 4- ألياف أو stringers: Fibers or stringers

يتواجد المعدن في شكل ألياف أو خيوط داخل الصخر (شكل 5)، مثل معدن الاسبستوس.



شكل 5: تواجد معدن الكريستول كألياف داخل أحد الصخور

#### 5- شبكة Network:

الشبكة هي مجموعة كبيرة من العروق المتقاطعة مع بعضها والتي يتواجد فيها المعدن (شكل 6).



شكل 6: تواجد المعادن في شكل شبكة من العروق المتقاطعة.

#### 6- العروق السلمية Ladder veins:

في العروق السلمية، يتواجد المعدن في شكل عروق تمتد منها مجموعة من الفروع الأفقية المتوازية، العمودية علي العرق الرئيسي، ولانها تتخذ شكل السلالم الحبلية، فتسمى بالعروق السلمية (شكل 7)، وهذه الهيئة سببها تكون مجموعة من الكسور الصغيرة تقطع كسر آخر كبير متكون سابقا، ثم ترسبت المعادن داخل تلك الكسور.



شكل 7: العروق السلمية.

#### 7- طبقات Layers:

تتواجد بعض المعادن في شكل طبقات ذات سمك محدد داخل الصخر، مثل معدن الكروميت (أكسيد الحديد والكروم) (شكل 8).



شكل 8: طبقات معدن الكروميت ذات اللون الاسود داخل أحد الصخور.



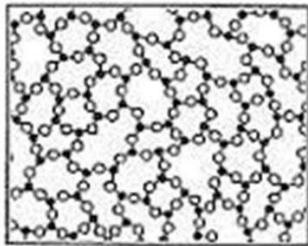
# الخواص البلورية للمعادن

## ما هي البلورة؟

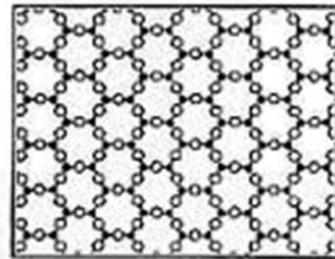
لقد أثبتت الدراسات الخواص البلورية للمعادن، من أهم الخواص التي يمكن بواسطتها التعرف علي المعدن، إذ أن هذه الخواص وحدها تكفي غالبا لتمييز معدن عن غيره من المعادن، لأن معظم المعادن توجد في صورة متبلورة، أما المعادن غير المتبلورة فهي قليلة جدا، وتعتبر استثناء وليست قاعدة، ومن أمثلة المعادن غير المتبلورة معدن الأوبال  $\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_2\text{O}$ . ومعني أن المادة متبلورة أن ذرات وأيونات العناصر المكونة لها تكون مرتبة ترتيبا هندسيا منتظم، بحيث أصبح لكل معدن شكل خاص مميز له، وهو الشكل الذي يعبر عنه باسم البلورة.

وتعرف البلورة بأنها جسم صلب متجانس يحده من الخارج أسطح ملساء مستوية تعرف بالأوجه البلورية والتي تعكس الترتيب الذري الداخلي المميز للمادة المتبلورة.

ويتضح الفرق بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة في البناء الداخلي. فإذا كانت الذرات مرتبة في نظام معين فللمادة متبلورة، أما إذا لم تكن كذلك، أي أن الذرات غير مرتبة بانتظام، فالمادة إذن غير متبلورة، وهنا يكمن الفرق بين الزجاج ومعدن الكوارتز، واللذان يتרכبان من عنصري الأكسجين والسليكون، وعلي الرغم من وجود أسطح مشطوفة ومصقولة في قطعة من الزجاج، إلا أنه من الناحية العلمية لا يعتبر بلورة، مهما أبدع الإنسان في تشكيل مظهرها الخارجي، وذلك لأن ذرات السليكون والأكسجين تكون مختلطة بعضها البعض بلا نظام، ويكون ترتيبها خاليا من أي تماثل، ومن ثم يفقد الزجاج التركيب الذري، وبالتالي فهو غير متبلور. بينما في الكوارتز تترتب ذرات السليكون والأكسجين ترتيبا منتظما في الأبعاد الثلاثة لذلك فالكوارتز مادة صلبة متبلورة (شكل 9).



glass



quartz

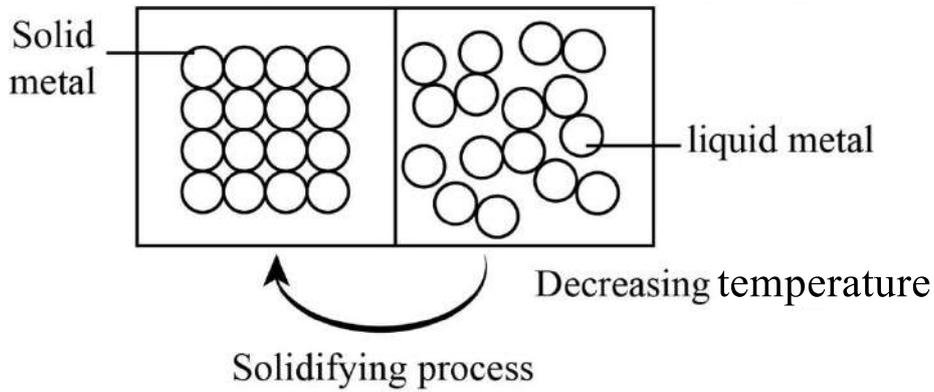
شكل 9: الفرق بين ترتيب الذرات داخليا في بلورة معدن الكوارتز، وفي الزجاج.

## عملية التبلور Crystallization:

تسمى عملية تكوين البلورات في الطبيعة، بعملية التبلور. وقبل عملية التبلور، تكون الذرات التي ستتكون منها البلورة، في حالة حركة دائمة، والمسافات بينها كبيرة جدا، ولكن مع تغير ظروف الوسط الطبيعية من الضغط ودرجة الحرارة، تتقارب الذرات وترتبط ببعضها، وتتراص بترتيب منتظم مكونة للبلورة. وهناك خمس طرق من التبلور، تتكون بها البلورات في الطبيعة:

### 1- عملية التصلب Solidification:

عملية التصلد أو التصلب هي عملية تحول المادة السائلة الي صلبة، عند حوث انخفاض في درجة الحرارة، فمع التبريد تتقارب ذرات المواد السائلة من بعضها وترتبط مع بعضها، لتكون جسما صلبا (شكل 10)، مثل تحويل الماء الي ثلج. أو عندما تتكون المواد الصلبة عن طريق تبريد المواد المنصهرة السائلة والتي تسمى مصهور (Melt). وفي باطن الأرض، تكون المواد الصخرية منصهرة في حالة سائلة أو شبه سائلة، وفي درجات حرارة مرتفعة جدا، مكونة ما يعرف بالصهير الصخري (Magma). عندما يفقد هذا الصهير الصخري درجات الحرارة ويبرد يتحول من الحالة السائلة المنصهرة الي الحالة الصلبة في صورة مجموعة من المعادن المتبلورة.



شكل 10: رسم توضيحي لعملية التصلب، حيث تتحول المادة السائلة الي المنصهرة الي صلب، وتتقارب ذرات المادة مع بعضها لتكون جسما صلبا متماسكا.

### 2- عملية الترسيب من محلول Precipitation from a solution:

في هذه العملية يتم تكوين البلورات عن طريق ترسيبها من وسط سائل. بعض الاوساط السائلة تحتوي علي بعض العناصر مذابة داخلها، وتسمى هذه الاوساط السائلة بالمحاليل. وعند تغير ظروف المحلول، عند ارتفاع درجات الحرارة يحدث تبخير للسائل، وفي تلك الحالة لاتجد المادة الذابة مزيدا من السائل لتذوب فيه، فيحدث لها ترسيب في صورة

بلورات صلبة تزداد في الحجم كلما زاد تبخير السائل. ومن امثلة المعادن التي تتكون بتلك الطريقة تكوين ملح الطعام عن طريق تبخير مياه البحر.

### 3- انتشار الحالة الصلبة **Solid state diffusion**:

المقصود بانتشار الحالة الصلبة هو تكون بلورات صلبة جديدة من بلورات صلبة اخري ايضا. يحدث ذلك عندما تصبح المعادن غير مستقرة. عندما تكون المعادن والمواد الصلبة عموماً، في ظروف ثابتة من الضغط ودرجة الحرارة فانها تكون مستقرة **Stable**، ولكن عندما تتغير هذه الظروف ويزداد الضغط ودرجة الحرارة، تصبح المعادن والمواد الصلبة غير مستقرة **Unstable**، في تلك الظروف الجديدة. فتبدأ المعادن في التغير، ويتغير تركيبها الذري الداخلي، لتكون بلورات معادن اخري جديدة تلائم الظروف الجديدة، أي انها تتحول لمعادن اخري مستقرة في الظروف الجديدة. ومن امثلة المعادن التي تتكون بتلك الطريقة بلورات معدن الجرافيت الذي يتكون من معادن الميكا عندما يزداد الضغط ودرجة الحرارة.

### 4- التمعدين الحيوي **Biom mineralization**:

هي العملية التي تقوم من خلالها الكائنات الحية بإنتاج المعادن، ويكون هدفها تقسية وتصليب نسيج موجودة داخل الكائن، مثل نمو العظام في الحيوانات، وكذلك تكوين الكائنات الحية الدقيقة للأصداف، والتي تتكون من معدن الكالسيت (كربونات الكالسيوم)، وذلك بغرض الحماية (شكل 11).



شكل 11: بعض اصداف الكائنات الحية الدقيقة، والمصنوعة من معدن الكالسيت، كمثال علي التمعدين الحيوي.

### 5- التبلور من الغاز **Crystallization from gas**:

تتكون بلورات المواد الصلبة من الغازات، عند تعرض الغازات لدرجات حرارة منخفضة تسمح بتكثيف المكونات الغازية وتبلورها. ويحدث ذلك للغازات المصاحبة للانفجارات

البركانية، حيث تكون تلك الغازات محبوسة في باطن الأرض تحت درجات حرارة عالية جدا وضغط شديد، وعندما تتطلق خارج البركان مصاحبة للالفا البركانية، فإنها تقابل انخفاضا شديدا في الضغط ودرجات الحرارة، مما يسمح بتكوين بلورات معدنية منها.

### الشكل البلوري:

يعتمد شكل البلورة على البناء الذري الداخلي للبلورات.

والمقصود بالبناء الذري الداخلي هو ترتيب ذرات أو أيونات العناصر المكونة للمعدن، ترتيبا هندسيا داخليا منتظما في الأبعاد الثلاثة. فالمعدن يتكون من بلورات، والبلورات تتكون من ذرات أو أيونات، يضمها إلى بعضها البعض روابط كهربائية، تنتظم كوحدة تتكرر بانتظام في الأبعاد الثلاثة. ومن المعروف أن الصفات والخواص الكيميائية والطبيعية لأي مادة تتوقف على التركيب الكيميائي لهذه المادة، ويعود السبب في اختلاف الخواص الطبيعية للمعادن ذات التركيب الكيميائي الواحد، كما في الماس والجرافيت إلى اختلاف البناء الداخلي لبلورات هذه المعادن، أو ما نسميه التركيب الذري البلوري. ويتحدد البناء الداخلي للبلورة بما يأتي:

#### أ- الترتيب الفراغي للذرات أو الأيونات أو المجموعة الأيونية في البلورة:

تترتب الذرات أو الأيونات المتشابهة في البلورة، عند نقاط منتظمة في الأبعاد الثلاثة، بطريقة تجعل كل ذرة أو أيون في البلورة لها نفس الظروف المحيطة بالذرات، أو الأيونات الأخرى وينشأ عن مثل هذا الترتيب، تركيب شبكي مفتوح مجسم يعرف بالتركيب الشبكي الفراغي أو الشبكة الفراغية. وعلى ذلك، فإن شكل البلورة يتحدد بترتيب الذرات أو الأيونات في أبعاد أو اتجاهات البلورة الثلاثة، كما يتحدد بالمسافات التي تتكرر عندها الذرات أو الأيونات في هذه الاتجاهات.

ويتحدد التركيب الشبكي الفراغي لذرات أو أيونات البلورة من تكرار معين لوحدات صغيرة جدا تعرف الوحدة باسم الوحدة البنائية (Unit Cell).

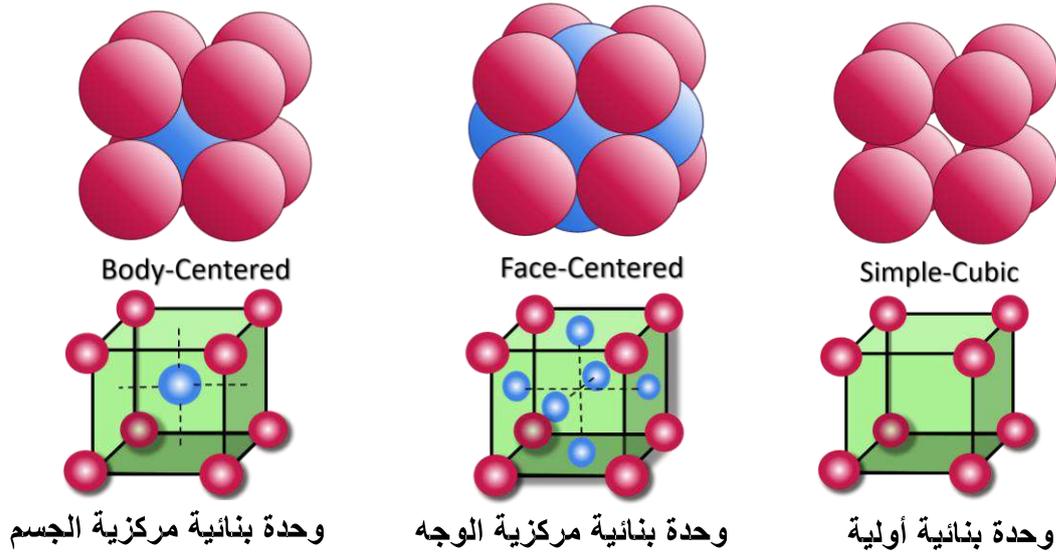
وتعرف الوحدة البنائية على أنها أصغر جزء من البلورة لها نفس الصفات المميزة للبلورة. وتتكون كل وحدة بنائية من ثماني نقاط فراغية مرتبة في أركانه الثمانية، وعلى ذلك تنقسم الوحدات البنائية الي (شكل 12):

1- الوحدة البنائية البدائية او الاولية: وفيها تقع الذرات المكونة للوحدة البنائية على رؤوس أضلاع الشكل الهندسي وتكون شكل المكعب البسيط.

2- الوحدة البنائية الممركزة: وتنقسم الي:

a. الوحدة البنائية مركزية الوجه: ويرمز لها بالحرف F، حيث إن هناك ذرات في مركز كل وجه من أوجه ذلك الشكل بالإضافة إلى الذرات الموجودة في رؤوس الأضلاع.

b. الوحدة البنائية مركزية الجسم (مركزة داخليا): ويرمز لها بالحرف I، حيث توجد ذرة في مركز الوحدة البنائية، بالإضافة إلى الذرات الموجودة على الرؤوس.

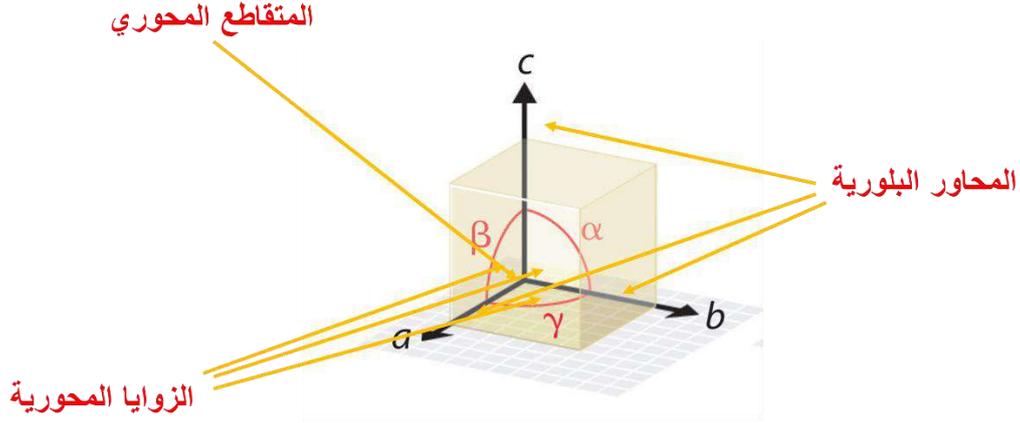


شكل 12: رسم توضيحي لأنواع الوحدات البنائية.

وتعرف الحافات الثلاثة للوحدة البنائية بالمحاور البلورية (Crystallographic axis)، وتتقاطع هذه المحاور في نقطة واحدة تسمى بالمتقاطع المحوري (Axial cross)، وهذه المحاور عبارة عن محوران في الاتجاه الأفقي، ومحور في الاتجاه الرأسي (شكل 13). ويسمى المحور الممتد في الاتجاه الأفقي س بالمحور a-axis والمحور في الاتجاه الأفقي ص أي الممتد من اليمين لليساار بالمحور b-axis، اما المحور الرأسي فيسمى بالمحور ج C-axis.

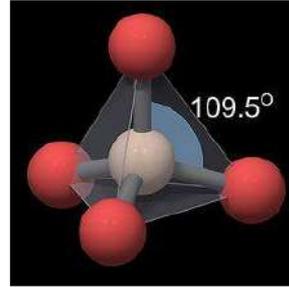
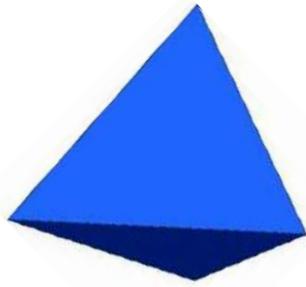
وتعرف الزوايا المحصورة بين هذه المحاور الثلاث بالزوايا المحورية (شكل 13)، حيث تسمى الزاوية بين المحور أ والمحور ب بالزاوية  $\gamma$ ، والزاوية بين المحورين ب و ج بالزاوية  $\alpha$ ، أما الزاوية بين المحورين ج و أ بالزاوية  $\beta$ .

وعلى أساس العلاقة الطولية والزاوية بين هذه المحاور الثلاث قسمت البلورات إلى سبعة انظمه بلورية.



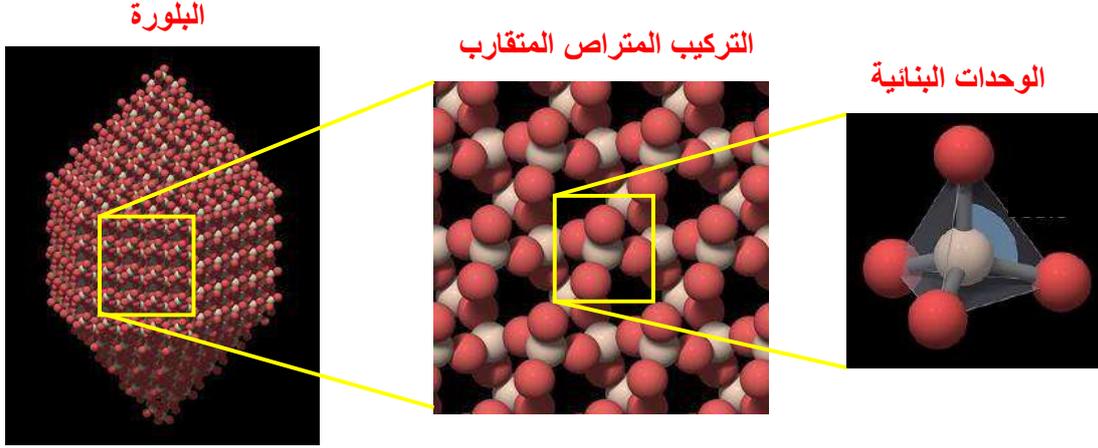
شكل 13: شكل توضيحي يبين المكونات الهندسية للوحدة البنائية.

ومما هو جدير بالذكر أن النظام البلوري لأي معدن تتحكم فيه عادة صفات العناصر المكونة والتي أهمها عدد التناسق لكثير عنصر، ونوع الروابط الموجودة بين أيونات تلك العناصر. وعدد التناسق Coordination Number يقصد به عدد الذرات أو الأيونات التي يرتبط بها عنصر ما مع ذرات العناصر الأخرى. فمثلا لتكوين شكل رباعي الأوجه لجزيء أكسيد السليكون  $\text{SiO}_4$  (شكل 14)، نجد أن ذرة السليكون تحاط ب 4 ذرات من الأكسجين، وحيث أن عدد إلكترونات التكافؤ للسليكون 4، فإنه يحتاج إلى أربع ذرات أحادية التكافؤ أو ذرتين ثنائية التكافؤ، وبما أن ذرة الأكسجين ثنائية التكافؤ فإن لكل ذرة من ذرات الأكسجين تشارك بإلكترون واحد مع السليكون، وبالإلكترون آخر مع ذرة سليكون أخرى، وعليه فإن عدد تناسق السليكون يساوي 4، ويعتبر وحدة بنائية رباعية الأوجه والتي بتكرارها تتكون البلورة.



شكل 14: الوحدة البنائية لأكسيد السليكون، والذي يتكون من ذرة سليكون في المركز (الكرة البيضاء)، محاطة بأربع ذرات من الأكسجين (الكرات الحمراء)، والتي تتكرر لتكون البلورة رباعية الأوجه.

والترتيب الذي تأخذه مجموعه كبيره من الذرات ذات الحجم الواحد، والموضوعة على شكل مجموعه متراسة متلامسة بعضها مع البعض الآخر، عن طريق الروابط بينها وبين الوحدات البنائية المجاورة، يسمى بالتركيب المتراس المتقارب (Closed pack structure) (شكل 15).



شكل 15: شكل توضيحي يوضح البلورة والترتيب المتراص المتقارب للذرات والوحدة البنائية.

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

ب- طبيعة الروابط الكيميائية التي تضم هذه الذرات أو الأيونات إلى بعضها البعض، ومدى قوة هذه الروابط:

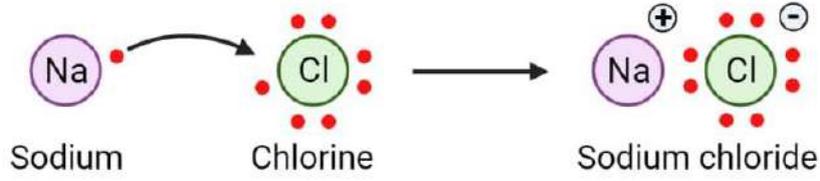
تعتبر الروابط بمثابة الوصلة التي تربط بين ذرات أو أيونات العناصر المكونة لبلورات المعادن، وحسب طبيعة العلاقة بين ذرات الجزيئات وارتباطها معا توجد أربعة أنواع من الروابط الكيميائية:

### 1. الرابطة الأيونية:

تتكون الروابط الأيونية نتيجة قوة الجذب الكهروستاتيكية، لأيونات موجبة وأخري سالبة تكونت نتيجة فقد أو اكتساب إلكترونات. ويتواجد هذا النوع من الروابط في كثير من المعادن، مثل معدن الهاليت (NaCl)، حيث يفقد الصوديوم الإلكترون، ويصبح أيون موجب، ويكتسب الكلور إلكترون ويصبح أيون سالب (شكل 16). وتتميز بلورات المعادن التي ترتبط ذراتها بالرابطة الأيونية ب:

- أ. صلادة متوسطة
- ب. وزن نوعي متوسط
- ج. درجة انصهار وغلجان متوسطة
- د. رديئة التوصيل للحرارة والكهرباء

هـ. محاليلها جيدة التوصيل للكهرباء

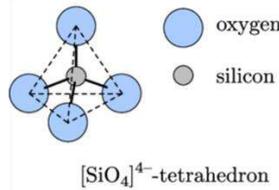
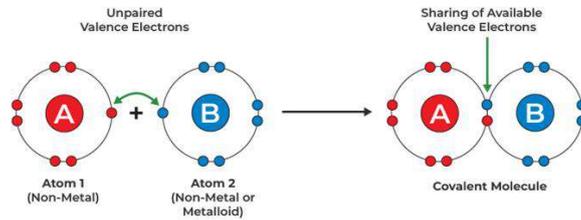


شكل 16: رسم توضيحي للرابطة الأيونية، في معدن الهاليت.

## 2. الرابطة التساهمية:

يحدث هذا النوع من الروابط بين الذرات التي يوجد في مستواها الأخير عدد من الإلكترونات. ومثل هذه الذرات ترتبط عن طريق تداخل المستويات الأخيرة، بحيث تشكل مستويات مشتركة تدور فيها الإلكترونات حول نرتين، بدلا من دورانها حول ذرة واحدة، للوصول إلى حالة الاستقرار أو التشبع (شكل 17). ويتضح ذلك في الرابطة التساهمية في معظم معادن السليكات مجموعة رباعي الأوجه ( $\text{SiO}_4$ )، الناتجة عن الرابطة التساهمية لأربع ذرات من الأكسجين بذرة واحدة من السليكون (شكل 18). وتتميز المعادن التي ترتبط ذراتها بالرابطة التساهمية ب:

- أ. صلادة عالية
- ب. وزن نوعي ثقيل
- ج. درجة انصهار وغلجان مرتفعة جدا
- د. غير قابلة للذوبان في الماء
- هـ. رديئة التوصيل للحرارة والكهرباء



شكل 17: شكل توضيحي للرابطة التساهمية، وفي الأسفل الرابطة التساهمية في جزيء أكسيد السليكون في مجموعة رباعي الأوجه.

### 3. الرابطة الفلزية:

يوجد هذا النوع من الروابط بين ذرات الفلزات، حيث إنها تميل لفقد الإلكترونات من المستويات الخارجية لتصبح أيونات موجبة مما ينتج عن ذلك سحابة من الإلكترونات المفقودة والتي تكون طليقة وحررة في البناء الذري للفلز ولا تخص ذرة معينة في البلورة بل تخص التركيب البلوري كله كوحدة. وتتميز الفلزات ب:

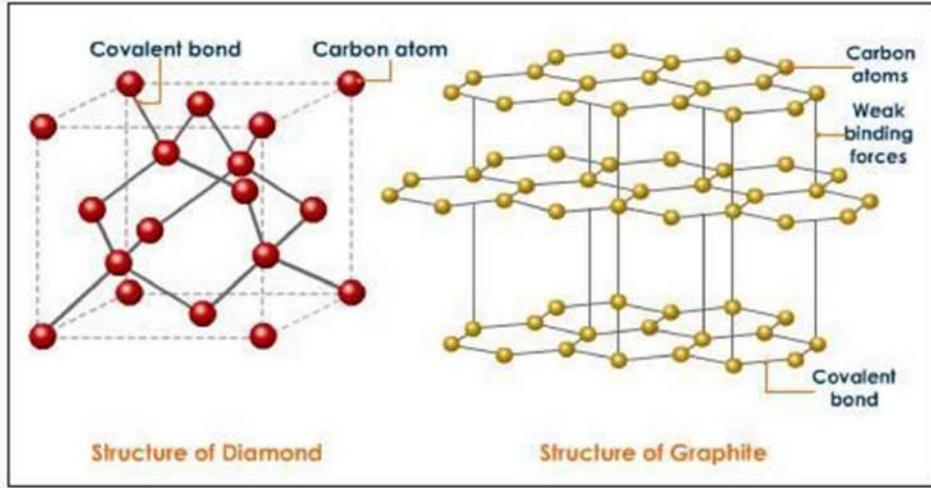
- أ. جيدة التوصيل للحرارة والكهرباء
- ب. صلادة منخفضة
- ج. وزن نوعي منخفض
- د. درجة انصهار وغلان منخفضة
- هـ. قابلة للطرق والسحب وسهولة التشكيل

### 4. رابطة فان ديرفال:

تعتبر من أضعف الروابط الكيميائية والتي تتكون من قوي جذب ضعيفة علي سطح جزيئات متعادلة في المعدن إلى جانب قوي ارتباط أخرى. وتتميز معادن هذه الرابطة ب:

- أ. صلادة منخفضة جدا
  - ب. وزن نوعي منخفض جدا
  - ج. درجة انصهار وغلان منخفضة جدا
  - د. جيدة التوصيل للحرارة والكهرباء
- ومن أحسن أمثلتها معدن الجرافيت، حيث ترتبط ذرات الكربون مع بعضها في مستوي أفقي بواسطة روابط تساهمية قوية، مكونة مجموعات سداسية في شكل صفائح رقيقة، وترتبط الصفائح بعضها مع بعض في مستوي رأسي، بروابط فان ديرفال الضعيفة، ولذلك يسهل تشقق المعدن إلى صفائح في مستويات متوازية. في حين أنه في معدن الماس، والذي يتكون أيضا من ذرات الكربون، ترتبط فيه جميع الذرات بروابط تساهمية مما يجعله واحدا من أقوى المعادن صلابة (شكل 18).

وهذا يدل علي أنه كلما زادت قوة الروابط بين ذرات البلورة، كلما زادت الصلابة والخواص الفيزيائية للمعدن كنقطة الغليان والانصهار، مما يدعم تأثير الشكل البلوري علي الخواص الطبيعية والكيميائية للمعادن.

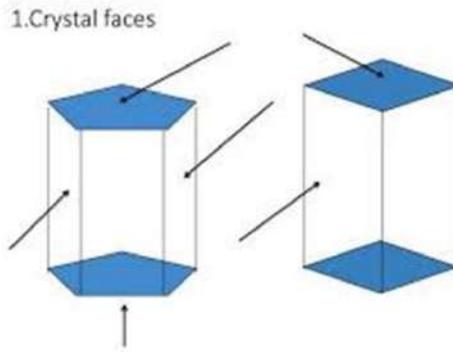


شكل 18: شكل توضيحي للروابط بين ذرات الكربون في معدني الجرافيت والماس، وكيف أن قوة الروابط تؤثر في الخواص الطبيعية للمعادن.

## مكونات البلورة:

### 1- الأوجه البلورية:

هي الأسطح أو الأوجه التي تحدد الشكل الخارجي للبلورة (شكل 19). وتحدد هذه الأوجه البلورية النظام الذري الداخلي.



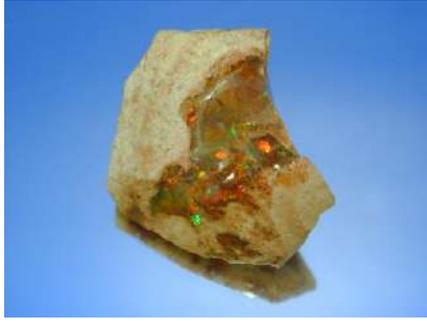
شكل 19: الأوجه البلورية.

وقسمت بلورات المعادن من حيث تواجد الأوجه البلورية إلى (شكل 20):

أ. بلورات كاملة الأوجه Euhedral: حيث تكون جميع الأوجه البلورية للمعدن متواجدة و ظاهرة.

ب. بلورات ناقصة الأوجه Subhedral: حيث تكون بعض الأوجه واضحة، والبعض الآخر مشوهة وغير ظاهرة.

ج. بلورات عديمة الأوجه Anhedral: حيث ينعلم ظهور أي وجه من أوجه البلورة.



بلورة عديمة الواجهة



بلورة ناقصة الواجهة

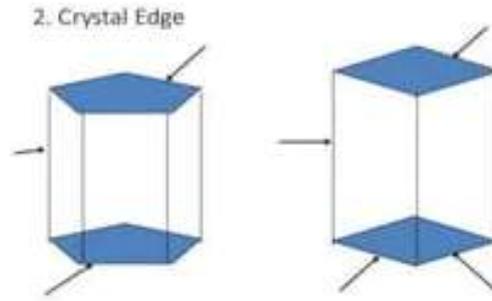


بلورة كاملة الواجهة

شكل 20: أنواع البلورات من حيث تواجد الواجهة البلورية.

## 2- أحرف البلورة: Crystal Edges

هي الحدود الخارجية للبلورة وتنتج عن تلاقي وجهين بلوريين متجاورين (شكل 21).



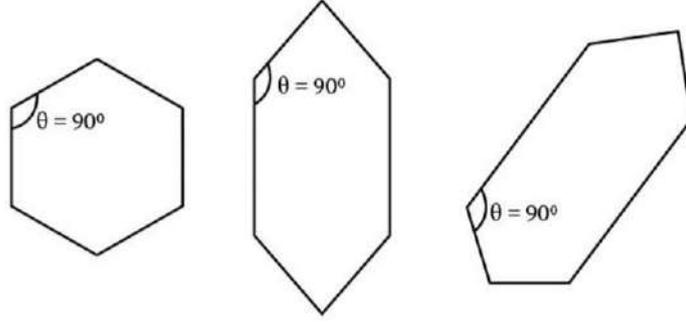
شكل 21: الاحرف البلورية.

## 3- الزوايا بين الواجهة Inter Facial Angles:

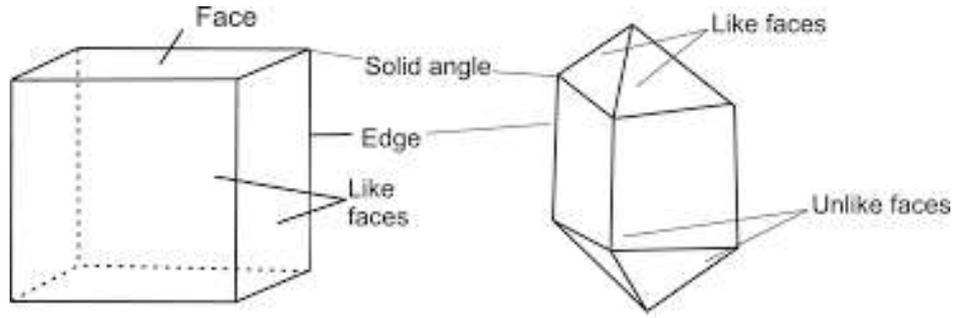
هي الزوايا الناتجة عن تلاقي أي وجهين بلوريين متجاورين (شكل 22)، ويمكن التعرف على كثير من المعادن من خلال معرفة قيمة هذه الزوايا للمعدن. وتختلف بلورة المعدن الواحد في الطبيعة من ناحية مظهرها الخارجي، إلا أن الزوايا بين الواجهة تبقى ثابتة، فمثلا بلورة المكعب توجد في الطبيعة بشكل المكعب أو المنشوري أو الأبري، ولكن في جميع الحالات تبقى الزوايا بين الواجهة ثابتة القيمة.

## 4- الزوايا المجسمة Solid angles:

هي الزوايا الناتجة عن تلاقي أكثر من وجهين في البلورة (شكل 23).



شكل 22: الزوايا بين الوجوهية.



شكل 23: الزوايا المجسمة.

### هيئة البلورة Crystal habit:

المقصود بهيئة البلورة الشكل الخارجي العام للبلورة الناتج من تجمع عدد معين من الأوجه، ومدى نمو هذه الأوجه بالنسبة لبعضها البعض. ويتوقف ذلك على:

- 1- ظروف نمو البلورة: مثل نوع السائل الذي تنمو فيه البلورة، ودرجة نقاؤه، فمثلا معدن الهاليت (ملح الطعام) يتبلور في هيئة المكعب، ولكن اذا احتوي المحلول الذي تتبلور منه على 10% من اليوريا، تتخذ البلورات هيئة ثماني الأوجه.
- 2- معدل التبريد اثناء نمو البلورة: كلما كان التبريد بطيء، أي يتم فقد الحرارة ببطيء على زمن كبير، تأخذ البلورة فرصتها في النمو، فتنمو كاملة الأوجه وذات حجم كبير، اما اذا كان التبريد سريع، في زمن قليل، قد لا تجد البلورة فرصتها في النمو الكامل، فتنمو سريعا بلا أوجه بلورية، وبأحجام صغيرة جدا، حتي بعضها يمكن رؤيته بالميكروسكوب.

ومن أهم الاشكال التي تشملها الهيئة البلورية:

- أ. بلورة مسطوحة Tabular
- ب. بلورة صفائحية Platy
- ج. بلورة منشورية Prismatic

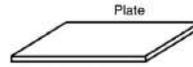
- د. بلورة إبرية Acicular  
 ه. بلورة نصلية Bladed  
 و. بلورة مكعبة Cubic  
 ز. بلورة شجرية Dendritic  
 ح. بلورة ثمانية الأوجه Octahedral  
 وجميع هذه الهياكل موضحة بالشكل 24:



مسطوحة



Barite ( $BaSO_4$ )



صفاحية



Muscovite ( $KAl_2(AlSi_3O_{10})(F,OH)_2$ )



Dipyramid  
منشورية



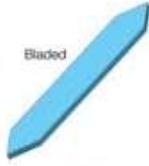
Beryl ( $Be_3Al_2Si_6O_{18}$ )



إبرية



Natrolite ( $Na_2Al_2Si_3O_{10} \cdot 2H_2O$ )



Bladed

نصلية



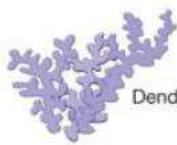
Quartz ( $SiO_2$ )



مكعب



Pyrite ( $FeS_2$ )



Dendritic

شجرية



Copper (Cu)



ثماني الأوجه



Diamond (C)

شكل 24: بعض الهياكل البلورية مع أمثلة من المعادن التي تتخذ بلورتها هذه الاشكال.

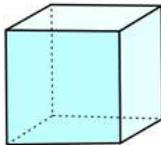
### الأنظمة (الفصائل) البلورية Crystallographic Systems:

استنادا إلى اختلاف أطوال المحاور البلورية، والزوايا التي تكونها في الوحدة البنائية، فقد وجد ان هناك سبعة انظمة بلورية كل نظام يأخذ شكلا هندسيا معينا، وهي كالتالي :

زوايا الخلية	حافات الخلية	النظام البلوري
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c$	المكعبي cubic
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b \neq c$	رباعي tetragonal
$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b \neq c$	المعيني القائم orthorhombic
$\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 90^\circ$	$a \neq b \neq c$	أحادي الميل monoclinic
$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	$a \neq b \neq c$	ثلاثي الميل triclinic
$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	$a \neq b \neq c$	سداسي hexagonal
$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$a = b = c$	ثلاثي trigonal

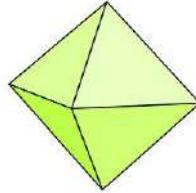
وتوضح الأشكال من 25 الي 31 الاشكال البلورية المختلفة لكل نظام بلوري، ومثال للمعادن التي تتبلور في هذه الأنظمة.

المكعب



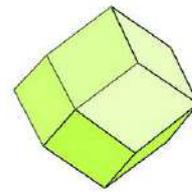
Halite (NaCl)

ثمانى الأوجه



Fluorite (CaF<sub>2</sub>)

ذو الأثني عشر وجهها



Garnet (X<sub>3</sub>Y<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>)

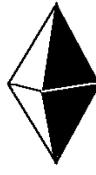
شكل 25: نظام (فضيئة) المكعب.

المنشور الرباعي



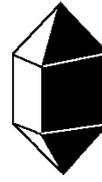
Wulfenite ( $Pb(MoO_4)$ )

الهرمي المزدوج



Anatase ( $TiO_2$ )

المنشور الهرمي



Amethyst ( $SiO_2$ )

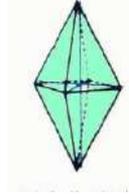
شكل 26: نظام (فصيلة) الرباعي.

المنشور المعيني



Barite ( $BaSO_4$ )

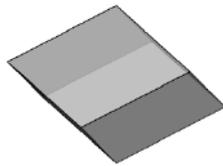
الهرمي المزدوج المعيني



Sulfer (S)

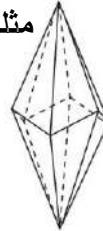
شكل 27: نظام (فصيلة) المعيني القائم.

معيني الأوجه



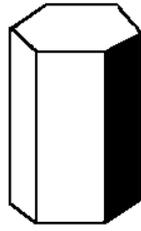
Calcite ( $CaCO_3$ )

مثلثي الأوجه



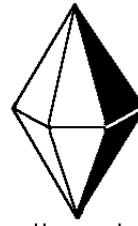
شكل 28: نظام (فصيلة) الثلاثي.

المنشور السداسي



Beryl

الهرمي المزدوج السداسي



Quartz

شكل 29: نظام (فصيلة) السداسي

المسطوح المائل



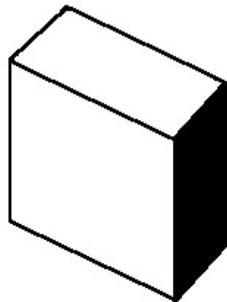
Augite



Gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )

شكل 30: نظام (فصيلة) احادي الميل.

المنشور



Amblygonite ( $(\text{Li}, \text{Na})\text{AlPO}_4(\text{F}, \text{OH})$ )

شكل 31: نظام (فصيلة) ثلاثي الميل.

## التشابه الشكلي Isomorphism:

هناك بعض المعادن التي تختلف في تركيبها الكيميائي، ولكنها تتشابه في التركيب البلوري. وبالتالي فهي تتشابه أيضاً في خواصها الفيزيائية، وتعرف هذه الظاهرة بالتشابه الشكلي (*Isomorphism*). ويكون التشابه في هذه المعادن أساساً في بنائها الداخلي الذي يعكس بدوره تشابهاً في خواصها البلورية.

ومن أمثلة بعض المعادن التي تتميز بهذه الظاهرة مجموعة معادن الأوليفين (*Olivine*) وكذلك مجموعة معادن البلاجيوكليز، حيث إن مجموعة معادن الأوليفين تتبلور جميعها في فصيلة المعيني القائم، بالرغم من وجود اختلاف في التركيب الكيميائي لمعادن تلك المجموعة مثل معدني الفورشتريت (سيليكات المغنسيوم  $Mg_2 SiO_4$ ) والفياليت (سيليكات الحديد  $Fe_2 SiO_4$ ).

أما مجموعة معادن البلاجيوكليز فإنها تتبلور في فصيلة الميول الثلاثة على الرغم من وجود اختلاف في تركيبها الكيميائي. حيث تبدأ المجموعة بمعدن الألبيت والذي يتركب من سيليكات الصوديوم ( $Na AlSi_3 O_8$ ) وتنتهي بمعدن الانورثيت سيليكات الكالسيوم ( $Ca Al_2 Si_2 O_8$ ).

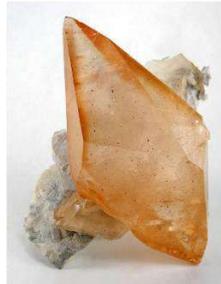
## التعدد الشكلي Polymorphism:

التعدد الشكلي (*Polymorphism*) ويقصد به أن بعض المعادن تتشابه في تركيبها الكيميائي وتختلف في تركيبها البلوري. وأبسط الأمثلة التي توضح هذه الظاهرة معدن الماس والجرافيت اللذان يتميزان بتركيب كيميائي واحد ممثل بعنصر الكربون، ويختلفان في التركيب البلوري. فالماس يتبلور في فصيلة المكعب في حين أن الجرافيت يتبلور في فصيلة السداسي، وكذلك معدن الكالسيت ( $CaCO_3$ ) والأراجونيت ( $CaCO_3$ ) لهما نفس التركيب الكيميائي إلا أنهما يختلفان في تركيبهما البلوري. فالكالسيت يتبلور في فصيلة السداسي في حين أن الأراجونيت يتبلور في فصيلة المعيني القائم (شكل 32).

الأراجونيت  $CaCO_3$



الكالسيت  $CaCO_3$



شكل 32: ظاهرة التعدد الشكلي بين معدني الكالسيت والأراجونيت اللذان لهما نفس التركيب الكيميائي، ولكن يختلفان في الشكل البلوري.

ويطلق علي تلك المعادن التي لها شكلين بلورين بثنائية الشكل Dimorphous، اما اذا وجد المعدن في ثلاثة اشكال، فإنها تعرف بثلاثية الشكل Trimorphs. ومن أمثلة المعادن التي تعتبر ثلاثية الشكل، معادن الروتيل، والبروكيت، والاناتاس، والتي لها نفس التركيب الكيميائي وهو أكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ )، ولكن الروتيل يتبلور في شكل المنشور الرباعي، والبروكيت يتبلور في فصيلة المعيني القائم، أما الأناتاس فيتبلور في شكل الهرم المزدوج الرباعي (شكل 33).

ولقد وجد أنه يحدث اختلاف كبير بين بلورات هذه المعادن المتشابهة في تركيبها الكيميائي من حيث تركيبها البلوري. ويرجع ذلك إلى اختلاف ظروف التكوين من حيث درجة الحرارة والضغط وتركيز الأس الهيدروجيني.

اناتاس  $TiO_2$



البروكيت  $TiO_2$



الروتيل  $TiO_2$



شكل 33: ظاهرة التعدد الشكلي ثلاثي الشكل، بين معادن اكاسيد التيتانيوم.

### الخداع الشكلي Pseudomorphism:

الخداع الشكلي (*Pseudomorphism*) هو أن المظهر الخارجي لبعض المعادن يخالف جوهرها من الداخل. بمعنى أن معظم بلورة المعدن يكون لها فصيلة محددة تتناسب مع تركيبها الكيميائي، وتعكس الخواص الفيزيائية الخاصة بها، على الرغم من أن مظهر المعدن الخارجي مخالف تماماً لمحتواه الداخلي. حيث نجد أن الأسطح الظاهرة لهذا المعدن تعبر عن فصيلة بلورية مغايرة لفصيلة المعدن الأساسية في الداخل. وبذلك يوجد المعدن الأصلي محاطاً بمعدن آخر مخادع وتعرف هذه الظاهرة بالخداع الشكلي.

يتم هذا النوع من الخداع الشكلي بفعل الإحلال (*Replacement*) والاستبدال (*Substitution*) الذي يتم لبلورة المعدن مع مواد خارجية، مما يؤدي إلى حدوث تغير في التركيب الكيميائي للمعدن كلياً أو جزئياً. وبالتالي فإن فصيلة المعدن الأصلي لن تكون معبرة عن التركيب الكيميائي الجديد للمعدن. ومن أمثلة هذه الظاهرة، تكون معدن الجوثيت ( $FeO(OH)$ )، والذي يتبلور أصلاً في

فصيلة المعيني القائم، بأن يحل محل معدن البيريت ( $\text{FeS}_2$ ) والذي يتبلور في شكل ثماني الأوجه، عن طريق بعض عمليات الأكسدة والتميؤء، فيأخذ الجوثيت الشكل البلوري الخاص بمعدن البيريت.

مثال ذلك هو إحلال معدن الكوارتز ( $\text{SiO}_2$ ) المتبلور في فصيلة الثلاثي محل معدن الفلوريت المتبلور في فصيلة الرباعي ( $\text{CaF}_2$ ).

## الفصل الثانى

### 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 إىلالتغير 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 ، وغالباً ماتعبر تعبيراً صادقاً عن نشأتها 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 Stibnite ( $Sb_2S_3$ ) وأرجينيت Argentite ( $Ag_2S$ ) يدل دلالة قاطعة على أن هذه المعادن نشأت من أصل يحتوى على عنصر الكبريت بجانب

عناصر أخرى تحت ظروف متوسطة من الحرارة والضغط وتتكون الرواسب المعدنية بطرق مختلفة أهمها مايتى :

١- تكون المعادن من الصهير "الماجما" Magma ، أو الحمم "الافا"

## Lava

الصهير عبارة عن سائل صخري 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 صخري منصهر يظهر على سطح الأرض متدفقا من فوهات البراكين الثائرة . ويتوقف نوع المعادن الناتجة من الصهير على تركيبه الكيميائى . ويتكون الصهير بصفة عامة من :

### أ- مكونات غير طيارة Non-volatile constituents :

هذه المكونات تكون ذات درجة إنصهار عالية تزيد على  $1000^{\circ}\text{C}$  ، وتتكون ٩٩% من هذه المواد من أكاسيد سبعة أحدها حامضى وهو ثانى أكسيد السيليكون ( $\text{SiO}_2$ ) ويوجد بنسبة عالية جداً تتراوح ما بين ٣٥% إلى ٧٥% من مجموع المكونات غير الطيارة ، وأما باقى الأكاسيد فهى قاعدية وتشمل أكسيد الألومنيوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) وتتراوح نسبته ما بين صفر إلى ٢٥% ، وأكاسيد الحديدوز والحديديك ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ، وتتراوح نسبتها ما بين صفر إلى ٢٠% ، وأكسيد الماغنسيوم ( $\text{MgO}$ ) وتتراوح نسبته ما بين صفر إلى ٤٥% ، وأكسيد الكالسيوم ( $\text{CaO}$ ) وتتراوح نسبته ما بين صفر إلى ٢٠%

وأكسيد الصوديوم ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) من صفر الى ١٦% ، وأكسيد البوتاسيوم ( $\text{K}_2\text{O}$ ) من صفر إلى ١٢% .

والجدير بالذكر أن كل هذه الأكاسيد لا توجد مجتمعة في كل ماجما ، فمثلاً الصهير الغنى بالسيليكا والألومينا والقلويات (صوديوم - بوتاسيوم) عادة ما يكون فقيراً في أكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم والحديد، بينما تكثر الأكاسيد الثلاثة الأخيرة في الصهير الفقير في السيليكا والألومينا والقلويات .

### **ب- مكونات طيارة Volatile constituents :**

مثل الفلور ، و الكلور ، و البورون ، و الكبريت ، و بخار الماء ، وثاني أكسيد الكربون ، وتوجد بكميات ضئيلة جداً في أنواع الصهير المختلفة ، ولكن قد تزداد كمياتها نتيجة تركيزها أثناء تصلد الصهير . هذه المواد الطيارة ذات أهمية بالغة في تكوين الركاز "خامات المعادن " Ore Minerals" . وتكون المواد الطيارة مع بعض المواد غير الطيارة الأخرى الثانوية ما يعادل ١% فقط من الصهير .

عندما يبرد الصهير يبدأ في التصلد والتبلور باتحاد واحد أو أكثر من الأكاسيد القاعدية مع السيليكا الحامضية تحت ظروف مناسبة من الحرارة والضغط ليكون معادن السيليكات . ويتوقف نوع معادن السيليكات الناتجة على تركيب الصهير ، فذلك الصهير الغنى أصلاً بالسيليكا والألومينا والقلويات يكون معادن الفلسبارات والكوارتز والماسكوفيت ، بينما تتكون المعادن الحديدوماغنيسية مثل الأوليفين ، والبيروكسينات ، الأمفيبولات ، والبيوتيت من صهير غنى أصلاً في السيليكا وأكاسيد الماغنسيوم والحديد والكالسيوم ، وأما الصهير الغنى بالقلويات والفقير في السيليكا فإنه يعطى

معادن ذات نسبة عالية من القلويات تسمى المعادن الفلسباثية (Felspathoids) مثل معدن النيفيلين (Nepheline)  $(\text{NaAlSi}_3\text{O}_8)$  ، و معدن اللوسيت (Leucite)  $(\text{KAlSi}_2\text{O}_6)$  .

### تصلد الصهير Consolidation of Magma

يتصلد الصهير في مراحل مختلفة كمايلي :

#### (1) 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 الإقتصادية في رواسب معدنية تحتوى على الفلزات مثل الذهب والبلاتين ، والأكاسيد مثل معادن الماجنيتيت  $(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  ، الإلمنيت  $(\text{FeTiO}_3)$  ، الكروميت  $(\text{FeCr}_2\text{O}_4)$  ، والكبريتيدات مثل معادن الكالكوبيريت  $(\text{CuFeS}_2)$  ، و البيروتيت  $(\text{FeS})$  . وتسمى هذه المعادن عادة بالمعادن الإضافية (Accessory minerals) ، حيث أنها تكون جزءاً صغيراً جداً بالنسبة لكتلة الصهير ، بينما تسمى المعادن السيليكاتية "معادن أساسية" لأنها تكون مايقرب من 99% من الصهير.

بانخفاض درجة حرارة الصهير تبدأ المعادن الأساسية (Essential minerals) فى التبلور حسب نظام معين :

فتتبلور أولاً المعادن القاعدية الفقيرة فى السيليكات وذلك لأنها أقل ذوباناً من غيرها ، ثم تليها المعادن الأقل قاعدية المحتوية على نسبة كبيرة من السيليكات ثم الأكثر حامضية التى تحتوى على نسبة قليلة من العناصر القاعدية .

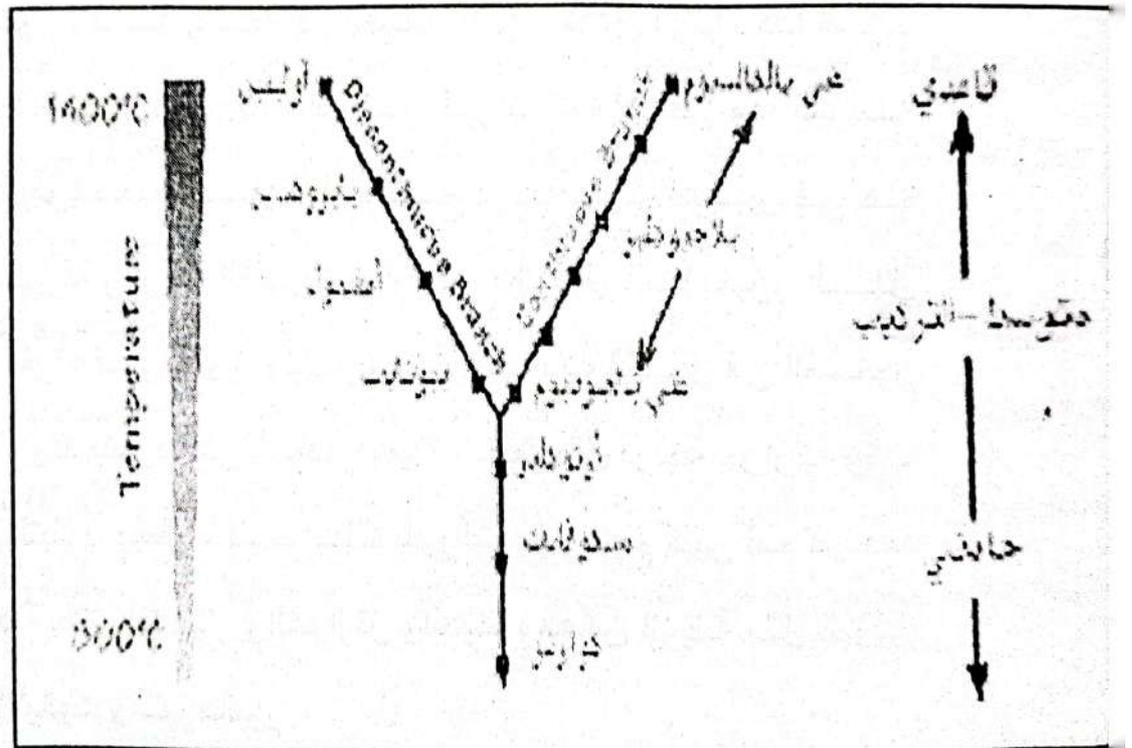
وتعرف هذه العمليات الانفصالية لمعادن السيليكات أثناء تصلد الصهير بالتبلور النوعى (Crystallization differentiation) أو التبلور التجزئى (Fractional Crystallization).

فمثلاً عند تصلد صهير متوسط التركيب تبدأ معادن السيليكات الحديدوماغنيسية (Femic) - المحتوية على نسبة عالية من عناصر الحديد والماغنسيوم فى التبلور مثل معادن مجموعة الأوليفين (سيليكات الحديد والماغنسيوم) ، تليها معادن الفلسبارات البلاجيوكليزية ، وتبدأ هذه بالمعادن الغنية بالكالسيوم (الأنورثيت - أكثر قاعدية من البلاجيوكليز الصوديومى) ثم تترج إلى المعادن البلاجيوكليزية الفقيرة فى الكالسيوم والغنية فى الصوديوم (ألبيت) . وقد تنفصل فى نفس الوقت مجموعة معادن البيروكسينات وهى سيليكات الألومنيوم والماغنسيوم والحديد والكالسيوم مثل معدن الإنستاتيت  $(MgSiO_3)$  (Enstatite) ، ومعدن الأوجيت Augite ، ثم تلى البيروكسينات فى عملية التبلور النوعى مجموعة معادن الأمفيبولات وهى سيليكات الألومنيوم والكالسيوم والحديد والماغنسيوم والماء مثل معدن الهورنبلند Hornblende . يتبع ذلك مجموعة 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)، في التبلور ، فتبدأ بالبلاجيوكليز الصوديومي مثل معدني الأليجوكليز والأليت (Oligoclase & Albite) (سيليكات الألومنيوم والصوديوم)، ثم معادن الفلسبارات البوتاسية مثل معدن الأرثوكليز والميكروكلين (Orthoclase & Microcline) (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم).

يصبح الصهير بعد ذلك خالياً من كل أكاسيد العناصر القاعدية فتزداد الحموضة نسبياً بإزدياد السيليكات ويبدأ معدن الكوارتز Quartz في التبلور. ويوضح الشكل التالي تتابع تبلور المعادن المختلفة أثناء تبريد الصهير وهذه العملية تسمى بإسم سلسلة تفاعلات بوين (Bowen's reaction series).



وبانتهاء مرحلة الصهير القويم التي يتم فيها تمايز بعض الفلزات وأكاسيدها وكبريتيداتاتها ثم انفصال بقية المواد غير الطيارة بالتبلور النوعي - يصبح الصهير المتبقى غنياً في 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 في هذه المرحلة من الجزء السائل الذي يزداد فيه تركيز بعض المعادن ذات القيمة الاقتصادية ، التي تتكون من العناصر الإضافية (غير الأساسية بالنسبة إلى الصهير كله). ويؤدي إغثناء هذا الجزء السائل بالمواد الصاهرة Fluxes إلى نمو بلورات المعادن في هذه المرحلة إلى أحجام كبيرة تسمح باستغلالها . وتسمح درجة سيولة الصهير في هذه المرحلة بسهولة وحرية التحرك لمكوناته ، إذ غالباً ما يغزو السائل البيجماتيتي الفراغات والشقوق ويتسرب بين مستويات الكسور في الصخور المحيطة به - وقد يتسرب إلى مسافات بعيدة - حيث تقل درجة حرارته وتبدأ مكوناته في التبلور ببطء ، فتتمو بذلك بلورات ذات حجم كبير لمعادن ذات قيمة اقتصادية 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 باحثة عن منفذ لها بين الشقوق والفواصل والفوالق والكسور والمسام فى صخور المكان أى الصخور المحيطة بالصهير (Country Rocks) ، حيث تتعرض هذه الغازات 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 - معدن الكاسيتريت (SnO<sub>2</sub>):Cassiterite

: حيث يتفاعل الفلور (F) وهو أحد المكونات الطيارة للصهير مع القصدير (Sn) مكوناً فلوريد القصدير (SnF<sub>4</sub>) وهذه مادة طيارة سهلة التسرب والهروب من الصهير ، ثم تتفاعل مع الماء فى درجة حرارة منخفضة وينتج عن هذا التفاعل أكسيد القصدير (معدن الكاسيتريت Cassiterite "SnO<sub>2</sub>") ، وحمض هيدروفلوريك (HF) الذى يتفاعل بدوره مع الصخور الجيرية المجاورة ليكون فلوريد الكالسيوم وهو معدن الفلوريت (CaF<sub>2</sub>) ، ولهذا غالبا 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 (TiCl<sub>4</sub>) الطيار الذى يتفاعل مع الماء وينتج

عنه حمض الهيدروكلوريك وأكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ ) مثل معادن الروتيل  
Rutile، أناتاز Anatase ، بروكيت Brookite.

### ج - معادن الفوسفور :

مثل معدن الأباتيت Apatite [F, Cl (Ca-phosphate)] ، 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 انفجارها فلا تلبث أن تبرد وتتجمد بسرعة نتيجة  
الإنخفاض المفاجيء في درجة الحرارة والضغط الواقع عليها فتترسب مباشرة  
حول فوهات البراكين حيث توجد معادن الكبريت وأحياناً الهاليت وملح  
الأمونيا.

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

وهذه آخر مرحلة في تصاد الصهير حيث يصبح الجزء المتبقى منه  
مخلولاً مائياً حاراً جداً ذات نشاط كيميائي كبير ، ولذلك فهو قادر على إذابة  
وحمل معظم المركبات الفلزية ذات القيمة الاقتصادية . وتتسرب هذه المحاليل  
الحارة بما تحمله عبر الشقوق والفواصل والفجوات ، وقد تصل إلى مسافات  
بعيدة عن مصدرها ، وهناك تبدأ في تفريغ شحناتها بترسيب ماتحملة من  
محاليل معدنية مختلفة نتيجة للبرودة وإنخفاض الضغط الواقع عليها .  
وتترسب أولاً المعادن القليلة الذوبان في 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 :

هذه الرواسب المعدنية تترسب من محاليل ذات درجة حرارة عالية بين ٥٠٠ - ٣٠٠° م وتحت ضغط كبير بمعنى أنها تترسب على أعماق بعيدة من سطح الأرض . ومن أمثلة المعادن التي تتكون تحت هذه الظروف :  
ولفرامايت  $[(Fe,Mn)WO_4]$  Wolframite ، موليبدينايت  
Molybdenite ( $MoS_2$ ) ، كاسيتيريت ( $SnO_2$ ) Cassiterite ، جارنت  
Garnet ، توباز  $[Al_2(SiO_4)(F,OH)_2]$  Topaz ، الأباتيت Apatite  
(فوسفات وكلوريد أو فلوريد الكالسيوم  $[F, Cl (Ca-phosphate)]$ ).

### ب - رواسب متوسطة الحرارة Mesothermal deposits :

وتنتج هذه الرواسب المعدنية 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 ( $CuFeS_2$ ) Chalcopyrite ،  
والسفاليريت ( $ZnS$ ) Sphalerite ، الجالينا ( $PbS$ ) Galena ،  
الأرسينوبيريت ( $FeAsS$ ) Arsenopyrite ، وتتراهيدريت  
Tetrahedrite  $[(Cu,Fe,Zn,Ag)_{12}Sb_4S_{13}]$  ، ومن الكبريتات معدن  
الباريت ( $BaSO_4$ ) Barite ، ومن الكربونات معدن الكالسيت Calcite  
( $CaCO_3$ ) .

## جـ - رواسب منخفضة الحرارة Epithermal deposits :

هذه الرواسب المعدنية تترسب من محاليل ذات درجة حرارة منخفضة ، تتراوح بين ٢٠٠ - ٥٠٠ م° وتحت ضغط أقل من المتوسط بمعنى أنها تترسب قريباً من سطح الأرض ومن أمثلة المعادن التي تكون الرواسب المنخفضة الحرارة معادن الكبريتيدات مثل معدن السينابار **Cinnabar** (HgS) ، ومعدن الماركازيت **Marcasite (FeS<sub>2</sub>)** ومن الكربونات معدن الكالسيت ومن الهالوجينات معدن الفلوريت ومن السيليكات معدن الكوارتز **Quartz (SiO<sub>2</sub>)** ، والأوبال **Opal (SiO<sub>2</sub>, 2H<sub>2</sub>O)**.

## التحول السائلي " أو "التغير الإستبدالي" Metasomatism

لا 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 التغير في التركيب المعدني لصخور المكان الناتج من إحلال بعض مكونات المحاليل الحارة محل بعض مكونات صخور المكان التي تمر بها أو تتواجد معها بإسم "التحول السائلي" أو "التغير الإستبدالي" **Metasomatism**.

ويعزى التحول السائلى إلى أن بعض الصخور تُفضل إختيار الفلز القاعدى الذائب فى المحاليل الجارية إذا كانت قابليته كبيرة للشق الحامضى الموجود فى هذه الصخور ؛ أو العكس بأن تكون قابلية الشق الحامضى الموجود فى المحلول تتوافق مع الشق القاعدى الموجود فى الصخور التى تمر بها . ومن أمثلة التحول السائلى تكون رواسب الحديد فى كليفلاند بأمريكا ، حيث حلت كربونات الحديد ( $FeCO_3$ ) محل كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ) نتيجة إحلال عنصر الحديد من المحاليل الجارية محل عنصر الكالسيوم فى الصخور الجيرية مما أدى إلى تكوين معدن السيديرايت **Siderite** ( $FeCO_3$ ) . الذى ظل محتفظاً بجزء كبير من المظاهر الخارجية للصخور الجيرية الأصلية وكذلك يأخذ أشكال بعض الحفريات التى كانت موجودة بها ، أى أن معدن السيديرايت يظهر فى هذه الحالة فى شكل كاذب (**Pseudomorph**) لكربونات الكالسيوم .

وكذلك يبدو الخشب السيليسى **Silicified Wood** الموجود على سبيل المثال بالغابة المتحجرة بالقرب من القاهرة ، فإنه نتج من إحلال السيليكات محل المواد السيلولوزية المكونة للخشب ، وذلك بواسطة محاليل الصهير الحارة المحملة بثانى أكسيد السيليكون ، مع إحتفاظ الخشب بشكله ومظهره الخارجى ويطلق على هذه الظاهرة إسم ظاهرة الخداع الشكلى (**Pseudomorphism**) .

## ٢- تكون المعادن من المحاليل السطحية

تشمل المحاليل السطحية المحتويات الذائبة فى مياه البحار والبحيرات والمحيطات والأنهار والمياه الأرضية (**Ground Water**) الناتجة من الأمطار التى قد تتسرب خلال الشقوق والفواصل والمسام فى الصخور

ويعزى التحول السائلى إلى أن بعض الصخور تُفضل إختيار الفلز القاعدى الذائب فى المحاليل الجارية إذا كانت قابليته كبيرة للشق الحامضى الموجود فى هذه الصخور ؛ أو العكس بأن تكون قابلية الشق الحامضى الموجود فى المحلول تتوافق مع الشق القاعدى الموجود فى الصخور التى تمر بها . ومن أمثلة التحول السائلى تكون رواسب الحديد فى كليفلاند بأمريكا ، حيث حلت كربونات الحديد ( $FeCO_3$ ) محل كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ) نتيجة إحلل عنصر الحديد من المحاليل الجارية محل عنصر الكالسيوم فى الصخور الجيرية مما أدى إلى تكوين معدن السيديرايت **Siderite** ( $FeCO_3$ ) . الذى ظل محتفظاً بجزء كبير من المظاهر الخارجية للصخور الجيرية الأصلية وكذلك يأخذ أشكال بعض الحفريات التى كانت موجودة بها ، أى أن معدن السيديرايت يظهر فى هذه الحالة فى شكل كاذب (**Pseudomorph**) لكربونات الكالسيوم .

وكذلك يبدو الخشب السيليسى **Silicified Wood** الموجود على سبيل المثال بالغابة المتحجرة بالقرب من القاهرة ، فإنه نتج من إحلل السيليكات محل المواد السيلولوزية المكونة للخشب ، وذلك بواسطة محاليل الصهير الحارة المحملة بثانى أكسيد السيليكون ، مع إحتفاظ الخشب بشكله ومظهره الخارجى ويطلق على هذه الظاهرة إسم ظاهرة الخداع الشكلى (**Pseudomorphism**) .

## ٢- تكون المعادن من المحاليل السطحية

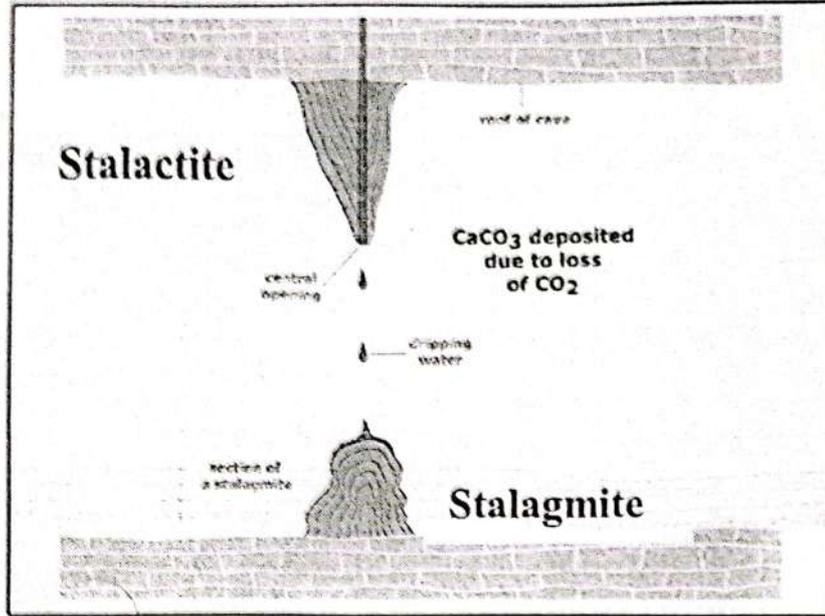
تشمل المحاليل السطحية المحتويات الذائبة فى مياه البحار والبحيرات والمحيطات والأنهار والمياه الأرضية (**Ground Water**) الناتجة من الأمطار التى قد تتسرب خلال الشقوق والفواصل والمسام فى الصخور

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 :

(أ) بخر السائل المذيب : تتركز الأملاح الذائبة في مياه البحيرات نتيجة تبخر الماء لدرجة تسمح بتبلور بعض المعادن في 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)

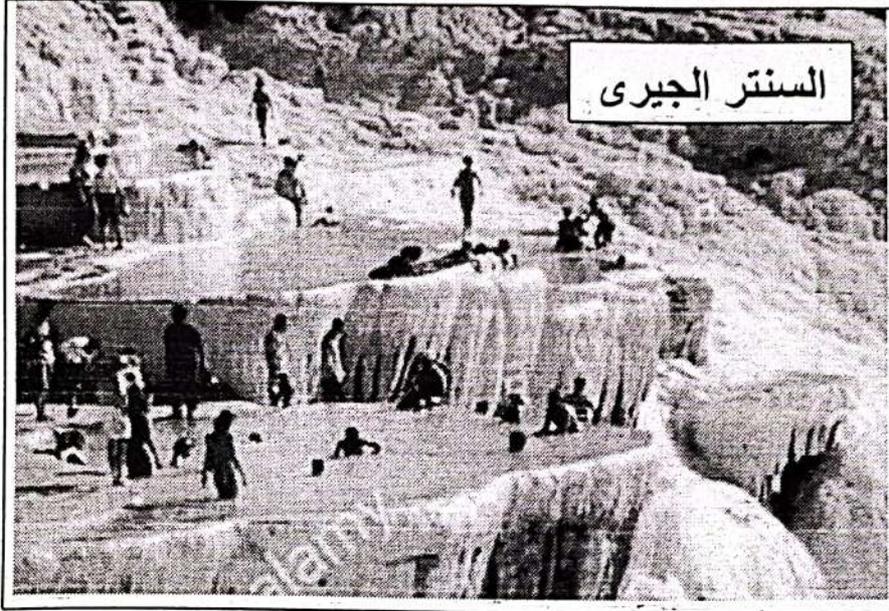
(ب) بخر الغاز المساعد على الإذابة : قد يذوب غاز ثاني أكسيد الكربون في مياه الأمطار ويكسبها خاصية الحمض الضعيف (حمض الكربونيك) فتذيب بعض الصخور الجيرية التي تتسرب خلالها وتنتج بيكربونات الكالسيوم  $[CaH_2(CO_3)_2]$  ؛ وهذا المركب قابل للذوبان في الماء إلا أنه غير مستقر ، بمجرد تعرضه لفقدان غاز ثاني أكسيد الكربون فإنه يتحول الى كربونات كالسيوم غير قابلة للذوبان في الماء ، فتترسب هذه مكونة معادن الكالسيت والأراجونيت . وكثيراً ما يحدث ذلك في الكهوف والمغارات التي توجد في المناطق ذات الصخور الجيرية التي تتميز بغزارة الأمطار حيث تترسب كربونات الكالسيوم على هيئة أعمدة مخروطية الشكل تتدلى من أسقف هذه الكهوف وتكون مايسمى " الهوابط (ستلاكتيت) " **Stalactite** ؛ وتتساقط نقت المحاليل الجيرية كذلك على أرضية الكهوف فتتعرض لفقدان غاز ثاني أكسيد الكربون وتترسب كربونات الكالسيوم في أعمدة مخروطية الشكل ترتفع

على قاع الكهوف وقد تتشكل بأشكال طبيعية جميلة وتسمى "الصواعد (ستلاجميت) Stalagmite" (الشكلين التاليين).



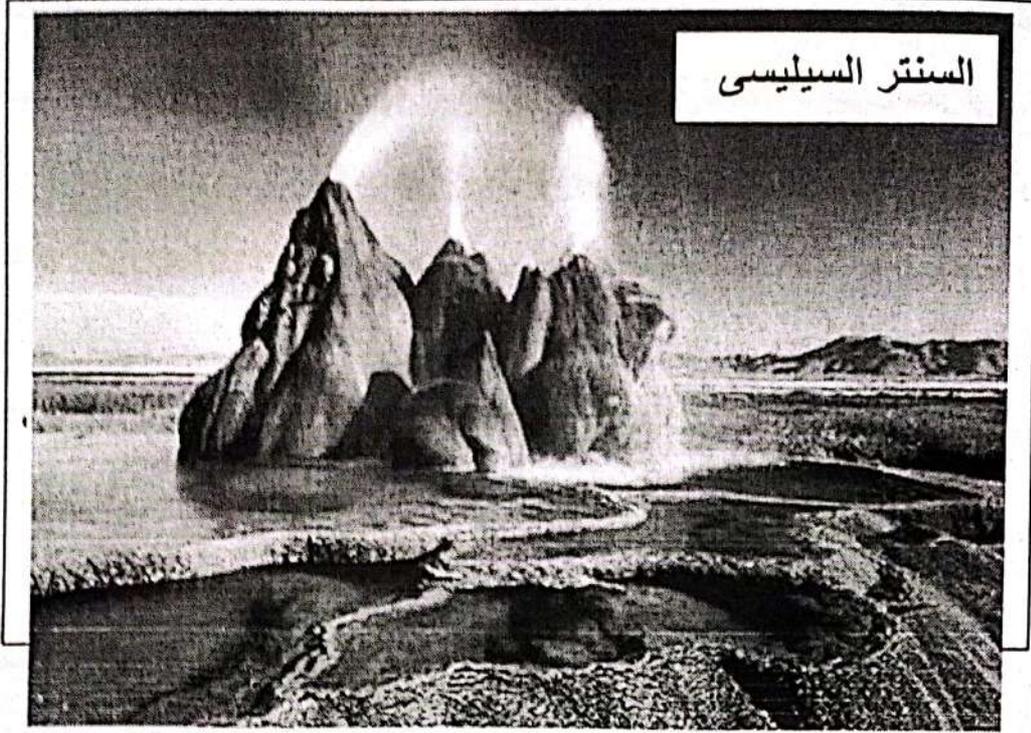
وقد تتسرب هذه المحاليل إلى أعماق بعيدة عن سطح الأرض فتكتسب حرارة عالية نسبياً تساعد على فاعلية حمض الكربونيك في الإذابة . ثم لا تلبث أن تجد مخرجاً لها على هيئة ينابيع ، فيتطاير منها ثاني أكسيد الكربون

عندما تتعرض للجو والبرودة فتترسب كربونات الكالسيوم مباشرة حول  
الينبوع في كتل مختلفة الأشكال تسمى "توفا أو ترافرتين" **Tufa or**  
**Travertine** ، أو "السنتر الجيرى" **Calc-Sinter** (كما فى الشكل  
التالى)..



وأحياناً أخرى تتسرب محاليل المياه السطحية إلى أعماق بعيدة فترتفع درجة  
حرارتها وكذلك الضغط 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"  
**Geyser** ، وبمجرد تعرضها للجو حيث الإنخفاض المفاجئ فى درجة  
الحرارة والضغط فإن هذه المحاليل تبدأ ترسيب ما بها من أملاح ذائبة بالقرب  
من الينابيع الحارة المتفجرة على هيئة رواسب سيليسية دقيقة الحبيبات تسمى  
"جيزيريت" **Geyserite** أو السنتر السيليسى **Siliceous-sinter** (كما  
فى الشكل التالى).

## السنتر السيليسى



### ٣- 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 في بنائها وتركيبها وخواصها . وقد تنتج الحرارة من تداخل مواد الصهير أو محاليل مرتفعة الحرارة في صخور المكان (Country Rocks) ، ويحدث أن تنصهر صخور المكان في منطقة التماس أو التلامس (Contact) بينها وبين مواد الصهير ، ثم تستعيد المعادن الأصلية المكونة لهذه الصخور بناءها من جديد بحيث يتناسب هذا البناء مع الظروف المستجدة ، أي تتحول المعادن الأصلية إلى معادن أخرى ؛ فمثلاً تتحول رواسب معادن الحديد المائية بفعل الحرارة الناتجة عن تداخل مواد الصهير إلى رواسب غنية بمعادن الهيماتيت والماجنييت في منطقة التماس بين الصخور الأصلية ومواد الصهير المتداخلة وتعرف هذه الرواسب بإسب الخامات التماسية (Contact ore deposits) . فإذا ما كانت الحرارة ناشئة من تداخل محاليل حارة في 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 السائلي الحار Pyrometasomatism .

وأهم الرواسب المعدنية التي تتكون بطريقة التحول الحراري (Thermal Metamorphism) رواسب الكبريتيدات مثل معادن البيريت ، الكالكوبيريت ، السفاليريت ، ومن رواسب الأكاسيد معادن الهيماتيت

والماجنييت . وغالبا ما يصاحب هذه الرواسب تكوين بعض المعادن المميزة التي تسمى "معادن السكارن" (Scarn-minerals) . مثل معدن الولاستونيت (Wollastonite  $(CaSiO_3)$  الذي ينتج من إتحاد الكوارتز مع الكالسيت، ومعدن الجارنت الحديدي (جروسيولار Grossular  $\{Ca_3Al_2[SiO_4]_3\}$  ، ومعادن البيروكسينات الحديدية ، ومعادن الإبيدوت Epidote  $\{Ca_2Fe^{+3}Al_2O[Si_2O_7][SiO_4](OH)\}$  .

=====

ظهور الرواسب المعدنية في الطبيعة

### Occurrence of mineral deposits

يمكن تمييز الرواسب المعدنية على أساس تكونها 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 كبريتيداتھا في أولى مراحل تصلد الصهير (مرحلة الصهير القويم) في نفس الوقت التي تتبلور فيه معادن السيليكات فوق القاعدية (الغنية جداً بالعناصر القاعدية ، مثل ظهور معدن الكروميت Chromite  $(FeCr_2O_4)$  في الصخور فوق القاعدية Ultrabasic rocks . وكذلك

بعض الرواسب المعدنية الطبقيّة **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 أو رواسب الرواقد **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 المتشابهة 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 :

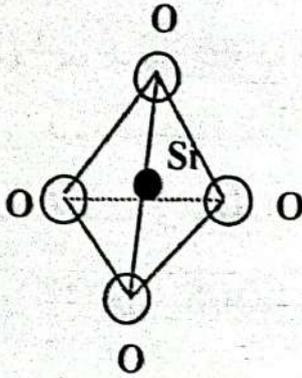
تتعرض الرواسب المعدنية للتأثيرات الجوية ، وينتج عن ذلك تغير المعادن المكونة لها تغيراً قد يكون طبيعياً أو قد يكون كيميائياً بسبب عملية التجوية **Weathering** . ويؤدي التغير الطبيعي إلى تكسير المعادن وتفكيكها **Disintegration** بسبب التغير المستمر في درجة الحرارة أو نتيجة لفعل الرياح أو الأمطار . وينتج عن التغير الكيميائي تحلل المعادن **Decomposition** وتغير تركيبها الكيميائي تغيراً سطحياً أو جزئياً ؛ فتؤدي 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 المائي) **Bauxite** ، ورواسب الكاولينيت (سيليكات الألومنيوم المائية) ورواسب اللاتيريت **Laterite** (أكاسيد الحديد المائية واللامائية مثل الجوثيت والهيماتيت)

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

كلرنوتيت [K<sub>2</sub>(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.3H<sub>2</sub>O]

(٨) معادن السيليكات Silicates

تتكون هذه المعادن من وحدة  $(SiO_4)^{-4}$  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  $(SiO_4)^{-4}$

Independant Tetrahedral group : تتكون

بلورات هذه المعادن من وحدات  $(SiO_4)^{-4}$  (كما في

الشكل المقابل) مرتبطة ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى

مثل الماغنسيوم والحديد ، ومن أمثلة هذه المعادن :-

أوليفين Olivine (Mg,Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> ، جارنت Garnet

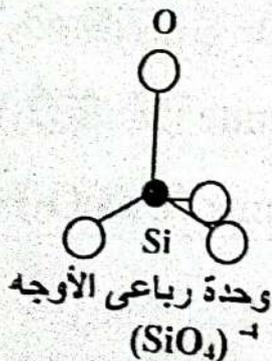
(سيليكات أيونات ثنائية وثلاثية التكافؤ) ، زيركون

Zircon (ZrSiO<sub>4</sub>) ، توباز Topaz

أندالوسيت Andalusite ، [Al<sub>2</sub>(F,OH)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>]

سيليمانيت Silimanite (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>) ،

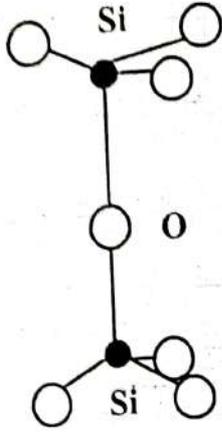
كايانيت Kyanite (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>) ،



، شتوروليت [2Feo.5Al2O3.4SiO2.H2O]

. سفين (CaTiSiO5)

(٢) مجموعة رباعي الأوجه المزدوجة  $(Si_2O_7)^{-6}$



حلقة مزدوجة  $(Si_2O_7)^{-6}$

(السوروسيليكات Sorosilicates):

تتكون أفراد هذه المجموعة باشتراك وحدتين من  $(SiO_4)$  في ذرة أكسجين (كما في الشكل المقابل) وتتكرر هذه الوحدة المزدوجة بارتباطها بواسطة كاتيونات أخرى كما في معدن هيميمورفيت

Hemimorphite  $[Zn_4Si_2O_7(OH)_2.H_2O]$

(٣) مجموعة رباعي الأوجه الحلقية Ring Structure

(Cyclosilicates)

أ - حلقة ثلاثية  $(Si_3O_9)^{-6}$  Trigonal Ring:

وتتكون باشتراك ثلاث وحدات  $(SiO_4)$  ، حيث أن كل

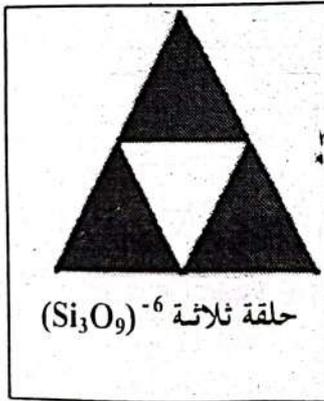
وحدتين متجاورتين تشتركان في ذرتين أكسجين

(كما في الشكل المقابل).، ومن أمثلة هذه المعادن :-

، بنيتوتيت (BaTiSi3O9) Benitotite

، رودونيت (MnSiO3) Rhodonite

، ولاستونيت (CaSiO3) Wollastonite



حلقة ثلاثة  $(Si_3O_9)^{-6}$

## ب - حلقة سداسية $(Si_6O_{18})^{-12}$ : Hexagonal Ring

تتكون أفراد هذه المجموعة من ترابط ست وحدات

$(SiO_4)$  ، تتراص في هيئة حلقات فوق بعضها

(أنظر الشكل المقابل) ، وتتربط هذه الحلقات

ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى. ومن أمثلة

هذه المعادن:

معدن البيريل  $(Be_3Al_2Si_6O_{18})$  Beryl .

معدن التورمالين Tourmaline



معدن الكورديرايت  $(Mg_2Al_4Si_5O_{18})$  Cordierite .

## ٤) مجموعة رباعي الأوجه السلسلية Chain Structure

(Inosilicates) وتشمل :

أ - تراكيب سلسلية مفردة  $(SiO_3)^{-2}$  Single Chain (كما هو موضح

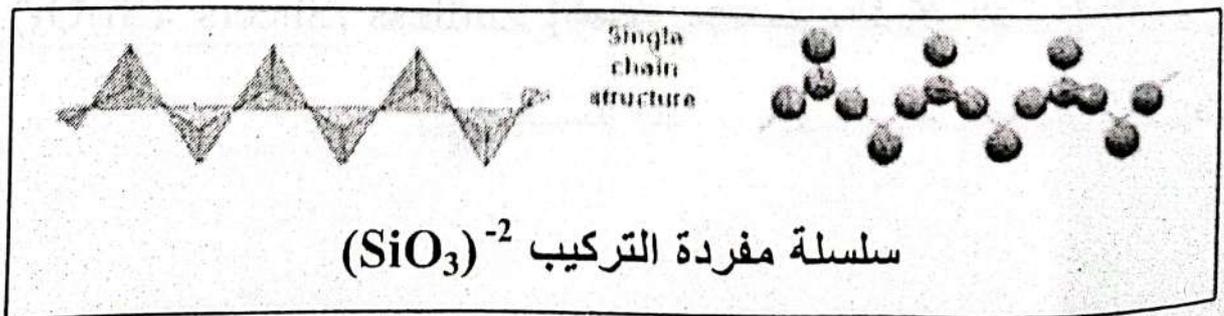
في الشكل التالي) كما في معادن البيروكسينات Pyroxenes مثل :

إنستاتيت  $(MgSiO_3)$  Enstatite ، هيرثين Hyperthene

دايوبسيد  $[(Mg,Fe)SiO_3]$  ، ديوبسيد  $[(Ca,Mg)Si_2O_6]$  Diopside ، أوجيت

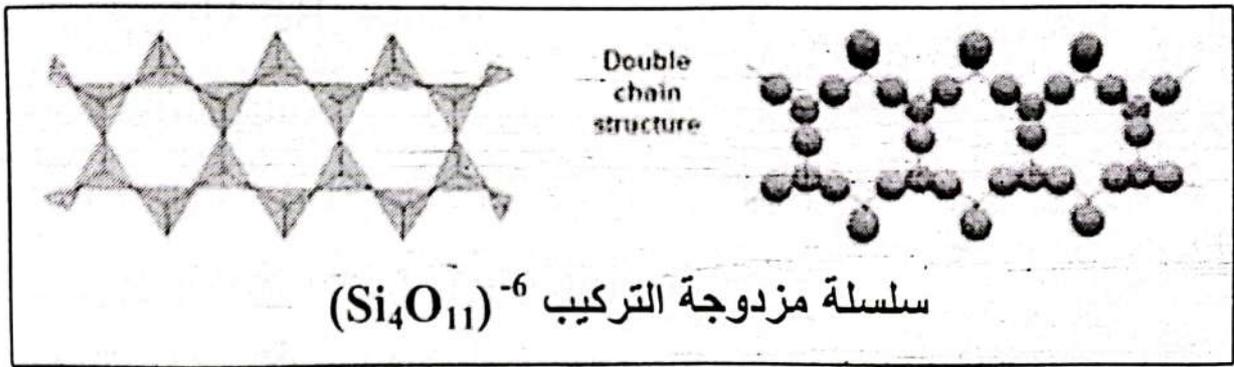
أيجيرين  $[Ca(Mg,Fe^{+2},Al)(Si,Al)_2O_6]$  Augite ، إيجيرين Aegerine

.  $(NaFeSi_2O_6)$



## ب - تراكيب سلسلية مزدوجة $(Si_4O_{11})^{-6}$ : Double Chain

وتنتج من ترابط سلسلتين باقتسام ذرات الأكسجين بينهما عند مسافات منتظمة (أنظر الشكل التالي) كما في معادن الأمفيبولات Amphiboles مثل :  
أنثوفيلليت Anthophyllite  $[(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2]$  ، تريموليت  
Tremolite  $[Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2]$  ، هورنبلند (سيليكات كالسيوم  
وماغنسيوم وحديد مائية معقدة) Hornblende .



ج - تراكيب سلسلية رباعية Quadriple Chain: تتكون من ترابط أربعة  
سلاسل باقتسام ذرات الأكسجين بينها مثل معدن الإبيدوت Epidote  
. $[Ca_2(Al,Fe)_3Si_3O_{12}(OH)]$

## هـ مجموعة رباعيات الأوجه الصفائحية Sheet Structure

(Phyllosilicates): تتكون من إرتباط وحدات  $(SiO_4)$  عند ثلاثة  
أركان من كل منها وتمتد في إتجاهين في ترتيب شبكى على هيئة صفائح  
لانهاية  $(Si_2O_5)^{-2}$  Endless Sheets (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>]

١) مجموعة رباعي الأوجه الشبكي ذو الأبعاد

الثلاثة Three-dimensional Network

(السيليكات الهيكلية Tectosilicates):

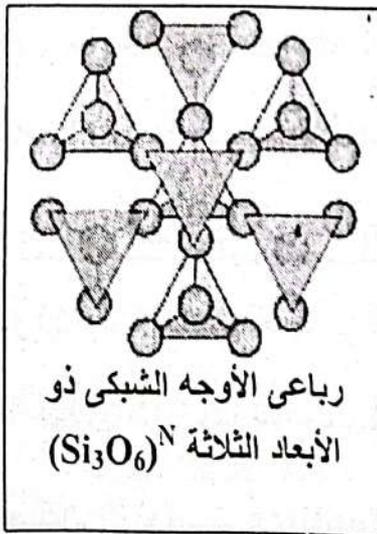
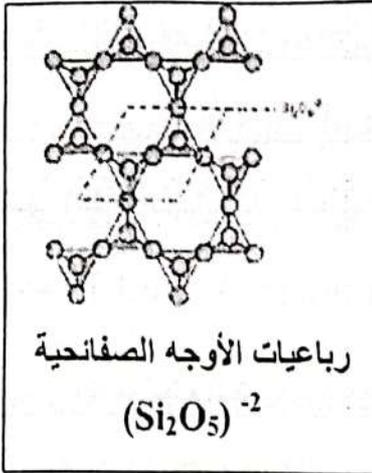
تتكون أفراد هذه المجموعة نتيجة إرتباط رباعيات

الأوجه (SiO<sub>4</sub>) بعضها ببعض عند أركانها الأربعة

(كما في الشكل المقابل) في ثلاث أبعاد، بمعنى أن

كل ذرة أكسجين تُقَسَم بين إثنين من وحدات

رباعيات الأوجه وتكون نسبة السيليكون



للأكسجين فيها ( ١ : ٢ ) ورمز التركيب  
 $(Si_3O_6)^N$  وتشمل هذه المجموعة المعادن التالية:

أ - أكاسيد السيليكون ( $SiO_2$ ):

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 :

أرتوكليز Orthoclase ( $KAlSi_3O_8$ ) (فصيلة أحادى الميل)،

ميكروكلين Microcline ( $KAlSi_3O_8$ ) (فصيلة ثلاثى الميل).

(٢) فلسبارات بلاجيوكليزية Plagioclase Feldspars مثل :

أنورثيت ( $CaAl_2Si_2O_8$ ) Anorthite ، بايتونيت Bytownite ،

لابرادوريت Labradorite ، أنديزين Andisine ، أوليجوكليز

Oligoclase ، ألبيت Albite ( $NaAlSi_3O_8$ ) .

ج - معادن الفلspathويدز Felspathoids : تشبه هذه المعادن معادن

الفلسبارات إلا أنها أفقر منها فى كمية السيليكا مثل :

لوسيت Leucite ( $KAlSi_2O_6$ ) ، ونيفيلين Nepheline ( $NaAlSiO_4$ ) .

د - معادن الزيوليت Zeolites : وهى سيليكات الألومنيوم والصوديوم

وتحتوى على نسبة كبيرة من الماء .

## الفصل الخامس

### أهمية المعادن و استخداماتها

يرجع إستغلال الثروات المعدنية الى آلاف من السنين التلى 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 كالآتى :

- ١- معادن خامات الفلزات Ores of Metals .
- ٢- معادن الطاقة الذرية Minerals for atomic energy .
- ٣- معادن الحرارية Refractories .
- ٤- معادن الصنفرة وأحجار التجلخ 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 والبوكسيت (أكسيد الألومنيوم) ، معادن خامات الحديد المختلفة (الماجنييت ، الهيماتيت ، الليمونيت ، السبديريت) ، معادن خامات النحاس المختلفة (مالاكييت ، أزوريت ، كوبريت وغيرها) ، معادن خامات النيكل والموليبدينوم والمنجنيز والرصاص والقصدير والتنجستن والزنبق 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 تأتي 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 . ولا يوجد 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  
التي 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  
فى هيئة كبريتيدات ، ولكن معادنه عادة تكون عبارة عن أكاسيد أو فوسفات  
أو زرنبيخات أو كبريتات أو كربونات أو سيليكات . ويوجد اليورانيوم فى  
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 احتمال وجود المعادن  
الإقتصادية فى أماكن تواجدها .

## معادن الثوريوم :

تعتبر معادن الثوريوم قليلة إذا ما قورنت بمعادن اليورانيوم ، ذلك لأن معادن الثوريوم لا يتكون منها معادن ثانوية إلا نادراً ، ومع أن أثاراً من الثوريوم وُجِدَتْ في 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 و Thorite ( $\text{ThSiO}_4$ ) ، وثورينيت (Thorianite ( $\text{ThO}_2$ ) تحتوى على ٢٠ - ٣٠ % من اليورانيوم .

توجد معادن الثوريوم عادة في صخور الجرانيت والبيجماتيت أو في 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 في الوقت الحاضر . أما معادن الثوريوم الأخرى مثل المونازيت والألانيت والزينوتيم والجادولينيت وغيرها فتحتوى من ١ إلى ١٥ % من الثوريوم في هيئة مكون ثانوى غير أساسى في تركيب المعدن ، حيث أنها أساساً مركبات للزركونيوم (Zr) والعناصر الأرضية النادرة . ويجدر بالذكر أن معدن المونازيت هو المصدر الوحيد المُستَغَل إقتصادياً في الوقت الحاضر لاستخراج الثوريوم .

### ٣- معادن الحراريات Refractories

تحتاج الصناعات الفلزية الحرارية الحديثة إلى مواد حرارية لتبطين الأفران التي تتحمل درجات الحرارة العالية ، أما إذا إنصهرت هذه المواد في درجات من الحرارة أقل من  $1500^{\circ}\text{C}$  م فإنها لا تُعتبر مواد حرارية . ومن الشروط الأخرى الواجب توافرها في المواد الحرارية هو عدم تفاعلها مع المواد التي تُصهر في الأفران ، كما يجب أن تكون هذه المواد الحرارية من المتانة والقوة بحيث تتحمل ثقل المواد المصهورة والخبث الناتج ولا تتأثر بهما ، وألاً يمتصها شروخ أو إنتفاخ عند تغير درجات الحرارة ، كما يمكن تشكيل هذه المواد الحرارية في 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 التي تستعمل في تبطين الأفران معادن الجرافيت ، Graphite (C) ، البوكسيت ، الماجنيزيت (MgCO<sub>3</sub>) Magnesite ، والدولوميت [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] Dolomite .

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

ويعتبر معدني الكيانيت (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>) Kyanite ، السيليمانيت Sillimanite (Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>) من أهم المعادن التي تستخدم في 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 الكهربائىة وأفران الحدادة وقمانن 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 تلك يستعمل فى صناعة الخزف لانتاج أنواع من القيشانى المستعمل فى الأغراض الكهربىة وأدوات المائدة . وقد استعمل تلك المحروق فى صناعة المواد العازلة للكهرباء والحراريات .

أما الأسبستوس فيستفاد من خاصية عدم انصهار أليافه فى انتاج المواد غير القابلة للاحتراق (العوازل الحرارىة) مثل حصائر 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

تشارك 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 طبيعية من الرتبة الأولى ، وتضم هذه المجموعة الماس والكوراندوم ( $Al_2O_3$ ) والجارنت .

٢- مواد صنفرة سيليكية ، تتكون من الأنواع المختلفة من السيليكا .

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 السيليكا ( $SiO_2$ ) 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 فإنها تستخدم فى صناعة طلاء أدوات الطهى (المينا).

## ٦- معادن الصهر Fluxes

مثل معادن الفلوريت والكالسيت والكوارتز حيث تستعمل هذه المعادن فى عمليات صهر الخامات لتجعل الجليخ 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 اى كثير من الصاهر الجبرى (الكالسيت) والفلوريت بينما تحتاج الخامات الغنية بالكبريت الى صاهر سيليكى .

## ٧- 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 ( أيسلاندسبار Icelandpar ) : وهو نوع من الكالسيت يمتاز بشفافيته ونقاوته واكتمال بلوراته.. ويتميز الأيسلاندسبار 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 المعتمدة .
- 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 .

## المراجع:

- 1- محمد عز الدين حلمي (1977): علم المعادن – مكتبة الانجلو مصرية – القاهرة – 70 صفحة
- 2- ممدوح عبد الغفار (1997): مملكة المعادن – الشركة العربية للتوزيع والطباعة والنشر – 268 صفحة
- 3- Open geology website: Mineralogy and Crystallography

### **Practical classes part 1: Igneous rocks**

A- Description items:

- a. Color
- b. Chemical composition
- c. Mineral composition
- d. Texture
- e. Grain size
- f. Degree of crystallinity
- g. Mode of occurrence
- h. Name of the rock

B- Rocks samples: Granite -Granodiorite – Diorite – Andesite – Rhyolite – Sphalerite – Basalt – Diabase – Gabbro – Serpentine

### **Practical classes part 2: Clastic sedimentary rocks**

A- Description items:

- a. Origin
- b. Mineral composition
- c. Grain size
- d. Cement
- e. Sorting
- f. Name of the rock

B- Rocks samples: Conglomerate – Breccia – Sandstone – Claystone – Mudstone - Shale

### **Practical classes part 3: Non-clastic sedimentary rocks**

A- Description items:

- a. Origin
- b. Mineral components
- c. Cement
- d. Name of the rock

B- Rocks samples: Limestone – Chalk – Phosphorite

## **Practical classes part 4: Metamorphic rocks**

A- Description items:

- a. Texture
- b. Type of metamorphism
- c. Agent of metamorphism
- d. Grade of metamorphism
- e. Grain size
- f. Mineral composition
- g. Parent rock
- h. Rock Name

B- Rocks samples: Slate – Quartzite – Schist – Gneiss – Megmatite - Marble