الفصل الثانى

المعـــــادن

أثبتت التحاليل الكيميائية لعدد كبير من عينات الصخور النارية المأخوذة من جميع أنحاء العالم، والتى تمثل عناصرها مكونات صخور القشرة الأرضية، أن متوسط التركيب الكيميائى لها كما هو موضح فى جدول (٤). ويتضح من هذا الجدول أن ثمانية عناصر فقط، هى الأكسجين والسيليكون والألمنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والمغنسيوم مرتبة حسب نسب تواجدها 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 عنصرًا تكون فى مجموعها أكثر من ٩٩,٦ فى المائة من تركيب القشرة الأرضية. وتوجد هذه العناصر أساسًا على صورة مركبات كيميائية أهمها السيليكات والتى تسمى بالمعادن المكونة للصخور.

جدول رقم (٤) متوسط التركيب الكيميائى للقشرة الأرضية

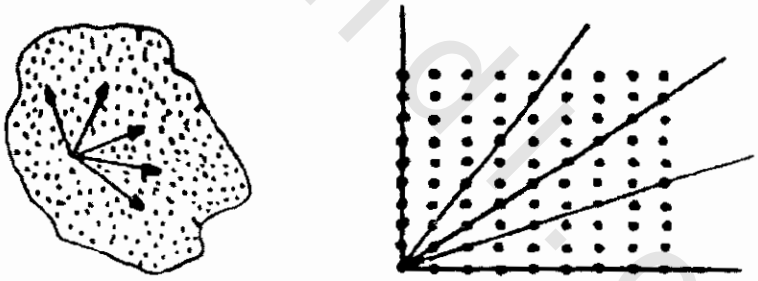
العنصر	الرمز الكيميائى	النسبة المئوية	العنصر	الرمز الكيميائى	النسبة المئوية
أكسجين	O	٤٦,٧١	بوتاسيوم	K	٢,٥٨
سيليكون	Si	٢٧,٦٩	مغنسيوم	Mg	٢,٠٧
ألومنيوم	Al	٨,٠٧	تيتانيوم	Ti	٠,٦٢
حديد	Fe	٥,٠٦	هيدروجين	H	٠,١٤
كالسيوم	Ca	٣,٦٥	فوسفور	P	٠,١٢
صوديوم	Na	٢,٨٣	منجنيز	Mn	٠,٩

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

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

المجموعات الكيميائية للمعادن

توجد معظم عناصر القشرة الأرضية متحدة مع بعضها في صورة مركبات كيميائية تسمى 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 بعضها 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

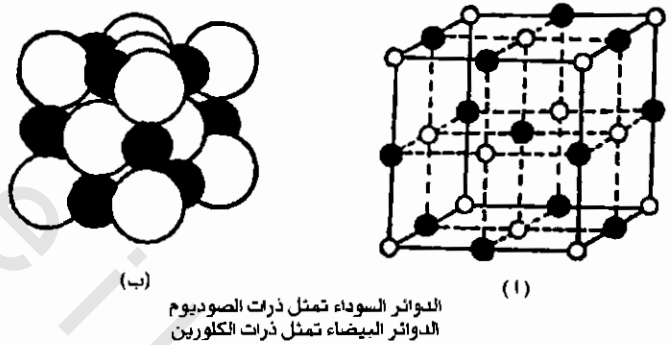


(أ) مادة متبلورة (ب) مادة غير متبلورة

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 أشكالا خارجية منتظمة تسمى بالبلورات. وجميع المعادن، فيما عدا القليل منها، متبلورة وبرغم أن أشكالها

الخارجية قد تكون غير منتظمة، إلا أن لذرات كل منها ترتيبًا داخليًّا منتظمًا 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 إحلالا جزئيًّا محل الزنك يصبح قانونه (Zn,Fe) S.

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

أولاً: مجموعات السيليكات وتسمى بالمعادن المكونة للصخور.

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

أولاً: مجموعات معادن السيليكات

معادن السيليكات أكثر المجموعات المعدنية انتشارًا، 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 الألومنيوم والحديد والكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم. والصخور النارية التى تكون معظم القشرة الأرضية تتكون عادة من خليط من معدنين أو أكثر من معادن السيليكات التى تشمل سبع مجموعات رئيسية موضحة فى جدول (٥).

ثانيًا: مجموعات المعادن الاقتصادية

توجد المعادن الاقتصادية المكونة للخامات الفلزية واللافلزية على هيئة تركيزات محددة النطاق بداخل الأنواع المختلفة من الصخور مكونة الرواسب المعدنية الاقتصادية، والتى 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 - أوليڤين Olivine	فورشتيريت	$Mg_2 SiO_4$
	أوليڤين	$(Mg, F.) SiO_4$
	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	$(OH)_2 Ca_2 (Mg.Fe)_5 Si_8 O_{22}$
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	$(OH)_8 (Mg,Fe)_5 Al_2 Si_2 O_{10}$

المجموعة		أمثلة لبعض المعادن	
٥ – الفلسبار Felspars	فلسبار قلوى بلاجيو كليز فلسبار	أرثوكليز ميكروكلين ألبايت أنورثيت لابـرادوريت : خليط من الالبـايت والانورثيت بنسبة ١ : ١	$(K, Na) Al Si_3 O_8$ $K Al Si_3 O_8$ $Na Al Si_3 O_8$ $CaAl_2 Si_2 O_8$
٦ – الفلسباثويد Felspathoids		لوسايت نفيلين	$K Al Si_2 O_6$ $Na AlSi_2 O_4$
٧ – السيليكا		كوارتز	SiO_2

٢ مجموعة الكبريتيدات وتكون من اتحاد الفلزات المختلفة مع الكبريت مثل الجالينا (PbS)، والبيريت (Fe_2) والسفاليريت (ZnS).

٣ – مجموعة الأكاسيد التى تحتوى على فلز متحد بالأكسجين مثل الهيماتيت (Fe_2O_3) وهو معدن ركائز الحديد الذى يستخرج من مناجم الحديد فى شرق أسوان، والكروميت ($FeCr_2O_4$) والكورندم (AL_2O_3).

٤ – مجموعة الكربونات وتتكون من ذرة كربون وثلاث ذرات من الأكسجين متحدة مع أحد الفلزات مثل الكليست ($CaCO_3$)، والسيديريت ($Fe CO_3$)، والملاكايت $CuCO_3. Cu (OH)_2$.

٥ – مجموعة الكبريتات وتتكون من ذرة كبريت وأربعة ذرات من الأكسجين متحدة مع أحد الفلزات مثل الجبس ($Ca SO_4 2H_2 O$) والباريت ($Ba SO_4$).

٦ - مجموعة النترات وفوسفات مثل نتر الصودا ($NaNO_3$)، والأباتيت $Ca_5 (FmIC) (PO_4)_3$.

٧ مجموعة الهاليدات وتتكون من اتحاد الكلور أو الفلور مع أحد الفلزات مثل الفلوريت (CaF_2) والهاليت ($NaCl$)

الخواص الطبيعية للمعادن

تنقسم الخواص الطبيعية للمعادن إلى المجموعات الآتية:

أولاً: خواص بلورية وتشمل الشكل الخارجي للبلورات وتجمعاتها وبنائها الذرى الداخلى.

ثانيًا: خواص ضوئية وتشمل اللون والمخدش والبريق والشفافية والتفلور والتفسفر وانكسار الضوء فى المعادن.

ثالثًا: خواص تماسكية وتشمل الصلابة والتشقق والمكسر والتفلق والقابلية للسحب والطرق.

رابعًا: خواص تعتمد على التركيب الكيميائى للمعدن وتشمل الثقل النوعى والتوتر السطحى والامتصاص.

خامسًا: خواص كهربية ومغناطيسية وإشعاعية.

سادسًا: خواص تعتمد على صفات معينة مثل القابلية للانصهار والرائحة والطعم والملمس.

❊❊❊

الفصائل البلورية للمعادن Crystal Systems

تأخذ جميع المعادن تقريبًا تحت الظروف الطبيعية والكيميائية المناسبة للتبلور أشكالا خارجية منتظمة تسمى بالبلورات يحدها أسطح مستوية تسمى بالأوجه. ويجب ملاحظة أن درجة التبلور لا ترتبط بالشكل الخارجي للمعدن ولكن بالترتيب الذرى الداخلى المنظم للمادة. ولقد أثبتت دراسة البلورات أنه يمكن حصرها فى سبع فصائل بلورية يمكن تمييزها تبعًا 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 Cabic System

وتحتوى بلورات هذه الفصيلة على ثلاثة محاور بلورية متساوية فى الطول ($أ_1 - أ_2 - أ_3$) ومتعامدة بعضها على بعض مثل بلورات معادن الفلورسبار والمجنتيت والجالينا.

٢ - فصيلة الرباعى Tetragonal System

وتشمل جميع البلورات التى لها ثلاثة محاور بلورية متعامدة ($أ_1 - أ_2 - جـ$) منها محوران أفقيان ($أ_1 - أ_2$) متساويان فى الطول، والثالث (جـ) رأسى وهو أقصر أو أطول من المحورين الآخرين. وتمثله بلورات معادن الزركون والروتيل والكاسيتيرات.

الفصائل البلورية	المحاور البلورية	السلوك الميكانيكي
(١) فصيلة المكعب أو متساوي الأبعاد	ثلاثة محاور متساوية في الطول ومتعامدة	متجانس في جميع الاتجاهات (ايزوتروبية)
(٢) فصيلة الرباعي	ثلاثة محاور متعامدة منها اثنان أفقيان ومتساويان في الطول والثالث عمودي ومختلف في الطول	متجانس في المستويات المتعامدة على المحور الرأسي (حـ) ومختلف في جميع الاتجاهات الأخرى
(٣) فصيلة السداسي (٤) فصيلة الثلاثي	أربعة محاور ثلاثة منها أفقية ومتساوية في الطول وتتقاطع في زوايا مقدارها ١٢٠° والرابع عمودي ومختلف عنها في الطول	
(٥) فصيلة المعين القائم	ثلاثة محاور متعامدة ومختلفة في الطول	غير متجانس في جميع الاتجاهات (لا ايزوتروبية)
(٦) فصيلة أحادي الميل	ثلاثة محاور مختلفة في الطول واحدها مائل على المستوى الذي يمر على المحورين الآخرين (ب) و (جـ)	
(٧) فصيلة ثلاثي الميل	ثلاثة محاور مختلفة في الطول وغير متعامدة على بعض	

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

٣ - فصيلة السداسى Hexagonal System

وتشمل البلورات التى لها أربعة محاور بلورية (أ$_1$ - أ$_2$ - أ$_3$ - جـ)، ثلاثة منها أفقية (أ$_1$ - أ$_2$ - أ$_3$) ومتساوية فى الطول وتتقاطع فى زوايا مقدارها ١٢٠° والمحور الرابع (جـ) عمودى ومختلف عنها فى الطول وتمثله بلورات معادن البيريل والأباتيت والنفيلين.

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 - جـ) مختلفة فى الطول ومتعامدة بعضها على بعض. ومن أمثلتها بلورات معادن الباريت والأراجونايت والأوليفين.

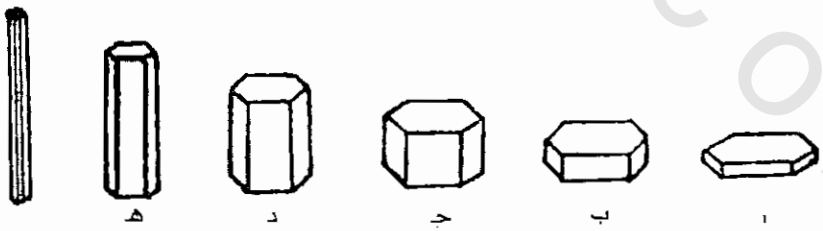
٦ - فصيلة أحادى الميل Monoclinic System

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

٧ - فصيلة ثلاثى الميل Triclinic System

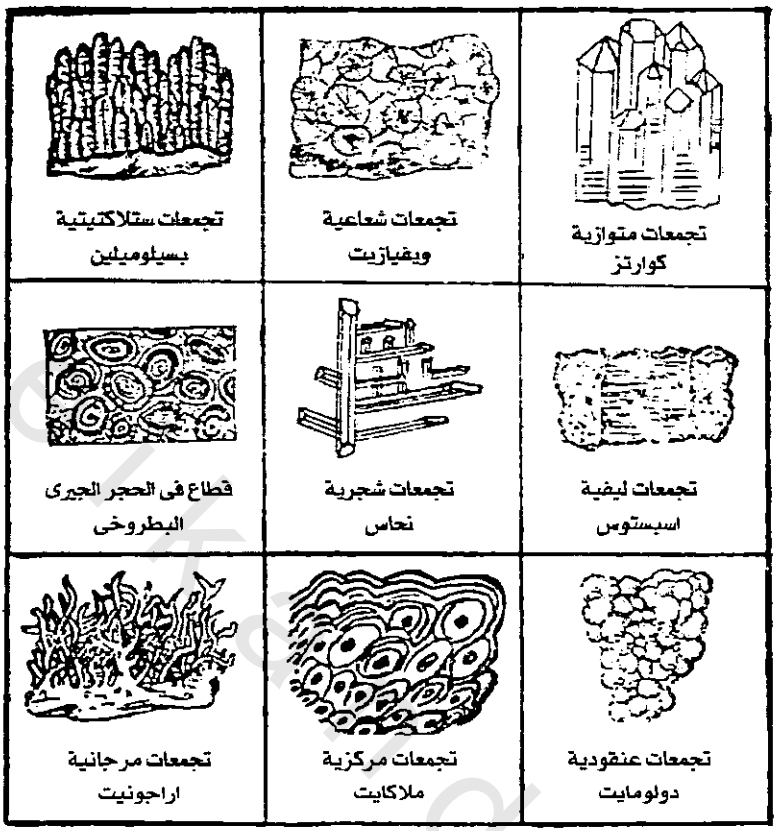
ولبلوراتها ثلاثة محاور بلورية (أ - ب - جـ) مختلفة فى الطول وغير متعامدة على بعض وتمثله بلورات معادن البلاجيوكليز فاسبار والميكروكلين.

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 والاستلاكيتية والليفية والعنقودية والشجرية والمرجانية كما فى شكل (٩).



شكل رقم (٨): الأشكال المختلفة للبلورات

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



شكل رقم (٩): التجمعات المتبلورة لبعض المعادن

١- خواص المرونة واللدونة فى البلورات:

وتختلف خواص المعادن تبعًا لاتجاهات محاورها البلورية وتسمى خواص المعدن فى الاتجاهات المختلفة بالخواص الاتجاهية (Vectorial properties). وعندما تتعرض المعادن التى تتبلور فى فصيلة المكعب للضغوط المختلفة تكون ثوابتها الميكانيكية متشابهة فى جميع الاتجاهات، أى إنها أيزوتروبية (Isotropic). أما فى حالة المعادن التى تتبلور فى فصائل الرباعى والسداسى والثلاثى فإن ثوابتها الميكانيكية تتشابه فى الاتجاهات المتعامدة فقط على المحور الرأسى (جـ) بينما تختلف فى جميع الاتجاهات الأخرى. وفى المعادن التى تتبلور فى فصائل المعين القائم وأحادى وثلاثى الميل تكون ثوابتها الميكانيكية غير متشابهة فى الاتجاهات البلورية المختلفة للمعدن، أى إنها لا أيزتروبية (Anistorpic). وتحت تأثير الضغوط المختلفة تتشوه البلورات ويتغير شكلها وحجمها وهناك نوعان رئيسيان من التشوه فى البلورات هما:

(أ) التشوه المرن للبلورات Elastic deformation of Crystal

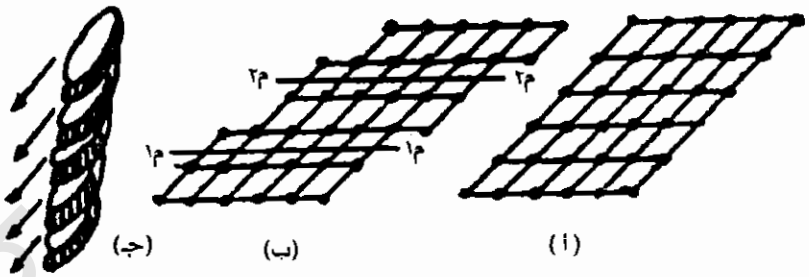
في هذا النوع من التشوه تعود البلورة إلى شكلها وحجمها الأصلي عند زوال الإجهادات المؤثرة عليها. ويلاحظ أن مرونة البلورات تختلف تبعًا لاتجاه المحاور البلورية. كما يتضح من جدول (٦). ويعتمد السلوك المرن للبلورات على البناء الشبكي للبلورة، وعلى نوع الروابط بين ذراتها أو أيوناتها وعلى تركيب مجموعات (س أ٤) في حالة معادن السيليكات. فمثلا 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 تتهشم إذا ازداد الضغط الواقع عليها عن مقدار القوى الرابطة بين الذرات والأيونات المكونة للمعدن.

جدول (٦) شدة تحمل معدن الكوارتز للإجهادات

نوع الإجهاد	بمواراة المحور الرأسي (حـ)	عمودي على المحور الرأسي (حـ)
الضغط	٢٥,٠٠٠ كج/سم٢	٢٢,٨٠٩ كج/سم٢
الشد	١,١٦٠ كج/سم٢	٨٥٠ كج/سم٢
الثنى	١,٤٠٠ كج/سم٢	٩٢٠ كج/سم٢

(ب) التشوه اللدن للبلورات Plastic Deformation

ينشأ هذا التشوه نتيجة لعاملين هما الانزلاق الانتقالى (Translational sliding) والانزلاق التوأمى (Twin sliding) وتتميز مستويات الانزلاق بأنها مستويات فى التركيب الفراغى للبلورة وفى هذه المستويات تتجمع الذرات أو الأيونات بدرجة كبيرة. وتنشأ مستويات الانزلاق فى البلورة عندما تقع تحت تأثير إجهادات خاصة حرجة ذات شدة معينة تصل أحيانًا إلى ٤٠٠ كج/مم٢. وينشأ عن الانزلاق الانتقالى (الميكانيكى) فى حالة المعادن العنصرية كالذهب والفضة والبلاتين إزاحات متوازية على طول مستويات بلورية بسيطة فى اتجاهات تسمى بالاتجاهات الانتقالية، وبذلك يحدث تشوه لدن مستمر حتى فى درجات الحرارة العادية دون أن تنكسر أو تفتت 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 التوأمى فينشأ نتيجة إزاحة جزء من البلورة على جانبى مستويات الانزلاق وتؤدى إلى نشأة توائم متماثلة فى البلورة كما فى شكل (١١).

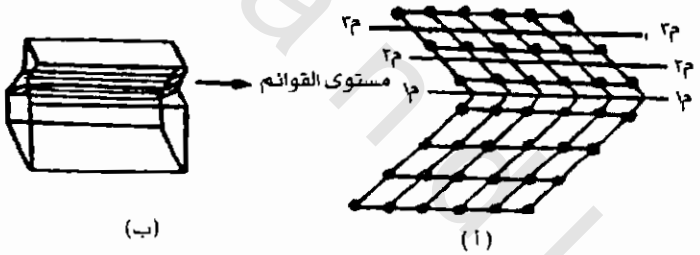


شكل رقم (١٠): التشوه فى البلورات نتيجة للانزلاق الانتقالى.

(أ) ترتيب الذرات فى التركيب الفراغى للبلورة قبل الانزلاق.

(ب) ترتيب الذرات فى المستويات الذرية البلورية بعد الانزلاق على المستويات م١ – م١، م٢ – م٢.

(جـ) 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 فى البلورات نتيجة للانزلاق التوأمى.

(أ) ترتيب الذرات فى المستويات الذرية البلورية بعد الانزلاق التوأمى.

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

٢ اللون والمخدش Colour and Streak

فى كثير من المعادن، وخاصة التى لها بريق فلزى، يكون اللون ذا قيمة لتشخيص المعدن، ولكن فى معظم الأحيان لا يكون اللون صفة ثابتة يمكن الاعتماد عليها للتعرف على المعدن، وفى حالة وجود عنصر ملون، مثل أيون النحاس والحديد، فى التركيب الكيميائى للمعدن فإن لون سطوحه غير المتغيرة يكون عادة أصيلا مثل اللون الأحمر للنحاس واللون الأصفر للبيريت. أما المعادن التى تتكون من عناصر غير ملونة كالصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والألومنيوم فإن

ألوانها تكون غير أصيلة، ولذلك فإنها تكتسب ألوانًا غريبة نتيجة لوجود شوائب أو مواد دخيلة بالمعدن. فمثلا قد يكون معدن الكوارتز عديم اللون أو ورديًّا أو أصفر أو أبيض أو داكنًا كالدخان أو أحمر أو بنيًا.

أما المخدش فهو لون المسحوق الناعم للمعدن، ويكاد يكون المخدش ثابتًا من الناحية العملية على رغم أن المعدن قد يتغير لونه تبعًا لنوع الشوائب الموجودة به. ومعظم معادن مجموعة السيليكات المكونة للصخور لها مخدش أبيض، ويساعد المخدش المتميز للمعادن الفلزية المكونة للخامات مثل الأكاسيد والكبريتيدات فى التعرف على نوع المعدن فالهيماتيت (Fe_2O_3) مخدشة أحمر، والليمونيت ($2Fe_2O_3.3H_3O$) مخدشة أصفر، والجالينا (PbS) مخدشة رمادى.

٣ - الخواص المغناطيسية Magnetic Properies

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

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

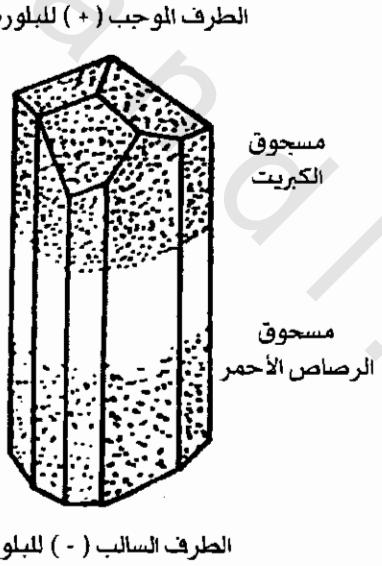
(ب) تستخدم وسائل الكشف الجيوفيزيقى بالطرق المغناطيسية لتحديد تراكيب الصخور تحت السطحية وبذلك تساعد فى البحث عن البترول والغاز الطبيعى والمياه الأرضية، وفى دراسة مواقع المنشآت الهندسية الهامة كالسدود والخزانات والأنفاق.

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

٤ - الخواص الكهربية Electrical Properties

بعض المعادن ذات البريق الفلزى مثل الجرافيت والكبريتيدات (ما عدا الزنك بلند) 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 فى بلورات المعادن التى لا توجد بها مراكز للتماثل ولها محاور قطبية للتماثل تنتهى بأوجه غير متشابهة مثل بلورات معدن التورمالين الموضحة فى 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 فى أنها أكثر وضوحًا على طول المحاور القطبية التى تسمى بالمحاور الكهربية. وفى حالة بعض الخامات المعدنية الفلزية مثل خامات النحاس والرصاص. تستخدم طرق الاستكشاف الجيوفيزيقى بالوسائل الكهربية للبحث عن هذه الخامات تحت سطح الأرض. وجدير بالذكر أنه فى الأغراض الصناعية تتم إحدى طرق فصل خليط من المعادن ذات خواص كهربية مختلفة بالوسائل الكهربية الاستكاتيكية، فعلى سبيل المثال يمكن باستخدام هذه الطريقة فصل معدن الزنك بلند الموصل الردىء للكهرباء من معادن جيدة التوصل الكهربى مثل الجالينا والبيريت.



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

٥ - الصلابة Hardness

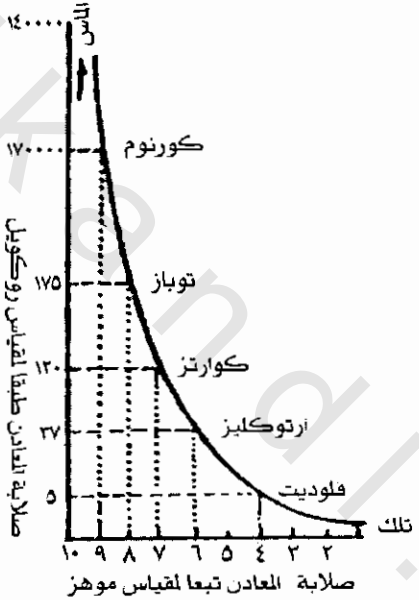
هى إحدى الصفات الأساسية للمعادن وتقاس بالمقاومة التى يبديها سطح ناعم من المعدن لعوامل الخدش أو الطحن. وتعين الصلابة بسهولة بملاحظة نتيجة خدش معدن ما بمعدن آخر، أو بقطعة نقود نحاسية أو بنصل مطواه، وقد اتفق منذ زمن طويل على استعمال مقياس استنبطة (موهز) للتعبير عن الصلابة، وفى هذا المقياس رتبت مجموعة من عشرة معادن ترتيبًا نسبيًا تبعًا لزيادة الصلابة وهذه المجموعة موضحة فى جدول (٧).

وعلى سبيل المثال إذا خدش معدن ما بالجبس، وكان نفس المعدن يُخْدَش بالكلسيت، فإنه يقال إن صلابته = ٢,٥. ومن الضرورى عند إجراء تجربة اختبار الصلابة اختبار سطح نظيف للعينة، لأنه قد تفتت تجمعات المعادن الترابية أو الحبيبية أو الأبرية الشكل دون أن تخدش فى 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 التى يمكن بها خدشه بواسطة الأدوات البسيطة لاختيار الصلابة المبينة فى جدول (٧).

جدول (٧) مقياس الصلابة لموهز

مقياس الصلابة	المعدن	وسيلة بسيطة لاختبار الصلابة	المقاومة للاحتكاك فى الماء طبقاً لركويل
١	تلك	عود من الكبريت	٠,٠٣
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		١٤٠٠٠٠٫٠٠٠

ويجب ملاحظة أن الأعداد المذكورة فى مقياس (موهز) هى مجرد أعداد نسبية وليست لها قيمة على الإطلاق من الناحية الكمية، فلا يجب مثلا أن نفترض أن صلابة الماس ضعف صلابة الأباتيت أو عشرة أضعاف صلابة التلك، أو أن الفترات بين صلابة المعادن المتتابعة فى مقياس (موهز) هى فترات منتظمة. وفى 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 فى مقياس (موهز) 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

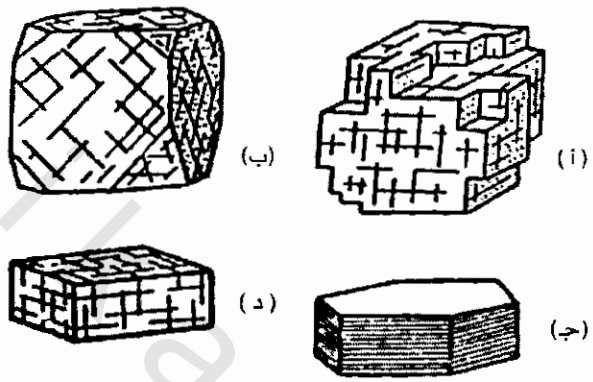
كثير من المعادن يتشقق بسهولة فى اتجاهات منتظمة ثابتة تعرف بمستويات التشقق، وتعطى أشكالا منتظمة ذات سطوح ناعمة ملساء وتكون مستويات التشقق موازية دائمًا لوجه بلورى عادة فى البلورة. ويتميز المعدن الذى له خاصية التشقق بأنه يمكن فصله بسهولة إلى أجزاء دقيقة جدًا فى اتجاهات توازى مستويات التشقق. فعلى سبيل المثال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

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

(أ) تشقق مكعبى كما فى معدن الجالينا، شكل (١٤ – أ).

(ب) تشقق أوكتاهيدرى (أشكال ذات ثمانية أوجه) كما فى معدن الفلورسبار (شكل ١٤ – ب).

(جـ) تشقق قاعدى ومنشورى كما فى معدن الباريت، (شكل ١٤ – د).



شكل (١٤): التشقق فى المعادن.

(أ) تشقق مكعبى لمعدن الجالينا. (ب) تشقق ذو ثمانية أوجه المعدن الفلورسبار.

(جـ) تشقق قاعدى لمعدن الميكا. (د) تشقق قاعدى ومنشورى لمعدن الباريت.

٧ – المكسر والتفلق Fracture and Parting

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

شكل (١٥): مكسر محارى لمعدن الكوارتز.

٨ - الثقل النوعى أو الكثافة Specific gravity

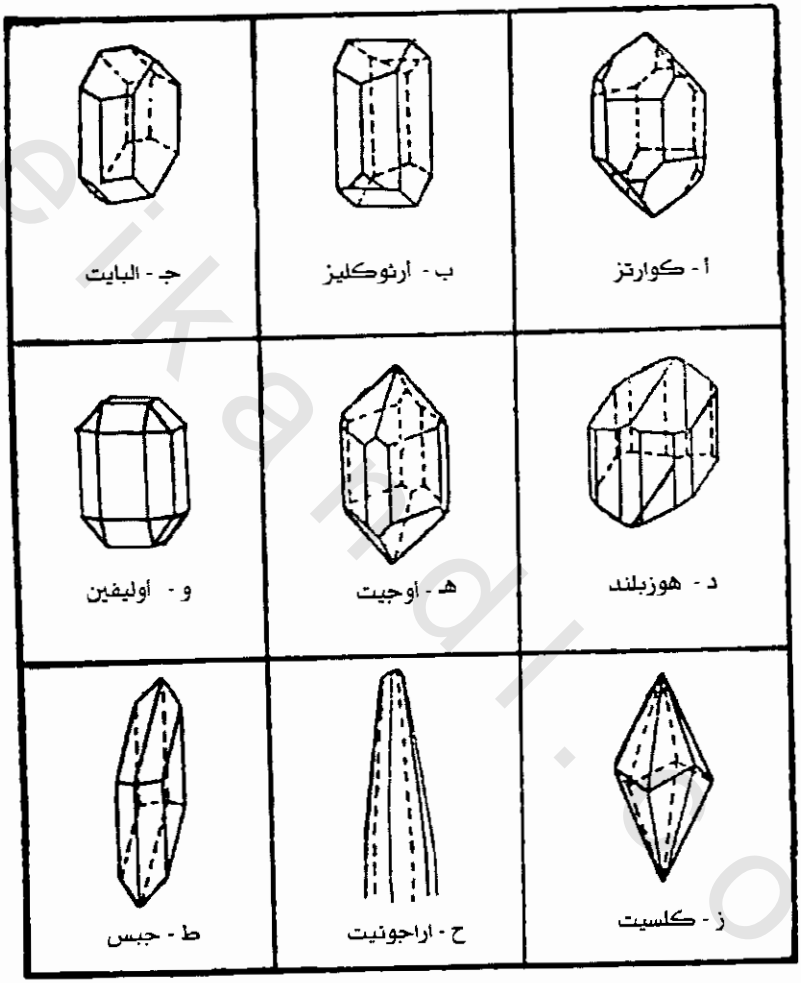
الثقل النوعى للمعدن صفة هامة تساعد كثيرًا على تشخيص المعدن والتعرف عليه. وتعتمد هذه الخاصية على الوزن الذرى للذرات أو الأيونات المكونة للمعدن. وعلى كيفية توزيع الذرات وتجمعها أو رصها فى التركيب الذرى لبلورات المعدن. فمثلا تكون معادن الرصاص دائمًا ثقيلة لأن العدد الذرى للفلز كبير وعلى رغم أن كلاً من معدنى 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 مرصوصة رصًا محكمًا، 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 تقريبًا. ويتراوح متوسط الكثافة للمعادن غير الفلزية بين ٢,٦ ، ٢,٧٥ كما يتضح من جدول (٨).

جدول رقم (٨) الثقل النوعى لبعض المعادن الشائعة

المعدن	الثقل النوعى	المعدن	الثقل النوعى
لوسيات	٢,٥	مسكوفيت	٢,٧٨ - ٢,٨٨
أرثوكليز فلسبار	٢,٥٦	بيوتيت	٢,٩ – ٣,٣
بلاجيو كليز فلسيار	٢,٦١ ٢,٧٨	أوجيت	٣,٣ ٣.٥
نفيلين	٢,٦٢	هورنبلد	٢,٩ – ٣,٥
كوارتز	٢,٦٥	أوليفين	٣,٣
كلسيت	٢,٧١	ياريت	٤,٥

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.



شكل (١٦): بلورات بعض المعادن المكونة للصخور.

جدول رقم (٩): الخواص الطبيعية لبعض المعادن الشائعة

المعدن	اللون	المخدش	البريق	التشقق	الصلابة	التركيب (الشكل)	ملاحظات
١ – كوارتز (ثلاثى) (شكل ٢٣–١)	عديم اللون، أبيض بنفسجى أو أسود (مدخن)	أبيض	زجاجى	لا يوجد	٧	بلورة من فصيلة الثلاثى أو حبيبى أو كتلى	يتميز بمكسر محارى وبريق زجاجى وصلابة عالية معدن شائع فى الجرانيت والصخور الرملية
٢ – أرثوكليز (أحادى الميل) (شكل ٢٣ – ٥)	أبيض، وردى، رمادى، أخضر	أبيض	زجاجى	فى اتجاهين يتقاطعان فى ٩٠° تقريبًا	٦– ٦,٥	بلورات مسطحة، حبيبى أو كتلى	يوجد فى صخور الجرانيت والبجمانيت
٣ – بلاجيوكليز (ثلاثى الميل) (شكل ٢٣ – جـ)	أبيض، رمادى ويميل للاحمرار أو الزرقة	أبيض	زجاجى	فى اتجاهين يتقاطعان فى زوايا ٨٧°، ٩٣	٦– ٦,٥	بلورات مسطحة، حبيبى أو كتلى	يتميز عادة بخاصية تلاعب الألوان، ويوجد بالصخور النارية القاعدية
٤ – مسكوفيت (أحادى الميل)	عديم اللون، أبيض وأحيانًا ذو صبغة صفراء أو بنى فاتح	أبيض	زجاجى أو لؤلؤى	فى اتجاه واحد قاعدى	٢ – ٣	كتل ورقية أو بلورات مسطحة أحيانًا على شكل قشور	يتميز بتشققه القاعدى الواضح والرقائق تكون مرنة وشفافة
٥ – بيوتيت (أحادى الميل)	أسود إلى أخضر قاتم أو بنى	فاتح اللون	أو لؤلؤى	فى اتجاه واحد قاعدى	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 – هورنبلند (أحادى الميل) (شكل ٢٣ – د)	أخضر قاتم إلى أسود	أبيض أخضر أو بنى فاتح	زجاجى	جيد فى اتجاهين يتقاطعان ٥٦°، ١٢٤°	٥– ٦,٥	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 ٨٦°، ٩٤°	٦–٦,٥	بلورات سميكة وقصيرة أو حبيبى	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 وبريقه 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 الكيميائى لمعدن الأوليفين فى الصخور النارية والقاعدية
١٠ – تلك (أحادى الميل)	أبيض، أخضر	أبيض	لؤلؤى	فى اتجاه واضح وجيد	١ – ٢	ورقى، حبيبى، ليفى أو كتل متماسكة مثل الشمع	يتميز التلك بملمس كالصابون وتركيبه ورقى أو ميكائى. ويوجد بالصخور المتحولة

المعدن	اللون	المخدش	البريق	التشقق	الصلابة	التركيب (الشكل)	ملاحظات
١١ – كاولينيت (ثلاثى الميل)	أبيض إذا كان نقيًا، رمادى، أحمر	أبيض رمادى أحمر	ترابى	لا يوجد	١ – ٢	على شكل مسحوق أو حبيبى أو كتل	يلتصق باللسان ويوجد فى الرواسب المتبقية
١٢ – كالسيت (ثلاثى) (شكل ٢٣–ن)	أبيض، أصفر، أزرق، بنفسجى	أبيض	زجاجى	واضح جدا وفى ثلاث اتجاهات رومبوهيدرون	٣	بلورات من فصيلة الثلاثى أو كتل خشنة أو دقيقة الحبيبات	يتفاعل بسهولة مع (يد كل) المخفف ويتصاعد (ك أ) يتميز بالتشقق الكامل
١٣– أراجونيت (معين قائم) (شكل ٢٣ –ج)	أبيض، رمادى، أصفر، بنفسجى	أبيض	زجاجى	جيد فى ثلاث اتجاهات	٣.٥–٤	بلورات أبرية من فصيلة المعين القائم أحيانًا فى تجمعات شعاعية	يتفاعل بسهولة مع (يد كل) المخفف ويتصاعد (ك أ)
١٤ – دولوميت (ثلاثى)	أبيض، أصفر، أزرق، بنفسجى	أبيض	زجاجى أو لؤلؤى	جيد فى ثلاث اتجاهات رومبوهيدرون	٣.٥–٤	بلورات من فصيلة الثلاثى أو كتل حبيبى	يتفاعل بصعوبة (يد كل) المخفف، يوجد فى صخور الدولوميت والرخام
١٥ – جبس (أحادى الميل) (شكل ٢٣ – ط)	أبيض وأحيانًا ذو صبغة صفراء	أبيض	زجاجى حريرى أو لؤلؤى	فى ثلاث اتجاهات وأحدها جيد	١.٥–٢	بلورات أحادية الميل وفى أحيانًا على شكل كتل أو ليفى أو ترابى	يتميز بوجود تشقق واضح فى اتجاه واحد وسطحه ناعم وبريقه حريرى

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 Mincralogy; Wile New York, (1959).
3. Dennen W.H., Principles of Mineralogy: Mc – Craw Hll, Miew, York, (1958).
4. Jones, W.R., and D. Willams, Minerals and Mineral Depostis: 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.

Obeikandi.com