

# مقدمة في علم الجيولوجيا

## علم المعادن

الاستاذ الدكتور K. Mengel، الدكتور K.W. Strauß

الاختصاصات : علم المعادن ، علم كيمياء الأرض (الجيوكيمياء)، رواسب الملح (salt deposit)

### الفهرس

2	مقدمة.....
1	المعادن وفقا للسمات الخارجية.....
5	البلورات.....
6	تصنيف المعادن.....
7	المكونات الثانوية.....
8	علم المعادن الخاص.....
8	1.5 العناصر.....
18	2.5 الكبريتيدات.....
31	3.5 الهاليدات.....
36	4.5 الأوكاسيد.....
55	5.5 الكربونات.....
64	6.5 الكبريتات والتتغستات.....
69	7.5 الفوسفات.....
70	8.5 السيليكات.....

## مقدمة

المعادن هي أجسام صلبة متجانسة تنشأ تحت ظروف طبيعية ، فيزيائية أو كيميائية تملئها عملية جيولوجية معينة وهذه الأجسام غالبا ما تكون ذو طبيعة غير عضوية، صلبة و بلورية. في الوقت الراهن يتواجد ما يقارب الخمسة آلاف من المعادن المعروفة وفي كل عام يتم اكتشاف ما يقارب من مئة معدن جديد، قليل منها هي من المعادن المكونة للصخور أو تلك التي لها أهمية اقتصادية.

التركيز في هذا المقرر سيكون على المعادن المكونة للخامات والصخور الأكثر أهمية، حيث سيتم في سياق المحاضرات التعاطي مع أساسيات تصنيف المعادن بالإضافة الى توفير فهم أساسي للرواسب المعدنية في الخامات و الكتل الصخرية كما سيتم التطرق الى أساسيات في علم المعادن ذات صلة بمقررات لاحقة.

في التمارين المرافقة للمحاضرات سيتم ربط المحتوى النظري بأمثلة عملية و خاصة لناحية تعلم تحديد المعادن باستخدام وسائل مساعدة بسيطة ، كما سيتم التعمق بأجزاء مختارة من المحاضرات بمزيد من الامثلة و الشرح.

إن المادة العلمية في هذا المقرر تم تطويرها بحيث تتماشى مع احتياجات عدد من التخصصات الدراسية، لذلك فإنه من غير الممكن تضيق محتوى هذه المادة أكثر مما هو عليه حاليا، وبناء عليه فإن جميع المعادن مع المعلومات الواردة في هذا النص مطلوبة لامتحان النهائي للمقرر. الى جانب هذا النص يمكن لأغراض المراجعة والتعمق العودة للمراجع التالية:

- MEYER, W. & MURAWSKI, H. (2010): Geologisches Wörterbuch, 12. Auflage; - Heidelberg (Spektrum).
- OKRUSCH, M. & MATTHES, S. (2010): Mineralogie – Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde, 8. Auflage; - Berlin (Springer).
- PRESS F. & SIEVER R. (2007): Allgemeine Geologie, 5. Auflage; - Spektrum (Heidelberg).
- DEER, HOWIE, ZUSSMAN (1992): An introduction to rock-forming minerals; - Addison-Wesley (Wokingham).

## 1. المعادن وفقاً للسمات الخارجية:

اللون و لون المخدش: في حالة كون المعدن "طرياً" فإنه يمكن بواسطة قطعة من هذا المعدن رسم خط على سطوح المواد الصلبة مثال على ذلك الغرافيت في أقلام الرصاص، إن لون المسحوق الناتج عن هذا الإجراء يدعى بلون مخدش المعدن وهو محدد بالنسبة لبعض المعادن أما بالنسبة للبعض الآخر فلا.

عادة ما يتم حك المعدن على لوح من البورسلان الأبيض ويتم مراقبة لون المسحوق الناتج حيث ليس من الضروري أن يتوافق لون المعدن مع لون مسحوقه (مخدشه)، فمثلاً الكبريت الأصفر لون مخدشه أبيض في حين أن الباريت الأصفر يملك لون مخدش أسود.

إن لون المعدن مرتبط بدرجة كبيرة بحجم البلورات، السطوح الخارجية للمعدن والانعكاسات الداخلية على السطوح المتجانسة، لذلك يعتبر لون مخدش المعدن خاصية أكثر تمييزاً للمعدن من لونه الخاص.

الى جانب اللون فإن الشكل الخارجي للمعدن هو أول ما يشد الانتباه، حيث يسمى المظهر الخارجي للمعدن **بهيئة المعدن (Habit)** والتي تحاكي في الحالات المثالية البنية البلورية للمعدن، يطلق على هذه الهيئات أسماء مستقاة من المظهر مثال هيئة عمودية، هيئة ليفية، هيئة موشورية (منشورية)، هيئة لوحية أو هيئة إبرية. على الرغم من أن الشكل البلوري يساعد غالباً بشكل قليل ومحدود في التعرف على المعدن، غير أن الفهم المبدئي للبنية الداخلية، الذرية والأيونية للبلورات هو من أساسيات علم المعادن.

**قابلية الانتشار (الانفصامية)** هي من السمات الهامة للمعادن. من خلال إزاحة مستويات بلورية معينة ضد بعضها البعض (عند تطبيق مقدار معين من الضغط مثلاً) يحصل تقارب للذرات المتماثلة بالشحنة في سويتين متجاورتين وهذا ما ينتج عنه تنافر مما يؤدي لانفصام مرئي واضح و موجه لقطاعات ضمن البلورة أو ما يعرف بمستويات الانفصام. عمال المناجم القدماء قاموا بإدراج مثل هذه المعادن و التي تبدي بوضوح الكثير من التشققات تحت مسمى سبار (Spar) وذلك على الرغم من إمكانية اختلاف التركيب الكيميائي والخواص البلورية الأخرى لهذه المعادن، فسيليكات الفلوسبار تتمتع بكثافة ( $2,6 \text{ g/cm}^3$ ) في حين أن الكالامين ينتمي للكربونات ( $\text{ZnCO}_3$ ) و يمتلك كثافة أعلى ( $4,3 \text{ g/cm}^3$ ) أما الفلورسبار ( $\text{CaF}_2$ ) فهي مادة مختلفة بشكل كلي. في بعض المعادن تكون قابلية الانتشار نتيجة مباشرة للبنية الداخلية كما هو الحال بالنسبة للميكا.

الكثافة هي من المميزات الهامة أيضاً للمعدن، تتراوح كثافة الخامات بالمتوسط بين (  $4,5 - 7,5 \text{ g/cm}^3$  ) بما يعادل ضعفي الى ثلاثة أضعاف قيمتها بحالة غير الخامات و التي بدورها تملك كثافة تتراوح قيمتها عموماً بين (  $2,5 - 3,5 \text{ g/cm}^3$  ) وهذا ما يسمح بإجراء تقييم موضوعي عند تحديد أحد هذه المعادن كما هو الحال عند المقارنة المباشرة بين الكالسيت ذو الكثافة (  $2,7 \text{ g/cm}^3$  ) و الباريت ذو الكثافة (  $3 - 3,5 \text{ g/cm}^3$  ).

الصلادة هي أيضاً من معالم التمييز الهامة بين المعادن (انظر الجدول 1)، حيث يمكن بسهولة و بمساعد سكين الجيب مثلاً تمييز المعادن المكونة للصخور عن غيرها وذلك بناءً على مدى مقاومتها للخدش بواسطة نصل السكين. أحد الأمثلة الشائعة لفروق الصلادة بين المعادن هو بين الكالسيت و الفلسبار ويعود ذلك للانتشار الكبير لكلا المعدنين على سطح الأرض وللتشابه الكبير بينهما من حيث المظهر. الكالسيت يمتلك صلادة منخفضة جداً بحيث يسهل خدشه بنصل السكين وعلى النقيض من ذلك يملك الفلسبار صلابة الفولاذ. في التمارين المرافقة للمحاضرات غالباً ما ستتم المقارنة بين الفلورسبار و الكوارتز. تكون الصلادة مدرجة في مقياس موهس للصلادة وهي صلادة نسبية تتدرج من 1 وحتى 10 و تكون معظم المعادن المكونة للأحجار أيضاً مدرجة

الجدول 1 : مقياس موهس للصلادة

1. التلك (قابل للخدش بعود الثقاب)
2. الجبس (قابل للخدش بأظافر اليد)
3. الكالسيت (قابل للخدش بعملة نحاسية)
4. الفلوريت (قابل للخدش بمسمار فولاذ)
5. الأباتيت (قابل للخدش بمسمار فولاذ)
6. الأرتوكليز (قابل للخدش بسكين الجيب)
7. الكوارتز (خادج للزجاج)
8. التوباز (خادج للزجاج)
9. الكوارندوم (خادج للزجاج)
10. الألماس (خادج للزجاج)

## 2. البلورات:

تتألف البلورة من تراتيب منتظمة من المكونات هذه المكونات قد تكون عبارة عن جزيئات غير مشحونة (ذرات)، كانيونات و أنيونات. تتواجد هذه المكونات ضمن نسق معين يدعى البنية البلورية بحيث تتباعد عن بعضها بمسافات محددة و تظهر بنفس الزاوية عند ملاحظة الترتيب المكاني لها ضمن البنية البلورية. هذا و تتباعد الأنيونات عن بعضها البعض داخل البنية البلورية بالمقدار  $1 \text{ \AA}$  (100 pm).

تدعى أصغر وحدة يمكن أن تقسم إليها البلورة بخلية الوحدة أو ما يعرف بالوحدة البنائية، تشكل هذه الوحدة مع حوافها وفق الزوايا  $\alpha, \beta, \gamma$  في نظام إحداثيات بالاتجاهات  $a, b, c$  مجسم شبكي يتألف من عدد لا متناهي من الخلايا الواحدية (الوحدات البنائية) التي تشكل مجملها البلورة.

في بعض الأحيان يمكن تحديد الترتيب الدقيق لمكونات البلورة مباشرة من شكلها الخارجي. دائماً ما تمتلك البلورات الحقيقية (غير المثالية) عيوب بنيوية، و مثل هذه البلورات يمكن أن تكون مجهرية أو بأحجام تقاس بالمترات.

### 1.2. نظام المحاور:

يمكن تبسيط الأنماط المختلفة للبنية البلورية رياضياً باعتماد سبعة أنظمة للمحاور البلورية. على عكس نظم الإحداثيات الديكارتيّة الاعتيادية تكون أنظمة الإحداثيات البلورية ذات زوايا مائلة و تكون إحداثيات المحاور الثلاث غير متساوية، فقط في حالة نظام المحاور المكعبي تتوافق الإحداثيات الديكارتيّة مع البلورية. فيما يلي توضيح للأنظمة البلورية السبعة:

1. نظام المكعب :  $a = b = c$   $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  مثال على هذا النظام الغالينا.
2. نظام الرباعي:  $a = b \neq c$   $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  مثال على هذا النظام حجر القصدير.
3. نظام السداسي:  $a = b \neq c$   $\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$  مثال على هذا النظام البيريل.
4. نظام الثلاثي :  $a = b = c$   $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$  مثال على هذا النظام الكالسيت.
5. نظام المعيني القائم :  $a \neq b \neq c$   $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  مثال على هذا النظام الباريت.
6. نظام أحادي الميل:  $a \neq b \neq c$   $\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$  مثال على هذا النظام الجبس.
7. نظام ثلاثي الميل:  $a \neq b \neq c$   $\alpha \neq \beta \neq \gamma, \alpha, \beta, \gamma \neq 90^\circ$  مثال على هذا النظام الألبيت.

### 3. تصنيف المعادن

يتم تصنيف المعادن وفقاً لنواحي كيميائية، وهذا التصنيف هو موضوع أساسي كونه يشكل أساس لفهم المعادن المشكلة للصخور و الخامات.

1. العناصر : مثال المعادن الكريمة Cu, Ag, Au, Pt, Hg، العناصر اللامعدنية C, S, Se, Te, As, Sb, Bi.
2. مجموعة الكبريتيدات : مثال سفاليريت ZnS ، الغالينا PbS .
3. مجموعة الهاليدات : مثال الملح الصخري NaCl ، سلفيت KCl ، الفلوسبار CaF<sub>2</sub>.
4. مجموعة الأكاسيد والهيدروكسيدات : مثال الكوارتز SiO<sub>2</sub> ، الهيماتيت Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
5. مجموعة الكربونات و البورات : مثال الكالسيت CaCO<sub>3</sub> ، الدولميت CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.
6. مجموعة الكبريتات و الكرومات : الباريت BaSO<sub>4</sub>.
7. مجموعة الفوسفات و الزرنيخات : الأباتيت Ca<sub>5</sub> [(F,Cl,OH) (PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>].
8. مجموعة السيليكات : و تقسم بدورها الى
  - النيروسيليكات : مثال الأوليفين (Mg,Fe)<sub>2</sub> [SiO<sub>4</sub>].
  - السوروسيليكات : مثال الابدوت Ca<sub>2</sub> (Fe,Al) Al<sub>2</sub> [(O/OH)/SiO<sub>4</sub>/Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>].
  - السيليكات الحلقية : مثال البيريل Be<sub>3</sub>Al<sub>2</sub> [Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>].
  - الأينوسيليكات : مثال الديوسيد CaMg [Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>].
  - الفيلوسيليكات : مثال المسكوفيت KAl<sub>2</sub> [(OH)<sub>2</sub> AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>].
  - التكتوسيليكات : مثال الفلسبار القلوي (K,Na) [Si<sub>3</sub>O<sub>8</sub>].
9. مجموعة المعادن العضوية : مثال فيولايت Ca (C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) · H<sub>2</sub>O (Whewellite).

#### 4. المكونات الثانوية

إن المكونات الكيميائية للمعدن عادة يمكن تعريفها من خلال صيغة محددة يتحقق فيها توازن في الشحنات بين مكونات البلورة المشحونة سلباً (الأنيونات) و المكونات المشحونة إيجاباً (الكاتيونات) بما يضمن تركيب تكافؤي.

الغالبية العظمى من المعادن تحتوي بالإضافة للمكونات الكيميائية التي يمكن تعريفها بالصيغة المذكورة أعلاه مكونات ثانوية والتي سنتطرق إليها بشكل منفصل في سياق هذا المقرر. مثال على ذلك استبدال الزنك (Zn) بالكاديوم (Cd) في السفاليريت (ZnS). الكاديوم يمتلك نصف قطر أيوني مشابه للزنك كما أنه مثل الزنك مشحون بشحنة إيجابية مضاعفة وبذلك يستطيع الكاديوم أن يستبدل (يعوض) الزنك في البنية البلورية للسفاليريت (ZnS) ، يحدد مقدار هذا الاستبدال نسبة الكاديوم بالنسبة للزنك خلال عملية تشكل السفاليريت.

## 1. العناصر

### الذهب، الفضة، النحاس، البلاتين، الزئبق، الكبريت، الكربون

يوجد ما يقارب من الثلاثين عنصراً في الطبيعة تظهر على هيئة معادن ، يستثنى من ذلك الزئبق و الذي يتواجد تحت الشروط الطبيعية بالحالة السائلة.

هذه المعادن تكون متبلورة بتناظر عالي و الذرات المفردة تكون متراففة على هيئة كرات متلامسة مع بعضها البعض وبكثافة عالية ما يمنح هذه المعادن الناقلية العالية بالعموم و الكثافة المرتفعة بالإضافة للسلوك الميكانيكي المميز .

لابد من الإشارة هنا الى الزئبق الذي يتبلور بدرجة حرارة  $39^{\circ}\text{C}$  و يتمتع بكثافة  $13,6\text{ g/cm}^3$  وذو بريق فلزي . يظهر الزئبق في الطبيعة على شكل رزاذ في المناطق التي تتواجد فيها رواسب السنبار (HgS) و التي تتعرض للتجوية (أثر العوامل الجوية).مقارنة مع السنبار فإن الزئبق المعدني غير مجدي اقتصادياً. الملغم الطبيعي عبارة عن سبيكة من الزئبق و الفضة Ag أو الزئبق و الذهب Au .

Au	الذهب
Ag	المكونات الثانوية
FeS <sub>2</sub> , FeAsS	الشوائب



المكسر: مسنن (Hackly)، قابل للتشكيل اللدن.  
 اللون: ذو بريق فلزي أصفر، بواسطة Ag يصبح فاتح بدرجة أكبر: لا يوجد لون تكدر\*  
 المخدش: أصفر ذهبي، ذو بريق فلزي  
 الكثافة: 16 - 19 g/cm<sup>3</sup> مع زيادة محتوى Ag  
 الصلادة: 3 - 2,5  
 قابلية الانقسام: غائبة

\* تكدر المعدن : حالة تصيب المعادن عندما تصدأ أو تتفاعل مع الأكسجين، أو عندما يفقد سطح المعادن لمعانه. وتستعمل كلمة تكدر للصدأ الذي يتكون على المعادن فيما عدا الحديد والمعادن غير الحديدية.

يتواجد الذهب في الطبيعة غالباً على شكل مجاميع صفائحية غير منتظمة الشكل أو مجاميع على شكل أسلاك حيث أن البلورات المكتملة الشكل البلوري (المثالية) للذهب نادرة الوجود، الأكثر شيوعاً هو تواجده على شكل متضمنات (شوائب) في الخامات الكبريتيدية مثال البيريت (FeS<sub>2</sub>) أو الأرسينوبيريت (FeAsS).

الذهب الفلزي (الأصلي) يحتوي دائماً على نسب من معادن أخرى في مقدمتها الفضة. يظهر الذهب في عروق على الرواسب الأولية (الموضعية) حيث يتم ايداعه هناك من قبل سائل مائي حراري. يحتوي الذهب الطبيعي عادة على 2-20 وزن .-% من الفضة. الرواسب الأولية هي عروق الذهب-الكوارتز القديمة في مرتفعات هوي تاورن و ترانسيلفانيا بالإضافة الى رواسب النحاس البورفيرى على حدود الصفائح النشطة (جبال الأنديز، بابوا) . في الرواسب الثانوية يتركز الذهب كمعدن ثقيل فيما يعرف بالرواسب المكيثية (الغرينية).

هذه الرواسب هي عبارة عن تجمعات الطمي الناتجة عن الدورات الخارجية، أكثرها شهرة هي الرواسب المكيثية الأحفورية في منطقة يتواتسراند في جنوب أفريقيا.

يتم استخلاص الذهب من الخامات إما من خلال الملغمة أو بطريقة السيانيد. يتم استخدام الذهب بشكل أساسي كمعدن للعملات الى جانب عدد من الاستخدامات الأخرى في الطب والالكترونيات و صناعة المجوهرات.

Ag

الفضة

Au, Hg, Cu, Bi

المكونات الثانوية



المكسر: مسنن (Hackly)، قابل للتشكيل اللدن.  
اللون: لمكسر حديث بريق فلزي أبيض فضي،  
ما عدا ذلك أصفر حتى الأسود نتيجة التكدر  
بواسطة كبريتيد الفضة  
المخدش: أبيض فضي حتى الأصفر، ذو بريق  
فلزي

الكثافة:  $10 - 12 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 3 – 2,5

قابلية الانفصام: غائبة

تتواجد الفضة غالباً على هيئة مجاميع شجرية أو سلكية أو شعرية. دائماً ما يحتوي فلز الفضة على نسب من الذهب بالإضافة الى نسب بسيطة من الزئبق و النحاس ويقنصر تواجد فلز الفضة على الطبقات المتغيرة القريبة من السطح لرواسب الفضة كالخامات في منطقة الهارتس الألمانية. نادراً ما يتم استخراج الفضة بصورتها الطبيعية في حين تشكل خامات الفضة مثل الغالينا خامات جديرة بالتعدين.

الى جانب استخدامها كمجوهرات تستخدم الفضة أيضاً في الالكترونيات و التطبيقات الكهربائية و البصريات وفي صناعة أدوات المائدة و كسبائك.

## النحاس

Cu



المكسر: مسنن (Hackly)، قابل للسحب.

اللون: بريق فلزي أحمر، لون تكدر مطفي من خلال طبقة أكسدة

المخدش: أحمر نحاسي، ذو بريق فلزي

الكثافة: 8,5 - 9 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 2,5 - 3

قابلية الانقسام: غائبة

كما هو حال الذهب و الفضة يظهر النحاس على هيئة تجمعات غير منتظمة ، لا سيما في المناطق المعرضة للتجوية لأماكن تواجد رواسب النحاس الضخمة ، على سبيل المثال في غرب الولايات المتحدة الأمريكية (بيسبي، أريزونا) وعلى بحيرة سوبيريور. المنتج الرئيسي للنحاس هي التشيلي (اعتباراً من 2011) حيث تمتلك أكبر منجم سطحي (مكشوف) للنحاس قيد التشغيل في العالم و هو منجم تشوكويكاماتا.

كخامة نحاس يعتبر النحاس الفلزي (الطبيعي) ذو أهمية متدنية اقتصاديا و ذلك بسبب محدودية تواجده. بكشل أساسي يتم تعدين كبريتيدات النحاس لإنتاج النحاس. يبني النحاس تخلق تجانبي مع العديد من المعادن النحاسية الثانوية كاللازورد والمرمر و مع المعادن مثل الكالسييت والكوارتز أو الفضة. يستخدم النحاس كمكون في السبائك وفي الالكترونيات و في التطبيقات الكهربائية. كما تستخدم صفائح النحاس لأسقف المنازل حيث يتم من خلال تشكل الزنجانر(صدأ النحاس) على هذه الصفائح و قاية السقف و الحد من أثر العوامل الجوية.

Pt

البلاتين

Ir, Os, Rh, Pd, Cu, Au, Fe

المكونات الثانوية



اللون: رمادي فولاذي ، ذو بريق فلزي ، لا يتأكسد في الهواء  
المخدش: أبيض فضي  
الكثافة:  $15 - 19 \text{ g/cm}^3$  تبعاً لمحتوى الحديد  
الصلادة: 4,5 - 4  
قابلية الانقسام: غائبة

يشكل البلاتين الفلزي دوماً سبائك مع الحديد و تتراوح نسبته فيها بين 4 - 11% و دائماً ما يحتوي على معادن نادرة أخرى مثل إيريديوم Ir والأوزميوم Os وأيضاً بعض النحاس و الذهب. يتشكل المعدن نتيجة التبلور المبكر للصهارة السائلة. التواجد الأكثر شيوعاً للبلاتين هو الصخور النارية فوق القاعدية في مناطق (ميرنسكي ريف، بوشفيلد، الأورال)، كما أن التجمعات الثانوية للبلاتين في الرواسب الغرينية مهمة أيضاً، مثل هذه الرواسب يتم تعدينها في الوقت الراهن فقط في جنوب أفريقيا (ترانسفال)، و قد تم استثمار الرواسب الحاوية على كميات معتبرة من شذرات البلاتين المتواجدة على جانبي الأورال. يكون البلاتين متوضعاً بشكل دقيق جداً في الصخور فوق القاعدية. يتم استخلاص البلاتين كمنتج ثانوي لتعدين النيكل في كل من سدبري (أونتاريو) و ونوريلسك (روسيا). في بعض الأحيان يظهر كل من إيريديوم (Ir) والأوزميوم (Os) و البلاديوم (Pd) بهيئة شذرات معدنية في رواسب الذهب أو البلاتين الغرينية ، تنتمي هذه العناصر لمجموعة البلاتين.

## الكبريت

S



اللون: أصفر كبريتي، من خلال البيتومين بني

المخدش: أبيض

الكثافة:  $2,0 - 2,1 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 2 - 1,5

قابلية الانفصام: سيئة للغاية

الكبريت الفلزي ( $\alpha$ -S) متمثل بشكل شائع بالانبعاثات البركانية، هذا و ما زالت الخامات المتواجدة في منطقة أغريجننتو، صقلية تتمتع بأهمية كبيرة الى يومنا هذا. الكبريت- $\beta$  (نظام أحادي الميل) يتواجد فقط عند درجات حرارة عالية ( $> 95 \text{ }^\circ\text{C}$ ) في القمم البركانية النشطة و الذي يتحول عند التبريد الى الكبريت- $\alpha$  ( نظام المعيني القائم) . كما يتشكل الكبريت نتيجة الاختزال البكتيري لكبريتات-الكبريت في الرواسب الموجودة في (تكساس ولويزيانا) بواسطة البكتيريا الكبريتية (*Desulfovibrio desulfuricans*) . غالباً ما يشكل الكبريت بلورات جميلة ذات هيئة هرمية .في الودائع الرسوبية يتراوح الكبريت بين كتل ضخمة أو حبيبات دقيقة عديمة الأوجه. المعروف هو الكبريت المتشكل بركانياً من جميع المناطق البركانية التي لا تزال نشطة مثل صقلية ، كما يوجد كميات مكتشفة أخرى للكبريت في الجبس والأنهيدريت والملح في منطقة شتاسفورت (ساكسن-انهالت).

## الغرافيت

C



صفة مميزة: موصلية جيدة جداً

اللون: أسود، ذو بريق فلزي، غير شفاف (معتم)

المخدش: أسود

الكثافة:  $2,25 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 1 ، أثر أسود

قابلية الانقسام: تامة

يمتلك الغرافيت ك معدن بنية طبقية تقليدية جداً حيث تكون ذرة الكربون في كل طبقة محاطة بثلاث ذرات كربون أخرى . يتمدد و بشكل ثنائي الأبعاد عدد غير منتهى من الشبكات وفقاً للنظام السداسي و هذا ما يفسر موصليته العالية. التواجد الأكثر شيوعاً للغرافيت هو على شكل قشور في الراوسب المتحولة المترابطة. في الطبقات المتحولة يكون الغرافيت متراكم في مجاميع كبيرة ذات أهمية اقتصادية جزئية وتكون هيئته دوماً تبعاً للنظام السداسي. من الودائع التقليدية للغرافيت هي تلك المحفوظة في الرخام في منطقة كوبف مول وفي باساو و بارغاس في فنلندا. في بعض الأحيان تحتوي الصحارة المافية على موجودات من الغرافيت (مثل الغابرو في منطقة هارتزبورغ). تم اكتشاف ودائع هامة في منطقة سلوكان للتعدين في كولومبيا البريطانية ( كندا ) (اعتباراً من 2011).

يستخدم الغرافيت في الصناعة النووية و في صناعة أقلام الرصاص و كمواد تشحيم بالإضافة الى صناعة الصلب.

## الألماس

C



صفة مميزة: معامل انكسار عالي جداً

اللون: الأحجار الكريمة عديمة اللون

المخدش: أبيض

الكثافة:  $3,52 \text{ g/cm}^3$

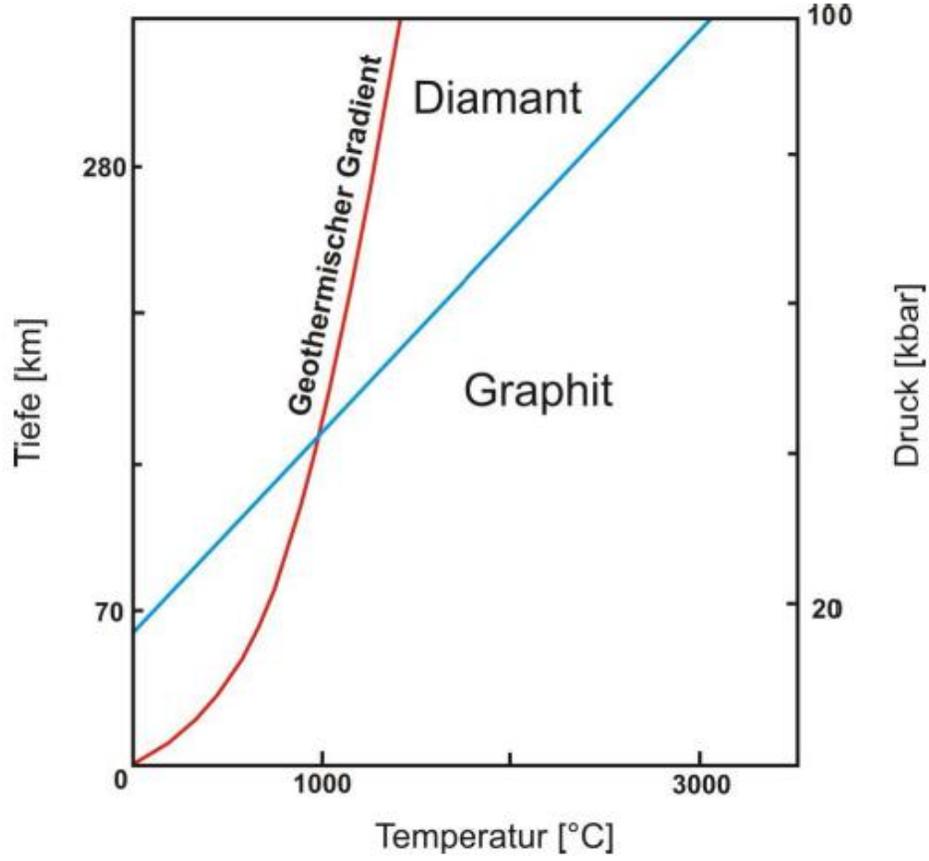
الصلادة: 10

قابلية الانقسام: تامة

يعتبر الألماس المعدن الأكثر صلادة في الطبيعة، بالنسبة لمنطقة معينة يوجد تفاوت في الصلادة على مساحات مختلفة و باتجاهات مختلفة. يتواجد الألماس في ودائع الكمبرليت في الرواسب الأولية و يعتبر تركيزه كمعدن ثقيل في الرواسب الغرينية ذو أهمية اقتصادية أيضاً. غالباً ما يظهر الألماس في هيئة ثماني الأوجه ومكعب ذو حواف متآكلة كما يمكن ملاحظة أشكال تبلور أخرى معقدة. نتيجة لارتباط الألماس بانبتاق الكمبرليت فإنه يمكن تحقيق اكتشافات هامة للألماس فقط في نطاقات الكتل القارية القديمة والتي يقتصر فيها تواجد الصخور البركانية. يمكن أن يصل محتوى الكمبرليت من الألماس حتى 200 قيراط لكل طن من الصخور. الرواسب الأغنى في الوقت الراهن تتواجد في سيبيريا (أوداخنايا،مير) وفي شمال غرب استراليا ( منجم كيمبرلي) وهي قيد التعدين كما يتم بشكل دائم عمل اكتشافات جديدة مثلًا في ارخانجيلسك، في البرازيل، في الهند وجنوب أفريقيا. الألماس يظهر أيضاً في الرواسب المكيثية (الغرينية). يمكن إنتاج الألماس الصناعي من الطور الغازي في القوس الكهربائي أو من خلال التفريغ الاكثلي. أكبر منجم قيد التعدين في العالم هو منجم ديافيك في كندا (اعتباراً من 2010)، هذا و تأتي روسيا في المرتبة الأولى في انتاج الألماس الطبيعي و الولايات المتحدة في انتاج الألماس الصناعي (اعتباراً من 2010).

يستخدم الألماس الطبيعي كمجوهرات أما الألماس الصناعي فيستخدم بشكل أساسي كمواد صقل و كطبقة وقاية من التآكل لأدوات القطع و الثقب (لحم) و في تشغيل الألماس الطبيعي و غيرها من التطبيقات.

في مخطط P-T التالي تدرج مناطق استقرار الغرافيت و الألماس في الأرض. لتشكيل بنية الألماس عالية الكثافة يلزم ضغوط عالية جداً كتلك المتواجدة في عباءة الأرض على أعماق أكبر من 130 الى 150 كيلومتر. فقط من خلال القذف السريع لصهارة الكمبرليت يمكن تحقيق الحفظ القريب من السطح للحالة شبه المستقرة.



## 2. الكبريتيدات

الكوسيت، بنتلانديت، غالينا، سفاليريت، كالكوبيريت، بيروتيت، سنبار، ستينيت،  
مولبدينيت، بيريت، مركزيت

يتم تمييز الكبريتيدات كيميائياً تبعاً لنسبة المعدن (Me) إلى الكبريت (S) ، حيث يوجد كبريتيدات ذات نسبة  $Me/S > 1$  ( مثال على ذلك كالكوسيت  $Cu_2S$  ، بورنيت  $Cu_5FeS_4$  ) و بعضها ذات نسبة  $Me/S = 1$  (الغالينا  $PbS$  ، سفاليريت  $ZnS$  ) و كبريتيدات أخرى ذات نسبة  $Me/S < 1$  ( مثال: بيريت  $FeS_2$  ، مولبدينيت  $MoS_2$  ) ، بالإضافة إلى ذلك يوجد كبريتيدات معقدة المعروفة باسم الأملاح الكبريتية و التي تحتوي إضافة للكبريت على الأنتيمون  $Sb$  و الزرنيخ  $As$  ( مثال: خامات Fahlerze كالتتراهيدريت  $Cu_{12}Sb_4S_{13}$  و التانتيت  $Cu_{12}As_4S_{13}$  و خامات Rotgültigerze كالبروستيت  $Ag_3AsS_3$  والبيرارجيريت  $Ag_3SbS_3$  ). لم يتم التطرق إلى الزرنيخيدات والمنتمية أيضاً للمجموعة الثانية.



## الكالكوسيت



اللون: رمادي رصاصي (لمكسر حديث)، في  
الهواء تكدر أسود مطفي (معتم)  
المخدش: أسود رمادي  
الكثافة:  $5,5 - 5,8 \text{ g/cm}^3$   
الصلادة: 3 - 2,5  
قابلية الانفصام: غير واضحة

يتواجد الكالكوسيت على شكل كتل دقيقة التبلور ذات لون رمادي رصاصي. يودع في المياه الحارة كخامات أولية. الودائع الكبيرة لهذا النوع كانت تلك المتواجدة في بوتني (مونتانا) وتسومب (ناميبيا). بشكل ثانوي يظهر الكالكوسيت في مناطق السمنتة في ودائع النحاس الكبيرة كما يتواجد كحبيبات دقيقة في طبقات النحاس الشست العائدة للعصر البرمي في أوروبا الوسطى. يتحول الكالكوسيت بالتجوية الى خامة النحاس (كوبريت  $\text{Cu}_2\text{O}$ ) أو الى نحاس فلزي. النواتج النهائية لعملية التجوية تشكل المرمر و اللازورد.



## البنتلانديت (كبريتيد الحديد والنيكل)



اللون: أصفر برونزي

المخدش: أسود

الكثافة:  $4,6 - 5 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 3,5 - 4

قابلية الانقسام: واضحة تبعاً للمستوى {010}

يتكون البنتلانديت و البيروتيت معاً كإفرازات ماغمية سائلة من الصهارات المافية بحيث يظهر البنتلانديت غالباً كمتضمن (شوائب داخلية) في البيروتيت. هذا التكون تم توثيقه بشكل جيد بشكل خاص في ودائع النيكل الهامة في منطقة سودبيري، أونتااريو (كندا). ذو منشأ مماثل و بنفس الأهمية كتلة Bushveld في منطقة الترانسفال (جنوب أفريقيا). مع محتوى من النيكل يصل حتى % 34 يعتبر البنتلانديت أحد أهم خامات النيكل.

يستخدم النيكل بشكل أساسي في معالجة و تحسين الفولاذ و في السبائك و إلى حد أقل في الصناعات الكيميائية والطلاء الكهربائي.

<b>PbS</b>	<b>الغالينا (Bleiglanz)</b>
<b>Ag, Au, Se</b>	<b>المكونات الثانوية</b>
<b>Ag<sub>2</sub>S</b>	<b>الشوائب</b>



اللون: رمادي رصاصي، بريق فلزي أشد على  
السطوح حديثة الكسر  
المخدش: أسود رمادي  
الكثافة: 7,4 – 7,6 g/cm<sup>3</sup>  
الصلادة: 2,5 – 3  
قابلية الانقسام: تامة

عادة ما تمتلك الغالينا محتوى محدود من الفضة ناتج بشكل رئيسي عن شوائب مختلفة من كبريتيدات الفضة. تعتبر الغالينا الخامة الأهم و الأكثر شيوعاً للرصاص و نظراً لانتشارها الواسع تعبر أيضاً الخامة الأهم للفضة.

غالباً ما تظهر الغالينا في العروق المائية الحارة ، و بسبب تماثل ظروف التشكل غالباً ما تبني الغالينا مع السفاليريت (ZnS) تخلق تجانبي. تتواجد الغالينا على هيئة ما يعرف بالصخر الواسع الانتشار (Durchläufer) في معظم عروق التمعدين في الطبقة الصخرية الأوروبية (الأديم) مثال منطقة الهارز و غيرها. من الناحية الكمية فإن التشبعات في الصخور الرملية (الصخور الرملية المرقشة) و الصخور الكلسية تكون أقل أهمية. يستخدم الرصاص في الوقاية من الإشعاعات بالإضافة الى استخدامه كمعدن أو في صناعة السبائك. بسبب السمية العالية للرصاص لم يعد يستخدم في صناعة أنابيب المياه و الأدوات المنزلية و أواني الشرب. يستخدم الرصاص في بعض البلدان كمكون في صناعة مستحضرات التجميل و البنزين والدهانات.

## ZnS (Zinkblende) السفاليريت

Fe, Cd, Mn

المكونات الثانوية



صفة مميزة : في الغالب غير شفاف (معتم)

اللون: في الغالب أحمر رمادي ،أصفر ،أسود،

بريق أشد

المخدش: أصفر حتى البني

الكثافة:  $3,9 - 4,1 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 3,5 - 4

قابلية الانقسام: تامة

Fe هو مكون جانبي متواجد دوماً في السفاليريت، بزيادة محتوى Fe يصبح لون السفاليريت أغمق حتى اللون الأسود. الى جانب Fe تتواجد أيضاً Cd ( ما يقارب % 0,5 ) و Mn كمكونات جانبية إضافة الى عدد من المعادن النادرة مثل In, Ga, و Tl. يمكن ايجاد السفاليريت و الغالينا معاً في أغلب العروق المائية الحارة في القاعدة الصخرية الأوروبية مثال (Harz, Erzgebirge) . يعتبر السفاليريت ذو أهمية اقتصادية كبيرة و هو أهم خامات الزنك. من أهم الخامات هي تلك المتواجدة في منطقة بروكين هيل في استراليا. كما يظهر على شكل تجمعات ترسيبية زفيرية في الرواسب الطبقيّة كما هو الحال في منطقة Rammelsberg في ولاية Niedersachsen و في منطقة Meggen في ولاية Westfalen.

يحتوي السفاليريت على الكاديوم شديد السمية كعنصر أثر هام و الذي يمكن الحصول عليه من خلال صهر خامات الزنك حيث أنه و بسبب امتلاكه لخاصية تطاير عالية يمكن أن ينتشر بشكل سهل جداً في الوسط المحيط. يساعد الزنك في الوقاية من الصدأ كما يستخدم في البطاريات وفي إنتاج صفائح الزنك. يستخدم الكاديوم كواقى من الصدأ وفي البطاريات كما يستخدم في صناعة السبائك و تلوين الزجاج.

## CuFeS<sub>2</sub> الكالكوبيريت (Kupferkies)



اللون: أخضر حتى الأصفر، ذو بريق فلزي،

تكرر متعدد الألوان

المخدش: أسود

الكثافة: 4,1 – 4,3 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 3,5 – 4

قابلية الانفصام: غائبة

يعتبر الكالكوبيريت من أوسع خامات النحاس انتشاراً و أكثرها أهمية اقتصادية حيث يصل محتوى النحاس فيه حتى % 35 . يتشكل الكالكوبيريت مع البيروتيت والبنتلانديت نتيجة التبلور المبكر للصحارة السائلة كما يظهر في العروق المائية الحارة و يتواجد على هيئة رواسب زفيرية متكونة تحت الماء في أعراف وسط المحيط. الكالكوبيريت هو معدن واسع الانتشار (Durchläufermineral). نتيجة لتعرضه للتجوية تتشكل خامة تجوية غير متجانسة أو ما يعرف ب (Copper pitch ore, Tile ore) تتألف من اللازورد ، الكوفيليت (Kupferindigo) CuS ، الكوبريت Cu<sub>2</sub>O ، الملكيت Cu<sub>2</sub>[(OH)<sub>2</sub>/CO<sub>3</sub>] ، Cu<sub>3</sub>[OH/CO<sub>3</sub>]<sub>2</sub> ، البورنيت (Buntkupferkies) Cu<sub>5</sub>FeS<sub>4</sub> ، و الكثير من الليمونيت (Brauneisenerz) FeOOH بالإضافة الى معادن أخرى. لون الكالكوبيريت و هيئته غالباً ما تؤدي الى الخلط بينه و بين البيريت و بدرجة أقل مع الذهب.

FeS-Fe<sub>1-x</sub>S

البيروتيت (Magnetkies)

Ni, Co

المكونات الثانوية



اللون: لون برونزي فاتح، لون تكرر بني مطفي

، ذو بريق فلزي

المخدش: أسود رمادي

الكثافة: 4,6 – 4,7 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 4

قابلية الانقسام: واضحة

يظهر البيروتيت و البنتلانديت جنباً الى جنب في ودايع الصخور المنصهرة الكبرى مثل منطقة سودبوري (كندا) حيث يتم تعدينه هناك كخامة للنكل.البيروتيت تشكل في هذه الودائع نتيجة انفصال الأجزاء الكبريتيدية في الصهارة الحديدية المغنسيومية (المافية) في المراحل الأولى من التبلور.البيروتيت هو مادة فرومغناطيسية .

البيروتيت يمتلك أهمية اقتصادية متدنية نوعاً ما و يتم تعدينه على نطاق محدود جداً كخامة للحديد. يستخدم في صناعة الزجاج الأخضر (ميلانترت) و كمادة خام لصناعة بودرة الصقل الحمراء (Polierrot).

HgS

السنبار (الزنجفر)



اللون: أحمر ، بني أحمر، أسود

المخدش: أحمر غامق

الكثافة:  $8,1 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 2-2,5

قابلية الانقسام: تامة

يعتبر السنبار أهم خامات الزئبق مع محتوى Hg يصل الى % 87 . غالباً ما يفرز عند درجات حرارة منخفضة في البراكين الفتية مثل مونتني أمياتا (أومبريا)، هذا وتعتبر الخامات في منطقة المادين (إسبانيا) من أكبر و أقدم الخامات استغلالاً منذ العصور القديمة.

يستخدم في الرسم كصبغ (مادة ملونة) صعبة الذوبان في الماء. يستخدم الزئبق بشكل أساسي كمعدن سبائك، كما يستخدم كملغم فضة في طب الأسنان أو في غسل الذهب. بسبب السمية العالية للزئبق فإن استخدامه يتم تقييده بشكل أكبر. استخدامات الزئبق كسائل في موازين الحرارة أو في المصابيح الموفرة للطاقة أو كمواد علاج هي إما قد تمت بالفعل أو إنها من المفترض أن توضع قريباً قيد التطبيق.



الستبنييت (الأنثيمونيت)



اللون: رمادي رصاصي، تكدر متعدد الألوان

المخدش: رمادي رصاصي غامق

الكثافة:  $4,5 - 4,6 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 2 - 2,5

قابلية الانقسام: تامة جداً وفق {010}

خام هام للأنثيمون ، يتواجد أحياناً في عروق الخامات في وسط أوروبا، يتشكل الستبنييت في العروق المائية الحارة بدرجات حرارة تتراوح بين  $300 - 1000^\circ\text{C}$  . الودائع الأكبر تتوضع في الصين و اليابان .

يستخدم الأنثيمون كمعدن سبائك و كإضافات لبطاريات الرصاص كما يستخدم بحالته النقية في صناعة أشباه الموصلات و أجهزة الوقاية من الحرائق.

## MoS<sub>2</sub> المولبدنيت (Molybdanz) (Molybdanz)



صفة مميزة : صفيحات انفصام قابلة للتشكيل

غير مرنة

اللون: رمادي رصاصي ، ذو بريق فلزي

المخدش: رمادي غامق

الكثافة: 4,7 – 4,8 g/cm<sup>3</sup>

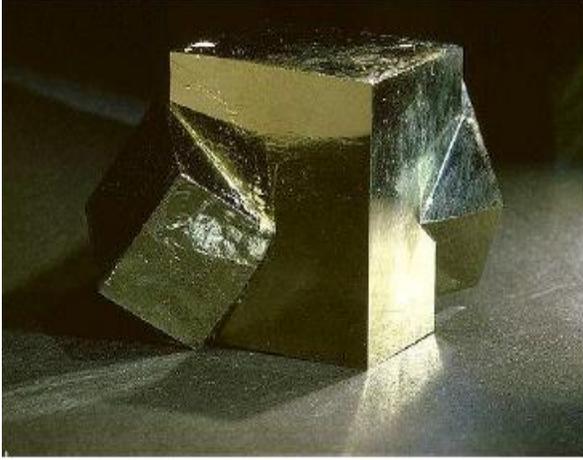
الصلادة: 1 – 1,5

قابلية الانفصام: تامة

يمتلك المولبدنيت غالباً محتوى محدود من عنصر الرنيوم الفلزي . يعتبر المولبدنيت خام الموليبيدينوم الأوحد و الأهم ، غالباً ما يتواجد بشكل ثانوي في عروق البجماتيت عالية الحرارة و ودائع النحاس الشست (الانديز). واحدة من الوازع الكبرى للمولبدنيت تتواجد في الخامات الحاوية على الكوارتز في منطقة Climax (Colorado) . غالباً ما يبني المولبدنيت تخلق تجانبي مع الولفراميت.

يستخدم المولبدنيت كمواد تشحيم. يستخدم Mo كمادة في عمليات إنهاء الصلب (الموليبيدينوم الصلب) . من حيث اللون و الهيئة يمكن أن يحصل التباس بين المولبدنيت و الغرافيت.

<b>FeS<sub>2</sub></b>	<b>البيريت (Eisenkies, Schwefelkies)</b>
<b>Ni, Co, Cu</b>	<b>المكونات الثانوية</b>
<b>Au</b>	<b>الشوائب</b>



صفة مميزة : غير شفاف (معتم)  
 اللون: بريق فلزي أصفر نحاسي  
 المخدش: أسود مائل للأخضر حتى البني  
 الكثافة : 5 g/cm<sup>3</sup>  
 الصلادة: 6,5 – 6  
 قابلية الانقسام: غير واضحة

البيريت معدن شائع جداً حيث يعتبر من المعادن التقليدية واسعة الانتشار (Durchläufermineral). تعتبر منطقتي Meggen و Rammelsberg من المخازن الهائلة للنوع الرسوبي و التي كانت قيد التعدين . يتشكل البيريت بشكل أساسي في المياه الحارة و بشكل أقل في الصخور النارية.

يمكن أن يستبدل الحديد في البيريت بكميات صغيرة من النيكل ، الكوبالت أو النحاس وفي بعض الأحيان أيضاً ببعض الشوائب من الذهب الفلزي. يمكن أن يكون البيريت مصدر مهم للذهب و غالباً ما يتم الخلط بينه و بين الذهب و من هنا جاءت تسميته بالذهب الكاذب ، إلا أن الذهب طبع أكثر من البيريت و هو قابل للسحب و مخدشه أصفر ذهبي.

نتيجة لنظام بلوراته المكعبي غالباً ما يتشكل البيريت على هيئة مكعبات تمتلك في الحالة الطبيعية حزوز(خطوط) تقليدية أو ما يعرف ب ( حزوز النمو أو حزوز التركيب). الى جانب المكعب يعتبر ثماني الأوجه من أشكال تبلور البيريت الأكثر شيوعاً إضافة الى توأمة متنوعة من هذه الأشكال.

يستخدم البيريت في صناعة حمض الكبريت ( $H_2SO_4$ ) ، و البقايا المحمصة الناتجة عن هذه العملية أو ما يعرف بجمر البيريت (kiesabbrand) فيستخدم في إنتاج الحديد و كبودرة صقل أو كمادة ملونة . تبعاً للمحتوى من المكونات الثانوية فإنه يتم تعدين البيريت أيضاً كخامة للنحاس أو الذهب.



## المركزيت



صفة مميزة : غير شفاف (معتم)

اللون: مقارنة مع البيريت أصفر مخضر ، ذو

بريق فلزي

المخدش: رمادي أخضر الى الأسود

الكثافة :  $4,8 - 4,9 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 6 - 6,5

قابلية الانقسام: غير تامة

يتشكل المركزيت عند درجات حرارة منخفضة تحت  $300^\circ\text{C}$  وغالباً ما ينشأ من المحاليل الحمضية. عند درجات حرارة فوق  $400^\circ\text{C}$  يتحول المركزيت المعيني القائم من خلال تبدلات في النظام البلوري الى البيريت المكعبي.

المركزيت غير واسع الانتشار كالبيريت حيث يتواجد في بعض العروق المائية الحارة (كلاوستال) و كدرنات concretions في الرواسب. مظهره الخارجي متنوع جداً يتراوح بين إفرازات هلامية صغيرة جداً تشبه حبات التوت (framboids) متواجدة في الرواسب الى توأميات متداخلة النمو معقدة جداً في الرواسب و الدرنات.

في المعادن ذات الهيئة البصلية (على شكل عقيدات) تبدي سطوح الكسر بنية داخلية تشعبية (شعاعية). يوجد أيضاً عدد كبير من الأنماط المشوهة (pseudomorphosis) للمركزيت تتبع أنماط التشكل لمعادن أخرى.

### 3. الهاليدات

#### هاليت، سلفيت، كارناليت، فلوريت

معادن هذه المجموعة عبارة عن الكلوريدات والفلوريدات من العناصر القلوية و العناصر الأرضية القلوية. البروم و اليود لا يشكلان مركبات خاصة كمعادن. تمتاز البنية البلورية لمعادن الهاليت، السلفيت و الفلوريت على وجه الخصوص بأنها مرتبة بأعلى تناظر ممكن. تبدي هذه المعادن قابلية انفصام واضحة وهي إما معادن عديمة اللون أو مشابهة (allochromatisch) أي يتم تلونها من خلال أيونات أو شوائب غريبة. من الخصائص الأخرى لمجموعة الهاليدات الكثافة المنخفضة للمعادن المفردة.

NaCl

الملح الصخري (الهاليت)

Br

المكونات الثانوية



صفة مميزة : شفاف، سهل الذوبان في الماء،

مذاق ملح

اللون: عديم اللون، أحياناً أحمر، أصفر، بني،

رمادي عند وجود إضافات

الكثافة : 2,1 – 2,2 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 2

يتلخ (يتلون) الهاليت بتواجد شوائب الليمونيت باللون الأصفر ، بتواجد شوائب الهيماتيت باللون الأحمر ، بتواجد شوائب الطين (الغضار) باللون الرمادي وبتواجد شوائب القار باللون الأسود البني. من خلال الإشعاعات النشطة يمكن أن تنشأ أخطاء في البنية البلورية والتي تظهر على شكل تبدلات في اللون الى الأزرق أو البنفسجي.

الملح الصخري هو المعدن الرئيسي في الرواسب التبخرية، والتي تتشكل عندما يكون تبخر مياه البحر في الأحواض البحرية شبه المغلقة أكبر من تدفق مياه الروافد إضافة للهطولات المطرية و عندما تترسب الأيونات المنحلة في مياه البحر كمركبات. يستخدم الهاليت كملح طعام وكأملاح للطرق لإذابة الثلج.

KCl	السلفيت
Rb, Cs	المكونات الثانوية

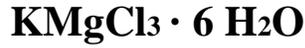


صفة مميزة : مذاق مر  
 اللون: مماثل للهاليت  
 الكثافة :  $1,99 \text{ g/cm}^3$  أقل مما هي عليه  
 في الهاليت  
 الصلادة: 2  
 قابلية الانقسام : تامة

أحد جوانب الاختلاف مقارنة مع الهاليت هو المذاق الملحي المر و تلون البوتاسيوم بلون اللهب الأحمر البنفسجي ، هذا ولا يمكن التمييز بين الهاليت و السلفيت من خلال اللون و الهيئة . يمكن أن يحتوي السلفيت على آثار من الروبيديوم Rb أو السيزيوم Cs .

كما هو حال الهاليت فإن السلفيت عبارة عن أحد معادن الرواسب التبخرية و هو يتكون فيها كأحد آخر المعادن . يمكن أن يتشكل بشكل أساسي من خلال عملية التبخر أو بشكل ثانوي من معدن الكارناليت .

تتمتع السلفيت و الكارناليت كخامات حاوية على البوتاسيوم بأهمية اقتصادية كبيرة حيث تستخدم على سبيل المثال في صناعة الأسمدة و الزجاج .



## الكارناليت



صفة مميزة : امتصاص عالي للرطوبة، تفسفر

(ذو وميض فسفوري) قوي

اللون: عديم اللون ، لكن غالباً أبيض ، وردي،

رمادي، أحمر، بني، أزرق أو أصفر، ذو بريق

دهني (شحمي)

الكثافة :  $1,6 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 1,5 – 2

قابلية الانقسام : لا يوجد

يتشكل الكارناليت كأحد آخر الأملاح في تسلسل عملية التبخر وهو ينتمي للأملاح البوتاس. يقتصر تواجده على وادئع الأملاح الرسوبية . يشكل الكارناليت مع كل من الهاليت (NaCl) ، الكينيت ( $\text{KMg}[\text{Cl}|\text{SO}_4] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) ، الكيزريت ( $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) إضافة إلى الأنهدريت ( $\text{CaSO}_4$ ) الملح الصخري البوتاسي (K-Salzgestein) المعروف بالكارناليتيت (ملح البوتاس) ، و هو يعتبر المصدر الأولي الأهم لملح البوتاس في وادئع أملاح البوتاس الألمانية. من المصادر الهامة أيضاً منطقة Suria (اسبانيا)، منطقة Kalusz (أوكرانيا) و منطقة بنغازي في ليبيا .

يملك البوتاس طعم شديد المرارة. في الجو المحيط يمتص الكارناليت الماء من الهواء و يسيل (يتميع) عند ترسب السلفيت. استبدال أنيون الكلور  $\text{Cl}^-$  بأنيون البروم  $\text{Br}^-$  يعطي صنف جديد هو كارناليت البروم Bromcarnallit و الذي كان يستخدم لوقت طويل في إنتاج البروم لكن هذه الطريقة لم تعد مجدية اقتصادياً. يستخدم الكارناليت في إنتاج سماد البوتاسيوم.



## الفلوريت (الفلورسبار)



اللون: يتواجد تقريباً بكافة الألوان ،غالباً أخضر ، بنفسجي، عديم اللون، أصفر، وردي

الكثافة :  $3 - 3,5 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 4

قابلية الانقسام : تامة

يوجد أسباب مختلفة لتنوع الألوان مثال وجود عناصر أثر متضمنة أو تعرض للإشعاعات النشطة.

يتشكل الفلوسبار إما بالتحول الغازي (pneumatolytisch) أو في المياه الحارة (hydrothermal) . يمكن أن يظهر على شكل طبقات متراففة في الرواسب. المناجم الكبرى قيد التعدين متواجدة في الصين.

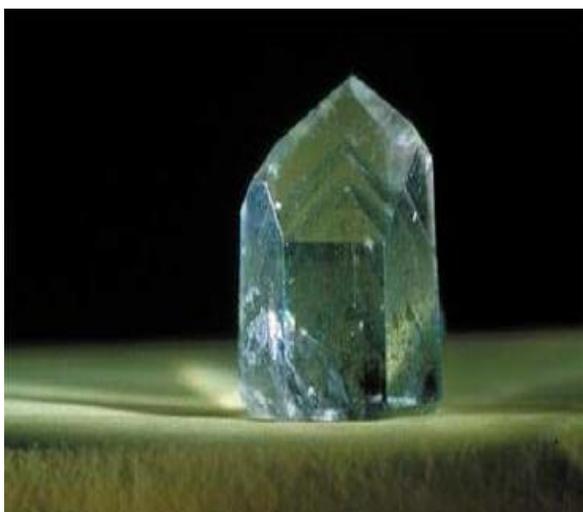
يستخدم الفلوريت لتخفيض قيمة نقطة الذوبان في الصناعات المعدنية وفي إنتاج مواد الفلور الكيميائية مثل حمض الهيدروفلوريك وفي صناعة الزجاج.

## 4. الأوكسيدات، الهيدروكسيدات

### 1.4. مركبات -XO<sub>2</sub>

الكوارتز، الروتيل ، كاسيتريت ، بيرولوسيت ، بتشيلند ، ولفراميت

الكوارتز	SiO <sub>2</sub>
----------	------------------



حف

الكوارتز المنخفض (حرارة تشكل أقل من 573 °C)  
صفة مميزة : بريق زجاجي، بريق دهني على سطوح  
الكسر

اللون: الكوارتز النقي عديم اللون

الكثافة : 2,65 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 7

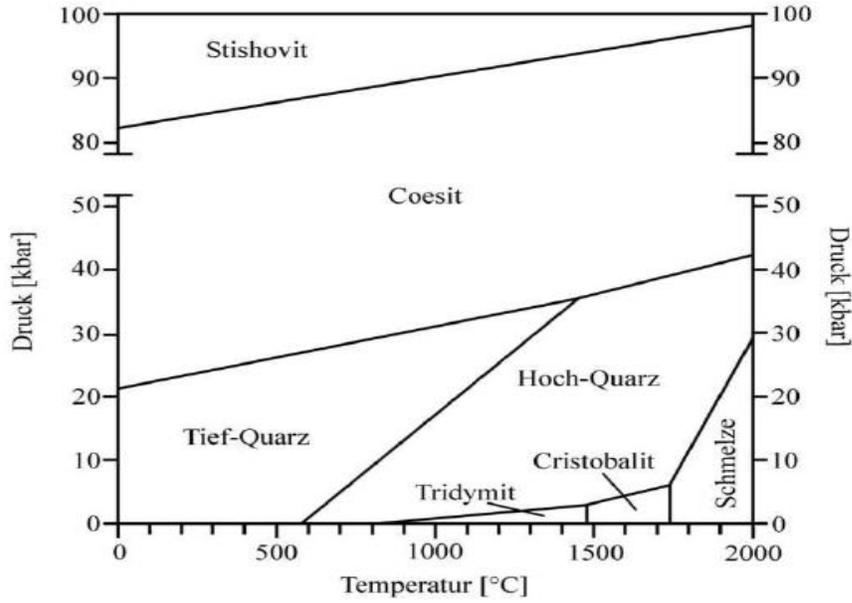
قابلية الانقسام : غائبة باستثناء بعض الحالات

ينتمي الكوارتز نتيجة لتركيبه الكيميائي الى الأوكسيدات حيث يتم إدراجه هناك في بعض الأحيان كمجموعة خاصة تدعى مجموعة الكوارتز. البناء الداخلي للكوارتز يتوافق مع البناء الداخلي للتكتوسيليكات (Gerüstsilikaten). نظراً للبنية المتوازنة كهربائياً فإنه لا يحصل إدماج للكثيونات في بنية الكوارتز. يعتبر الكوارتز من المعادن المشكلة للصخور ذات الانتشار الواسع جداً في مجمل القشرة الأرضية القارية. يتواجد في الصخور النارية الفلسيه (مثل الغرانيت) وفي الصخور المتحولة ( مثل صخر الناييس) وفي الرواسب الفتاتية ( مثل الحجر الرملي) ، حيث يكون فيها بشكل بلورات عديمة الأوجه و غالباً ما تكون معكرة قليلاً نظراً لوجود الشوائب. البلورات النقية (الشفافة) تظهر على شكل تشكيلات ثانوية في الشقوق العميقة أو بصورة تشكيلات أخرى في الفجوات.

## مجموعة الكوارتز، $\text{SiO}_2$

التحور	النظام البلوري	الكثافة ( $\text{g/cm}^3$ )
الكوارتز منخفض حرارة التشكل	نظام الثلاثي	2,65
الكوارتز مرتفع حرارة التشكل	نظام السداسي	2,53
التريديميت منخفض حرارة التشكل	نظام أحادي الميل	2,27
التريديميت مرتفع حرارة التشكل	نظام السداسي	2,26
الكريستوباليت منخفض حرارة التشكل	نظام الرباعي	2,32
الكريستوباليت مرتفع حرارة التشكل	نظام المكعب	2,20
الكوسيت	نظام أحادي الميل	3,01
الستيشوفيت	نظام الرباعي	4,35
الأوبال ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ )	غير متبلور	2,1 – 2,2

## مخطط p-T لتحورات الكوارتز $\text{SiO}_2$



يشير هذا المخطط الى قيم درجات الحرارة و الضغط التي تكون عندها التحورات مستقرة

يمكن تبعاً للون و الشكل بالإضافة لجوانب أخرى التمييز بين أنواع مختلفة للكوارتز منخفض درجة الحرارة مثال على ذلك :

- البلور الصخري (الكوارتز النقي): واضح ، شفاف
- الكوارتز المدخن: لون بني دخاني
- الكوارتز الأصفر أو السترين : لون أصفر ليموني
- الأميشت (الجشمت) أو الكوارتز البنفسجي : لون بنفسجي
- الكوارتز الوردي : لون أحمر وردي يحتوي على آثار من  $Ti^{4+}$  و  $Mn^{3+}$
- عين النمر Tiger's eye : تفزح لوني (التلؤلؤ) أصفر برونزي ، تحصل أكسدة من الاسبستوس الأمفوبولي المتضمن.
- الكوارتز الأبيض : لون أبيض مثل اللبن (البي)-عكر ، شوائب سائلة.
- الكوارتز الشائع: عديم اللون ، عكر، رمادي ، من خلال نمو تفرعات أخرى تظهر أصناف مثل الكوارتز المكسو Capped Quartz و الكوارتز النجمي Sternquarz .

يعتبر كل من التريديميت و الكريستوباليت نادري الوجود حيث يظهران في بعض الصخور البركانية و أحياناً في بعض الرواسب. الكوسيت و الستيشوفيت هما تحورات للكوارتز  $SiO_2$  عند الضغوط العالية، حيث يتشكل الستيشوفيت نتيجة الضغط العالي الذي يتولد في الفوهات الصدمية الناتجة عن اصطدام أحد النيازك بالأرض في حين يظهر الكوسيت في الصخور الفائقة الضغط.

الأوبال هو تحور هلامي (شبيه بالجيل) للكوارتز  $SiO_2$  يقتصر تواجده على القسم الرسوبي حيث يمكن إيجاده على صورة حجر النار (الصوان) و في بعض الأحيان كأحجار كريمة في منطقة Mergeln في استراليا.

تكون ألوان حجر الأوبال الكريم ناتجة عن تضمنه جيوب موجهه من جزيئات الماء  $H_2O$  و التي تسبب خاصية الأوبال (التلؤلؤ) التقليدية (Opalescence) .

يعتبر الكالسيدوني (العقيق أبيض) كوارتز ليفي منخفض الحرارة سيئ التبلور. تدعى ودائع الكالسيدوني في التجاويف السابقة للبراكين بالعقيق. يستخدم الكوارتز في صناعة الزجاج ، ومواد البناء (الرمل) كما يستخدم السيليكون المستخرج من الكوارتز في صناعة أشباه الموصلات.

TiO<sub>2</sub>

الروتيل

Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Nb, Ta

المكونات الثانوية



اللون: أحمر غامق، بني، أصفر، و بصورة

أقل أسود، نصف شفاف

المخدش: أصفر حتى البني

الكثافة: 4,2 – 4,3 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 6 – 6,5

قابلية الانقسام: تامة

تبدي بعض أنواع من الروتيل محتويات من Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Nb و Ta . يعتبر البروكيت و الأنازيم من منحورات الروتيل.

يعتبر الروتيل معدن واسع الانتشار Durchläufer حيث يتواجد في كثير من الصخور النارية الفلسيه ( مثل الغرانيت) وعادة ما يكون مرئياً فيها فقط على شكل معدن ملحق مجهري ، كما يتواجد بهيئة إبرية دقيقة في الصخور الرسوبية مثل صخر الأردواز ، و يتواجد أيضاً في الصخور المتحولة بالإضافة الى بعض الصخور البجماتية حيث يمكن أن تنمو بلورات أكبر حجماً ، كما يتواجد في الودائع الثانوية كمعدن ملحق في الرمال.

يعتبر الروتيل من أهم مصادر معدن التيتانيوم بعد الإلمينيت. يتم استخدام الروتيل المنتج صناعياً كصباغ أبيض (التيتانيوم الأبيض) كما يستخدم الروتيل الصناعي كبديل للألماس.



كاسيتريت (حجر القصدير)

المكونات الثانوية  $\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Ta}, \text{Zr}$



اللون: بني أصفر حتى البني الأسود، بريق

دهني على سطوح الكسر

المخدش: أصفر حتى عديم اللون

الكثافة:  $6,8 - 7,1 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 6 - 7

قابلية الانقسام: في بعض الأحيان سيئة

للغاية

يكون محتوى القصدير أقل من القيمة النظرية % 78,8 و ذلك يعود الى استبدال بعض أنيونات القصدير بأنيونات أجنبية مثل  $\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}, \text{Nb}, \text{Ta}$  و  $\text{Zr}$ .

يظهر الكاسيتريت في العروق البجماتية و عروق التبديل الغازي الصهاري (pneumatolytische Gänge) كما ينتشر بشكل واسع في الصخور المنصهرة القريبة من السطح ، كما يمكن أن يظهر في العروق المائية الحارة مع الكبريتيدات (بوليفيا). بصورة أساسية يظهر حجر القصدير عند تكون ما يعرف ب جرايزن-القصدير ( مثل الموجود في البرتغال). نظراً لارتفاع كثافته يتركز كمعدن ثقيل في الودائع الثانوية بصورة رواسب مكثية (غرينية) للقصدير كما هو الحال في ماليزيا، و هو يعتبر الخام الأهم للقصدير. تشكل البلورات المكتملة النمو أهرامات منعكسة رباعية مزدوجة. يستخدم القصدير في إنتاج صفائح القصدير وفي إنتاج لحام القصدير و كمواد في صناعة البرونز.

## بيرولوسيت (Braunstein, Schwarzer Glaskopf) $MnO_2$



اللون: رمادي غامق، ذو بريق فلزي، غير

شفاف

المخدش: أسود

الكثافة:  $4,7 - 5,1 \text{ g/cm}^3$  تبعاً لحالته

الصلادة: غير قابلة للتحديد، 2 - 6,5

قابلية الانقسام: واضحة

يمكن أن يصل محتوى المنغنيز الى % 63 . يعتبر البيرولوسيت ،المتواجد غالباً في تخلق جانبي مع الليمونيت، عنصر نموذجي من خامات التجوية ، كما يمكن أن يتشكل بالترسيب. كان البيرولوسيت من الخامات الهامة في حوض إيلفيلد في منطقة الهارتز. ينشأ عن البيرولوسيت المتشكل من مواد هلامية ما يعرف بالليمونيت الأسود Schwarzer Glaskopf . مخازن أكسيد المنغنيز Braunstein الأكثر شيوعاً تتواجد على شكل عقيدات المنغنيز في قاع المحيطات كلها تقريباً.

يعتبر خام المنغنيز الأهم. يستخدم المنغنيز كمعدن في صناعة الصلب و في صناعة السبائك وفي الصناعات الكيميائية.

## يورانييت (Pechblende, Uranpecherz) $UO_2$



صفة مميزة : نشاط إشعاعي قوي  
اللون: أسود ، ذو بريق نصف فلزي الى ما  
يشبه القار (الزفت)

المخدش: أسود بني

الكثافة :  $10,6 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5 – 6

قابلية الانقسام : واضحة

ترد الكثافة العالية لهذا الخام الهام لليورانيوم الى ارتفاع الوزن الذري لعنصر اليورانيوم U. يمتلك البتشلند المتكشل على هيئة عنقودية أو كلوية كثافة تتراوح بين  $8,5 - 6,5 \text{ g/cm}^3$ .

غالباً ما يرتبط  $UO_2$  بالرواسب القديمة العائدة للعصر البروتيروزوي. يرجع السبب في تكونه الى قابلية الذوبان الجيدة لليورانيوم في ست حالات هامة، مثلاً كمعقد اليورانيل ( $UO_2^{2+}$ ) و الذي يترسب بصورة  $UO_2$  خلال الفترة الانتقالية في الأوساط المختزلة. ودائع هامة أخرى هي تلك المرتبطة بالغرانيت (مثل منطقة Limosin في فرنسا) و أيضاً كعروق خامات في منطقة Erzgebirge.



## الولفراميت



اللون: أسود ، ذو بريق قزحي

المخدش: بني حتى الأسود البني

الكثافة:  $6,7 - 7,5 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 4 - 4,5

قابلية الانقسام : تامة

الولفراميت عبارة عن بلورة مختلطة مع كل من العنصرين الطرفيين في السلسلة البلورية فيريريت  $\text{FeWO}_4$  و هبيريت  $\text{MnWO}_4$  ، بحيث نادراً ما يظهر العنصر الطرفي النقي. يتم تصنيف الولفراميت في المراجع القديمة ضمن التنغستات (الفئة السادسة في تصنيف المعادن: و هي مجموعة الكبريتات، والكرومات، والمولبيدات والتنغستات)، لكن و بسبب البنية الداخلية فإن هذا المعدن ينتمي الى الأكسيدات 1:2.

يعتبر الولفراميت أحد أهم خامات التنجستن. يظهر الولفراميت في عروق التبديل الغازي الصحاري (pneumatolytische Gänge)، أو يكون مرتبط بالصخور البلوتونية الفلسية ( مثال منجم Panasqueira في البرتغال، الصين) بحالة تخلق تجانبي مع حجر القصدير.المعادن المرافقة هي المولبدانيت و البيريت.كما يمكن ايجاده بشكل ثانوي كمعدن ثقيل في الرواسب المكثية.

يستخدم التنجستن في صناعة السبائك وفي صناعة أسلاك التنجستن المستخدمة في المصابيح الكهربائية في حين يستخدم كربيد التنجستن في صناعة مثاقب خاصة لاستخراج العينات الجوفية.

## 4. الأوكسيدات، الهيدروكسيدات

### 2.4. مركبات $X_2O_3$

كوراندوم، هيماتيت، إمينيت

$Al_2O_3$	الكوراندوم (الشائع)
-----------	---------------------



اللون: عديم اللون حتى الرمادي المصفر أو المزرق (الكوراندوم الشائع)، للروبي (الياقوت) لون أحمر، للسافير لون أزرق  
الكثافة:  $3,9 - 4,1 \text{ g/cm}^3$   
الصلادة: 9  
قابلية الانقسام: سيئة جداً

يظهر الكوراندوم بشكل ملحق في البجماتيت و في صخور التحول النطاقي و صخور التحول التماسي. يتطلب تشكله تواجد محتويات عالية من الألمنيوم Al في الصخور. الأنواع الكريمة (الروبي و السافير) تظهر في الصخور المتحولة ( مثال في كينيا) و في الأحجار الجيرية، لكن غالباً ما تظهر بشكل ثانوي كجزء من الرواسب المكيثية للأحجار الكريمة (سيريلانكا) (معدن ثقيل، صلب جداً، مقاوم للعوامل الجوية). من خلال تواجد الكروم يصبح الكوراندوم أحمر ، ومن خلال تواجد مزيج من الحديد و التيتانيوم يصبح أزرق.

يستخدم الكوراندوم في عمليات الصنفرة في حين تستخدم القطع النقية منه كأحجار كريمة. يستخدم الكوراندوم الصناعي في صناعة المجوهرات.

## الهيماتيت (المغرة الحمراء، حجر الدم) $Fe_2O_3$



اللون: في الصفائح الرقيقة لون أحمر  
نصف شفاف ، ما عدا ذلك رمادي أو بني  
أحمر

المخدش: أحمر فاتح (بلون الكرز)

الكثافة:  $5.2 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5 - 6

قابلية الانقسام : جيدة

البلورات رمادية حمراء حتى الأسود الحديدي ، في بعض الأحيان تكدر (تلطخ) متعدد الألوان. كصباغ التلوين الأحمر يمنح الهيماتيت عدد كبير من المعادن و الصخور لونها الضارب للحمرة . تمتلك البلورات و المجاميع البلورية بريق فلزي و تكون غير شفافة ، تكون الكتل الترابية الهشة الكثيفة ملونة باللون الأحمر و ذات بريق غير فلزي (الخام العنقودي الأحمر).

يظهر الهيماتيت في العروق المائية الحارة و في عروق التبدل الغازي (pneumatolytischen Gänge) . و هو معدن ملحق في تشكيلات الحديد الشريطية ( مثال منطقة Minas Gerais في البرازيل، و منطقة Hamersley Range في استراليا).

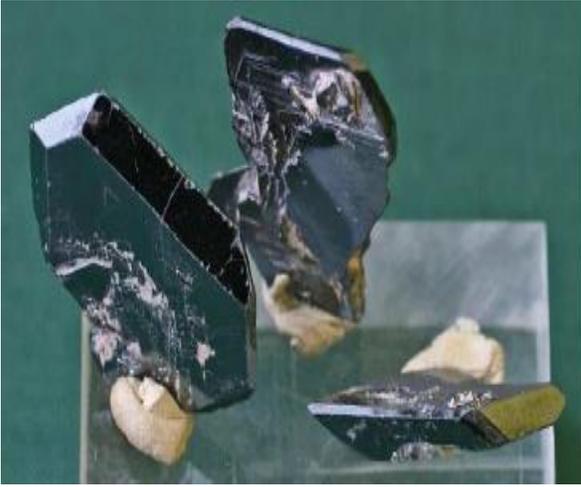
يتشكل بالتحول الاحلالي في الحجر الجيري ( مثال في جزيرة ألبا) أو يتكون بشكل ثانوي من الماجنتيت. بتأثير التجوية يتحول ببطء الى الخليط المعدني المعروف بالليمونيت. يحتوي الهيماتيت في الحالة النقية على نسبة حديد Fe تصل الى % 70. يعتبر الهيماتيت واحد من أهم خامات الحديد و يستخدم بشكل أساسي في انتاج الصلب و الحديد الصب (الزهر) ، و في حالات قليلة يستعمل كأساس للألوان.



إلمينيت (خام التيتانيوم)

Mn, V, Al

المكونات الثانوية



اللون: أسود بني حتى الرمادي، بريق فلزي

على السطوح حديثة الكسر

المخدش: أسود

الكثافة:  $4,5 - 5 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5 - 6

قابلية الانقسام : غائبة

يعتبر الإلمينيت أهم خامات التيتانيوم . يظهر كمنتج تبلور الصخور النارية المافية (منطقة Tellnes في النروج) ، وكمعدن ملحق في العديد من الصخور البركانية و يتواجد بشكل ثانوي كرمل إلمينيت على شواطئ البحار ( مثل سيريلانكا).

يستخدم التيتانيوم من بين أمور أخرى في صناعة الصلب و في صناعة السبائك المستخدمة في بناء الطائرات و كصباغ أسود اللون. نتيجة لاحتواءه على التيتانيوم فإنه نادراً ما يتم تعدين الإلمينيت كخام للحديد وذلك بسبب أن الخبث يصبح لزج خلال عملية الصهر.

## 4. الأوكسيدات، الهيدروكسيدات

### 3.4. مركبات $XY_2O_4$

سبنيل، ماجنتيت، كروميت

$MgAl_2O_4$	السبنيل
Fe, Cr, Ni	المكونات الثانوية



اللون: متواجد بألوان كثيرة شفاف الى نصف

شفاف ، غالباً ذو بريق زجاجي

الكثافة:  $3,8 - 4,1 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 7,5 – 8

قابلية الانقسام : سيئة للغاية

في الغالب يتواجد كمعدن واسع الانتشار Durchläufer في الصخور المتحولة (مثال في سيريلانكا و تايلند)، و كمعدن ثقيل بتراكيز ثانوية في الرواسب المكيثية .

تتواجد أنواع مختلفة منه نتيجة لتعدد الألوان ، يعتبر السبنيل الكريم ذو اللون الأحمر الغامق من الأحجار الكريمة الثمينة و يحمل اسم pleonaste .



## الكروميت (خام الكروم)



اللون: أسود حتى الأسود البني

المخدش: بني غامق

الكثافة:  $4,6 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5,1

قابلية الانفصام : غائبة

يتراوح بريق الكروميت بين البريق نصف الفلزي و البريق الفلزي. يكون الكروميت في الشظايا الرقيقة نصف شفاف، يظهر في الصخور فوق المافية على شكل تراصفات طبقية أو بصورة أعشاش. يتم فرز الكروميت كمعدن مافي متمايز مبكر أي أنه يفصل من الماغما عند بدء تبلورها و نظراً لكثافته العالية يتركز وجوده في المناطق العميقة من غرف الصهارة (مثال مجمع بوشفيلد في جنوب أفريقيا). يمكن أن يظهر الكروميت في صخور السرينتينييت (serpentinite)، كما يظهر مع البلاتين النقي على هيئة معدن رسوبي مكثي(غريني) (mineralplacer).

يعتبر الكروميت أهم خامات الكروم. يستخدم الكروم في معالجة و تحسين الفولاذ كما يستخدم في عمليات الطلاء بالكروم.



ماجنتيت

Mg, Al, Cr, Ti

المكونات الثانوية



صفة مميزة : نفاذية مغناطيسية ( فرومغناطيسية )  
عالية

اللون: أسود، بريق فلزي باهت

المخدش: أسود

الكثافة :  $5,2 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 6

قابلية الانفصام : غير مباشرة

إجمالي محتوى الحديد يصل حتى % 72,4، في كثير من الأحيان بعض المغنيزيوم Mg أو المنغنيز Mn بدلاً من الحديد. من الخامات الهامة للماجنتيت هي تلك المتكونة كمنتجات تمايز ثانوية للصخور النارية المافية، و من الخامات الهامة أيضاً تلك التي يشكلها الماجنتيت مع الهيماتيت في التكوينات الحديدية الشريطية (BIF)، إضافة للخامات المتشكلة من التحول التماسي للصخور المعدنية في صخر السكارنين (Skarnen). كما يمكن العثور عليه كمعدن ملحق جانبي في العديد من الصخور، تتوضع الخامات الكبيرة للماجنتيت في شمال السويد منطقة (كيرونا).

نظراً لانتشاره الواسع وخواصه المغناطيسية فإنه يستخدم في إعادة إنشاء سجل الحقل المغناطيسي للكرة الأرضية أو ما يعرف ب(palaeomagnetism). يعتبر الماجنتيت بمحتواه من الحديد و الذي يمكن أن يصل حتى % 70 ثاني أهم خامات الحديد بعد الهيماتيت .

## 4. الأوكسيدات، الهيدروكسيدات

### 4.4. الهيدروكسيدات

غوتيت، لبيدوكروسيت

الخلائط المعدنية: الليمونيت، البوكسيت

$\alpha\text{-FeOOH}$	غوتيت (خام الحديد الإبري)
Si, P, Mn, Al, V	المكونات الثانوية



اللون: بني أسود حتى الأصفر الفاتح، عاتم أو ترابي، في الشظايا بني نصف شفاف المخدش: بني حتى الأصفر

الكثافة:  $4,5 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5 – 5,5

قابلية الانقسام : تامة

يعتبر من التشكيلات التقليدية الناتجة عن عمليات التجوية التي تتعرض لها معادن حديد أخرى ، كما يقوم بتكوين الصخور الحديدية الرسوبية. بكشل خاص في " الغطاء الحديدي أو ما يعرف بـ Gossan" في الودائع الرئيسية لخام الحديد و الكبريتيد. ينخفض محتوى الحديد فيه و البالغ % 62 من خلال ماء التبلور الشعري المتضمن و الممتص. قديماً كان يعتبر من الخامات الهامة للحديد ، لكن في الوقت الراهن تدنت أهميته الاقتصادية. يتواجد على سبيل المثال في منطقة سالسغيتز في ألمانيا.



ليدوكروسيت (Rubinglimmer)



اللون: في الشظايا أحمر مصفر نصف

شفاف، بريق فلزي

المخدش: أصفر بني حتى البني البرتقالي

الكثافة:  $4,0 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5

قابلية الانقسام : تامة

يتمثل في العديد من الخواص مع الغوتيت لكنه أكثر ندرة منه. يظهر كنتاج عن عملية التجوية للمعادن و الصخور الحاوية على الحديد لا سيما في " الغطاء الحديدي أو ما يعرف بـ Gossan" في الودائع الرئيسية لخام الحديد و الكبريتيد. يتم تعدينه كخام للحديد في أماكن تجمع محلية.

## الخلاط المعدنية: الليمونيت (خام الحديد البني)



اللون: بني فاتح حتى البني الغامق

المخدش: بني أصفر

الكثافة:  $ca. 4 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5 – 5,5

الليمونيت عبارة عن خليط من معادن  $\text{FeOOH}$ ، المعادن الطينية و  $\text{Fe(OH)}_3$  غير المتبلورة . يتشكل نتيجة تجوية المعادن الحديدية ويتواجد بالعادة في مناطق الغطاء الحديدي أو ما يعرف بـ Gossan. في المناطق ذات المناخ الاستوائي أو شبه استوائي يتشكل الليمونيت نتيجة تجوية الكربونات و السيليكات.

يمكن أن يتواجد على هيئة خبت بركاني (لاية منخرية) أو على شكل معدن عنقودي بني ( Brauner Glaskopf) أو بشكله التقريبي المباشر كليمونيت (خام الحديد البني).

محتواه من الحديد غالباً محدود % 30 – 40 . لا يتمشى مع إضافات الكروم في عمليات الصهر في الأفران. يستخدم كصباغ لوني (مغرة بنية).

البوكسيت

الخلاط المعدنية:

Ga

المكونات الثانوية



اللون: غالباً بني، بني أصفر

المخدش: بني أصفر

الكثافة: متغيرة

الصلادة: متغيرة

البوكسيت هو عبارة عن خليط معدني معقد يحتوي بشكل أساسي على الجبسيات ( $Al(OH)_3$ ) ، دياسبور ( $\gamma-AlOOH$ ) و البيوميت ( $\alpha-AlOOH$ ) إضافة الى معادن الطين و الليمونيت.

يتشكل البوكسيت كمخلفات تجوية، والتي تنشأ تحت شروط مناخية استوائية معينة من الصخور النارية المافية بعد الإزالة التامة ل  $SiO_2$  ، وإزالة أجزاء كبيرة من الحديد و الكاتيونات الأخرى. في الوقت الراهن يتم استخراج كميات كبيرة من البوكسيت في منطقة كوينزلاند (أستراليا) وفي البرازيل.

يستخدم البوكسيت في الحصول على الألمنيوم، كما يستخدم في صناعة الباقوت الصناعي و السيراميك الخاص إضافة الى استخدامه في صناعة وسائل الجليخ و الصقل.

## 5. الكربونات

كالسيت، رودوكروزيت، سيديريت، ماجنزيت، أراجونيت،

دولوميت، ملاكيت، أزوريت

نصف القطر الأيوني

1,06 Å	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	كالسيت
0,91 Å	Mn <sup>2+</sup>	MnCO <sub>3</sub>	رودوكروزيت
0,83 Å	Fe <sup>2+</sup>	FeCO <sub>3</sub>	سيديريت
0,83 Å	Zn <sup>2+</sup>	ZnCO <sub>3</sub>	سيمثسونيت
0,78 Å	Mg <sup>2+</sup>	MgCO <sub>3</sub>	ماجنزيت
1,06 Å	Ca <sup>2+</sup>	CaCO <sub>3</sub>	أراجونيت
0,78 Å	Mg <sup>2+</sup>	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	دولوميت



الكالسيت ( كالكسبار )

Fe, Mn, Mg, Sr

المكونات الثانوية



صفة مميزة : انكسار مضاعف شديد

اللون: بالعموم عديم اللون، أبيض حليبي،

نصف شفاف حتى الشفاف

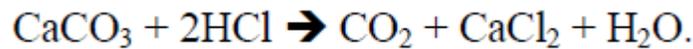
الكثافة : 2,71 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 3

قابلية الانقسام : تامة

يعتبر الكالسيت من المعادن المكونة للصخور في الأحجار الكلسية ،الرخام و الكربونات و يمكن أن يتلون باللون البني حتى الأسود عندما يكون حاوياً على شوائب عضوية. يمكن أن يظهر في السنتر الجيري (calcareous sinter) و في رواسب الينابيع الحارة كمعدن ملحق. كما يملئ الفراغات بين النوازل و الصواعد في الكهوف و يكون متواجداً ضمن الرواسب المعدنية كمعدن غث ( شوائب).

يتم ترسيب الكالسيت كيميائياً بفعل ظاهرة التبخر أو ينشأ بشكل حيوي على هيئة الأجزاء الصلبة من الكائنات الحية. يتفاعل بشدة مع حمض الهيدروكلوريك (المخفف) لتشكيل غاز ثاني أكسيد الكربون:





رودوكروزيت (سبار المنغنيز)



اللون: وردي شاحب على الأحمر الوردي  
حتى لون التوت (سبار المنغنيز)

الكثافة:  $3,5 - 3,6 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 3,5 - 4

قابلية الانقسام : تامة

المخدش: أبيض

يتواجد على هيئة معدن غث (شوائب) في العروق المائية الحرارية كما هو الحال في منطقة Butte في ولاية مونتانا في الولايات المتحدة الأمريكية . منتج لمنطقة التأكسد. يشكل تخلق جانبي مع الباريت ، الفلوريت ، الكالسيت إضافة الى معادن أخرى.

يشكل سلسلة محلول جامد (solid solution series) مع السميثسونيت ( $\text{ZnCO}_3$ ) . يتم استخدامه بشكل نادر في صناعة المجوهرات ، نظراً لمحتواه المرتفع من المنغنيز % 47 ca. فإنه يتم استغلاله كخام للمنغنيز و بكميات تعدين معتبرة.



سبيريت (Eisenspat)

Mn, Ca, Mg

المكونات الثانوية



اللون: أصفر رمادي، بني غامق

الكثافة: 3,7 – 3,9 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 3,5 – 4

قابلية الانقسام : تامة

في العادة يبلغ محتوى الحديد في السبيريت % 48,2 مع محتوى إضافي من المنغنيز و بعض النحاس و أحياناً بعض المغنيسيوم. يشكل امتزاج محدود مع الرودوكروزيت (MnCO<sub>3</sub>) ، كما يشكل مع الماجنيزيت سلسلة محلول جامد متكاملة (solid solution series).

يتواجد في العروق المائية الحارة، أحياناً بشكل إحلالي، متحول أو رسوبي. يتحول بتأثير العوامل الجوية الى الليمونيت. يشكل محلياً خامات هامة للحديد نتيجة لسهولة صهره.

## ماجنزيت

## MgCO<sub>3</sub>



اللون: عديم اللون ، أبيض رمادي-أبيض  
مصفر ، أسود رمادي على سطوح الانقسام

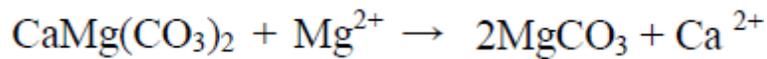
الكثافة: 3,0 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 4 – 4,5

قابلية الانقسام : تامة

يمتلك هذا المعدن بريق زجاجي أو بريق لؤلؤي ، يطلق على الماجنزيت الحاوي على الحديد اسم برونيريت.

يتواجد على هيئة سبار الماجنزيت مترافق مع الدولوميت و الحجر الجيري كما يتواجد على شكل ماجنزيت هلامي أو يتواجد كمنتج تحلل صخور السرينتين الحاوية على الماجنزيت. كما يتواجد في الودائع الإحلالية الكبيرة نتيجة تفاعل الدولوميت وفقاً للصيغة التالية:



من خلال عملية التسخين عند درجة حرارة تقارب 1800 °C يتحول الماجنزيت الى البريكلاز (MgO) . يستخدم الطوب الناتج عن عملية التسخين هذه في تبطين أفران الصهر وذلك بسبب مقامة MgO العالية للحرارة.

لا يستخدم الماجنزيت في الحصول على المغنيسيوم حيث يتم الحصول على هذا الأخير من مخلفات عملية معالجة أملاح المغنيسيوم و الكالسيوم K-Mg-Salz أو يتم استخلاصه من مياه البحر .



أراجونيت



المكونات الثانوية



اللون: عديم اللون أو ملون بشكل بسيط ،  
نصف شفاف

الكثافة:  $2,95 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 3,5 – 4

قابلية الانفصام : غير واضحة

نظراً للبنية البلورية المكثفة للأراجونيت فإنه يبدي صلادة أعلى إذا ما قورن بالكالسيت الذي يملك كثافة مماثلة لكثافة الأراجونيت.

يعتبر الأراجونيت التحور أو الصيغة الغير مستقرة ل  $\text{CaCO}_3$  لذلك فإن تواجده في الطبيعة أكثر ندرة مقارنة بالكالسيت. يظهر الأراجونيت في تجاوير الصخور البركانية ، يتشكل كيميائياً في القشور المتلبدة (المتراصة) أو كحبيبات صخرية (بجوار الينابيع الحارة مثلاً) ، ويتشكل عضوياً على هيئة الطبقة اللؤلؤية (اللؤلؤ) و في أصداف العديد من الكائنات البحرية. يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك المخفف بشكل مماثل للكالسيت.



الدولوميت (Bitterspat)

Fe, Mn

المكونات الثانوية



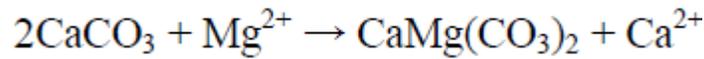
اللون: عديم اللون، أبيض، أيضاً مصفر حتى البني ، في بعض الأحيان أسود بني

الكثافة:  $2,9 - 3 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 3,5 - 4

قابلية الانقسام : تامة

على عكس الكالسيت بالكاد يتأثر الدولوميت بالأحماض المخففة الباردة . يعتبر الدولوميت مع الكالسيت من المعادن الهامة المشكلة للصخور في الأحجار الجيرية (الكلسية) و الرخام. يظهر كمنتج إزاحة حلولي في الصخور الجيرية حيث يمكن أن يتم فيها استبدال نصف أنيونات الكالسيوم بالحد الأقصى بأنيونات المغنسيوم. يطلق على هذه العملية بالتدلتمت. الدولومينات هي منتجات عملية النشأة المتأخرة (التحور اللاحق) في النظم المفتوحة ذات التدفقات المائية البحرية وفقاً للتفاعل التالي:



يستخدم هذا المعدن كمادة خام في صناعة مواد البناء و المواد المقاومة للحرارة. و نظراً للمسامية العالية التي يمكن أن يتمتع بها فإنه يشكل مخازن صخرية مثالية للكربون.



ملاكيت



اللون: أخضر غامق حتى الأخضر الفاتح ،

بريق زجاجي أو حريري

الكثافة:  $4 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 3,5 – 4

قابلية الانقسام : واضحة

الملاكيت من معادن النحاس الواسعة الانتشار مع محتوى نحاس يصل % 57,4. يظهر كمعدن ثانوي في تخلق تجانبي مع الأزوريت في مناطق الأكسدة في خامات النحاس الرئيسية ،يكون تواجد الملاكيت أكثر شيوعاً من الأزوريت. كما يتواجد أيضاً على صورة تشربات من الصخور الرملية.

يستخدم الملاكيت كمجوهرات وفي صناعة أغراض الزينة و فقط بشكل موضعي كخام مهم للنحاس.



أزوريت



اللون: أزرق سماوي حتى الأزرق الفاتح ،

بريق زجاجي

الكثافة:  $3,8 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 3,5 – 4

قابلية الانقسام : تامة

الأزوريت يظهر بشكل ثانوي كمنتج تأكسد لمناطق الأكسدة في خامات النحاس و كتشربات من الصخور الرملية. من خلال امتصاص الماء يتحول الأزوريت في الغالب الى الملاكيت. يوجد نمط مشوه (مسخ) من الملاكيت على هيئة الأزوريت. في العصور الوسطى كان يستخدم كصباغ لوني ، يستخدم بشكل محدود جداً في صناعة المجوهرات.

## 6. الكبريتات، التتغستات

باريت، أنهيدريت، جبس، شيليت

<b>BaSO<sub>4</sub></b>	<b>الباريت (Schwerspat)</b>
<b>Sr</b>	<b>المكونات الثانوية</b>



اللون: عديم اللون ، أبيض أو بألوان باهتة  
مختلفة

الكثافة: 4,5 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 3 – 3,5

قابلية الانقسام : تامة

يمتلك البارييت كثافة عالية بشكل ملحوظ مما يجعلها قيمة مهمة في عملية التشخيص و الكشف عن هذا المعدن. في الغالب بلوراته حبيبية أو ورقية أو صفائحية (لوحية). خلال تشكل البارييت يمكن للسترنشيوم Sr وبشكل محدود أن يستبدل الباريوم Ba.

الباريت من المعادن واسعة الانتشار، يظهر في المياه الحارة عند درجات حرارة منخفضة و هو جزء من عروق الخامات وودائع الكبريتيد البركانية المغمورة تحت سطح البحر، في المناطق الطبقيّة أو الأعشاش يمكن للباريت أن يتلون باللون الأسود الرمادي نتيجة لوجود محتوى من القار . يصنع تخلق تجانبي مع الخام العنقودي الأحمر و مع الفلورسبار والكالكوبايريت. كما يتواجد بشكل رسوبي في الحجر الجيري

والحجر الرملي والسجيل (طين صفحي متحجر). في ألمانيا عمليات التعدين حالياً نشطة في مناطق ( Oberwolfach/ Schwarzwal ، Grube Clara ) كما تجري عمليات بناء مناجم أخرى في (Niederschlag / Erzgebirge) .

الباريت هو مكون لبيتون الباريوم و الذي يستخدم في الطب كمادة عتيمة للأشعة غالباً على شكل مسحوق الباريوم . يستخدم في الوقاية من الأشعة في المفاعلات كما يستخدم في تثقيل مياه الشطف ( استقرار ثقب الحفر) في عمليات التنقيب عن النفط و الغاز كما له استخدامات أخرى في صناعة الورق و مستحضرات التجميل.



## أنهيدريت



صفة مميزة : على سطوح الانفصام بريق لؤلؤي

اللون: عديم اللون، أبيض عكر ، في الغالب

مزرق ، رمادي أو أحمر

الكثافة :  $2,9 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 3 – 3,5

قابلية الانفصام : أجسام انفصام مكعبية الشكل

يمكن لهذا المعدن أن يكون شفاف حتى نصف الشفاف ، لكنه في معظم الأحيان عكر و رمادي . يتواجد في الرواسب والصخور الملحية . تحت تأثير عوامل التجوية يتحول الأنهيدريت عند امتصاص الماء ببطء الى الجبس ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ، مما يؤدي الى زيادة في الحجم تصل الى % 60 .

يستخدم الأنهيدريت في إنتاج حامض الكبريتيك ، و كإضافات لمواد البناء . يظهر الأنهيدريت بشكل خاص في السلاسل الملحية.



الجبس



اللون: عديم اللون ، في الغالب مصفر ،

محمر

الكثافة:  $2,3 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 2

قابلية الانقسام : يشكل صفائح انفصام مرنة

يمكن للمعدن أن يكون شفاف حتى نصف الشفاف ، كما يمكن أن يكون رمادي حتى البني نتيجة وجود شوائب من القار. يمتلك الجبس نظام تبلور أحادي الميل. البلورات غالباً ما تكون صفائحية و تتواجد على شكل فجوات صخرية مبطنة بالبلورات (geodes) أو على هيئة شعب كريستالية في التجاويف. تعرف صفائح الانفصام الشفافة الكبيرة في الحجم باسم السيلينات.

يظهر في الودائع الملحية و يتكون بشكل ثانوي من الانهيدريت نتيجة لامتصاص الماء . يشكل الجبس تحجرات في الطين أو المارل كما يمكن العثور عليه نتيجة عملية تزه (تفتتت البلورات لفقدان ماء التبلور) من المحاليل الحاوية على الكبريتات في الصحارى الملحية.

نتيجة للتسخين يفقد الجبس ماء التبلور و يتحول الى أشباه الهيدرات ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ ) . تستخدم أشباه الهيدرات في صناعة نماذج الجص و ملاط الجص (استكو) المستخدم في الديكور إضافة الى ألواح الجبس. تتنوع درجات حرارة الاحتراق لعمليات التحكم بالفواقد المائية تبعاً للاستخدامات اللاحقة. يستخدم المرمر (أباستر) في الأعمال الحرفية اليدوية.



## شيليت



صفة مميزة : بلورات مشورية

اللون: مصفر، مخضر، أو أبيض رمادي،

حواف نصف شفافة

الكثافة :  $6 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 4,5 - 5

قابلية الانفصام : واضحة

ينشأ الشيليت كمعدن تخلق تجانبي لحجر القصدير أو ينشأ بغماتياً أو بفعل التحول الغازي الصحاري أو بفعل التحول الغازي التماسي كما يظهر على شكل طبقات متراسة في الصخور الجيرية المتحولة غير النقية المعروفة باسم (Skarne) .

يمكن ملاحظة تضوء (توهج) أبيض مزرق شديد عند تعرض الشيليت لأشعة فوق بنفسجية قصيرة الموجة في الظلام . تشكل خاصية التضوء هذه من الناحية العملية طريقة هامة في التشخيص. كما يساعد أيضاً في عملية تحديد و تشخيص هذا المعدن كثافته العالية بشكل ملحوظ. يعتبر ثاني خامات التنغستن أهمية بعد الولفراميت.

## 7. الفوسفات

### الأباتيت



### الأباتيت



صفة مميزة : بلورات مشورية

اللون: عديم اللون ، بعدد كبير من الألوان  
الهائلة

الكثافة :  $3,2 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5

قابلية الانفصام : غير واضحة

يمكن أن يظهر باللون الأخضر المصفر ، البني، الأخضر الأزرق، البنفسجي، و ألوان أخرى. يظهر بريق زجاجي على العديد من السطوح البلورية ، على سطوح الكسر يظهر بريق شمعي (دهني). يكون هذا المعدن شفاف بشكل تام أو بحواف نصف شفافة.

ينتشر بشكل واسع كمكون صخري ملحق في التخلقات التجانبية. كما يوجد تركيز للأباتيت في ودائع الفوسفات الرسوبية . يتواجد كمادة في العظام الأحفورية و الأسنان و الروث (البراز) (Guano) و كمكون في العروق البغماتية و عروق التحول الغازي و في التشربات . يمكن أن تتواجد بلورات أباتيت واضحة في الشقوق و التجاويف. يستخدم كمادة خام للأسمدة و في الحصول على حمض الفوسفوريك والفوسفات .

## 8. السيليكات

في السابق كانت تعتبر السيليكات أملاح لحمض السيليسيك  $H_4SiO_4$  . لكن مثل هذه الأحماض لا تتواجد في الطبيعة و بالتالي لا يمكن للسيليكات أن تنتج عنها. على الرغم من ذلك فإن كلمات مثل "حمض السيليسيك" أو "سيليسي" مازالت تستخدم في اللغة الألمانية . حيث يشير مصطلح أحماض السيليسيك دوماً لمجموعة  $SiO_4^{4-}$  التي تنشأ منها جميع السيليكات.

تشكل السيليكات مجموعة المعادن الأكثر انتشاراً على سطح الأرض. يرجع هذا الانتشار الواسع الى التواجد الكوني الكبير جداً للعنصرين الكيميائيين Si و O مقارنة مع بقية العناصر الكيميائية الأخرى المجاورة بحيث كان بالإمكان أن تتشكل عباءة السيليكات في المراحل المبكرة من تراكم كوكب الأرض، و التي شكلت بدورها على مر الزمن الجيولوجي قشرة الأرض.

يشكل السيليكون أربعة روابط عالية الاستقرار مع الأكسجين. حيث ترتبط كل ذرة من ذرات الأكسجين الأربعة برابطة واحدة مع ذرة السيليكون. الروابط بين ذرة السيليكون و ذرات الأكسجين الأربعة تتوضع على زوايا رباعي سطوح ، بحيث تكون ذرة السيليكون متوضعة في المركز المادي لرباعي السطوح . لتمثيل السيليكات في المستوي يتم الإسقاط باتجاه أحد زوايا الرباعي على السطح القاعدي المقابل. حيث نحصل باتجاه المسقط العلوي على مثلث يتوضع السيليكون في مركزه و تتوضع ذرات الأكسجين الثلاث في رؤوسه. ويجب الانتباه هنا الى أن الخطوط المشكلة لأضلاع المثلث الناتج لا تمثل الروابط بين ذرات السيليكون و الأكسجين، عوضاً عن ذلك تحدد هذه الخطوط فقط مجموعة  $SiO_4$  باعتبارها وحدة بناء هيكلية للسيليكات البسيطة و المعقدة. يمكن التعامل مع المثلثات باعتبارها رباعيات سطوح مسقطة مع الانتباه دوماً الى أنه توجد رابطة أكسجين تنبثق من المستوي بزواوية قائمة.

بالنظر الى أن كل ذرة من ذرات الأكسجين ترتبط برابطة واحدة مع السيليكون فإنها تمتلك رابطة تكافؤ حرة أخرى خارج رباعي السطوح . يمكن لهذا التكافؤ أن يحقق بطريقتين مختلفتين: إما عن طريق كاتيونات مثل  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Al^{3+}$  و غيرها. أو عن طريق الارتباط برباعي سطوح  $SiO_4$  أخر، في هذه الحالة ترتبط ذرة أكسجين مع رباعي السطوح الجديد في الزاوية المشتركة و تكون ذرة الأكسجين هذه منتمية لكلا رباعي السطوح المتجاورين بمقدار النصف لكل منهما.

تمتلك الوحدة الصيغة  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$  . تنتج النسبة  $\text{Si}:\text{O} = 2:7$  . يمكن للروابط  $-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$  أن تتمدد مكانياً .  
صيع البلمرة هذه تشكل أساس تصنيف السيليكات الى مجموعات السيليكات المختلفة مثل النيوسيليكات و  
السيليكات الحلقية و غيرها .

في النيوسيليكات تكون روابط الأوكسجين التكافؤية الأربعة مشبعة من  $\text{Mg}^{2+}$  و  $\text{Fe}^{2+}$

الصيغة الكيميائية :  $\text{M1 M2 SiO}_4$

مثال : الأوليفين  $\text{Mg Fe SiO}_4$

في السوروسيليكات يرتبط رباعيي سطوح  $\text{SiO}_4$  بذرة أكسجين واحدة ، يتم إشباع روابط الأوكسجين  
التكافؤية الستة الباقية بكاتيونات مثل  $\text{Ca}(\text{M1})$ ,  $\text{Fe}$  أو  $\text{Al}(\text{M2})$  .

الصيغة الكيميائية:  $\text{M1}_2 \text{M2 Al}_2 [(\text{OH}) | \text{O} | / (\text{SiO}_4) (\text{Si}_2\text{O}_7)]$

مثال : الكالينوزيسيت، إبيدوت  $[\text{Ca}_2 (\text{Al,Fe}) \text{Al}_2 [(\text{OH}) | \text{O} | / (\text{SiO}_4) (\text{Si}_2\text{O}_7)]$

السيليكات الحلقية تشكل حلقات كبيرة متناهيه من رباعيات السطوح ، في حالة ست رباعيات سطوح يتبقى  
12 رابطة تكافؤية ليتم شغلها من قبل الكاتيونات .

الصيغة الكيميائية:  $\text{M1M2} [\text{Si}_6\text{O}_{18}]$

مثال : البيريل  $[\text{Al}_2 \text{Be}_3 \text{Si}_6\text{O}_{18}]$

الآينوسيليكات تتألف من عدد غير متناهي من الروابط بين رباعيات سطوح  $\text{SiO}_4$ - الممتدة باتجاه واحد

الصيغة الكيميائية:  $\text{M1 M2} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

مثال : ديوبسيد  $[\text{Ca Mg Si}_2\text{O}_6]$

الآينوسيليكات المضاعفة

الصيغة الكيميائية:  $\text{X}_2 \text{Y}_5 [(\text{OH})_2 / \text{Si}_8\text{O}_{22}]$

مثال: الاكتينوليت  $[\text{Ca}_2 \text{Mg}_5 [(\text{OH})_2 / \text{Si}_8\text{O}_{22}]$

الفيلوسيليكات تحتوي على عدد لا نهائي من الطبقات الثنائية البعد لرباعيات السطوح  $\text{SiO}_4$ - المتصلة

الصيغة الكيميائية:  $\text{M}_1\text{M}_2\text{4}[(\text{OH})_4/\text{Si}_8\text{O}_{20}]$

مثال: التلك  $\text{Mg}_6[(\text{OH})_4/\text{Si}_8\text{O}_{20}]$

مثال: الميكا  $\text{K}_2\text{Al}_4[(\text{OH})_4/\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{20}]$

في التكتوسيليكات تكون رباعيات السطوح  $\text{SiO}_4$  مترابطة بحيث تشكل هياكل حجمية ثلاثية الأبعاد، يتم إشباع روابط التكافؤ لذرات الأكسجين إما بالقلويات أو أكاسيد معادن الأتربة القلوية.

$\text{M}_2[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$

الصيغة الكيميائية  $\text{M}_1[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$

أنورثيت  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$

مثال: ألبيت  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$

## 8. السيليكات

### 8.1. النيزوسيليكات

أوليفين، الزركون، جارنت، أندلوسيت، سليمينيت، كيانيت، تيتانيت، توباز، ستوروليت

$(\text{Mg, Fe})_2 [\text{SiO}_4]$	أوليفين
$\text{Mg}_2 [\text{SiO}_4]$	فورستريت
$\text{Fe}_2 [\text{SiO}_4]$	فياليت
$\text{Zr} [\text{SiO}_4]$	الزركون
$\text{Al}_3^{2+} \text{B}_2^{3+} [\text{SiO}_4]_3$	مجموعة التكتوسيليكات
	مجموعة $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ :
$\text{Al}^{[6]} \text{Al}^{[5]} [\text{O} / \text{SiO}_4]$	أندلوسيت
$\text{Al}^{[6]} \text{Al}^{[4]} [\text{O} / \text{SiO}_4]$	سليمينيت
$\text{Al}^{[6]} \text{Al}^{[6]} [\text{O} / \text{SiO}_4]$	كيانيت
$\text{CaTi} [\text{O} / \text{SiO}_4]$	تيتانيت (Sphen)
$\text{Al}_2 [(\text{F})_2 / \text{SiO}_4]$	توباز
$\text{Fe}_2 \text{Al}_9 [\text{O}_6 (\text{O,OH})_2 / (\text{SiO}_4)_4]$	ستوروليت



أوليفين

Mg<sub>2</sub> SiO<sub>4</sub> فورستريت

العناصر الطرفية:

Fe<sub>2</sub> SiO<sub>4</sub> فياليت

Mn, bis 0.5 Gew.-% Ni

المكونات الثانوية



صفة مميزة : حبيبي، نادراً بشكل تفرعات

أوليفين - المغنيسيوم: أخضر زيتوني

أوليفين - الحديد: أخضر غامق حتى الأسود

الكثافة: 3,2 g/cm<sup>3</sup> ( فورستريت)

4,3 g/cm<sup>3</sup> ( فياليت)

الصلادة: 6,5 - 7

قابلية الانفصام : واضحة وفق {010}

يشكل الأوليفين سلسلة محلول جامد متكاملة (solid solution series) بين العنصرين الطرفيين فورستريت و فياليت. في الأوليفينات غالباً ما تكون نسبة الفورستريت راجحة على نسبة الفياليت. في حالات محدودة يمكن أن يحل النيكل محل المغنيسيوم أو أن يحل المنغنيز مكان الحديد. يعتبر من المعادن الهامة المكونة للصخور في الصخور فوق المافية، في بعض الأحيان يتواجد كصخر دخيل في البازلت. غالباً متمركز مع النطاقات الغنية بالمغنيسيوم. يعتبر مكون رئيسي لمادة الطبقة السطحية لندثار الأرض كما يدخل أيضاً في تركيب النيازك. يتحول نتيجة لامتنصاص الماء الى معادن السرينتين.

تستخدم الأنواع النقية منه و التي تعرف باسم الزبرجد (Peridot) كأحجار كريمة. يتواجد في الدونيت ( صخر يتألف من الأوليفين الغني بالفورستريت بنسبة تزيد عن 90 % ) مادة خام مهمة لطوب الفورستريت.

Zr [SiO<sub>4</sub>]

الزركون

Hf, Th, U

المكونات الثانوية



اللون: في العادة بني، عديم اللون، أصفر، أحمر  
برتقالي، و بصورة نادرة أخضر

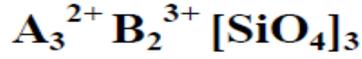
الكثافة : 4,7 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 7,5

قابلية الانفصام : غير تامة

ينتشر بشكل واسع كمعدن ثانوي في الصخور النارية. يتواجد في تجمعات ذات أهمية كبيرة اقتصادياً في الصخور البجماتية على هيئة بلورات كبيرة الحجم. كما يتواجد كمعدن ثقيل في الرواسب الغرينية. من خلال التعرض الإشعاعي (Th, U) تظهر هالات متعددة التلون حول شوائب الزركون المتناهية في الصغر في الميكا.

يعتبر الزركون خامة هامة للحصول على الهافنيوم Hf والزركونيوم Zr . يستخدم الهافنيوم بشكل أساسي في الطاقة النووية وبشكل أقل كمعدن يدخل في صناعة السبائك.



جارنت

العناصر الطرفية لمجموعة البيرالسبيت (جارنت الوميني) : بيروب  $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$

الماندين  $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$

سبساتين  $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$

العناصر الطرفية لمجموعة الجرانديت : جروسيولار  $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$

اندراديت  $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$



صفة مميزة : تختلف الصلادة و الكثافة تبعاً للبلورة المختلطة

اللون: في الغالب بني أحمر

الكثافة :  $3,5 - 4,5 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 6,5 – 7,5

قابلية الانفصام : سيئة

تلون الجارنت يتبع تكوين البلورات المختلطة ، يكون الجارنت الغني بالبيروب ذو لون أحمر قاني، الجارنت الغني بالماندين ذو لون أحمر بني، ويمتلك الجارنت الغني بالسبساتين تلون أصفر حتى البني. يوجد سلسلة محلول جامد بين جميع العناصر الطرفية.

تعتبر مجموعة الجارنت من المعادن الهامة المكونة للصخور لا سيما في الصخور المتحولة في الطبقات العميقة من القشرة الأرضية وفي صخور البيرودونيت الموجودة على سطح دثار الأرض. يقتصر تواجد الميلانيت الأسود (الاندراديت الأسود) الحاوي على التيتانيوم على الصخور البركانية عالية القلوية. يستخدم الجارنت في صناعة المجوهرات و كمادة للصقل.

## مجموعة -Al<sub>2</sub>[SiO<sub>5</sub>]

أندلوسيت  $Al^{[6]} Al^{[5]} [O / SiO_4]$

سليمينيت  $Al^{[6]} Al^{[4]} [O / SiO_4]$

كيانيت  $Al^{[6]} Al^{[6]} [O / SiO_4]$



اللون: رمادي، أحمر، وردي غامق أو بني،

بريق زجاجي

الكثافة : 3,2 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 7,5

قابلية الانفصام : في بعض الأحيان واضحة

الأندلوسيت هو معدن مكون للصخور المتحولة و يكون متجمعاً أحياناً بشكل عدسي. يتحول بشكل سطحي في بعض الأحيان الى ميكا بيضاء متموجة ، يمكن أن تظهر الميكا البيضاء كمعدن كاذب التشكل على هيئة الأندلوسيت. يتشكل الصنف المعروف باسم كياستوليت غالباً في الصخور الطينية (السجيل) الحاوية على الكربون على هيئة بلورات عمودية طويلة غنية بشوائب الكربون.

**السليمينيت** هو معدن مكون للصخور المتحولة و يكون مثل الأندلوسيت متجمعاً بشكل عدسي أو عقدي.



اللون: أبيض، أبيض مصفر، رمادي، بني أو أخضر

الكثافة :  $3,2 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 6,5

قابلية الانفصام : الأسطح المنشورية تمتلك

إفرازات عرضانية

**الكيانيت** يقتصر تواجده على الصخور المتحولة، و يتواجد بشكل ثانوي في العديد من الرمال. يمتلك قيم للصلابة متباينة بشكل واضح. مقارنة مع العناصر متعددة الشكل الأخرى يمتلك الكيانيت كثافة أعلى.



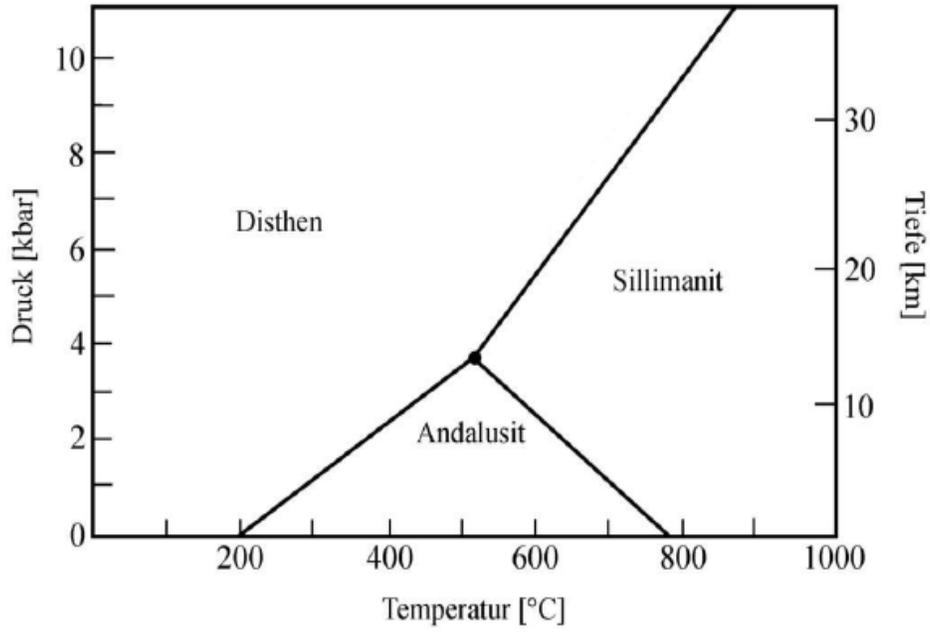
اللون: أزرق شديد، الأزرق البنفسجي، أزرق مخضر، أبيض مخضر حتى الأبيض البني

الكثافة :  $3,7 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 4,5 – 6,5

قابلية الانفصام : تامة أو واضحة

## Al<sub>2</sub> [SiO<sub>5</sub>]-Gruppe



تعتبر تحورات سيليكات الألومنيوم معادن ذات مؤشرات جيدة لتحديد شروط الضغط و درجة الحرارة التي نشأ بموجبها أحد الصخور المتحولة. يستخدم كل من الأندلوسيت، السليمينيت و الكيانيت في صناعة الخزف ( البورسلان) وفي صناعة المواد المقاومة للحرارة . تستخدم الأصناف عالية النقاوة منها كأحجار كريمة.

CaTi [O / SiO<sub>4</sub>]

تيتانيت (سفين)

Al, Fe<sup>3+</sup>, Nb, Ta, U, وعناصر أرضية نادرة أخرى, Y, Ce

المكونات الثانوية



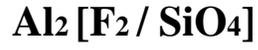
اللون: أخضر مصفر حتى الأخضر (سفين)،  
ماعدًا ذلك بني، بني غامق، بشكل نادر عديم  
اللون

الكثافة: 3,4 – 3,6 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 5 – 5,5

قابلية الانفصام: أحياناً واضحة

يعتبر من المعادن واسعة الانتشار (Durchläufer) المتواجدة في العديد من الصخور النارية و المتحولة و الرسوبية و التي يظهر فيها دائماً بشكل ثانوي فقط . في بعض الأحيان يمكن أن يظهر التيتانيت كمعدن مكتمل التبلور في الشقوق المنتشرة على سفوح جبال الألب. يمكن للشبكة البلورية أن تحتوي بشكل جزئي على كمية مهمة من عناصر أخرى مثل عناصر أرضية نادرة أو اليورانيوم. غالباً ما تستبدل ذرة الأكسجين ب F أو OH. خلال عملية استخراج اليورانيوم يمكن أن يستفاد من تواجد التيتانيت في عملية التقدير العمري لمادة اليورانيوم.



توباز



اللون: عديم اللون، أصفر فاتح، أصفر نبيذي،  
أزرق بحري، أخضر أو وردي

الكثافة : 3,5 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 8

قابلية الانفصام : تامة

يعتبر التوباز معدن تقليدي لعمليات الفعل (التحول) الغازي و غالباً ما يظهر بجانب القصدير. يعتبر التوباز من معادن الفجوات الصخرية المبطنة بالبلورات و يمكن أن يتواجد ببلورات كبيرة في بيجماتيت الغرانيت. الخواص التي يتمتع بها كمعدن ثقيل إضافة الى صلابته المرتفعة تؤدي الى ظهوره بشكل ثانوي في الرواسب الغرينية. يستخدم التوباز كأحجار كريمة.



ستوروليت

Mg, Fe<sup>3+</sup>, Mn, Zn

المكونات الثانوية



اللون: بني أصفر، بني حتى البني الأسود، بني أحمر

الكثافة: 3,7 – 3,8 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 7 - 7,5

قابلية الانفصام: أحياناً واضحة

الستوروليت هو معدن مكون تقليدي لمجموعة محددة من الصخور المتحولة و غالباً ما يظهر الى جانب الجارنت الغني بالماندين و البيوتيت. يتواجد بشكل ثانوي كمعدن ثقيل في الرمال و الصخور الرملية.

## 8. السيليكات

### 8.2. السوروسيليكات

#### إبيدوت



إبيدوت

Ti, Mn, Mg, Cr

المكونات الثانوية



اللون: أخضر مصفر حتى الأخضر الزيتوني،

ذو حواف نصف شفافة حتى الشفافة

الكثافة:  $3,3 - 3,5 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 6 - 7

قابلية الانقسام: تامة حتى التامة بدرجة أقل

مكون واسع الانتشار في الصخور المتحولة مثل الشست الأخضر. ينتمي الإبيدوت للمعادن الأكثر انتشاراً في القشرة المحيطية حيث يشكل هناك مع الألبيت و الكلوريت منتج لعملية التحور المائية (overprint) التي تطراً على البازلت بواسطة مياه البحر. كما يتواجد على هيئة معدن فجوات أحياناً ذو بلورات ذات بنية جيدة جداً.

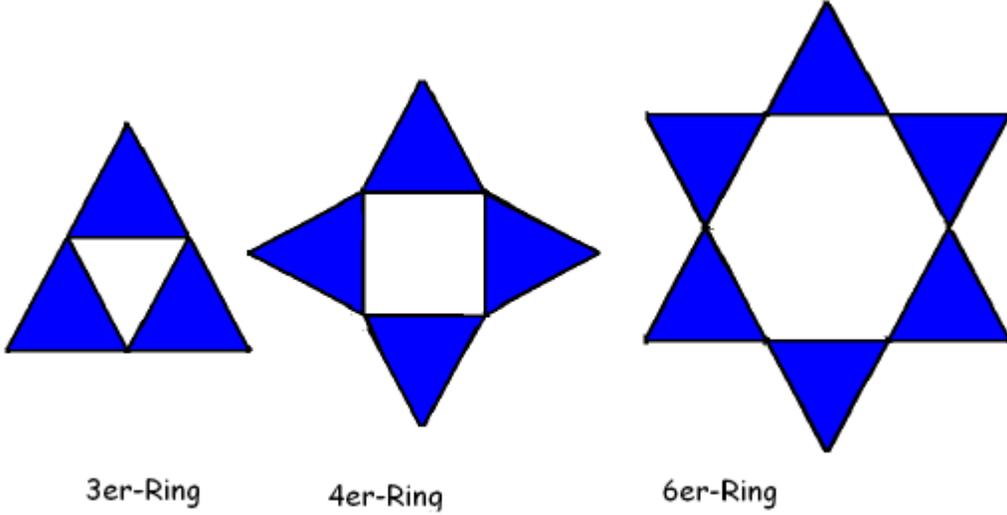
يمتلك الصنف من الإبيدوت الغني بالحديد المعروف باسم الفستق (pistazite) تلون أخضر مسود ، في حين يمتلك الصنف الفقير بالحديد و المعروف باسم كلينوزويسيت تلون رمادي. يمكن ملاحظة بريق زجاجي قوي على السطوح البلورية.

## 8. السيليكات

### 8.3. السيليكوسيليكات

#### البريل، التورمالين

ترتبط رباعيات السطوح  $[\text{SiO}_4]$  بحلقات بحيث يتشارك كل رباعي سطوح بذرة أكسجين مع رباعي السطوح المجاورين. يتم التعبير عن محتوى السيليكات بواسطة الصيغة الكيميائية التالية  $\text{Si}_n\text{O}_{3n}$ . يوجد حلقات ثلاثية أو رباعية أو سداسية.





## البريل



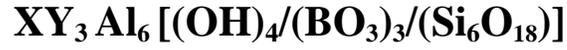
اللون: تبعاً للون قد يكون عديم اللون،  
أصفر، أخضر، أخضر غامق، وردي باهت ،  
أخضر مزرق

الكثافة :  $2,7 - 2,8 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 7,5 - 8

قابلية الانقسام : غير تامة

يوجد أصناف مختلفة من البريل مثل البريل الشائع و الزيرجد و الزمرد. يظهر البريل بكميات كبيرة في مناطق محددة من الكتل البجماتية أو في محيطها. كما يتواجد في الفجوات المبطننة بالبلورات. يظهر الزمرد في الصخور على هيئة بلورات أحادية.



## التورمالين

X = Na, Ca

في هذه الصيغة يكون ما يلي:

Y = Al, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Li, Mg, Ti<sup>4+</sup>, Cr<sup>3+</sup>

Al<sub>6</sub> = Al, Fe<sup>3+</sup>, Mn



اللون: متغير بشدة تبعاً للتركيب الكيميائي،

الكثافة: 3,0 – 3,3 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 7 – 7,5

قابلية الانقسام: أحياناً إفراس

يوجد فروق دقيقة جداً في اللون، يكون التورمالين المكون للصخور غالباً أسود (شورليت). من خلال التلونات المختلفة يمكن ملاحظة نطاقات واضحة جداً في التورمالين مثلاً على هيئة نواة حمراء محاطة بهالة خضراء. تمتلك نهايات بلورات التورمالين غالباً تلون متباين. يسود على السطوح البلورية بريق زجاجي و تكون البلورة في الشظايا شفافة حتى الحواف نصف الشفافة. يمكن أن يظهر التورمالين في البجماتيت أو في أحجار الصوان المتأثرة بالفعل الغازي. يعتبر صخر متنوع واسع الانتشار و يمكن أن يكون محتوي في الرواسب كتكوينات معدنية جديدة، كما يمكن أن يظهر التورمالين بشكل ثانوي كمعدن ثقيل (راسب). يستخدم كأحجار كريمة.

## 8. السيليكات

### 8.4.1. الأينوسيليكات (بيروكسينات)

ترتبط رباعيات السطوح  $[\text{SiO}_4]$  في سلاسل بسيطة أو في سلاسل مزدوجة . في السلاسل البسيطة يتشارك كل رباعي سطوح بذرة زاوية مع رباعي السطوح المجاورين. و يتم التعبير عن محتوى السيليكات في هذه الحالة بالصيغة التالية  $\text{Si}_2\text{O}_6$ .

الأورثوبيروكسينات:

انستاتيت  $\text{Mg}_2 [\text{Si}_2\text{O}_6]$

فروسيليت  $\text{Fe}_2 [\text{Si}_2\text{O}_6]$

الكلينوبيروكسينات:

ديوبسيد  $\text{CaMg} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

هيدينرجيت  $\text{CaFe} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

أوجيت  $(\text{Ca}, \text{Na}) (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}) [(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$

تتقسم البيروكسينات تبعاً لنظامها البلوري. الأورثوبيروكسينات تتبلور وفق النظام المعيني القائم بينما تتبلور الكلينوبيروكسينات وفق النظام أحادي الميل.

يمكن أن يتم تمثيل جميع البيروكسينات في شبه منحرف. تتواجد البيروكسينات الحاوية على Ca بنسبة بين 5 % و 33 % نادراً في الطبيعة ، من 33 % حتى 45 % Ca تظهر منطقة لاتمازج. المجال الواقع فوق 50 % Ca لا يتواجد عملياً في الطبيعة. الإستثناء الوحيد هو الولاستونيت و الذي يتربع على قمة المثلث. لا يندرج هذا المعدن نتيجة للبنية الداخلية للسلسلة البسيطة ضمن البيروكسينات و إنما يصنف كبيروكسينويد (شبيه بالبيروكسين).

## الأورثوبيروكسينات

العناصر الطرفية: انستاتيت  $Mg_2 [Si_2O_6]$

فروسيليت  $Fe_2 [Si_2O_6]$



صفة مميزة : بريق معتم على سطوح الانفصام

اللون: أخضر رمادي، بني غامق

الكثافة :  $3,2 - 3,6 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5,5 - 6

قابلية الانفصام : واضحة

تزداد الكثافة بزيادة محتوى الحديد. تشكل سلسلة محلول جامد متكاملة (solid solution series) بين العنصرين الطرفين انستاتيت و فروسيليت، لم يتم بعد ملاحظة تواجد الفروسيليت النقي في الطبيعة. تظهر عناصر سلسلة البيروكسين الغنية بالمغنيسيوم في الصخور فوق المافية وأيضاً في معادلاتها المتحولة.

## الكليوبيروكسينات

العناصر الطرفية:	ديوبسيد	$\text{CaMg} [\text{Si}_2\text{O}_6]$
	هيدينبرجيت	$\text{CaFe} [\text{Si}_2\text{O}_6]$
بلورة مختلطة:	أوجيت	$(\text{Ca, Na}) (\text{Mg, Fe, Al}) [(\text{Si, Al})_2\text{O}_6]$



اللون: رمادي-أخضر رمادي (ديوبسيد)

أخضر مسود (هيدينبرجيت)

الكثافة:  $3,2 \text{ g/cm}^3$  الديوبسيد النقي

$3,55 \text{ g/cm}^3$  الهيدينبرجيت النقي

الصلادة: 5,5 – 6,5

قابلية الانقسام: غير تامة

يمتلك الصنف "الأوجيت الشائع" لون أخضر حتى الأسود البني، ويكون اللون أسود في الأوجيت البازلتية الغني بالحديد و التيتانيوم. يتواجد بريق معتم على سطوح الانقسام و السطوح البلورية. تعتبر الكليوبيروكسينات من المعادن المشكلة للصخور. يعتبر الديوبسيد معدن مكون في الصخور الجيرية الدولوميتة المتحولة، في حين يظهر الهيدينبرجيت كمعدن مكون في الصخور الغنية بالحديد الناتجة عن التحول التماسي (Skarn). تتواجد البلورة المختلطة ديوبسيد-هيدينبرجيت كمعدن مكون أسود في الصخور البركانية المافية، الأوجيت يتواجد بشكل خاص في الصخور البازلتية و الجابرو. يمكن ملاحظة حواف ثمانية الزوايا في المقاطع الرقيقة و تستخدم هذه الخاصية في التشخيص.

## 8. السيليكات

### 8.4.2. الأينوسيليكات المضاعفة (مجموعة الأمفيبول)

تنشأ السلسلة المضاعفة عندما تترايط سلسلتين متوازيتين مع بعضهما بواسطة زوايا رباعيات السطوح و تكون الصيغة في هذه الحالة كالتالي:  $X_2 Y_5 [(OH)_2 / Si_8 O_{22}]$

الاكتينوليت  $Ca_2 (Mg, Fe)_5 [(OH)_2 / Si_8 O_{22}]$

الهورنبلند  $A_{0-1} X_2 Y_5 [(OH)_2 / Z_8 O_{22}]$

الجلوكوفين  $Na_2 (Mg, Fe)_3 Al_2 [(OH)_2 / Si_8 O_{22}]$

$Ca_2 (Mg, Fe)_5 [(OH)_2 / Si_8 O_{22}]$	الاكتينوليت
--	-------------



اللون: أخضر غامق-فاتح، في حالة التطور

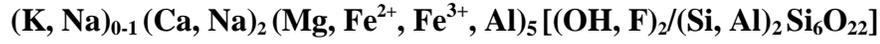
الإبري الدقيق يكون أخضر مزرق

الكثافة:  $3,0 - 3,2 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5 - 6

قابلية الانفصام: تامة

غالباً ما يتكون الاكتينوليت على هيئة سويقات عريضة مع تصدعات عرضانية أو على شكل خصلات أو بشكل شعاعي أو بصورة حزمة ، و أحياناً بشكل إبري دقيق و يتواجد في كتل متلبدة ليفية متشابكة. يعتبر الاكتينوليت مثل التريموليت ( $[Ca_2Mg_5[(OH)_2/Si_8O_{22}]$ ) معدن مكون واسع الانتشار في الصخور المتحولة و يظهر بشكل خاص في القشرة المحيطية الناتجة عن الإحلال المعدني. أحياناً يتكشل كمعدن فجوات. سابقاً كان التريموليت يستخدم في صناعة الاسبستوس.



الهورنبند



اللون: أخضر، أخضر غامق، حواف نصف شفافة

الكثافة:  $3,0 - 3,5 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5 - 6

المخدش: عديم اللون

قابلية الانقسام: تامة، زاوية انقسام  $124^\circ$

يوجد أصناف أخرى من الهورنبند ذات تلوّن بني غامق حتى الأسود الغامق ، و هنا يتعلق الأمر بالهورنبند البازلتي. يتواجد بريق نصف معدني على سطوح الانقسام و السطوح البلورية. يعتبر الهورنبند مصطلح عام للأمفيبولات الكلسية و التي تشكل سلسلة محلول جامد متكاملة (solid solution series) مع عدد كبير من العناصر الطرفية ، هذا و يتباين تركيب الهورنبند بشكل شديد . يظهر في الصخور النارية و بشكل ثانوي كتشكيل ليفي دقيق و كمعدن كاذب على هيئة الأوجيت.



الجلوكوفين



اللون: أزرق-غامق حتى الأزرق المسود مع

تزايد محتوى الحديد

الكثافة :  $3,1 - 3,3 \text{ g/cm}^3$

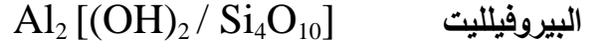
الصلادة: 5,5 - 6

قابلية الانقسام : تامة

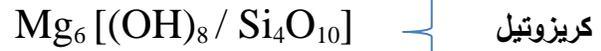
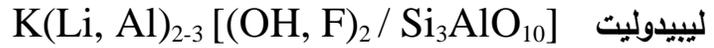
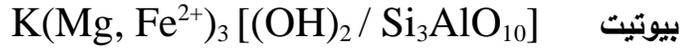
يتواجد بشكل حصري في الصخور المتحولة مثل الجلوكوفين الاردوزي (الشست الأزرق). يتشكل كمعدن ناتج عن ضغوط عالية عند درجات حرارة منخفضة و غالباً مترافقاً مع الجاديت (اليشمك).

## 8. السيليكات

### 8.5. الفيلوسيليكات



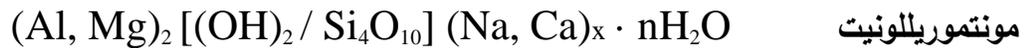
مجموعة الميكا:



أنتيجوريت

كريزوتيل

ليزارديت





التلك

Fe, Al

المكونات الثانوية



صفة مميزة: بريق لؤلؤي ، نصف شفاف

اللون: أخضر شاحب، رمادي أو أبيض فضي

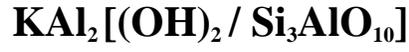
الكثافة : 2,7 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: 1 ، ملمس زيتي (شحمي)

قابلية الانقسام : تامة

يظهر في الصخور المتحولة الغنية بالمغنيزيوم، كما يظهر نتيجة التحولات الهيدروحرارية للصخور المافية و فوق المافية حيث يقوم بإزاحة الأمفيبول، البيروكسين أو الأوليفين. يستخدم على هيئة مسحوق (بودرة) ، مواد التشحيم، في صناعة الورق، في الطب، في صناعة الخزف و في صناعة السيراميك الكهربائي.

## مجموعة الميكا



مسكوفيت

Rb, Na, Cs, Mg, Fe

المكونات الثانوية



اللون: لمعان فضي فاتح، عديم اللون، مصفر،  
مخضر، بريق لؤلؤي على سطوح الانقسام

الكثافة:  $2,8 - 2,9 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 2 - 2,5

قابلية الانقسام: تامة

يملك المسكوفيت فقط قابلية امتزاج ضئيلة مع العناصر الأخرى في مجموعة الميكا. يعتبر من المعادن المشكلة للصخور الواسعة الانتشار. أحد الأصناف المعروفة هو السيريسيت و الذي يكون في الغالب منتج تحول ثانوي للفلسبار. ينشأ الإليت ، مسكوفيت مائي، باستبدال  $\text{K}^+$  ب  $\text{H}_3\text{O}^+$  (مكون للطين و السجيل).

## مجموعة الميكا



## بيوتيت



اللون: أخضر غامق، بني فاتح، بني غامق

حتى البني الأسود

الكثافة:  $2,8 - 3,2 \text{ g/cm}^3$

الصلادة:  $2,5 - 3$

قابلية الانقسام: تامة، صفيحات مرنة قابلة

للتشكيل

يشكل البيوتيت سلسلة محلول جامد متكاملة بين الفلوجوبيت  $[\text{KMg}_3(\text{F}, \text{OH})_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}]$  و العنصر الطرفي الغني بالحديد أنيت  $[\text{KFe}_3^{2+}(\text{OH}, \text{F})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ . مقارنة مع الفلوجوبيت يستبدل جزء من Mg من خلال  $\text{Fe}^{2+}$  أو  $\text{Fe}^{3+}$  و Al، Ti. البيوتيت من المعادن المكونة للصخور الشائعة الانتشار في الصخور النارية و المتحولة.

## مجموعة الميكا



## ليبيدوليت



اللون: أبيض حتى الوردي الشاحب

الكثافة:  $2,8 - 2,9 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 2,5 - 4

قابلية الانقسام: تامة

يتكون على شكل رقائق أو قشور في البجماتيتات مع معادن أخرى غنية بالليثيوم. يستخدم في الحصول على الليثيوم الذي يستخدم في صناعة السبائك و في صناعة الألعاب النارية وفي صناعة البطاريات و صناعة نظارات خاصة.

كلوريت  $(\text{Mg,Fe})_3 [(\text{OH})_2 / (\text{Al, Si})_4 \text{O}_{10}] \cdot (\text{Mg, Fe, Al})_3 (\text{OH})_6$

Ti, Cr, Ni

المكونات الثانوية



اللون: أخضر، أحياناً تلون بوجود عناصر أثر

الصلادة: 2

قابلية الانقسام: تامة جداً

من المعادن الهامة المكونة للصخور في الصخور المتحولة ، يظهر بشكل ثانوي كمنتج تحول من البيوتيت، الجارنت، البيروكسين أو الأمفيبول. التورينجيت و الكاموزيت هي كلوريتات غنية ب  $\text{Fe}^{3+}$ .



معادن-السرينتين

كريزوتيل

التعديلات :

أنتيجوريت



صفة مميزة : بريق حريري

اللون : أخضر فاتح حتى الغامق، أخضر مصفر

الكثافة :  $2,5 - 2,6 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 3 - 4

قابلية الانقسام : غالباً غير واضحة )

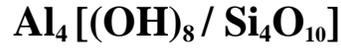
كريزوتيل)، على هيئة رقائق ( أنتيجوريت)

يبني السرينتين مجاميع كثيفة. الأنتيجوريت يتشكل على هيئة رقائق أو قشور. الكريزوتيل ليفي و نادراً ما يبني بلورات جيدة. يوجد شوائب محدودة متضمنة من الحديد و الألمنيوم.

يكون كلا صنفي السرينتين غالباً منتجات تفاعل الأوليفين مع المحاليل الهيدروحرارية (المياه الحارة) بالإضافة الى البيروكسين و الأمفيبول. يتواجد في الشقوق على هيئة كريزوتيل ليفي دقيق (اسبستوس) وهو الأكثر شيوعاً أو يتواجد على هيئة شق الأنتيجوريت التويجي و هو أكثر ندرة.

يعرف كل من الكريزوتيل ،الأنتيجوريت و الاكتينوليت الذي يندرج تحت الأمفيبولات باسم معادن الأسبستوس. اعتبر الاسبستوس سابقاً مادة ذو قيمة نظراً لكونه ليفي البنية، مضاد للحريق، عازل جيد و قابل للقتل الميكانيكي. مخاطر الأسبستوس تم التعرف عليها لاحقاً حيث يمكن أن تشكل لفافات الكريزوتيل مثلاً زغب على شكل خطاف يستقر في نهاية المطاف في الرئتين.

يحصل توسع داخل طبقة ثماني السطوح نتيجة تواجد  $Mg^{2+}$  مما يؤدي الى عدم الاتساق المثالي لأبعاد الشبكة البلورية لكل من طبقة رباعي و ثماني السطوح . في حالة الكريزوتيل يؤدي ذلك الى انحناء و التقاف الطبقات. طبقة ثماني السطوح تتواجد على السطح الخارجي للفاقات الكريزوتيل. الأنتيجوريت في المقابل يمتلك بنية تشبه الموجة مرتبطة بالطي الدوري لرباعي السطوح  $SiO_4$ .



## كاولينيت



اللون: الكاولينيت النقي أبيض، بوجود الشوائب

تلون أصفر، أخضر أو أزرق

الكثافة :  $2,1 - 2,6 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 1

قابلية الانقسام : تامة

يعتبر الكاولينيت من معادن الصلصال (الطين) الهامة و الواسعة الانتشار . يعتبر معدن مكون للكاولين ( الصلصال الصيني) إضافة لجزء كبير من الصخور الطينية و السجيل.

يتشكل نتيجة عمليات التجوية أو بتأثير المياه الحارة على السيليكات وبخاصة الفلسبار. يستخدم في صناعة البورسلان وفي صناعة الورق و كمكون للسوائل المرافقة لعمليات الحفر.

## مونتموريللونيت $(Al, Mg)_2 [(OH)_2 / Si_4O_{10}] (Na, Ca)_x \cdot nH_2O$



صفة مميزة : بريق دهني

اللون : أبيض، أبيض رمادي، أصفر، أصفر

بني، أصفر أخضر

المخدش : أبيض

الكثافة :  $2,35 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 1,5 – 2

قابلية الانقسام : تامة

المونتموريللونيت عبارة عن سيليكات ثلاثية الطبقات بتركيب متغير. يستبدل الصوديوم جزئياً بالكالسيوم، يعتبر من المعادن الطينية المهيمنة في البنتونيت و ينتج من الرماد البركاني الذي تعرض للتجوية مع معادن أخرى.

يملك المونتموريللونيت قدرة عالية على الانتفاخ (Swellability). يستخدم في سوائل الحفر وفي معالجة مياه الصرف الصحي وفي التبييض و الصباغة و في إحكام سد مكبات المواد الملوثة.

## 8. السيليكات

### 8.6. التكتوسيليكات

تعتبر السيليكات الهيكلية (التكتوسيليكات) من أهم أجزاء هذا المقرر و خاصة الفلسبار نظراً لتواجده الواسع في صخور القشرة الأرضية. لتسهيل دراسة السيليكات الهيكلية يتم تقسيمها الى أربعة مجموعات :

الفلسبار، أشباه الفلسبارات ، الزيوليت، سكابوليت

الفلسبار القلوي	
(K, Na) [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	
الأنواع :	سانيدين
(K, Na) [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	أورثوكلاز
K [AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	ميكروكلين



اللون: نصف شفاف حتى الشفاف، أحمر، في

الغالب أبيض أو أسود

الكثافة : 2,5 – 2,6 g/cm<sup>3</sup>

الصلادة: ~ 6

قابلية الانقسام : تامة

### ساندين (K,Na) [AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>] ، ساندين-(K,Na)

تكون البلورات عديمة اللون حتى الرمادية لوحية الشكل و عكرة، وفي حالات أكثر ندرة نصف شفافة حتى الشفافة. يظهر في البراكين الفلسبارية (السيليكية) (ريولوبت، تراكيت، فونوليت) وفي الكمبرليت. كما يظهر الساندين في صخور المتحولة عند درجات الحرارة العالية. يمكن النظر اليه على أنه التشكيل العالي درجة الحرارة من السيليكات القلوية.

### أورثوكلاز (K,Na) [AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>] ، أورثوكلاز-(K,Na)

من خلال توضع بين التشكيل مرتفع درجة الحرارة الساندين و التشكيل منخفض درجة الحرارة الميكرولكين يمتلك الأورثوكلاز توزع منتظم نوعاً ما لكل من Al-Si. يبني هذا المعدن بلورات متأخرة بيضاء أو حمراء اللون. التشخيص عبارة عن توأمة بسيطة للبلورات. يظهر الأورثوكلاز في الصخور الدخيلة الفاتحة (الغرانيت، الجرانوديوريت، سيانيت) كما يظهر أيضاً في الصخور المتحولة وفي البجماتيتات.

### الميكرولكين K [AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>]

يكون توزع Al-Si في الميكرولكين و الذي يعتبر التشكيل منخفض درجة الحرارة لفلسبار البوتاس منتظماً بدرجة عالية. من الناحية الكيميائية و هيئة المعدن يوجد تشابه كبير مع الأورثوكلاز، يظهر هذا المعدن أيضاً في الصخور الدخيلة الفاتحة وفي الصخور الرملية و المتحولة. في بعض الأحيان يتشكل من الأورثوكلاز الرئيسي الموجود في الصخور الجوفية (البلوتونية) الفلسية . البلورات كاملة الأوجه تتواجد في شقوق جبال الألب.

## سلسلة البلاجيوجلاز

المكونات : ألبيت  $\text{Na [AlSi}_3\text{O}_8]$

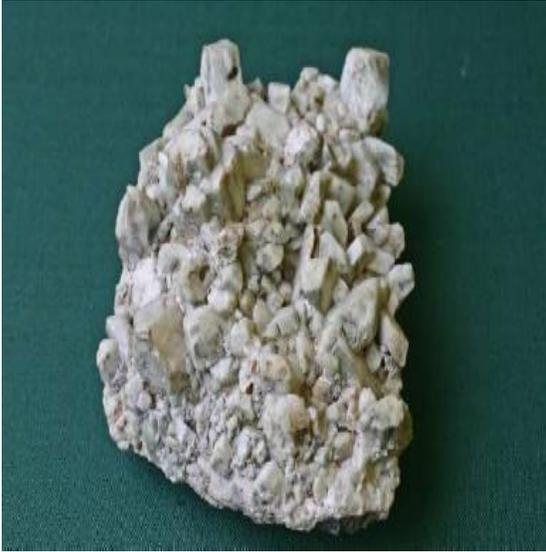
أوليغوكلاز

أنديسين

لابرادوريت

بايتونيت

أنورثيت  $\text{Ca [Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$



صفة مميزة : بريق زجاجي أو لؤلؤي

اللون : عديم اللون، أبيض، رمادي، أحمر

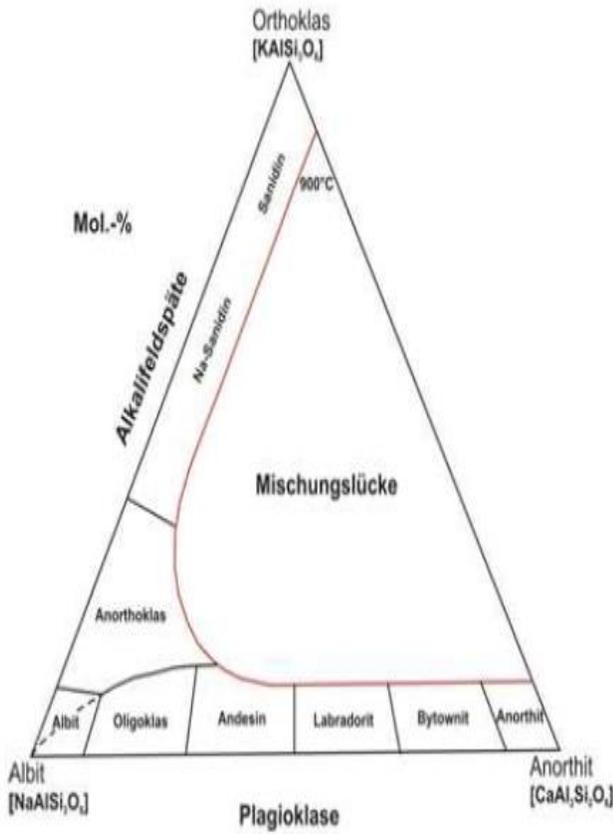
المخدش : أبيض

الكثافة :  $2,62 - 2,76 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 6 - 6,5

قابلية الانقسام : تامة

تبنى البلاجيوجلازات سلسلة محلول جامد متكاملة ألبيت ← أنورثيت ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \rightarrow \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) والتي تقسم تبعاً لمحتوى الأنورثيت (An) وفق مايلي:



An <sub>0</sub> - An <sub>10</sub>	ألبيت
An <sub>10</sub> - An <sub>30</sub>	أوليغوكلاز
An <sub>30</sub> - An <sub>50</sub>	أنديسين
An <sub>50</sub> - An <sub>70</sub>	لابرادوريت
An <sub>70</sub> - An <sub>90</sub>	بايتونيت
An <sub>90</sub> - An <sub>100</sub>	أنورثيت

تبنى البلاجيوجلازات بلورات سبارية (spathic) بيضاء، صفراء، خضراء، و بصورة نادرة بنفسجية اللون. التشخيص عبارة عن عن توأمة متعددة متوازية ولكن في الغالب لا يمكن مشاهدة مثل هذه التوائم بالعين المجردة.

## أشباه الفلسبارات (Foide, Feldspatvertreter)



لوسيت



صفة مميزة : بريق زجاجي أو لؤلؤي

اللون : عديم اللون، أبيض رمادي حتى الأبيض

، مصفر ، عكر، نصف شفاف

الكثافة :  $2,5 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5,5 – 6

قابلية الانقسام : غائبة

يعتبر اللوسيت من معادن الصخور البركانية التقليدية الغنية بالكالسيوم و ناقصة الإشباع ب  $\text{SiO}_2$  (مثال بركان Vesuv ) . غالباً ما يكون اللوسيت مكتمل التبلور على هيئة "مسطح المعين المنحرف" أو ما يعرف ب (trapezohedron). يكون اللوسيت غائباً تماماً في الصخور الجوفية و المتحولة.

## أشباه الفلسبارات



## نيفيلين



اللون : رمادي، مخضر أو محمر، على  
السطوح البلورية بريق زجاجي، على سطوح  
الكسر بريق دهني

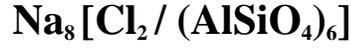
الكثافة :  $2,6 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5,5 – 6

قابلية الانقسام : غير تامة

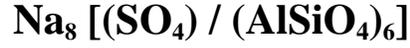
يعتبر النيفيلين مثل اللوسيت من المعادن الهامة المكونة للصخور في الصخور النارية ناقصة الإشباع  $\text{SiO}_2$  . على النقيض من اللوسيت يظهر أيضاً في الصخور الجوفية النادرة مثل سيانيت النيفيلين و الجماتيتات التابعة لها.

## أشباه الفلسبارات



صوداليت

صيغة الحفظ :  $6\text{Na}[\text{AlSiO}_4] (\text{Nephelin}) \cdot 2\text{NaCl}$



نوزيان

صيغة الحفظ :  $6\text{Na}[\text{AlSiO}_4] \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$



اللون : عديم اللون حتى الأزرق غامق

الكثافة :  $2,3 \text{ g/cm}^3$  صوداليت

نوزيان  $2,3 - 2,4 \text{ g/cm}^3$

الصلادة: 5 - 6

قابلية الانقسام : تامة وفق {110}

يتواجد كمعدن مكون بخاصة في الصخور الجوفية الغنية بالقلويات (سيانيت النيفيلين و بجماتيتاتها)، كما يتواجد كمعدن مكون ميكروسكوبي في الصخور البركانية (فونوليت و البازلت القلوي). كما تنمو بلورات صغيرة في المقذوفات البركانية.

## مجموعة الزيوليت

أمثلة : أنالسيت  $\text{Na [AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$

نطروليت  $\text{Na}_2 [\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

كابازيت  $\text{Ca [Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$



صفة مميزة : أحياناً بريق زجاجي حتى الحريبي

اللون : صاف، أبيض، عديم اللون حتى التلون

البسيط ، نصف شفاف

الكثافة :  $\sim 2,25 \text{ g/cm}^3$

الصلادة:  $\sim 5,5$

قابلية الانقسام : غائبة

### أنالسيت

الأنالسيت صاف أو أبيض و يبني أحياناً في الصخور الطينية (الصلصال) بلورات ذات 24 سطحاً متساوياً أو ما يعرف ب (icositrahedron) . يعتبر الأنالسيت معدن شائع في الصخور المتحولة عند درجات حرارة منخفضة . ينتج عن الأنالسيت و الكوارتز عند درجة حرارة تقارب  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  معدن الألبيت وفق مايلي:



ماء + ألبيت → كوارتز + الأنالسيت

يظهر أيضاً في الصخور البركانية كمعدن ثانوي، كما يمكن أن يظهر في الرواسب الطينية كمعدن ذاتي التولد أو تلقائي الحدوث (autogenous).

### نطروليت

يمتلك بلورات منشورية طويلة ، إبرية أو شعيرية وغالباً ما يكون متجمعاً في هيئة خصلات أو بشكل شعاعي أو كروي. المكسر محاري ، غالباً عديم اللون أو أبيض، نادراً تلون خفيف، بريق زجاجي حتى الحريري، شفاف حتى نصف الشفاف. يظهر النطروليت كمنتج تحلل بتأثير المياه الحارة في الصخور البركانية.

### كابازيت

قابلية الانقسام أحياناً واضحة، ماعدا ذلك المكسر محاري. عديم اللون أو أبيض، نادراً تلون خفيف. بريق زجاجي ، شفاف حتى نصف الشفاف. مثل النطروليت يظهر الكابازيت في الصخور البركانية و على أسطح الشقوق وفي الفجوات.

## سكابوليت

عناصر طرفية : مرياليت  $\text{Na}_4 [\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}] \cdot \text{Cl}$

ميونيت  $\text{Ca}_4 [\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}] \cdot \text{CO}_3$



اللون : غالباً أبيض أو رمادي، أيضاً أخضر.

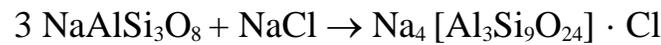
أحمر، آجري (قرميدي اللون)

الكثافة :  $2,5 - 2,8 \text{ g/cm}^3$

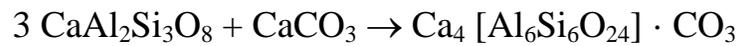
الصلادة: 5 - 6

مجموعة السكابوليت هي عبارة عن مزيج من العنصرين الطرفيين مرياليت و ميونيت. يمكن للميونيت أن يحتوي الى جانب مكونات  $\text{CO}_3$  على جزيئات  $\text{SO}_4$ . وفي كلا العنصرين الطرفيين يمكن أن يستبدل كل من  $\text{CO}_3$  و  $\text{Cl}$  من خلال  $\text{OH}$  أو  $\text{F}$ .

أفضل طريقة لتذكر الصيغ هي بالاعتماد على تكون هذين العنصرين الطرفيين خلال عمليات التحول و التي يتفاعل فيها الفلسبار مع الهاليت أو الكالسيت :



مرياليت  $\rightarrow$  هاليت + 3 ألبيت



ميونيت  $\rightarrow$  كالسيت + 3 أنورثيت

يقتصر تواجد الميراليت على الرواسب الغنية بالكلوريد ونظيراتها المتحولة في حين يظهر السكابوليت الغني بالميونيت غالباً في الصخور المافية المتحولة التي تحتوي صخورها الأم على بعض الكالسيت. تتراوح درجة حرارة تشكل الميونيت وفقاً للتفاعل المذكور أعلاه بين 600 حتى 700 °C . هذا و يصعب العثور عملياً على السكابوليت في الصخور النارية.