

## الفصل الثاني

### المعادن

أثبتت التحاليل الكيميائية لعدد كبير من عينات الصخور النارية المأخوذة من جميع أنحاء العالم، والتي تمثل عناصرها مكوتات صخور القشرة الأرضية، أن متوسط التركيب الكيميائي لها كما هو موضح فى جدول (٤). ويتضح من هذا الجدول أن ثمانية عناصر فقط، هى الأكسجين والسيليكون والألنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنسيوم مرتبة حسب نسب تواجدتها تكون أكثر من ٩٨,٥ فى المائة من العناصر المكونة للقشرة الأرضية. وإذا أخذنا فى الاعتبار العناصر الأربعة الأخرى، وهى التيتانيوم والهيدروجين والفسفور والمنجنيز، فإننا نلاحظ أن الاثنى عشر عنصراً تكون فى مجموعها أكثر من ٩٩,٦ فى المائة من تركيب القشرة الأرضية. وتوجد هذه العناصر أساساً على صورة مركبات كيميائية أهمها السيليكات والتي تسمى بالمعادن المكونة للصخور.

جدول رقم (٤) متوسط التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية

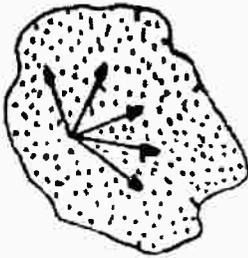
العنصر	الرمز الكيميائي	النسبة المئوية	العنصر	الرمز الكيميائي	النسبة المئوية
أكسجين	O	٤٦,٧١	بوتاسيوم	K	٢,٥٨
سيليكون	Si	٢٧,٦٩	مغنسيوم	Mg	٢,٠٧
ألومنيوم	Al	٨,٠٧	تيتانيوم	Ti	٠,٦٢
حديد	Fe	٥,٠٦	هيدروجين	H	٠,١٤
كالسيوم	Ca	٣,٦٥	فوسفور	P	٠,١٢
صوديوم	Na	٢,٨٣	منجنيز	Mn	٠,٩

أما العناصر الباقية، والتي على أساسها تقوم النهضة الصناعية والتكنولوجية، فإنها تشمل الفلزات واللافلزات التي تستخدم فى جميع الصناعات الثقيلة الكهربائية والإلكترونية وبعض مصادر الطاقة مثل فلزات المنجنيز والكروميوم والنيكل والتنجستين والفناديوم والتنتالام

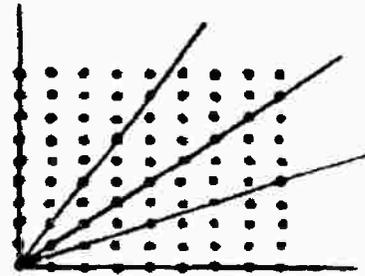
والكولبيوم والنحاس والرصاص والزنك والقصدير والأنتيمون والزنبيق والفضة والذهب والبلاتين والعناصر المشعة كاليورانيوم والثوريوم. وتكون هذه العناصر جميعها أقل من ٠,٢ في المائة من تركيب القشرة الأرضية، وتوجد عادة في صورة معادن مختلفة في تركيبها الكيمياء مثل الكبريتيدات والأكاسيد والكربونات مكونة الرواسب المعدنية الاقتصادية.

## المجموعات الكيميائية للمعادن

توجد معظم عناصر القشرة الأرضية متحدة مع بعضها في صورة مركبات كيميائية تسعى بالمعادن. والمعدن هو مادة صلبة غير عضوية تكونت بفعل عوامل طبيعية ولها تركيب كيميائي محدد يمكن التعبير عنه بقانون كيميائي وتتميز جميع المواد المتبلورة، ومن ضمنها معظم المعادن، بخاصية أساسية هي الترتيب الداخلي المنتظم للذرات المكونة للمادة: وتوجد ذرات المادة المتبلورة على هيئة وحدات من الخلايا تكون في مجموعها التركيب الشبكي الفراغي للمعدن، أما المواد غير المتبلورة مثل الزجاج والأوبال فإن ذراتها تكون مختلطة مع بعض بلا نظام أو ترتيب معين كما يتضح من شكل (٥)، ويجب ملاحظة أن البناء الذري الداخلي للمعدن هو العامل الأساسي الذي تعتمد عليه جميع خواصه الطبيعية والضوئية



(ب) مادة غير متبلورة

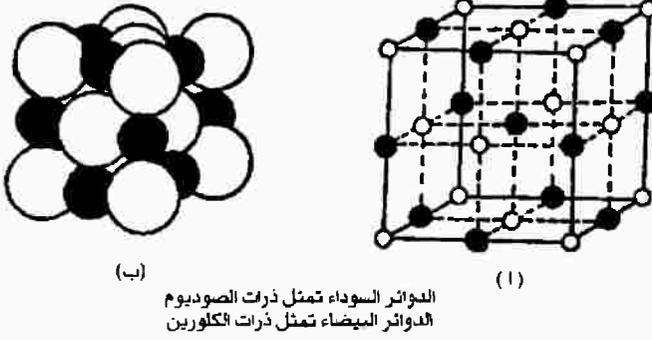


(ا) مادة متبلورة

شكل رقم (٥): ترتيب الذرات أو الأيونات في حالة المواد المتبلورة وغير المتبلورة.

والكهربية والمغناطيسية والميكانيكية. وتتكون المعادن بصفة عامة بالتبلور من المحاليل، أو بتبريد المواد الصخرية المصهورة، التي توجد على أعماق كبيرة بداخل القشرة الأرضية، والتي تسمى بالصهارة (الماجما)، أو بالتسامي من الأبخرة، أو بتفاعل الغازات مع بعضها وجدير بالذكر أنه تحت الظروف الطبيعية والكيميائية المناسبة للتبلور قد تأخذ المعادن أشكالاً خارجية منتظمة تسمى بالبلورات. وجميع المعادن، فيما عدا القليل منها، متبلورة وبرغم أن أشكالها

الخارجية قد تكون غير منتظمة، إلا أن لذرات كل منها ترتيباً داخلياً منتظماً كما يتضح ذلك من التركيب الذرى لأيونات الصوديوم والكلورين فى بلورة معدن الهاليت أو الملح الصخرى، شكل (٦)، أما بالنسبة للتركيب الكيميائى للمعدن فإنه قد يتغير فى حدود معينة لا ينتج



شكل رقم (٦): التركيب الذرى لبلورة ملح الطعام (كلوريد الصوديوم).

عنها تغيير أساسى فى بنائه الذرى الداخلى. فعلى سبيل المثال يتكون معدن السفاليريت (زنك بلند) النقى من ذرات الزنك والكبريت فقط ونسبة الزنك ٦٧ فى المائة والكبريت ٣٣ فى المائة وبذلك يكون قانونه الكيميائى (ZnS)، ولكن قد تحل ذرات الحديد الثنائى التكافؤ محل جزء من ذرات الزنك بنسبة تتراوح من ١٥ إلى ١٨ فى المائة، ويحدث هذا الإحلال أو الاستبدال دون أن يتغير التركيب الذرى الداخلى للمعدن ولكن قد ينشأ عن ذلك الإحلال بعض التغيرات فى خواصه الطبيعية وفى حالة معدن السفاليريت الذى يحل فيه الحديد إحلالاً جزئياً محل الزنك يصبح قانونه (Zn,Fe) S.

وتنقسم المعادن تبعاً لوجودها فى الصخور أو فى الخامات المعدنية الاقتصادية إلى قسمين رئيسيين هما:

أولاً: مجموعات السيليكات وتسمى بالمعادن المكونة للصخور.

ثانياً: مجموعات المعادن الاقتصادية وتسمى بالمعادن المكونة للخامات المعدنية الفلزية واللافلزية.

### أولاً: مجموعات معادن السيليكات

معادن السيليكات أكثر المجموعات المعدنية انتشاراً، إذ تكون أكثر من ٩٥ فى المائة من مكونات القشرة الأرضية وحوالى ٤٠ فى المائة من المعادن الشائعة وما يقرب من ٢٥ فى المائة من جميع المعادن المعروفة، وذلك لأنها تدخل فى تركيب جميع أنواع الصخور. وتتكون معادن

السيليكات من اتحاد الأكسجين والسيليكون بعنصر واحد أو أكثر من عناصر الألمنيوم والحديد والكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم. والصخور النارية التي تكون معظم القشرة الأرضية تتكون عادة من خليط من معدنين أو أكثر من معادن السيليكات التي تشمل سبع مجموعات رئيسية موضحة في جدول (٥).

## ثانياً: مجموعات المعادن الاقتصادية

توجد المعادن الاقتصادية المكونة لل خامات الفلزية واللافلزية على هيئة تركيبات محددة النطاق بداخل الأنواع المختلفة من الصخور مكونة الرواسب المعدنية الاقتصادية، والتي تستغل تحت ظروف معينة لاستخلاص الفلزات الهامة. والمجموعات الكيميائية لهذه المعادن عديدة ومن ضمنها المجموعات الآتية:

١ - مجموعة الفلزات العنصرية الحرة مثل الماس والذهب والبلاتين والجرافيت والكبريت.

### جدول رقم (٥): المجموعات الرئيسية لمعادن السيليكات

المجموعة	أمثلة لبعض المعادن
١ - أوليفين Olivine	فورشتيريت $Mg_2 SiO_4$ أوليفين $(Mg, Fe)_2 SiO_4$ فيالايت $Fe_2 SiO_4$
٢ - البيروكسين Pyroxenes	أوجيت $(Ca, Mg, Fe)_2 Al, Si_2 O_6$ ديوبسايد $Ca Mg Si_2 O_6$ أنستاتيت $Mg_2 Si_2 O_6$
٣ - الامفيبول Amphiboles	هورنبلند $(OH)_2 (Ca, Mg, Fe, Al, Na)_7 Si_8 O_{22}$ تريمولايت $(OH)_2 Ca_2 Mg_5 Si_8 O_{22}$ أكتينولايت $(OH)_2 Ca_2 (Mg, Fe)_4 Si_8 O_{22}$
٤ - الميكا Micas	مسكوفيت $(OH)_2 KAl_3 Si_3 O_{10}$ بيوتيت $(OH)_2 K (Mg, Fe)_3 Al Si_3 O_{10}$ كلوريت $(OH)_8 (Mg, Fe)_5 Al_2 Si_2 O_{10}$

أمثلة لبعض المعادن	المجموعة
(K, Na) Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> Na Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> لابرادوريت: خليط من الالباتيت والانورثيت بنسبة ١ : ١	٥ - الفلسبار Felspars فلسبار قلوي بلاجيو كلينز فلسبار
K Al Si <sub>3</sub> O <sub>6</sub> Na AlSi <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	٦ - الفلspathويد Felspathoids لوسايت نفيلين
SiO <sub>2</sub>	٧ - السيليكا كوارتز

٢ - مجموعة الكبريتيدات وتكون من اتحاد الفلزات المختلفة مع الكبريت مثل الجالينا (PbS)، والبيريت (Fe<sub>2</sub>) والسفاليريت (ZnS).

٣ - مجموعة الأكاسيد التي تحتوي على فلز متحد بالأكسجين مثل الهيماتيت (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) وهو معدن ركائز الحديد الذي يستخرج من مناجم الحديد في شرق أسوان، والكروميت (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) والكورندم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

٤ - مجموعة الكربونات وتتكون من ذرة كربون وثلاث ذرات من الأكسجين متحدة مع أحد الفلزات مثل الكليست (CaCO<sub>3</sub>)، والسيديريت (Fe CO<sub>3</sub>)، والملاكايت Cu(OH)<sub>2</sub>. CuCO<sub>3</sub>.

٥ - مجموعة الكبريتات وتتكون من ذرة كبريت وأربعة ذرات من الأكسجين متحدة مع أحد الفلزات مثل الجبس (Ca SO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub> O) والباريت (Ba SO<sub>4</sub>).

٦ - مجموعة النترات وفوسفات مثل نتر الصودا (NaNO<sub>3</sub>)، والأباتيت (Ca<sub>5</sub> (FmIC) (PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>).

٧ - مجموعة الهاليدات وتتكون من اتحاد الكلور أو الفلور مع أحد الفلزات مثل الفلوريت (CaF<sub>2</sub>) والهاليت (NaCl)

## الخواص الطبيعية للمعادن

تنقسم الخواص الطبيعية للمعادن إلى المجموعات الآتية :

- أولاً: خواص بلورية وتشمل الشكل الخارجى للبلورات وتجمعاتها وبنائها الذرى الداخلى.
- ثانياً: خواص ضوئية وتشمل اللون والمخدش والبريق والشفافية والتفلور والتفسفر وانكسار الضوء فى المعادن.
- ثالثاً: خواص تماسكية وتشمل الصلابة والتشقق والمكسر والتفلق والقابلية للسحب والطرق.
- رابعاً: خواص تعتمد على التركيب الكيمىائى للمعدن وتشمل الثقل النوعى والتوتر السطحى والامتصاص.
- خامساً: خواص كهربية ومغناطيسية وإشعاعية.
- سادساً: خواص تعتمد على صفات معينة مثل القابلية للانصهار والرائحة والطعم والملمس.



## الفصائل البلورية للمعادن Crystal Systems

تأخذ جميع المعادن تقريباً تحت الظروف الطبيعية والكيميائية المناسبة للتبلور أشكالاً خارجية منتظمة تسمى بالبلورات يحدها أسطح مستوية تسمى بالأوجه. ويجب ملاحظة أن درجة التبلور لا ترتبط بالشكل الخارجى للمعدن ولكن بالترتيب الذرى الداخلى المنظم للمادة. ولقد أثبتت دراسة البلورات أنه يمكن حصرها فى سبع فصائل بلورية يمكن تمييزها تبعاً لعدد المحاور البلورية وأطوالها واتجاهاتها كما فى شكل (٧) وتنتمى جميع البلورات التى لها نفس المحاور البلورية، دون اعتبار للاختلافات فى درجة تماثلها، إلى نفس الفصيلة البلورية، وكل معدن له شكله البلورى المميز الذى ينتمى إلى إحدى الفصائل البلورية السبع الآتية:

### ١- فصيلة المكعب أو متساوى الأبعاد Cubic System

وتحتوى بلورات هذه الفصيلة على ثلاثة محاور بلورية متساوية فى الطول (أ) - (أ) - (أ) ومتعامدة بعضها على بعض مثل بلورات معادن الفلورسبار والمجنتيت والجالينا.

### ٢- فصيلة الرباعى Tetragonal System

وتشمل جميع البلورات التى لها ثلاثة محاور بلورية متعامدة (أ) - (أ) - (ج) منها محوران أفقيان (أ) - (أ) متساويان فى الطول، والثالث (ج) رأسى وهو أقصر أو أطول من المحورين الآخرين. وتمثله بلورات معادن الزركون والروتيل والكاسيتيرات.

السلوك البلليني	المحاور البلورية	الفواصل البلورية
متجانس في جميع الاتجاهات (إيزوتروبية)	ثلاثة محاور متساوية في الطول ومتعامدة	(١)  فصيلة المكعب أو متساوي الأبعاد
متجانس في المستوى المتعامدة على المحور الرأسى (هـ) وتختلف في جميع الاتجاهات الأخرى	ثلاثة محاور متعامدة منها اثنان أفقيان ومتساويان في الطول والثالث عمودي وتختلف في الطول	(٢)  فصيلة الرباعي
	أربعة محاور ثلاثة منها أفقية ومتساوية في الطول وتقاطع في زوايا مقدارها ٩٠° والرابع عمودي وتختلف عنها في الطول	(٣) فصيلة السداسي  (٤) فصيلة الثلاثي 
غير متجانس في جميع الاتجاهات (لا إيزوتروبية)	ثلاثة محاور متعامدة ومختلفة في الطول	(٥)  فصيلة المعين القائم
	ثلاثة محاور مختلفة في الطول أحدها مائل على المستوى الذي يمر به على المحورين الأخرين (ن) (هـ)	(٦)  فصيلة أحادي الميل
	ثلاثة محاور مختلفة في الطول وغير متعامدة على بعض	(٧)  فصيلة ثلاثي الميل

شكل رقم (٧): الفواصل البلورية للمعادن ومحاورها البلورية.

## ٢ - فصيلة السداسى Hexagonal System

وتشمل البلورات التى لها أربعة محاور بلورية (أ - ب - ج - د)، ثلاثة منها أفقية (أ - ب - ج) ومتساوية فى الطول وتتقاطع فى زوايا مقدارها ١٢٠° والمحور الرابع (د) عمودى ومختلف عنها فى الطول وتمثله بلورات معادن البيريل والأباتيت والنفييلين.

## ٤ - فصيلة الثلاثى Trigonal System

وتشبه هذه الفصيلة فى محاورها البلورية فصيلة السداسى، ولكن تختلف عنها فى درجة التماثل البلورى. ومن أمثلتها بلورات معادن الكلسيت والكوارتز والكورندم.

## ٥ - فصيلة المعين القائم Orthorhombic System

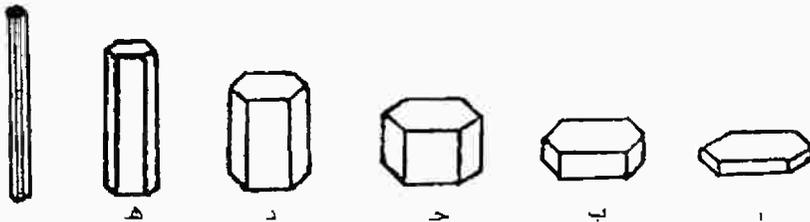
وتشمل البلورات التى لها ثلاثة محاور بلورية (أ - ب - ج) مختلفة فى الطول ومتعامدة بعضها على بعض. ومن أمثلتها بلورات معادن الباريت والأراجونيت والأوليفين.

## ٦ - فصيلة أحادى الميل Monoclinic System

ولبلوراتها ثلاثة محاور بلورية (أ - ب - ج) مختلفة فى الطول وأحدهما (أ) مائل على المستوى المحورى الذى يحتوى على المحورين الآخرين (ب، ج)، وتمثله بلورات معادن الجبس والارثوكليز فلبسبار والميكا والبيروكسين والأمفيبول.

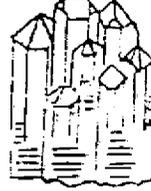
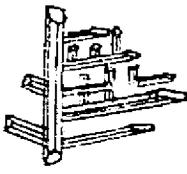
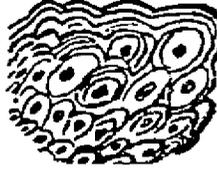
## ٧ - فصيلة ثلاثى الميل Triclinic System

ولبلوراتها ثلاثة محاور بلورية (أ - ب - ج) مختلفة فى الطول وغير متعامدة على بعض وتمثله بلورات معادن البلاجيوكليز فاسبار والميكروكلين. وتوجد البلورات على هيئة تجمعات متجانسة أو غير متجانسة وذات أشكال مختلفة مثل الأشكال الرقائقية والقرصية والمنشورية والعمدانية والأبرية كما فى شكل (٨)، ومن التراكيب الأخرى للتجمعات البلورية نذكر على سبيل المثال التراكيب الشعاعية والاستلاكية والليفية والعنقودية والشجرية والمرجانية كما فى شكل (٩).



شكل رقم (٨): الأشكال المختلفة للبلورات

أ - رقائق  
ب - أقراص  
ج - منشورات قصيرة  
د - منشورات  
هـ - عمدان  
و - ألياف أو إبر رفيعة

 <p>تجمعات ستلاكتيتية يسيلوميلين</p>	 <p>تجمعات شعاعية ويغيازيت</p>	 <p>تجمعات متوازية كوارتز</p>
 <p>قطاع في الحجر الجيري البطروخي</p>	 <p>تجمعات شجرية نحاس</p>	 <p>تجمعات ليفية اسيستوس</p>
 <p>تجمعات مرجانية اراجونيت</p>	 <p>تجمعات مركزية ملاكيت</p>	 <p>تجمعات عنقودية دولومايت</p>

شكل رقم (٩): التجمعات المتبلورة لبعض المعادن

## ١ - خواص المرونة واللدونة في البلورات:

وتختلف خواص المعادن تبعاً لاتجاهات محاورها البلورية وتسمى خواص المعدن في الاتجاهات المختلفة بالخواص الاتجاهية (Vectorial properties). وعندما تتعرض المعادن التي تتبلور في فصيلة المكعب للضغوط المختلفة تكون ثوابتها الميكانيكية متشابهة في جميع الاتجاهات، أي إنها أيزوتروبية (Isotropic). أما في حالة المعادن التي تتبلور في فصائل الرباعي والسداسي والثلاثي فإن ثوابتها الميكانيكية تتشابه في الاتجاهات المتعامدة فقط على المحور الرأسي (ج) بينما تختلف في جميع الاتجاهات الأخرى. وفي المعادن التي تتبلور في فصائل المعين القائم وأحادى وثلاثى الميل تكون ثوابتها الميكانيكية غير متشابهة في الاتجاهات البلورية المختلفة للمعدن، أي إنها لا أيزتروبية (Anistorpic). وتحت تأثير الضغوط المختلفة تتشوه البلورات ويتغير شكلها وحجمها وهناك نوعان رئيسيان من التشوه في البلورات هما:

## ( أ ) التشوه المرن للبلورات Elastic deformation of Crystal

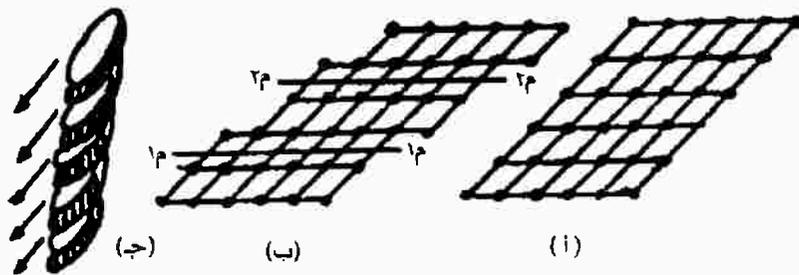
في هذا النوع من التشوه تعود البلورة إلى شكلها وحجمها الأصلي عند زوال الإجهادات المؤثرة عليها. ويلاحظ أن مرونة البلورات تختلف تبعاً لاتجاه المحاور البلورية. كما يتضح من جدول (٦). ويعتمد السلوك المرن للبلورات على البناء الشبكي للبلورة، وعلى تنوع الروابط بين ذراتها أو أيوناتها وعلى تركيب مجموعات (س أ٤) في حالة معادن السيليكات. فمثلاً في حالة البلورات الأيونية يزداد الانضغاط الهيدروستاتيكي كلما ازدادت المسافة بين الأيونات في وحدات الخلايا المكونة للبلورة. وفي حالة معادن السيليكات مثل الكوارتز والفلسبار والميكا كلما زاد الضغط بمقدار ضغط جوى واحد فإن الحجم يقل بمقدار من ١ : ٦ إلى ٣ : ٦ بالنسبة للحجم الأصلي، بينما تنكسر البلورة أو تتشقق إذا ازداد الضغط الواقع عليها عن مقدار القوى الرابطة بين الذرات والأيونات المكونة للمعدن.

جدول (٦) شدة تحمل معدن الكوارتز للإجهادات

نوع الإجهاد	بموازية المحور الرأسي (ح)	عمودي على المحور الرأسي (ح)
الضغط	٢٥,٠٠٠ كج/سم <sup>٢</sup>	٢٢,٨٠٩ كج/سم <sup>٢</sup>
الشد	١,١٦٠ كج/سم <sup>٢</sup>	٨٥٠ كج/سم <sup>٢</sup>
الثني	١,٤٠٠ كج/سم <sup>٢</sup>	٩٢٠ كج/سم <sup>٢</sup>

## (ب) التشوه اللدن للبلورات Plastic Deformation

ينشأ هذا التشوه نتيجة لعاملين هما الانزلاق الانتقالي (Translational sliding) والانزلاق التوأمي (Twin sliding) وتتميز مستويات الانزلاق بأنها مستويات في التركيب الفراغي للبلورة وفي هذه المستويات تتجمع الذرات أو الأيونات بدرجة كبيرة. وتنشأ مستويات الانزلاق في البلورة عندما تقع تحت تأثير إجهادات خاصة حرجة ذات شدة معينة تصل أحياناً إلى ٤٠٠ كج/سم<sup>٢</sup>. وينشأ عن الانزلاق الانتقالي (الميكانيكي) في حالة المعادن العنصرية كالذهب والفضة والبلاتين إزاحات متوازية على طول مستويات بلورية بسيطة في اتجاهات تسمى بالاتجاهات الانتقالية، وبذلك يحدث تشوه لدن مستمر حتى في درجات الحرارة العادية دون أن تنكسر أو تقطع المادة، وبذلك يمكن سحب بلورات منفردة إلى أسلاك رفيعة أو طرق البلورة إلى شرائح رقيقة للغاية على البارد كما يتضح من شكل (١٠). أما الانزلاق التوأمي فينشأ نتيجة إزاحة جزء من البلورة على جانبي مستويات الانزلاق وتؤدي إلى نشأة توائم متماثلة في البلورة كما في شكل (١١).

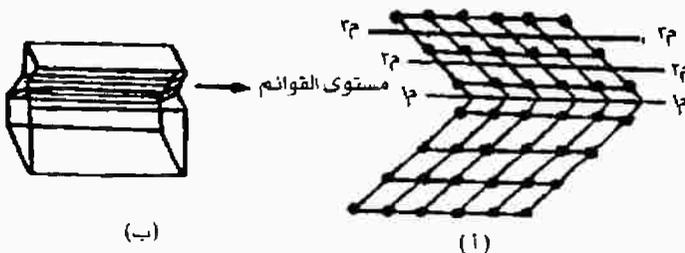


شكل رقم (١٠): التشوه في البلورات نتيجة للانزلاق الانتقالي.

(أ) ترتيب الذرات في التركيب الفراغي للبلورة قبل الانزلاق.

(ب) ترتيب الذرات في المستويات الذرية البلورية بعد الانزلاق على المستويات ١م - ١م ، ٢م - ٢م.

(ج) أسطوانة من بلورة واحدة لفلز الزنك بعد انقسامها إلى أقراص رقيقة نتيجة لانزلاقها على مستويات انتقالية مما أدى إلى تشوه البلورة.



شكل رقم (١١): التشوه في البلورات نتيجة للانزلاق التوأمي.

(أ) ترتيب الذرات في المستويات الذرية البلورية بعد الانزلاق التوأمي.

(ب) بلورة من الكليست على شكل رومبو هيدرون (معين) تشوهت بالانزلاق التوأمي بفعل الضغط.

## ٢ اللون والمخدش Colour and Streak

في كثير من المعادن . وخاصة التي لها بريق فلزي، يكون اللون ذا قيمة لتشخيص المعدن، ولكن في معظم الأحيان لا يكون اللون صفة ثابتة يمكن الاعتماد عليها للتعرف على المعدن، وفي حالة وجود عنصر ملون، مثل أيون النحاس والحديد، في التركيب الكيميائي للمعدن فإن لون سطوحه غير المتغيرة يكون عادة أصيلاً مثل اللون الأحمر للنحاس واللون الأصفر للبيريت أما المعادن التي تتكون من عناصر غير ملونة كالصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والألمنيوم فإن

ألوانها تكون غير أصيلة، ولذلك فإنها تكتسب ألواناً غريبة نتيجة لوجود شوائب أو مواد دخيلة بالمعدن. فمثلاً قد يكون معدن الكوارتز عديم اللون أو وردياً أو أصفر أو أبيض أو داكناً كالدخان أو أحمر أو بنيًا.

أما المخدش فهو لون المسحوق الناعم للمعدن، ويكاد يكون المخدش ثابتاً من الناحية العملية على رغم أن المعدن قد يتغير لونه تبعاً لنوع الشوائب الموجودة به. ومعظم معادن مجموعة السيليكات المكونة للصخور لها مخدش أبيض، ويساعد المخدش المتميز للمعادن الفلزية المكونة لل خامات مثل الأكاسيد والكبريتيدات في التعرف على نوع المعدن فالهيماتيت ( $Fe_2O_3$ ) مخدشة أحمر، والليمونيت ( $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ ) مخدشة أصفر، والجالينا (PbS) مخدشة رمادي.

### ٣- الخواص المغناطيسية Magnetic Properties

يتميز معدن المجنتيت بخصائصه المغناطيسية القوية، كما أن بعض عينات هذا المعدن لها القدرة على الاستقطاب بحيث يجذب أحد طرفيها إلى القطب الشمالي لإبرة البوصلة، بينما يتنافر الطرف الآخر. وبعض المعادن مثل الهيماتيت والكروميت والولفرام لها خاصية الانجذاب إلى المغناطيس وتسمى هذه الخاصية بالبارامغناطيسية، أما المعادن التي تتنافر مع المغناطيس مثل الكلسيت والكوارتز والزركون فتسمى ديامغناطيسية. ومن ضمن التطبيقات الهامة للخواص المغناطيسية للمعادن نذكر ما يأتي:

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

(ب) تستخدم وسائل الكشف الجيوفيزيقي بالطرق المغناطيسية لتحديد تراكيب الصخور تحت السطحية وبذلك تساعد في البحث عن البترول والغاز الطبيعي والمياه الأرضية، وفي دراسة مواقع المنشآت الهندسية الهامة كالسدود والخزانات والأنفاق.

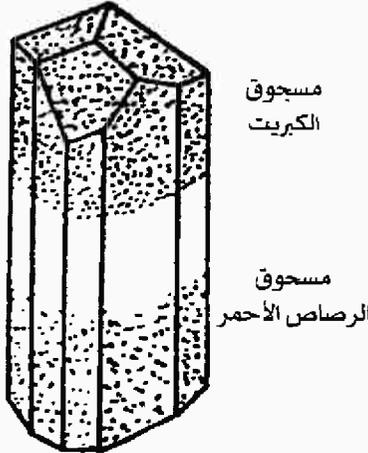
(ج) نتيجة لاختلاف المعادن في خواصها المغناطيسية فإنه يمكن فصلها وتركيزها بالوسائل الكهرومغناطيسية والتي تعتبر من الطرق الهامة المستخدمة على نطاق صناعي كبير في عمليات تركيز الخامات. ويمكن بتغيير شدة المغناطيس الكهربائي فصل المعادن ذات الخواص المغناطيسية المختلفة عن بعضها.

### ٤- الخواص الكهربائية Electrical Properties

بعض المعادن ذات البريق الفلزي مثل الجرافيت والكبريتيدات (ما عدا الزنك بلنند) وبعض الأكاسيد موصلات جيدة للكهرباء، ولكن معظم المعادن موصلات رديئة أو غير موصلة للكهرباء.

وعند تسخين بعض المعادن تحت ظروف معينة تصبح مشحونة بالكهرباء وتسمى هذه الخاصية بالكهرباء الحرارية (Pyroelectricity) وتوجد هذه الخاصية فقط في بلورات المعادن التي لا توجد بها مراكز للتماثل ولها محاور قطبية للتماثل تنتهي بأوجه غير متشابهة مثل بلورات معدن التورمالين الموضحة في شكل (١٢). كذلك قد تتولد شحنات كهربية على بلورات ليس لها مركز للتماثل نتيجة للضغط الموجه على البلورة وتسمى هذه الخاصية بالكهرباء الاحتكاكية (piezoelectricity). وتشبه الكهرباء الحرارية في أنها أكثر وضوحاً على طول المحاور القطبية التي تسمى بالمحاور الكهربائية. وفي حالة بعض الخامات المعدنية الفلزية مثل خامات النحاس والرصاص. تستخدم طرق الاستكشاف الجيوفيزيقي بالوسائل الكهربائية للبحث عن هذه الخامات تحت سطح الأرض. وجدير بالذكر أنه في الأغراض الصناعية تتم إحدى طرق فصل خليط من المعادن ذات خواص كهربية مختلفة بالوسائل الكهربائية الاستكثائية، فعلى سبيل المثال يمكن باستخدام هذه الطريقة فصل معدن الزنك بلند الموصل الرديء للكهرباء من معادن جيدة التوصيل الكهربى مثل الجالينا والبيريت.

الطرف الموجب (+) للبلورة



الطرف السالب (-) للبلورة

شكل رقم (١٢): بلورة من معدن التورمالين مشحونة بالكهرباء الحرارية، وتجمع مسحوق الكبريت الأصفر (ذو الشحنة السالبة) على الطرف الموجب للبلورة، أما مسحوق الرصاص الأحمر (ذو الشحنة الموجبة) فقد انجذب إلى الطرف السالب للبلورة.

## ٥- الصلابة Hardness

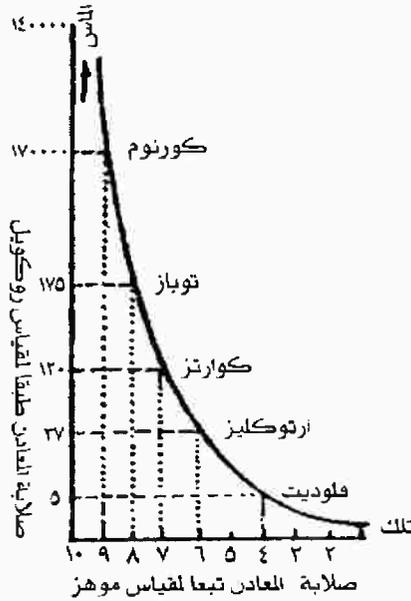
هي إحدى الصفات الأساسية للمعادن وتقاس بالمقاومة التي يبديها سطح ناعم من المعدن لعوامل الخدش أو الطحن. وتعين الصلابة بسهولة بملاحظة نتيجة خدش معدن ما بمعدن آخر، أو بقطعة نقود نحاسية أو بنصل مطواه، وقد اتفق منذ زمن طويل على استعمال مقياس استنطة (موهن) للتعبير عن الصلابة، وفي هذا المقياس رتبت مجموعة من عشرة معادن ترتيباً نسبياً تبعاً لزيادة الصلابة وهذه المجموعة موضحة في جدول (٧).

وعلى سبيل المثال إذا خدش معدن ما بالجبس، وكان نفس المعدن يُخدش بالكلسيت، فإنه يقال إن صلابته = ٢,٥. ومن الضروري عند إجراء تجربة اختبار الصلابة اختبار سطح نظيف للعينة، لأنه قد تفتت تجمعات المعادن الترابية أو الحبيبية أو الأبرية الشكل دون أن تخدش في الواقع. وللسهولة تبسط وسيلة تعيين الصلابة التقريبية وذلك باستخدام ظفر اصبع (صلابته = ٢,٥) وقطعة من زجاج النافذة (= ٥,٥) ومبرد من الصلب (صلابة = ٦,٥). ومعظم المعادن ذات صلابة أقل من مبرد الصلب، وبعد قليل من المران يمكن تقدير الصلابة التقريبية للمعدن بالسهولة التي يمكن بها خدشه بواسطة الأدوات البسيطة لاختيار الصلابة المبيئة في جدول (٧).

جدول (٧) مقياس الصلابة لموهن

مقياس الصلابة	المعدن	وسيلة بسيطة لاختبار الصلابة	المقاومة للاحتكاك في الماء طبقاً لركويل
١	تلك	عود من الكبريت	٠,٣
٢	جبس	ظفر الأصبع	١,٢٥
٣	كلسيت	قطعة نقود نحاسية	٤,٥٠
٤	فلورسبار		٥,٠٠
٥	أباتيت	قطعة من الزجاج	٦,٥
٦	أرثوكليز فلسبار	مبرد من الصلب	٣٧
٧	كوارتز		١٢٠
٨	توباز		١٧٥
٩	كورندم	كربورندم	١٧٠٠٠
١٠	ماس		١٤٠٠٠٠; ٢٠٠٠

ويجب ملاحظة أن الأعداد المذكورة في مقياس (موهن) هي مجرد أعداد نسبية وليست لها قيمة على الإطلاق من الناحية الكمية، فلا يجب مثلاً أن نفترض أن صلابة الماس ضعف صلابة الأباتيت أو عشرة أضعاف صلابة التلك، أو أن الفترات بين صلابة المعادن المتتابعة في مقياس (موهن) هي فترات منتظمة. وفي الحقيقة نجد أن الفرق بين صلابة الكورندم والتوباز أكبر بكثير من الفرق بين صلابة النوباز والكوارتز، كذلك يزيد الفرق بين صلابة الكورندم والماس عن الفرق بين صلابة التلك والكورندم في مقياس (موهن) إذا استعملت وحدة قياسية واحدة كما يتضح مع شكل (١٣): وهناك طريقة أخرى استنبطها (روكوبل) لتعيين الصلابة النسبية وذلك بواسطة تعيين مقاومة المعدن للتآكل بواسطة عملية الطحن بكمية معينة من مساحيق الصنفرة.



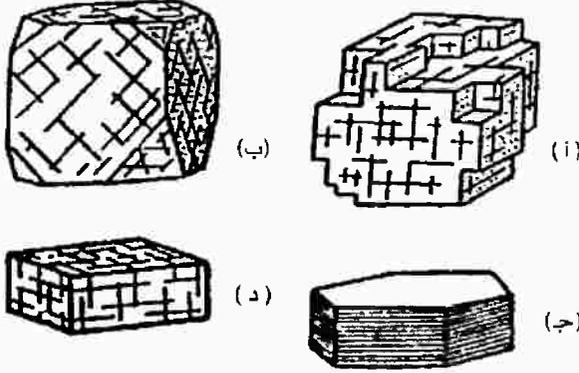
شكل (١٣): صلابة المعادن.

## ٦ - التشقق Cleavage

كثير من المعادن يتشقق بسهولة في اتجاهات منتظمة ثابتة تعرف بمستويات التشقق، وتعطى أشكالاً منتظمة ذات سطوح ناعمة ملساء وتكون مستويات التشقق موازية دائماً لوجه بلورى عادة في البلورة. ويتميز المعدن الذى له خاصية التشقق بأنه يمكن فصله بسهولة إلى أجزاء دقيقة جداً في اتجاهات توازى مستويات التشقق. فعلى سبيل المثال يوجد لمعدن الميكا اتجاه واحد للتشقق الكامل كما في شكل (١٤ ج) ويفصل المعدن بموازاة هذا الاتجاه إلى

شرائح رقيقة جداً يصل سمكها لأقل من ٢٥ ميكرون (٠,٠٢٢٥ مم) ومن الأمثلة الأخرى للتشقق نذكر ما يأتي:

- (أ) تشقق مكعبي كما في معدن الجالينا، شكل (١٤ - أ).  
 (ب) تشقق أوكتايدري (أشكال ذات ثمانية أوجه) كما في معدن الفلورسبار (شكل ١٤ - ب).  
 (ج) تشقق قاعدي ومنشوري كما في معدن الباريت، (شكل ١٤ - د).



شكل (١٤): التشقق في المعادن.

- (أ) تشقق مكعبي لمعدن الجالينا.  
 (ب) تشقق ذو ثمانية أوجه المعدن الفلورسبار.  
 (ج) تشقق قاعدي لمعدن الميكا.  
 (د) تشقق قاعدي ومنشوري لمعدن الباريت.

#### ٧ - المكسر والتفلق Fracture and Parting

تكون السطوح الناتجة عن كسر المعدن إما غير منتظمة وإما ذات سطوح مستوية وإما محارية مثل قطع الصوان كما في شكل (١٥). والطريقة التي يتشقق بها المعدن صفة تساعد كثيراً في التعرف على المعدن. وعندما تتعرض بعض المعادن للضغط، أثناء عملية الطحن مثلاً/ فإنه ينشأ بها مستويات للانزلاق وينكسر المعدن على طولها إلى قطع صغيرة منتظمة الشكل، وتسمى هذه الخاصية التي تشبه التشقق بالتفلق.



شكل (١٥): مكسر محاري لمعدن الكوارتز.

## ٨ - الثقل النوعى أو الكثافة Specific gravity

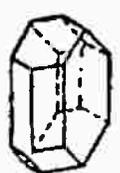
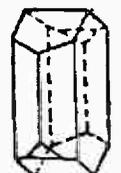
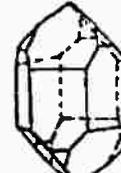
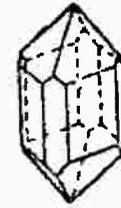
الثقل النوعى للمعدن صفة هامة تساعد كثيراً على تشخيص المعدن والتعرف عليه. وتعتمد هذه الخاصية على الوزن الذرى للذرات أو الأيونات المكونة للمعدن. وعلى كيفية توزيع الذرات وتجمعها أو رصها فى التركيب الذرى لبلورات المعدن. فمثلاً تكون معادن الرصاص دائماً ثقيلة لأن العدد الذرى للفلز كبير وعلى رغم أن كلاً من معدنى الجرافيت والماس يتكون من عنصر الكربون فقط، إلا أن أن الماس (كثافته ٣,٥) أثقل بكثير من الجرافيت (كثافته ٢,٢) لأن ذرات الكربون فى الماس مرصوفة رصاً محكماً، بينما فى حالة الجرافيت تكون ذرات الكربون مرتبة فى مستويات بينها روابط ضعيفة ويمثل الثقل النوعى ١,١ فى حالة الصمغ المتحجر (الكهرمان)، ٢٣ فى حالة عنصر الأيريديوم النهايتين الصغرى والكبرى للثقل النوعى فى المعادن. وبعد قليل من المران يمكن تقدير كثافة المعدن بالتقريب. وبذلك يمكن التمييز بين المعادن التى لها نفس الشكل الخارجى تقريباً. ويتراوح متوسط الكثافة للمعادن غير الفلزية بين ٢,٦ ، ٢,٧٥ كما يتضح من جدول (٨).

جدول رقم (٨) الثقل النوعى لبعض المعادن الشائعة

الثقل النوعى	المعدن	الثقل النوعى	المعدن
٢,٧٨ - ٢,٨٨	مسكوفيت	٢,٥	لوسيات
٢,٩ - ٣,٣	بيوتيت	٢,٥٦	أرثوكليز فلبسبار
٣,٣ - ٣,٥	أوجيت	٢,٦١ ٢,٧٨	بلاجيو كليز فلبسبار
٢,٩ - ٣,٥	هورنبلد	٢,٦٢	نفيلين
٣,٣	أوليفين	٢,٦٥	كوارتز
٤,٥	ياريت	٢,٧١	كلسيت

### الخواص الطبيعية لبعض المعادن:

تتكون الصخور النارية والمتحولة من معدن واحد أو أكثر من معادن السيليكات، أما الصخور الرسوبية فإن معادنها الأساسية تشمل الكوارتز ومعادن الطين (الصلصال) والكلسيت والأراجونيت والدولوميت والجبس والأنهيدريت والملح الصخرى، ويوضح جدول (٩) الخواص الطبيعية لبعض المعادن الشائعة المكونة للصخور، بينما يبين شكل (١٦) الأشكال البلورية لبعض هذه المعادن.

 <p>ج - البايث</p>	 <p>ب - ارنوكليز</p>	 <p>ا - كوارتز</p>
 <p>و - اوليفين</p>	 <p>هـ - اوجيت</p>	 <p>د - هوزيلند</p>
 <p>ط - جيس</p>	 <p>ح - اراجونيت</p>	 <p>ز - كلسيت</p>

شكل (١٦): بلورات بعض المعادن المكونة للصخور.

جدول رقم (٩): الخواص الطبيعية لبعض المعادن الشائعة

المدن	اللون	الخدش	البريق	التشقق	الصلابة	التركيب (الشكل)	ملاحظات
١ - كوارتز (ثلاثي) (شكل ٢٣-١)	عديم اللون، أبيض بنفسجي أو أسود (مدخن)	أبيض	زجاجي	لا يوجد	٧	بلورة من فصيلة الثلاثي أو حبيبي أو كتلي	يتميز بمكسر محاري وبريق زجاجي وصلابة عالية معدن شائع في الجرانيت والصخور الرملية
٢ - أرثوكليز (أحادي الميل) (شكل ٢٣ - ٥)	أبيض، وردي، رمادي، أخضر	أبيض	زجاجي	فسي اتجاهين يتقاطعان في ٩٠° تقريباً	٦ - ٦,٥	بلورات مسطحة، حبيبي أو كتلي	يوجد في صخور الجرانيت والبيجمات
٣ - بلاجيوكليز (ثلاثي الميل) (شكل ٢٣ - ج)	أبيض، رمادي وبمعل للاحمرار أو الزرقة	أبيض	زجاجي	فسي اتجاهين يتقاطعان في زوايا ٨٧°، ٩٣°	٦ - ٦,٥	بلورات مسطحة، حبيبي أو كتلي	يتميز عادة بخاصية تلاعب الألوان، ويوجد بالصخور، النارية القاعدية
٤ - مسكوفيت (أحادي الميل)	عديم اللون، أبيض وأحياناً ذو صبغة صفراء أو بني فاتح	أبيض	زجاجي أو لؤلؤي	في اتجاه واحد قاعدي	٢ - ٣	كتل ورقية أو بلورات مسطحة أحياناً على شكل قشور	يتميز بتشققه القاعدي الواضح والرائق تكون مرنة وشفافة
٥ - بيوتيت (أحادي الميل)	أسود إلى أخضر قاتم أو بني	فاتح اللون	أو لؤلؤي	في اتجاه واحد قاعدي	٢ - ٣	كتل ورقية أو على شكل قشور	القشور مرنة ويوجد بالصخور النارية والشيست والنيس

المعدن	اللون	المخدش	البريق	التشقق	الصلابة	التركيب (الشكل)	ملاحظات
٦ - مورنيلند (أحادى الميل) (شكل ٢٣ - د)	أخضر قاتم إلى أسود	أبيض أخضر أو بنى فاتح	زجاجى	جيد فى اتجاهين يتقاطعان '١٢٤،٥٦	٦،٥ - ٥	بلورات مستطيلة أو كتل حبيبية	معدن شائع فى الصخور النارية والمتحولة
٧ - أوجيت (أحادى الميل) (شكل ٢٣ - هـ)	أخضر قاتم إلى أسود	أبيض، أخضر أو بنى فاتح	زجاجى	جيد فى اتجاهين يتقاطعان '٩٤،٨٦	٦،٥ - ٦	بلورات سميكة وقصيرة أو حبيبية	معدن شائع فى الصخور النارية القاعدية كالبازلت
٨ - أوليفين (معين قائم) (شكل ٢٣ - و)	أخضر، بنى مائل للإصفرار	أبيض أو أصفر	زجاجى	ليس له تشقق	٦ - ٧	كتل حبيبية	يتميز بلونه الأخضر ويريقه الزجاجى. يوجد بالصخور القاعدية وفوق القاعدية
٩ - سربنتين (أحادى الميل)	أخضر أو أسود مائل للاخضرار	أبيض أو فاتح اللون	شمعى / حريرى أو قاتم	لا يوجد	٣ - ٤	كتلى أو ليفى	ينتج من التحليل الكيماوى لمعدن الأوليفين فى الصخور النارية والقاعدية
١٠ - تلك (أحادى الميل)	أبيض، أخضر	أبيض	لؤلؤى	فى اتجاه واضح وجيد	١ - ٢	ورقى، حبيبي، ليفى أو كتل متفاسكة مثل الشمع	يتميز التلك بملمس كالصابون وتركيبه ورقى أو ميكسائى ويوجد بالصخور المتحولة

المعدن	اللون	المخدش	البريق	التشقق	الصلابة	التركيب (الشكل)	ملاحظات
١١ - كاولينيت (ثلاثي الميل)	أبيض إذا كان نقيًا، رمادي، أحمر	أبيض	ترابي	لا يوجد	١ - ٢	على شكل مسحوق أو حبيبي أو كتل	يلتصق باللسان ويوجد في الرواسب المتبقية
١٢ - كالسيت (ثلاثي) (شكل ٢٣-ن)	أبيض، أصفر، أزرق، بنفجي	أبيض	زجاجي	واضح جدا وفي ثلاث اتجاهات رومبويدرون	٣	بلورات من فصيلة الثلاثي أو كتل خشنة أو دقيقة الحبيبات	يتفاعل بسهولة مع (يد كل) المخفف ويتساعد (ك أ) يتميز بالتشقق الكامل
١٣ - أراجونيت (معين قائم) (شكل ٢٣-ج)	أبيض، رمادي، أصفر، بنفجي	أبيض	زجاجي	جيد في ثلاث اتجاهات	٣.٥ - ٤	بلورات من أبرة من فصيلة المعين القائم أحيانا في تجمعات شعاعية	يتفاعل بسهولة مع (يد كل) المخفف ويتساعد (ك أ)
١٤ - دولوميت (ثلاثي)	أبيض، أصفر، أزرق، بنفجي	أبيض	زجاجي أو لؤلؤي	جيد في ثلاث اتجاهات رومبويدرون	٣.٥ - ٤	بلورات من فصيلة الثلاثي أو كتل حبيبي	يتفاعل بصعوبة (يد كل) المخفف، يوجد في صخور الدولوميت والرخام
١٥ - جيس (أحادي الميل) (شكل ٢٣ - ط)	أبيض وأحيانا ذو صبغة صفراء	أبيض	زجاجي حريري أو لؤلؤي	في ثلاث اتجاهات وأحدها جيد	١.٥ - ٢	بلورات أحادية الميل وفي أحيانا على شكل كتل أو ليفي أو ترابي	يتميز بوجود تشقق واضح في اتجاه واحد وسطحه ناعم وبريقه حريري

## الفصل الثانى : المعادن

1. Betekhtine, A.G., A Course in Mineralogy: Peace Publishers, Moscow, (1951).
  2. Dana, J. D., and C. C. Hurlbut, Manual of Mineralogy; Wile New York, (1959).
  3. Dennen W.H., Principles of Mineralogy: Mc – Craw Hill, Miew, York, (1958).
  4. Jones, W.R., and D. Willams, Minerals and Mineral Deposits: Oxford University Press, Oxford, (1954).
  5. Kraus, E.H., Hunt, W.F., and L.S. Ramsdell, Mineralogy, Mc-Grae Hill, New York, (1959).
  6. Read, H.H., Rutley's Elements of Mineralogy: Thomas Murby, London, (1959).
  7. Rogeorsm A. F., Introduction to the Study of Minerals: Mc – Graw Hill, New York, (1937).
- ٨ - علم المعادن (الطبعة الثالثة): الناشر، مكتبة الأنجلو المصرية (١٩٧٤). تأليف: د. عز الدين حلمى.
- ٩ - الجيولوجيا العلمى: الناشر، دار المعارف (١٩٧٧) \_ الطبعة الثانية).  
تأليف: د. فخرى موسى، د. محب الدين حسين، د. حسن فهمى، د. سيد صالح.